



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**

**R92:1984**

# **Utvärdering av solvärme- centraler i Lambohov**

**Kjell Norbäck m fl**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Ser

R  
921

**Bygghforskningsrådet**

R92:1984

UTVÄRDERING AV SOLVÄRMECENTRALER I LAMBOHOV

Kjell Norbäck  
Per Holst  
Peter Kjaerboe  
Jan Svensson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790746-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,  
Falun

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

R92:1984

ISBN 91-540-4182-1  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

LAMBOHOV  
SOLVÄRMEANLÄGGNING

BESKRIVNING AV PROJEKTET, MÄTNINGAR OCH  
ERFARENHETER FRAM TILL OCH MED 1981

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	5
2	BESKRIVNING	6
2.1	Solfångarna	13
2.2	Distributionssystem	19
2.3	Radhusen	24
2.4	Lager	24
2.5	Värme, varmvattenberedare, värmepumpar	24
2.6	Reservpanna	31
2.7	Värmedium	31
2.8	Mät- och reglersystem	31
3	PROJEKTERING, BYGGANDE	46
3.1	Allmänt	46
3.2	Solfångarsystem	48
3.3	Lager	54
3.4	Skiktfördelare och diffusor	65
3.5	Värmepumpar, värme- och tappvarm- vattensystem	66
3.6	Distributionssystem	67
3.7	Regler- och mätsystem	67
4	DRIFTERFARENHETER	68
4.1	Allmänt	68
4.2	Solfångarna	68
4.3	Distributionsledning	70
4.4	Lager	70
4.5	Akkumulatörer	74
4.6	Cirkulations- och värmepumpar	74
4.7	Ventiler	76
4.8	Filter	76
4.9	Problemen med vattnet som värmebärare	76
4.10	Problemen med VVS-systemen	79
4.11	Givare, mät- och reglersystem	81
4.12	Buller	83
5	EL- OCH OLJEENERGI	85
6	ENERGIFLÖDEN, TEMPERATURER OCH KLIMATDATA	87
6.1	Allmänt	87
6.2	Temperaturer i och omkring lagret	87
6.3	Värmeförluster från lager	98
6.4	Några energibalanser	103
6.5	Värmesystem	104
6.6	Uppvärmningsbehov för husen	105
6.7	Instrålad energi	105
6.8	Solfångare	106
6.9	Värmeackumulatörer	109

7	OMBYGGNADER	110
7.1	Allmänt	110
7.2	Åtgärder på VVS-systemen	110
7.3	Åtgärder på vattenkemisidan	111
7.4	Åtgärder på mät- och reglersystem	112
8	DRIFTORGANISATION, ÄGANDE- FÖRHÅLLANDEN. UTVÄRDERING	118
9	KÖRSTRATEGIER	120
10	KOSTNADER	121
11	AVSLUTNING. SAMMANFATTNING	122
12	LITTERATURFÖRTECKNING	125

#### BILAGOR

Bilaga 1	VIAKs geotekniska undersökningar
Bilaga 2	Uppläggning av rådata perioden maj 1980 - dec 1981
Bilaga 3	Specifikationer för anläggningen
Bilaga 4	Kretsschema
Bilaga 5	Bestämmelser för gemensamhetsanläggning inom kv Isborret i Linköping
Bilaga 6	Simuleringsprogram för anläggningen Åke Hermansson
Bilaga 7	Positioner för givare i mark och lager
Bilaga 8	Kondensiakttagelser
Bilaga 9	Den driftansvariges redogörelse för drifterfarenheter från solfångar-, värme och varmvattensystem fram till 82-01-01
Bilaga 10	Ursprungligt förslag (1978) över mät-, styr- och reglerutrustning
Bilaga 11	Några fotografier

Cirka 7000 foton och cirka 40 videokassetter som dokumenterar anläggningens alla skeden har framtagits av Jan Svensson.

LAMBOHOV  
SOLVÄRMEANLÄGGNING

BESKRIVNING AV PROJEKTET, MÄTNINGAR OCH ERFARENHETER  
FRAM TILL OCH MED 1981

1 INLEDNING

Denna delrapport avser att redovisa en beskrivning av hela projektet med särskild vikt vid problemlösningsmetoder, status före och efter ombyggnad, temperaturanalyser och drifterfarenheter fram till och med 1981 för solvärmeanläggningen i Lambohov, vilken uppfördes under 1978-79.

Under åren 1973-75 projekterades och uppfördes i AB Östgöta-Byggens regi Sveriges första solhus i Hjulsbro, Linköping. Stöd från Statens råd för byggnadsforskning (BFR) utgick till ca 50% av kostnaden. Erfarenheterna från detta projekt och Studsvik Energiteknik ABs solvärmeanläggning med gropmagasin i Studsvik, utgjorde grunden för satsningen på den mera fullskaliga anläggning, som Lambohov skulle bli.

Redan 1975 stod följande klart för projektgruppen:

- . att solenergin på Sveriges breddgrad  $f$   $n$  endast var praktiskt - ekonomiskt användbar för uppvärmning av byggnader
- . att säsongslagring var nödvändig för att nå rimlig värmeekonomi
- . att säsongslagring även var nödvändig om energitillskottet från solvärme, ur landets synpunkt skulle bli av betydande omfattning
- . att bättre solfångare, än de på marknaden då befintliga, måste konstrueras, provas och framställas
- . att värmepumpar sannolikt var en kompletterande teknisk - ekonomisk nödvändighet.

## 2 BESKRIVNING

Beskrivning av hur systemet såg ut 1981 (före ombyggnad).

Lambohov är beläget ca 1 mil SV om Linköping, 20 mil SSV Stockholm. Avståndet till Östersjön är ca 8 mil. Latitud  $58^{\circ} 25' N$ , longitud  $15^{\circ} 36' O$ . Läget är "oskyddat" och öppet mot söder. Området omges i söder av 1,5-plans enfamiljshus.

55 radhuslägenheter försörjs med värme och tappvarmvatten från ett solvärmesystem, där instrålad energi genererar värme, vilken termiskt lagras i vatten i en bassäng under lång tid från sommaren till uppvärmningsperioden.

Systemet består i huvudsak av

- solfångare, enkelglasade, 564 st moduler med total nettoabsorbtoryta  $2731 m^2$ , monterade på taken till radhusen
- distributionssystem från solfångare till lager och från lager till värmesystem respektive till varmvattensystem
- lager rymmande  $10\ 000 m^3$  vatten  
Detta är placerat till största delen nedsprängt i mark, isolerat och tätat
- pumpar, varmvattenackumulator och värmepumpar, vilka höjer temperaturnivåerna under tider då dessa är otillräckliga för värmesystem respektive varmvattensystem. Reservvärme i form av en oljepanna
- värmemedium som i detta fall är vatten
- mät- och reglerutrustning,

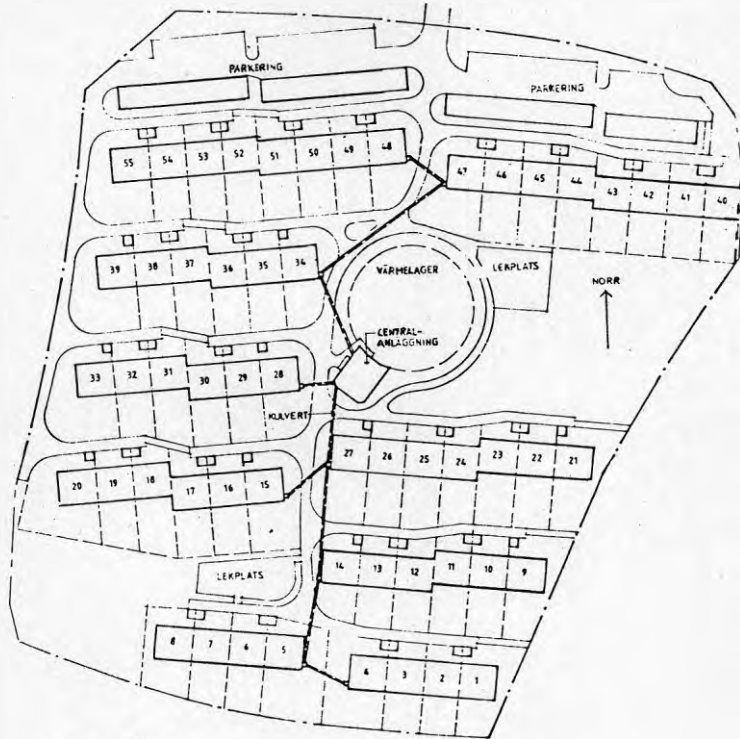
Solfångarna startas då solinstrålningen är tillräcklig för insamling av solenergi, varvid vatten pumpas från lagret genom solfångarna och åter till lagret.

Från lagret distribueras värmevatten till lägenheterna där vatten/luft värmväxlare utgör värmekällan.

För varmvattensystemet värms varmvattenackumulatorerna i första hand direkt med vatten från lager, i andra hand (om ej tillräcklig temperatur föreligger) höjs vattentemperaturen med en värmepump. Ackumulatorer används för att klara effektoppar.

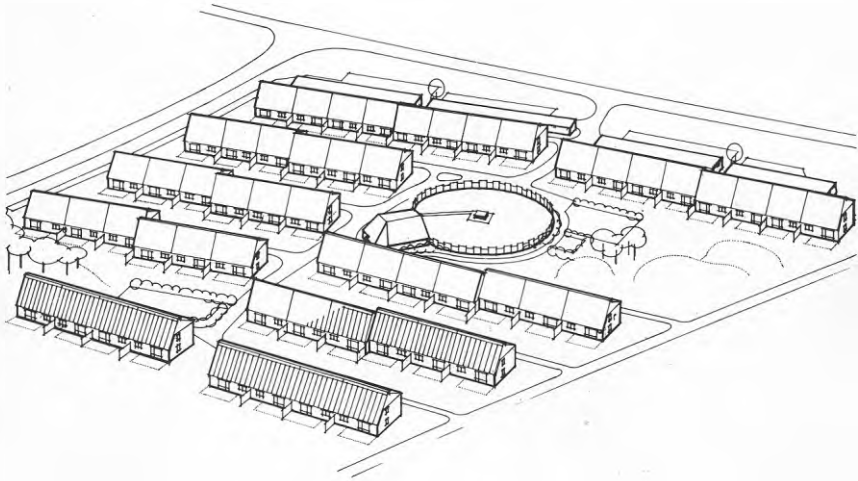
Mätutrustningen registrerar bl a temperaturer, vätske- och energiflöden.



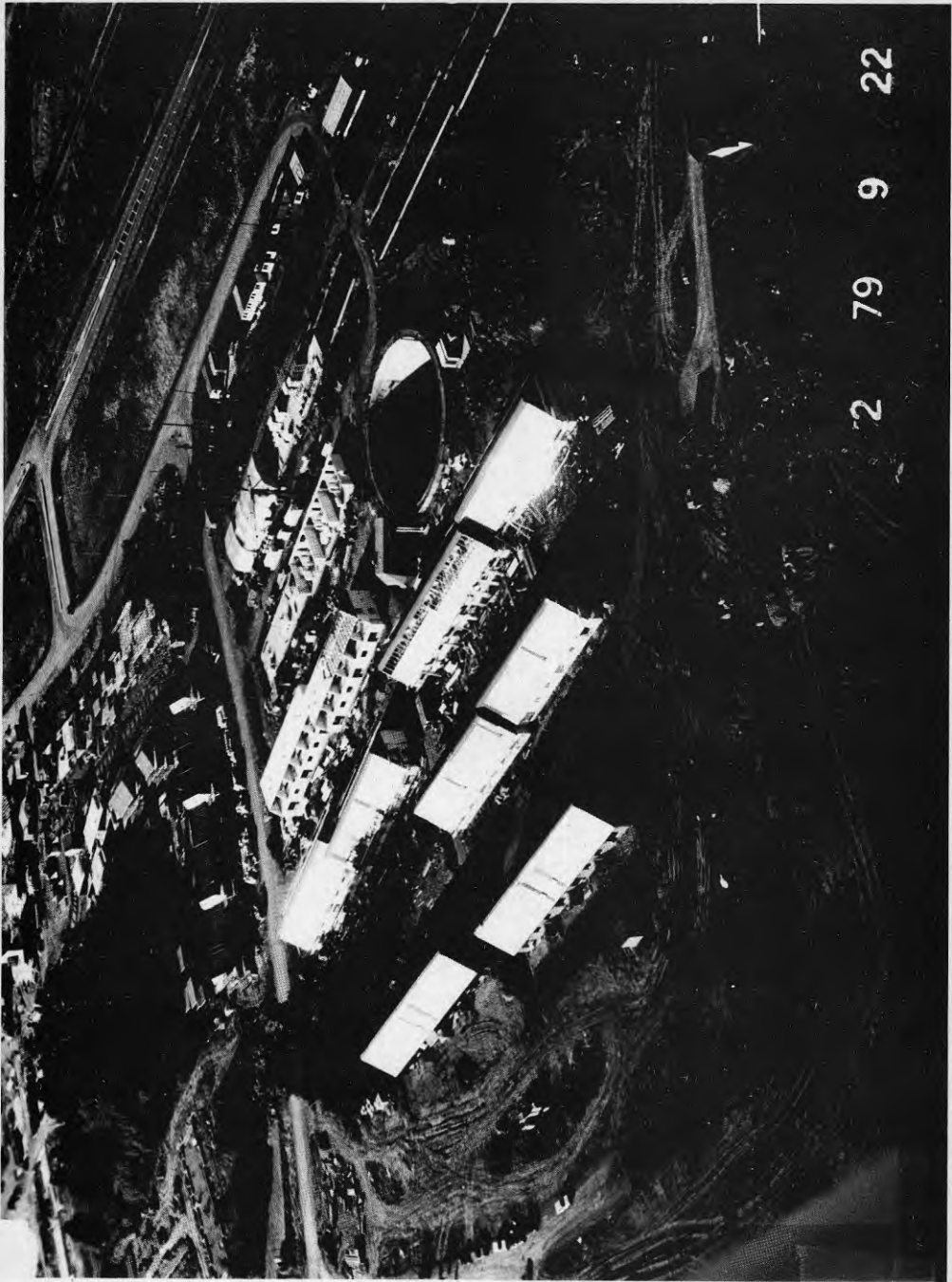


SITUATIONSPLAN

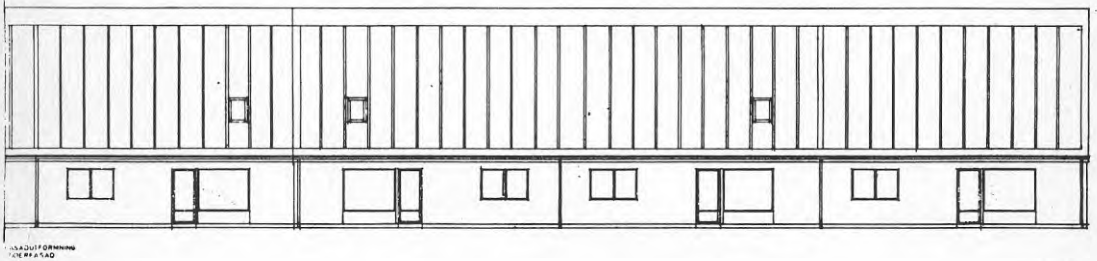
Figur 2.1 visar byggnader, numrerade, värmelagrets och central-anläggningens placering samt ledningskulvertar.



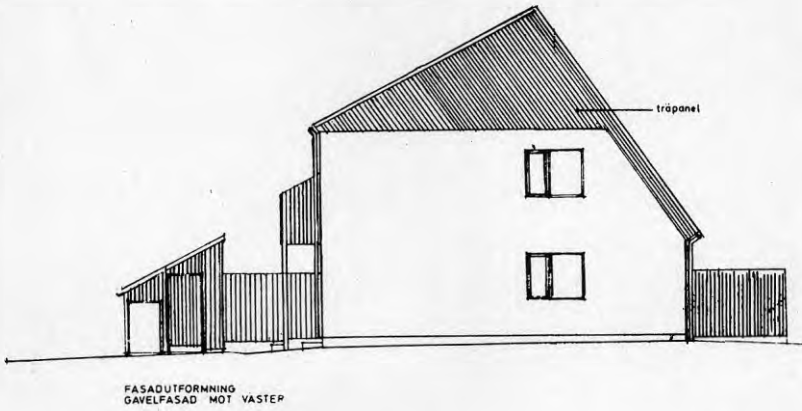
Figur 2.2 visar radhusområdet i perspektiv. Notera de stora exponerade takytorna.



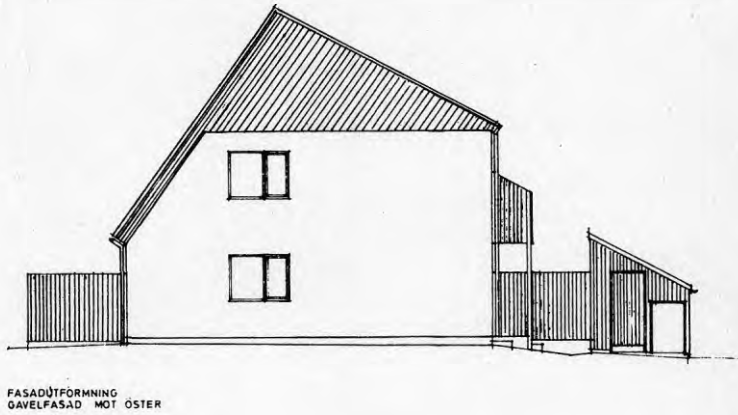
Figur 2.3. Fotot visar Lambohavs husområde under byggnad. Byggnadsskedet är längst framskridet i främsta raden.



Figur 2.4 visar en radhuslänga, sydsida.

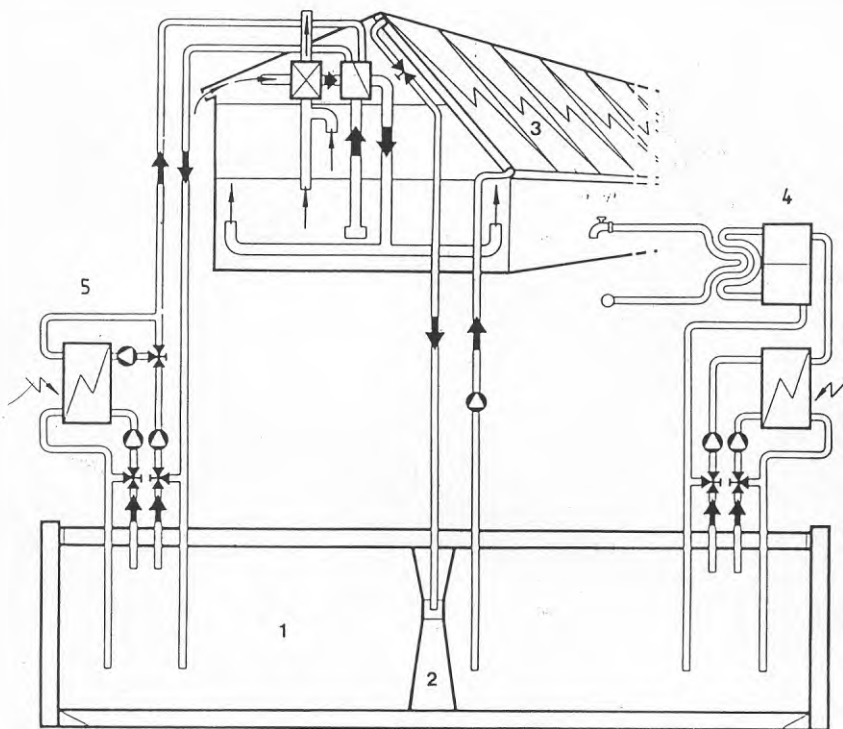


FASADUTFORMNING  
GAVELFASAD MOT VÄSTER



FASADUTFORMNING  
GAVELFASAD MOT ÖSTER

Figur 2.5 visar gavelfasader. Notera den höga taklutningen.



Figur 2.6 Kretschema för de tre delsystemen före ombyggnad.  
 1 = lager, 2 = skiktfordelare, 3 = solfångare  
 4 = tappvarmvattensystem, 5 = värmesystem

## 2.1 Solfångarna

Solfångarna är plana termiska solfångare med ett täckglas monterade på radhusens tak.

Absorbatoren är av aluminium, 0,25 mm, med inlagda kopparrör, tjocklek 0,35 mm, metalliskt förbundna genom sammanpressning. En selektiv ytbehandling ger egenskaperna: absorptionstal för kortvågig ljusstrålning  $\alpha = 0,95$ , emissionstalet för långvågig värmestrålning  $\epsilon = 0,10-0,15$ .

Isoleringen på ovansidan består av 4 mm glas och 38 mm luftspalt och på undersidan av 8 mm luftspalt, mineralull 50 mm och 4 mm träfiberskiva. Som hölje fungerar en plåtkassett av aluminium. Sidor och fästordningar, se Figur 2.8 och 2.9.

En diffusionspärr av aluminium är placerad ovanpå mineralullen.

Ytbeläggningen är en selektiv yta av svartnickel.

Absorbatoren är lödd till ett samlingsrör av koppar. Detta är i sin tur förbundet med silikongummislang för att uppta värmspänningar. Därefter är solfångarna avslutna parallellt, se Figur 2.10 och 2.11. Den övre delen har en luftningsventil av typ Hy-vent. Vätskeberörda ytor är av koppar helt igenom.

Dimensionerande flöde är  $1 \text{ l/m}^2$ , per minut.

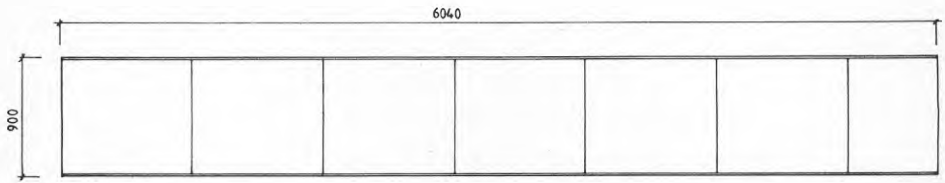
Maximal temperaturhöjning är projekterad till ca  $10^\circ\text{C}$  i maj månad.

Solfångarna är placerade på radhusens södervända tak. Lutning  $55^\circ$ . Eftersom vätskan i solfångarnas absorbatorer är vanligt vatten måste de dräneras vid frysrisk.

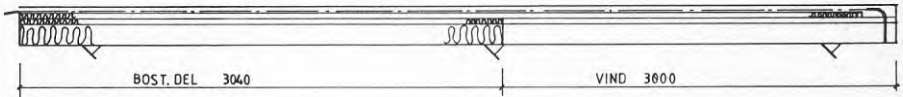
Solfångarnas termiska verkningsgrad anges i Figur 2.13 som funktion av vattnets medeldrifttemperatur över utetemperaturen. Förlustkoefficienten anges på motsvarande sätt i Figur 2.12.

Provningarna är utförda vid Statens Provningsanstalt i Borås.

Flödesschema framgår av Bilaga 4.



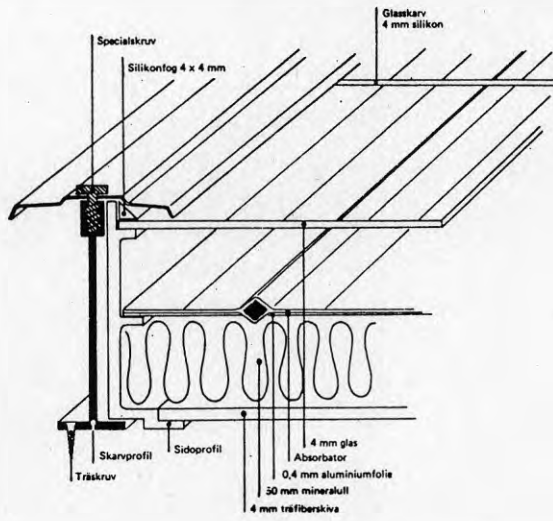
PLAN ABSORBATORELEMENT



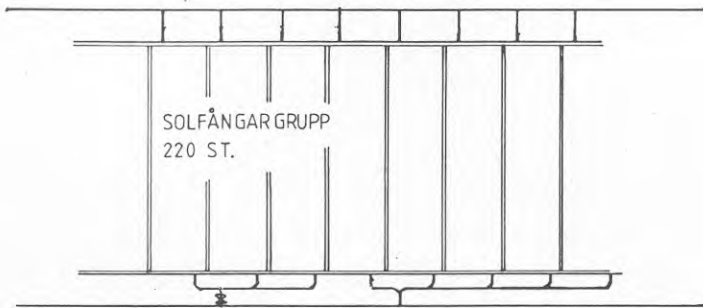
SEKTION

Figur 2.8 visar solfångarna  
i plan och längdsektion.

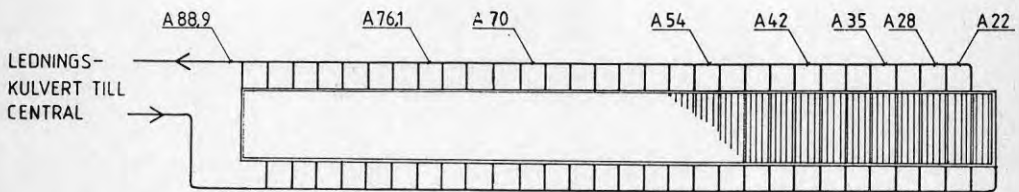




Figur 2.9 visar solfångarna i tvärsnitt.

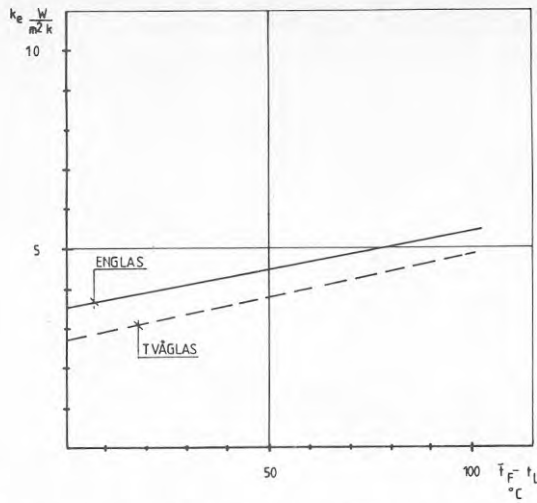


Figur 2.10 visar solfångarnas inkoppling till systemet.

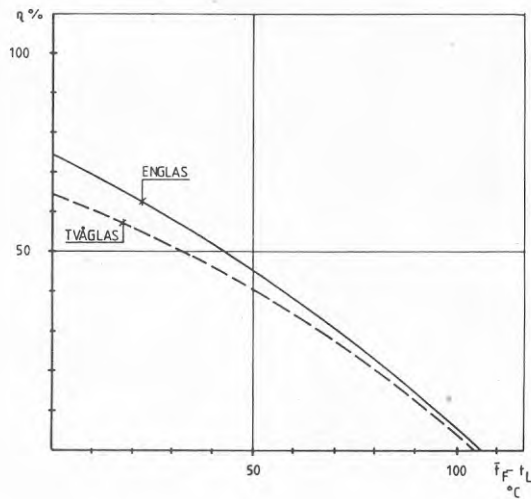


Figur 2.11 visar exempel på inkoppling av solfångargrupp från två radhus eller åtta lägenheter.

Siffrorna anger anslutningsdimensioner i mm. Motsvarande dimensioner gäller även returledning.



Figur 2.12 visar värmeförlustkoefficienten,  $k_e$ , som funktion av övertemperatur d v s temperaturskillnad mellan aritmetiska medelvärdet på värmebärartemperaturen,  $\bar{t}_F$ , och uttemperaturen,  $t_L$ . Värderna för såväl englas- som tvåglassolfångaren anges.

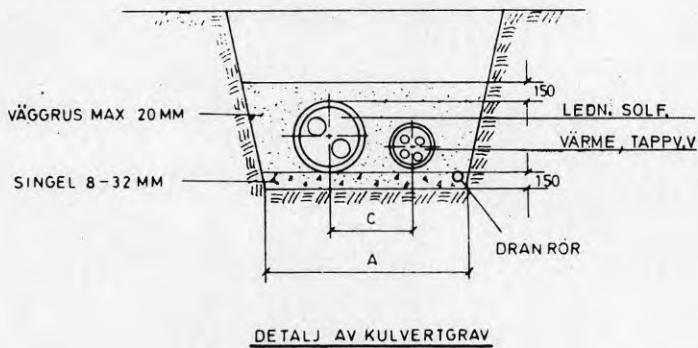


Figur 2.13 visar termisk verkningsgrad som funktion av övertemperaturen, se ovan, vid en instrålning vinkelrätt om  $800 \text{ W/m}^2$ .

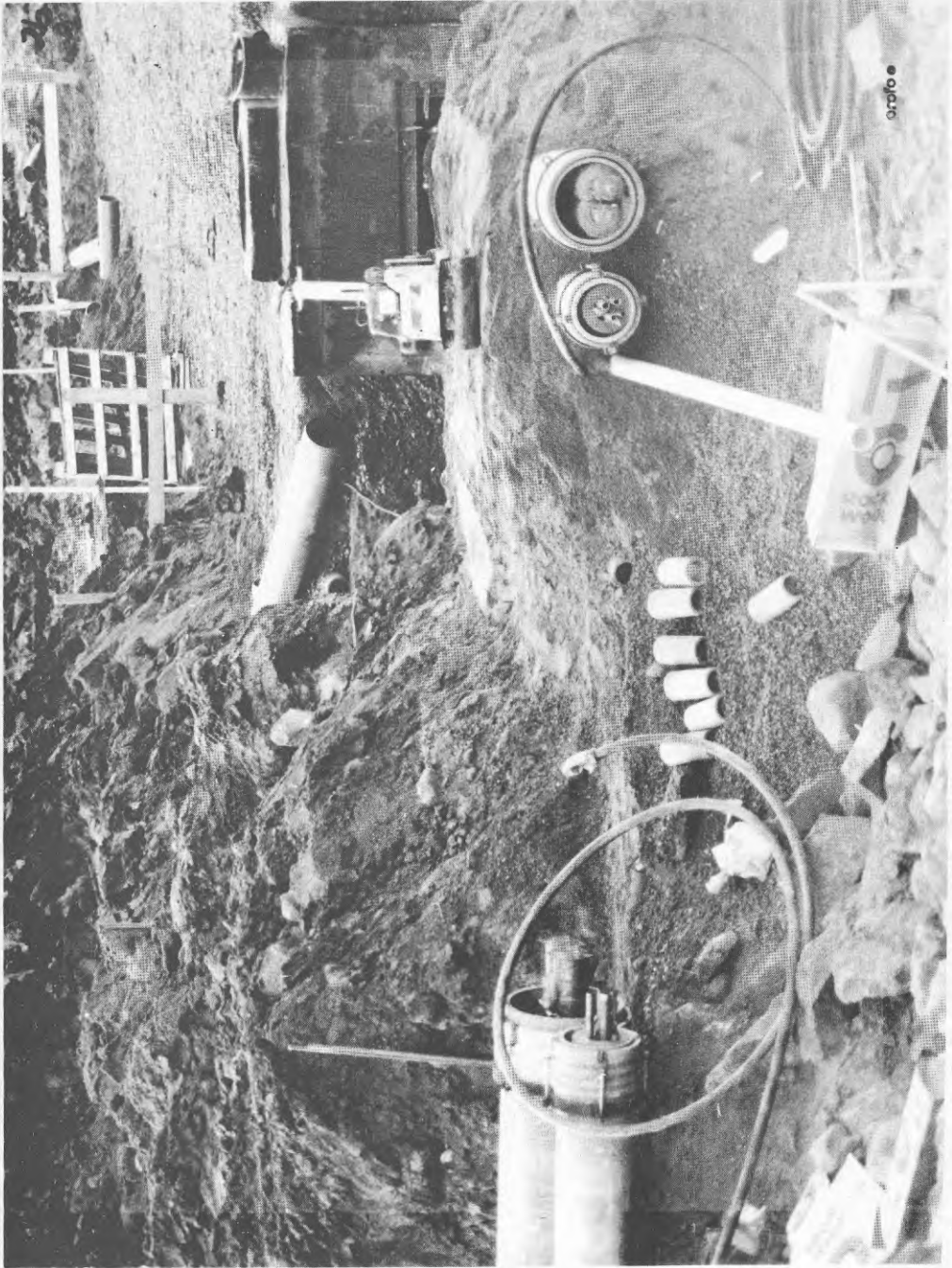
## 2.2 Distributionssystem

Från solfångarna leds varmt vatten i kopparrörsledningar genom vindarna i husen ner till markförlagd kulvert. Ledningar för värme och varmvatten är dragna i separata kulvertar. På vindarna avsågs ledningarna ligga i 0-temperaturzon vid  $-20^{\circ}\text{C}$  utomhustemperatur.

Utförande framgår av Figur 2.14.

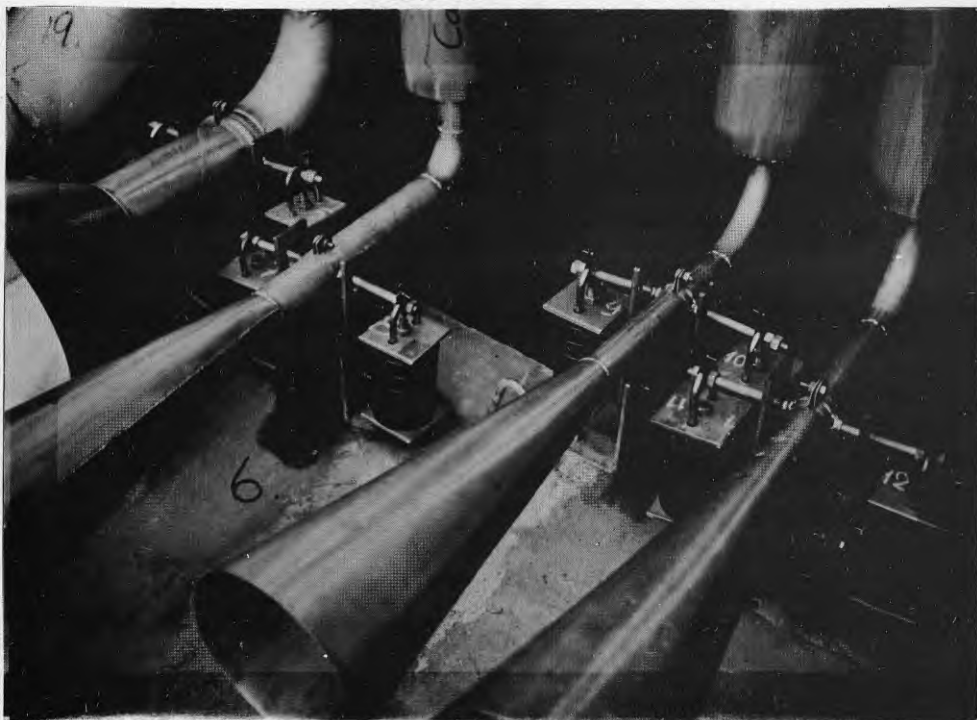


Figur 2.14 Kulvert och ledningar.



Figur 2.15 visar ledningskulvertar efter montage vid provtryckning. Fotot liggande.

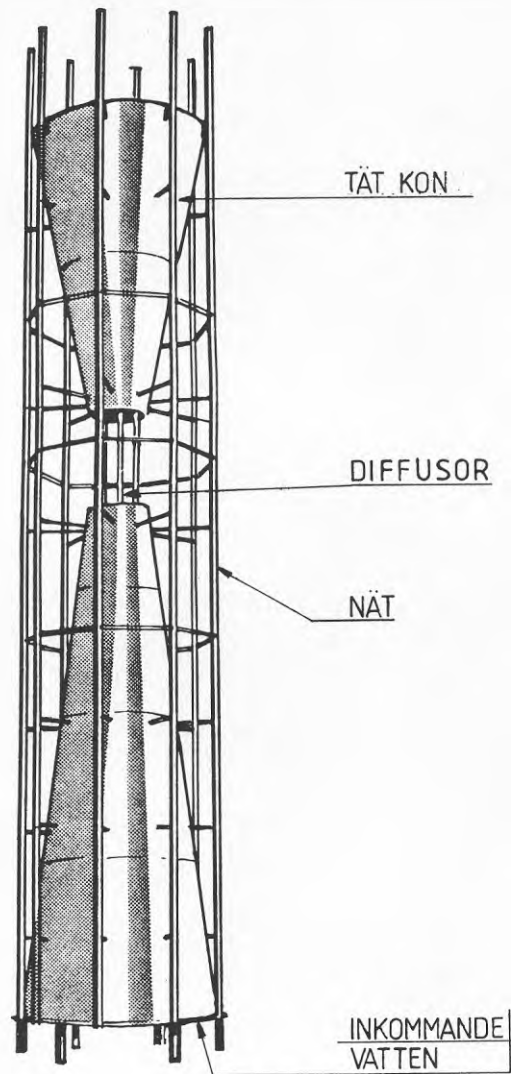
Vattnet leds till och från lagret direkt i ett kommunicerande system. För att erhålla en bättre temperaturskiktning i lagret installerades diffusorer vilka dämpar strömningshastigheten till lagret. Vid koncentrerad stråle störs temperaturskiktningen i vattnet.



Figur 2.16 Foto av diffusorer där även faststättningen med hänsyn till temperaturutvidgning framgår.

På ledningen från solfångarna finns en skiktfordelare vilken skall underlätta för det uppvärmda vattnet att med minsta störning lägga sig i rätt temperaturskikt.

In- och uttagsledningar för värme- och varmvatten är ej anslutna till skiktfordelaren.



SKIKTFÖRDELARE

Figur 2.17 visar skiktfördelaren för solfångarvatten.





Figur 2.18 Fotot visar skiktfördelaren och dess anslutningar till lagret. Vattenfyllning oktober 1979.

### 2.3 Radhusen

De 55 radhusen som sådana med sina energitekniska lösningar och energiproblem tillhör inte detta projekt och ingår därför inte i utvärderingen. Däremot kommer vissa problem som har anknytning till värmesystemets primärkrets att beröras liksom solfångarsystemen som är placerade på hustaken. Värmen är luftdistribuerad med fläktar. Normal luftsättning var beräknad till 0,5 per h. Genom en timer i varje radhus kan omsättningen ökas till 0,8 per h, men även stängas av till noll. Energi-behovet för värme, ventilation och varmvatten, som skulle täckas från lagret, var beräknat till 14 000 kWh/år och hushållsel till 4500 kWh/år, allt per radhus.

### 2.4 Lager

Lagret utgörs av en i berggrunden utsprängd bassäng med invändiga måtten  $D = 32,5 \text{ m}$ , djup 12,0 m. Fyllningshöjd 12,0 m motsvarar volymen 10 000 m<sup>3</sup>.

Väggarna är uppbyggda av injekterat tätat berg, cementbunden Leca 750-1000 mm, armerad och kramlad Leca-mur, 250 mm block, armerad puts, fibermatta och butylgummiduk. Ovanför bergytan är väggarna cementgjutna till drygt 1 m över marknivå.

Botten utgörs av en uppsprängd bergyta med komprimerad lös Leca 1,2 m, fiberduk, fin sand 50 mm, fiberduk och butylgummiduk.

Lock utgörs av en gummiduk, polyuretanisolering 0,40 m och plastduk.

### 2.5 Värme, varmvattenberedare och värmepumpar

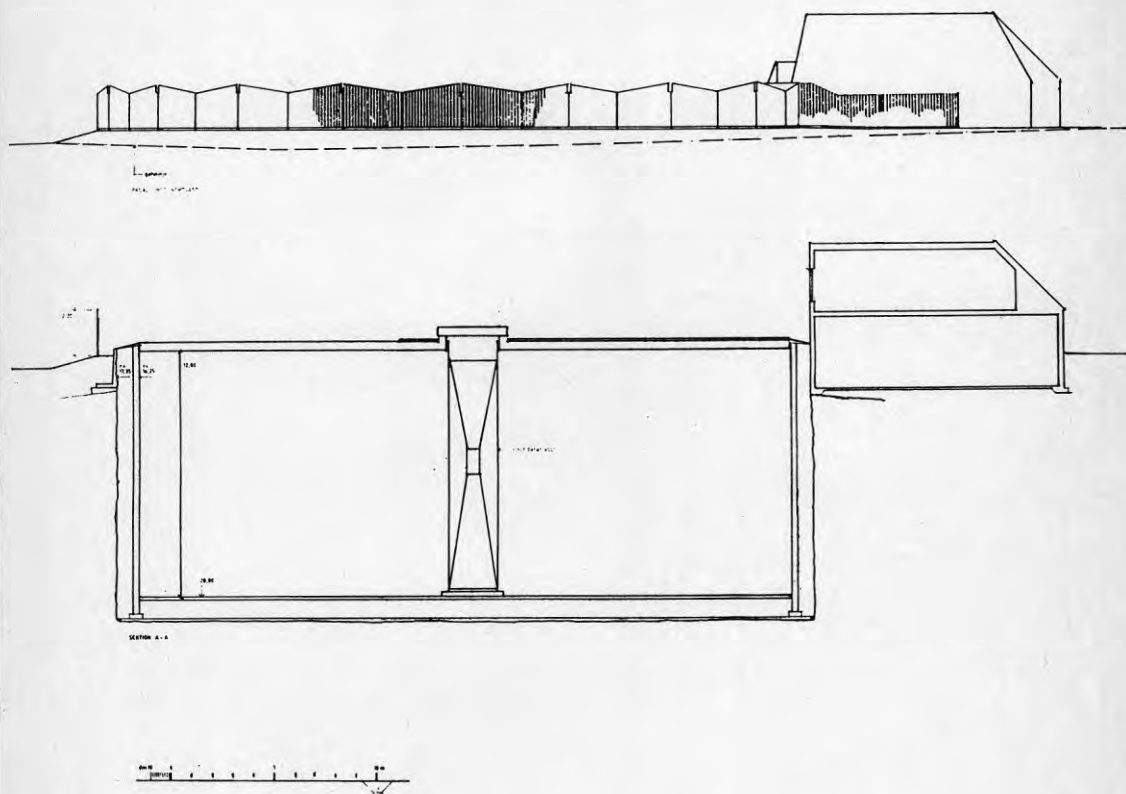
Värme för uppvärmning tas endera direkt ifrån lagret eller via en värmepump beroende på om temperaturen är tillräcklig eller ej.

Värme för varmvattenberedning tas direkt ifrån lagret eller via en värmepump beroende på om temperaturen är tillräcklig eller ej. En värmeackumulator,  $2 \times 16 \text{ m}^3$ , är ansluten för att ge värmepumpen jämnare gång. Värme- och varmvattenledningar går ej i samma kulvertar som solfångarledningarna.

Ett antal cirkulationspumpar av rödgods sköter mediadistributionen.

Kretsschema framgår av bilaga 4.

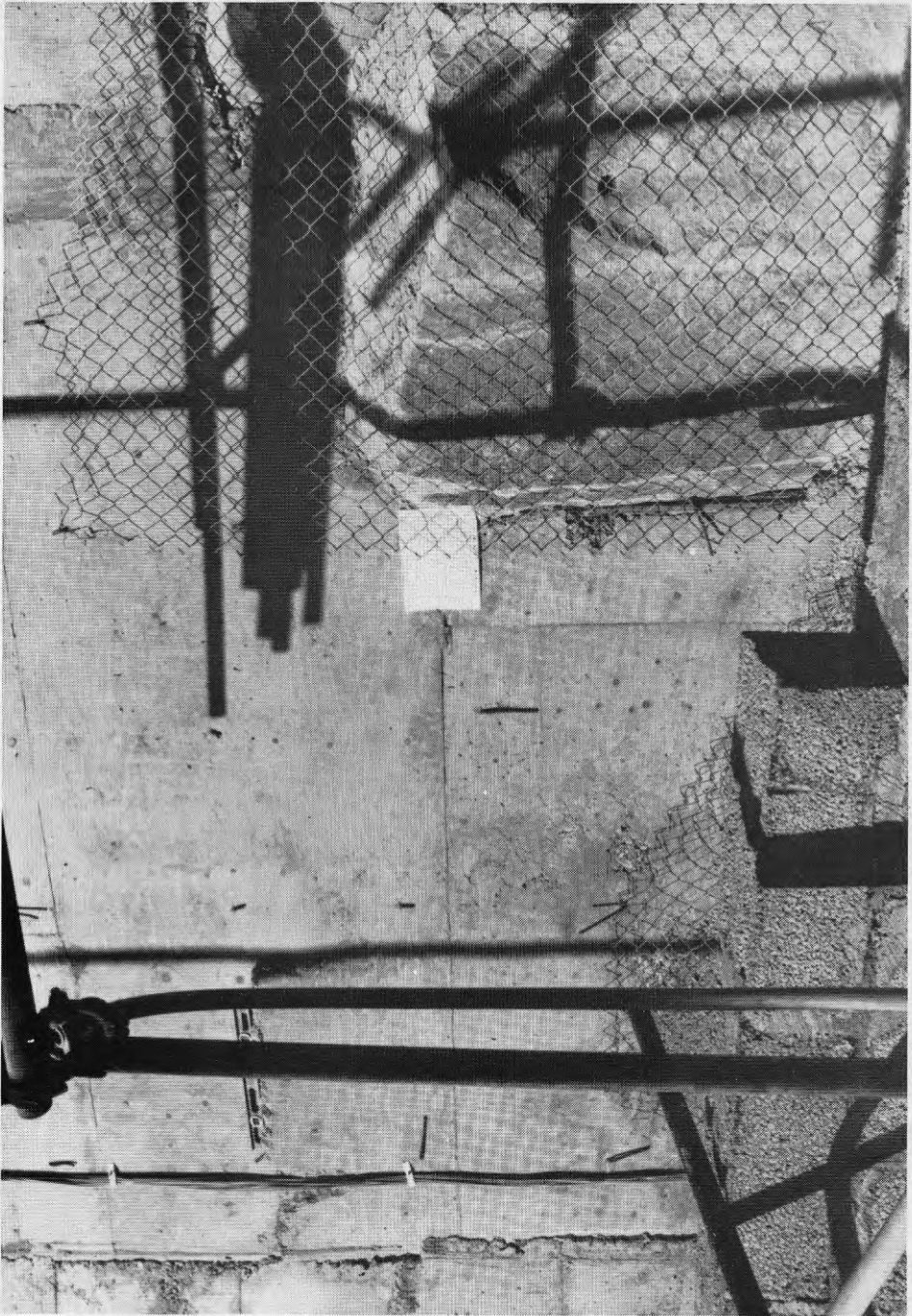
Som framgår senare i texten har anläggningen som den var utförd fram till i slutet av 1981 ej fungerat tillfredsställande. I kapitel 7, ombyggnader, beskrivs den nya anläggningen.



Figur 2.19 Lagerlock, vägg, stöd och botten ovan mark respektive sektion.



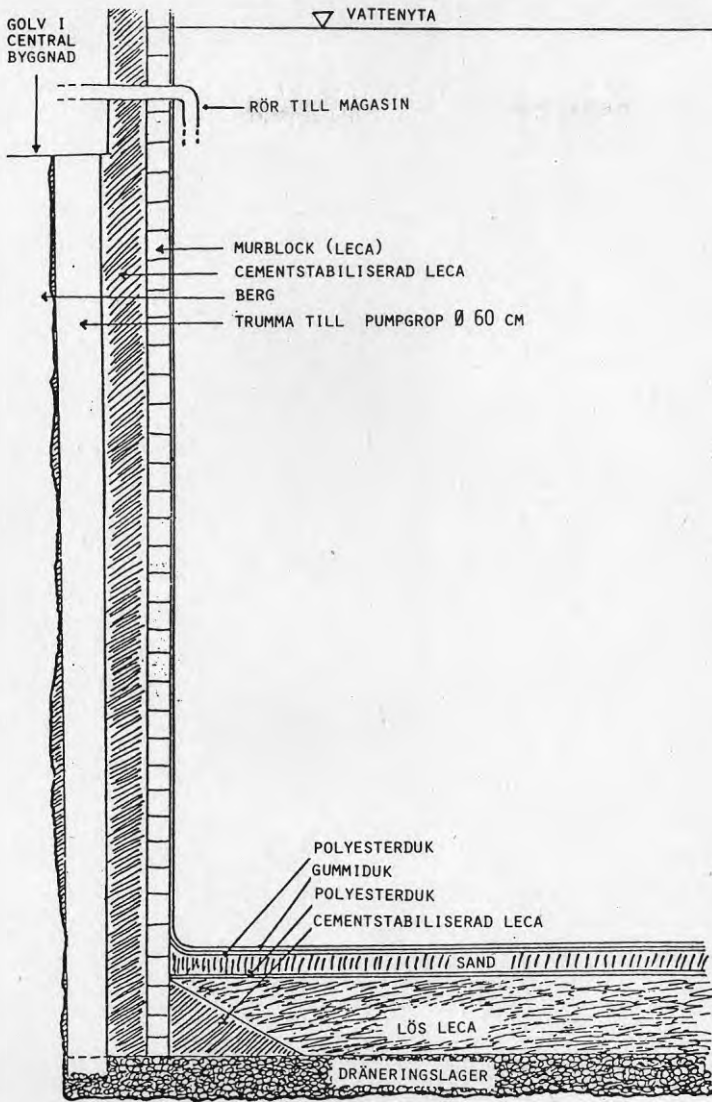
Figur 2.20 Bilden visar berget vid utschaktning för lager.



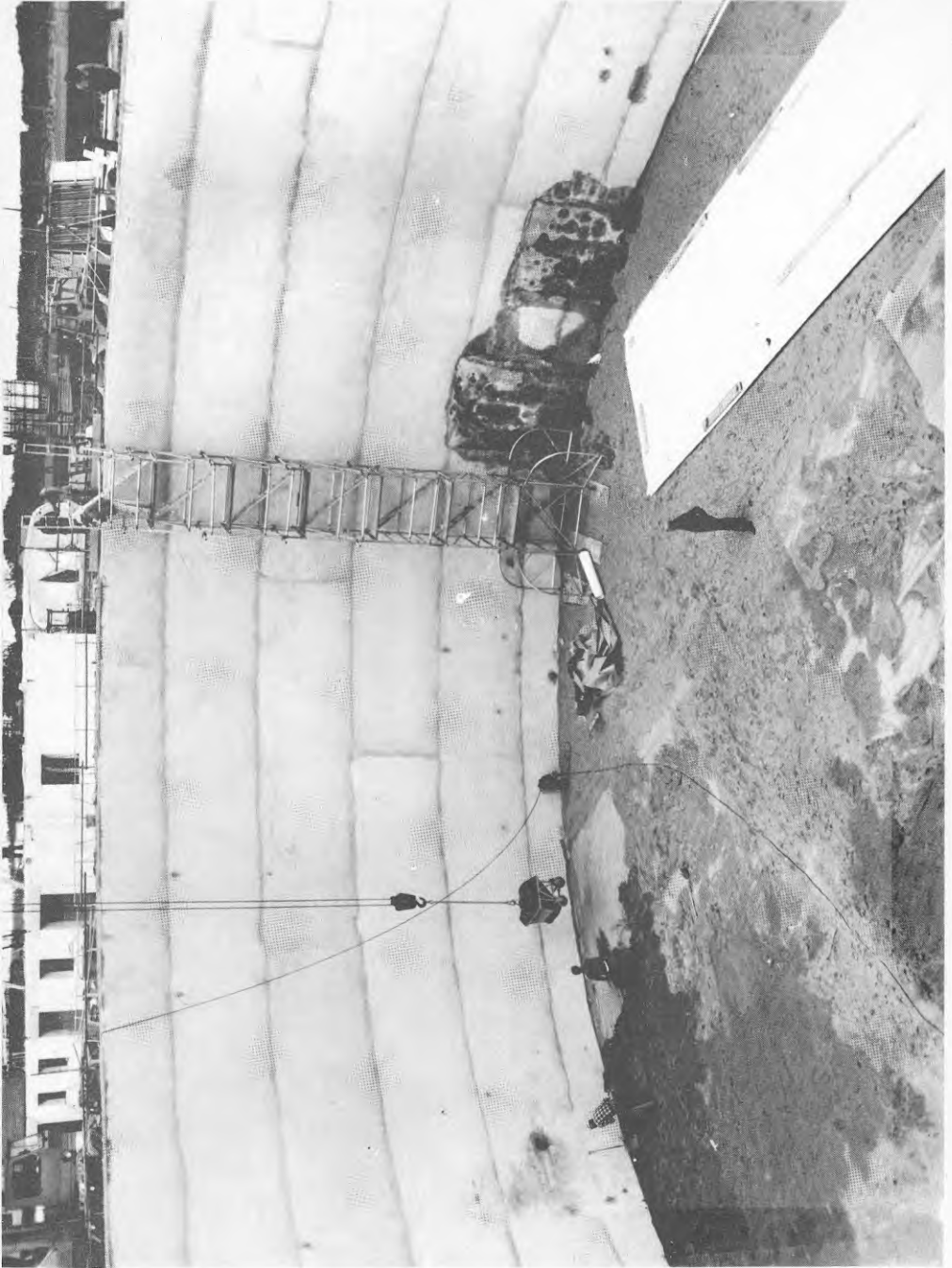
Figur 2.21 visar injekteringsslangar i berget, vilka delvis kvarlämnades för efterinjektering efter förläggning av lecaisolering. Fotot liggande.



Figur 2.22 Bilden visar utplacering av temperaturgivare i mark, vilka gjuts in i betong. Fotot ligger.



Figur 2.23 visar material i lagrets väggar och botten samt konstruktionen i hörn, sida och botten.



Figur 2.24 visar lagrets innervägg av Leca, efter putsning. Notera att grundvatten inläcker (det mörka putset i högra nedre delen). Fotot ligger.



## 2.6 Reservpanna

Oljepannan är avsedd att täcka energibehovet då det ordinarie energisystemet är ur drift och vid otillräcklig energinivå i lagret.

Pannan är på 730 kW och oljeeldad.

## 2.7 Värmededium

Vatten utan tillsatser användes och kommunicerande kretsar råder i:

- . Solvärmesystem och lager.
- . Primärkretsar för värme från lager till de enskilda radhusens vatten/luft-värmeväxlare.
- . Primärkretsar för varmvatten från lager till de två ackumulatörerna.

(Ombyggd anläggning se kapitel 7 och bilaga 10.)

## 2.8 Mät- och reglersystem

Studsvik Energiteknik AB engagerades i projektet hösten 1978 för att realisera och modifiera det förslag till mät- och regler-system som tidigare framtagits enligt kapitel 3.7 och bilaga 10. Vid Studsviks anläggningar pågick då redan ett projekt med likartad utformning för ett kontorshus om 500 m<sup>2</sup>, ett förprojekt till Lambohov.

För att ta till vara alla möjligheter att utnyttja samspelet mellan insamling av solenergi, säsongslagring av energi till värme- och varmvattensystem samt utnyttjande av värmepumpar valdes en systemutformning där mät- och reglersystemen integrerades i en gemensam minidator PDP 11/03.

Med denna systemlösning fick regleralgoritmerna tillgång till alla mätvärden (ca 220 variabler) och möjlighet fanns då att prova olika reglerfilosofier genom programändringar i datorn.

Efter forskningsprojektets slut planerades att den slutligt valda reglerfilosofien skulle realiseras i en mikrodator för att erhålla ett system med högre tillgänglighet och större servicebarhet.

### 2.8.1 Mätsystem

Målsättning med mätdatainsamling och utvärdering formulerades i delmål:

- . kartlägga energibalanser och verkningsgrader i anläggningen
- . insamla data för att verifiera beräkningsmodeller för energilagring och solvärmecentraler

- . kartlägga lagrets funktion
- . utvärdera olika reglerfilosofier med hänsyn till lagring, värmepumpar och solfångare.

Mätsystemet baserades på en minidator PDP 11/03 med skivminne, bildskärmsterminal och skrivare.

Processinterfacet utgjordes av en scanner och digitalvoltmeter för mätning av resistans och spänning. Se blockschema i Figur 2.25.

Mätningarna omfattade följande huvudgrupper:

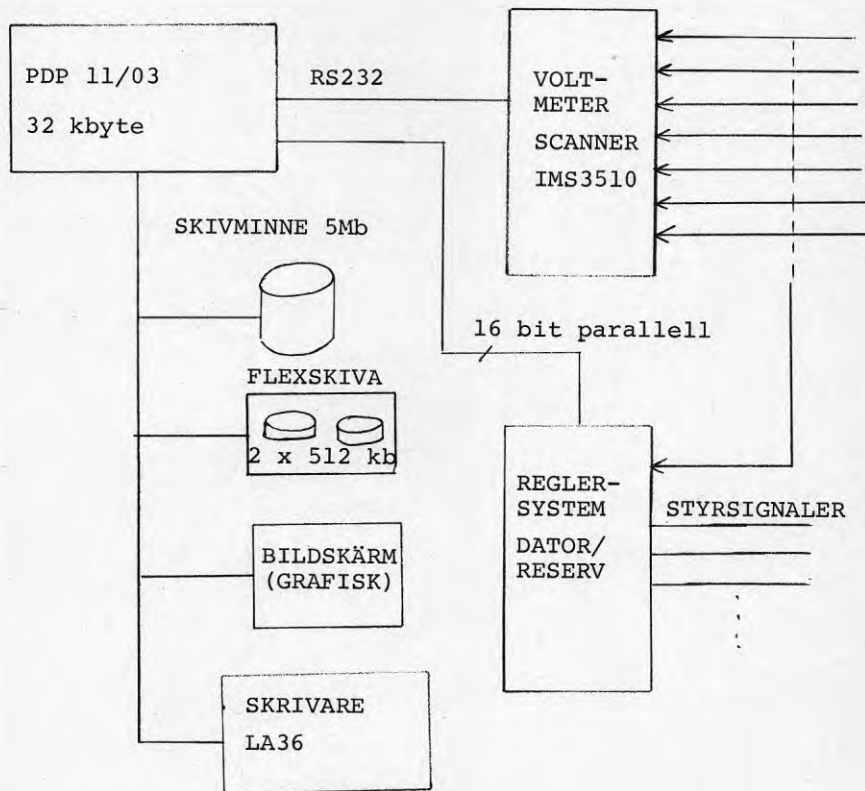
- . flödes- och temperaturmätning för beräkning av energi
- . lagerstemperaturer och nivå
- . marktemperaturer
- . elenergi för värmepumpar
- . driftindikering för cirkulationspumpar
- . klimatfaktorer (solinstrålning, utomhustemperatur, vind).

Följande givartyper användes:

Tabell 2.1 Givartyper

Mätstorhet	Givartyp	Noggrannhet
Temperatur	PT-100	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Flöde	Fluidistormätare	$\pm 4$ till $\pm 8\%$
Vindhastighet	Stålkorsanemometer	$\pm 2\%$
Solinstrålning	Solarimeter (Kipp o Zonen)	$\pm 2\%$
Elenergi	BBC elenergimätare	$\pm 0,5\%$

Jämfört med givarfelen kan felen i scanner och digitalvoltmeter försummas.



Figur 2.25 Mätssystem.

Temperaturgivarna i och kring marklagret placerades enligt Figur 2.26.

Den exakta fysiska placeringen framgår ur Bilaga 7.

I lagret monterades givarna på 0.5 m avstånd längs en "stege" av uppspänd wire från ett betongblock på botten av lagret.

Solarimetrar och vindgivare monterades på taket av centralbyggnaden.

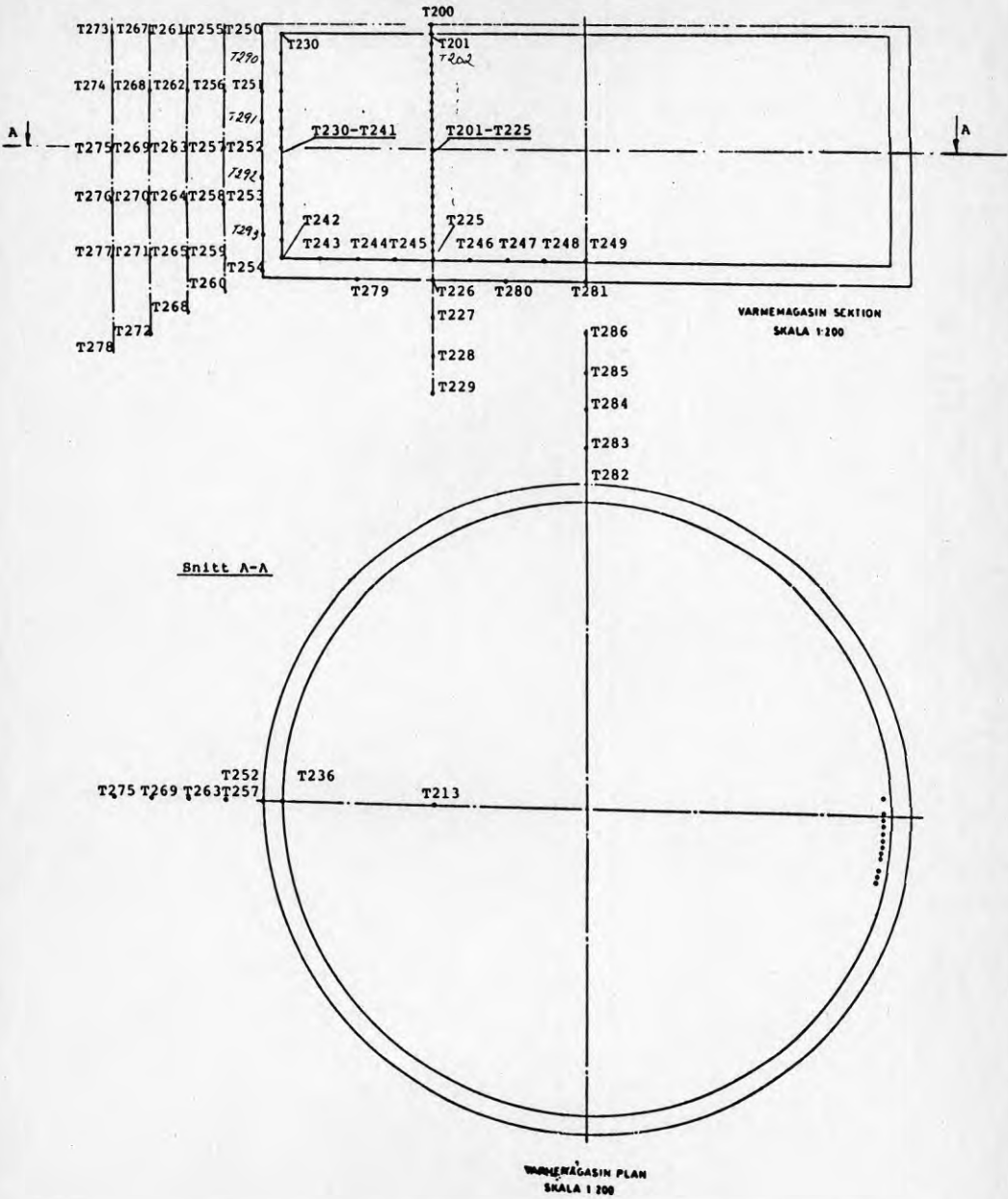
I centralens maskinrum placerades de flesta givare för kartläggning av energibalanser i systemet. Därutöver placerades flödesgivare för solfångare delsystem ute vid tre huslängor. Ett antal temperaturer mättes också på solfångarytor och utgående vattentemperatur från solfångare.

I Figur 2.27 visas placering av dessa givare. Avsikten var att mäta energi i följande tvärsnitt i anläggningen:

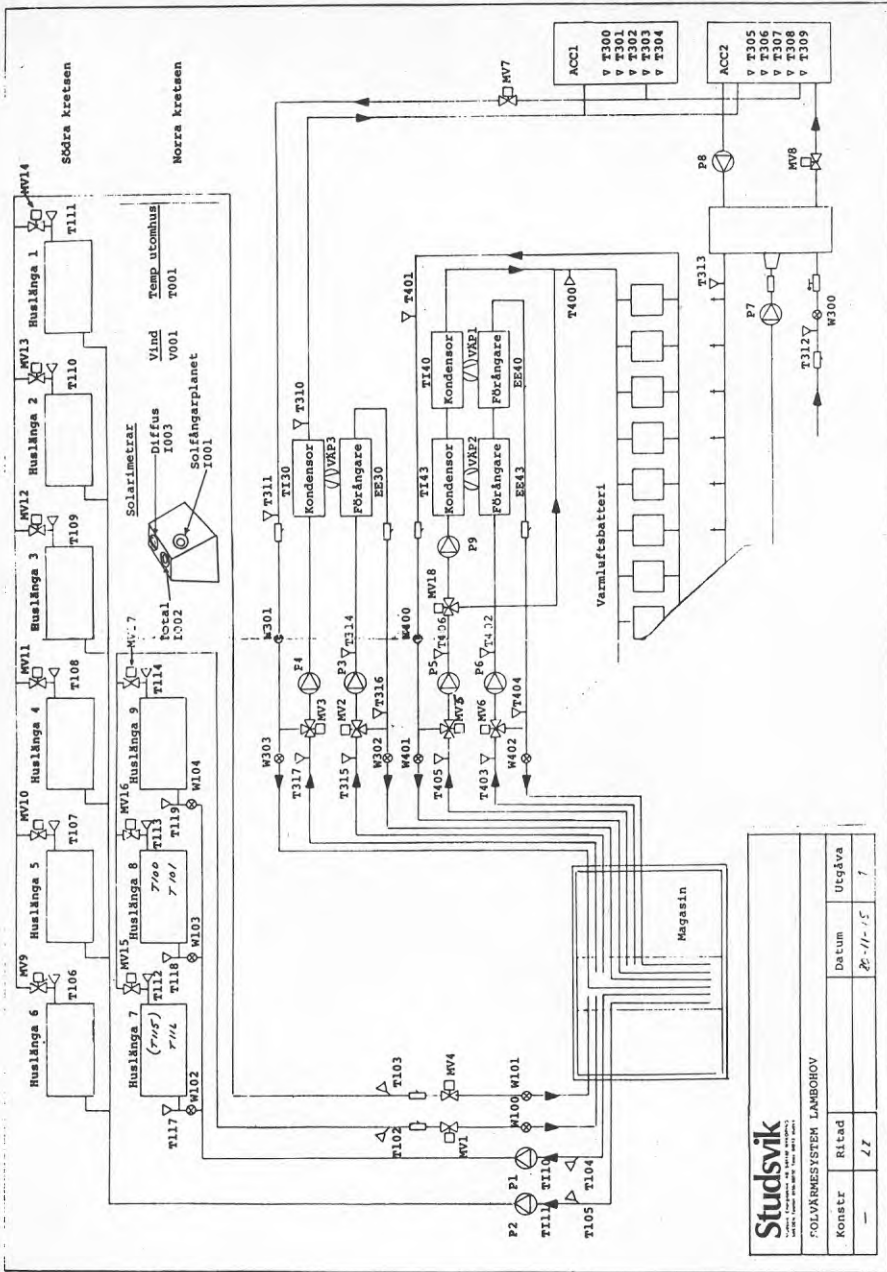
- . från solfångarkretsar (norra och södra) och tre delsystem i norra kretsen
- . från lager till kondensor i VÄP för varmvatten
- . från lager till förångare i VÄP för varmvatten
- . från lager till kondensor i VÄP för värme
- . från lager till förångare i VÄP för värme
- . från kondensorkrets i VÄP till varmlufts batterier i hus
- . levererad energi i form av varmvatten.

(VÄP = värmepump)

MÄTPUNKTER VÄRMEMAGASIN LAMBOHOV



Figur 2.26 Placering av givare i mark och lager.



Figur 2.27 Placering av givare.

<b>Studsvik</b> <small>Studsvik AB, Box 100, S-221 00, Malmö</small>			
FÖLJÄRMESYSTEM LAMBOROV			
Konstr	Ritad	Datum	Utgåva
—	LZ	87-11-15	1



### 2.8.2 Programvara

Programvaran utvecklades i Fortran med en specialdrivrutin för hantering av scannern, IMS 3510.

Programmet bestod av en initieringsdel, huvudprogram och operatörskommunikation.

Initieringsprogrammet läste in parametrar från två filer PARFnn och REGFnn. I dessa filer fanns all styrinformation, kalibrerkonstanter m m för behandling av mätsignaler respektive reglerparametrar för reglersystemet.

Huvudprogrammet startade ett mätsvep varje ½-minut då mätsignaler lästes av, beräknade variabler bearbetades med ögonblicksvärden som indata och timmedelvärden uppdaterades.

Varje hel timme lagrades timmedelvärden och energier på flexskiva för senare bearbetning vid STUDSVIK. Samtidigt sorterades data även variabelvis på en plotfil så att de senaste 8 dygnens data kunde presenteras grafiskt (tidsfunktion, rumsfunktion).

Operatörsfunktionerna omfattade utskrifter, tidsplottningar, rumsplottningar.

### 2.8.3 Databehandling

De lagrade timvärdena behandlades på Studsvikss datacentral. Eftersom flexskiveenhet saknades vid datacentralen fick inläsning och konvertering av data ske i ett Nord 100 system med direktanslutning till datacentralen.

På datacentralen sorterades alla data in i dygnsmatriser och lagrades som rådata på månadsfiler. Detta stora rådatamaterial finns nu tillgängligt för framtida utredningar.

Uppläggning av rådata beskrivs i bilaga 2.

### 2.8.4 Reglersystem

Ur reglerteknisk synvinkel kunde den centrala anläggningen uppdelas i fyra delsystem:

- . solfångare och lager
- . värmesystem fram till varmlufts batterier i hus
- . primärsystem för varmvatten med ackumulator
- . sekundärsystem för varmvatten.

I Figur 2.27 respektive 2.6 framgår det ursprungliga VVS-systemet för vilket reglersystemet utvecklades.



På grund av värmelagrets storlek kunde solfångarsystem, värme-system och varmvattensystem betraktas som dynamiskt oberoende.

Likaledes existerade endast en svag koppling mellan primär- och sekundärsystem för varmvatten.

Vid implementering av reglerfunktionerna valdes en kombination av datorreglering och reglering med konventionella regulatorer.

Datorregleringen gav från forskningssynpunkt stora möjligheter att prova olika reglerstrategier och att utnyttja alla de mätdata som fanns tillgängliga i datorsystemet.

Regleralgoritmerna för sol, värme och varmvatten exekverades i anslutning till varje mätsvep varvid nya styrsignaler utställdes.

För att öka systemets servicebarhet och tillgänglighet infördes ett reservreglersystem.

Omkoppling mellan datormode och reservmode kunde göras manuellt.

Vid bortfall av datorfunktionerna kopplades automatiskt reservmode in.

#### 2.8.5 Solreglersystem funktion

Systemets blockschema framgår av Figur 2.29.

#### 2.8.6 Datormode, solreglersystem

I datormode startades pumparna för vardera solkretsen om solinstrålning (I001) eller absorbatortemperatur (T100) översteg respektive referensvärde.

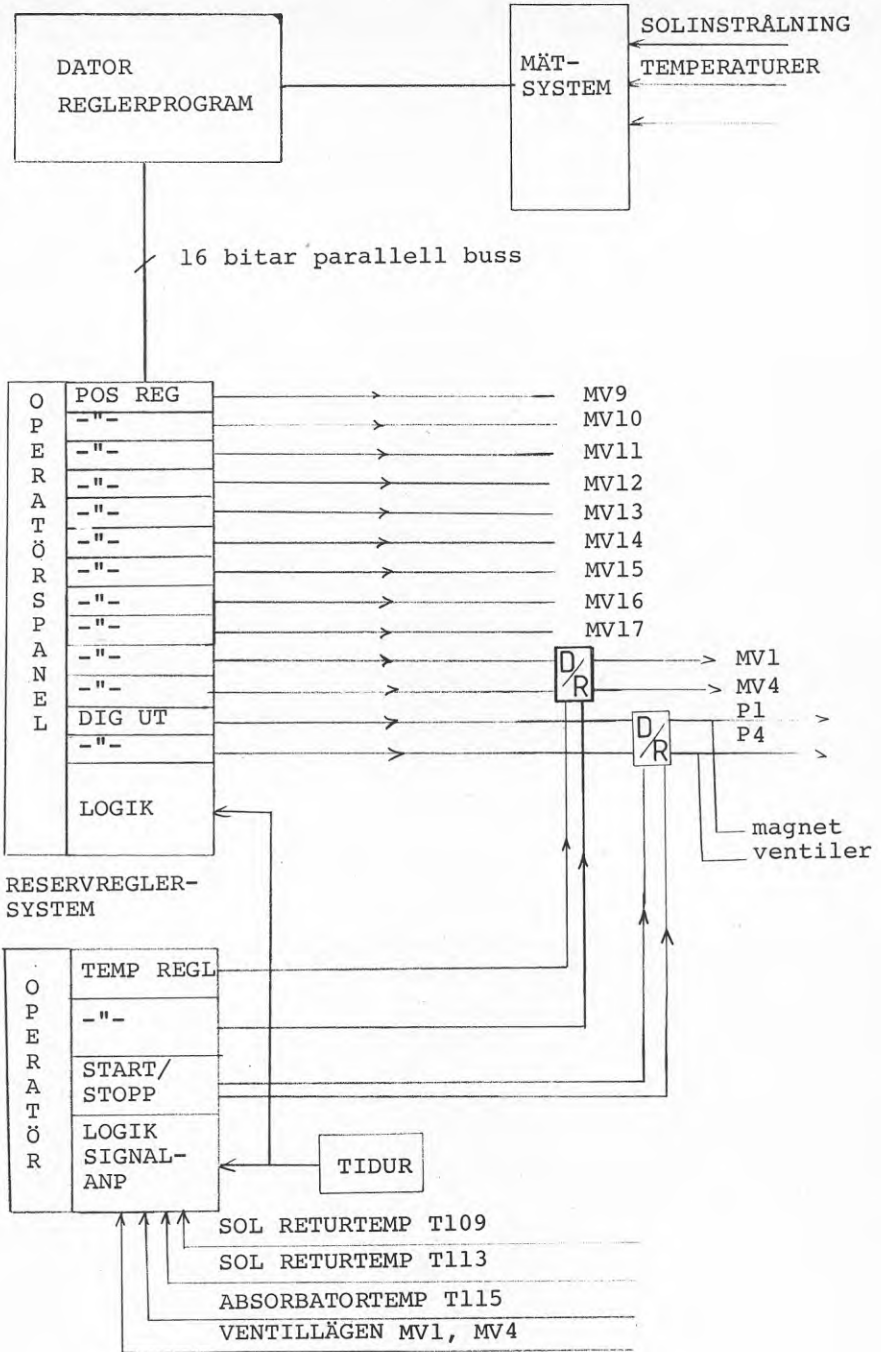
Via fördröjningsreläer stängdes magnetventiler för avluftning en valbar tid efter pumpstart från dränerat system.

Med motorventil MV1 respektive MV4 kunde returtemperaturen regleras och tre olika driftmoder väljas:

- 0 - maximal energiladdning
- 1 - laddning vid fix temperatur
- 2 - laddning med temperatur ett visst antal grader över magasinets toptemperatur.

Både för start och stopp gällde valbara fördröjningar. För att undvika ojämn fördelning i solfångarfältet kunde även returtemperaturen för varje huslänga individuellt regleras med motorventil MV9 - MV17.

Om returtemperaturen understeg framledningstemperaturen till solfångarna stoppades pumpen och dränering utfördes om frysrisk förelåg.



Figur 2.29 Solreglersystem.

### 2.8.7 Reservmode, solreglersystem

I reservmode begränsades funktionerna så att MV9 - 17 kunde manuellt positioneras och endast MV1 och MV4 användas för reglering av returtemperaturen i huvudkretsarna, med manuellt inställda börvärden.

Absorbatortemperaturen (T115) med manuellt inställt gränsvärde användes som start- och stoppvillkor.

Frysrisk förelåg om T115 understeg ett gränsvärde varvid systemet dränerades.

### 2.8.8 Värmesystem funktion

Värmeregleringssystemets uppgift var att upprätthålla en framledningstemperatur som beräknats på grundval av utetemperatur. I första hand skulle lagrets vatten direkt användas och senare successivt allt större tillskottsvärme tas från värmepumparna VÄP 1 och VÄP 2. Pumpen P5 gick alltid.

Se Figur 2.30.

### 2.8.9 Datormode, värmesystem

I datormode beräknades aktuell referens för framledningstemperatur ur utetemperatur (T001) och denna jämfördes med lagrets toptemperatur.

Om toptemperaturen var högre än referenstemperaturen var VÄP 1 och VÄP 2 avstängda och lagervattnet släpptes direkt ut till konsumenterna via MV18. Framledningstemperaturen T400 reglerades med MV5.

När lagrets toptemperatur var otillräcklig inkopplades successivt ett antal kompressor- och effektsteg i VÄP 1 och 2. Pumparna P6 och P9 startades.

Om returtemperaturen (T401) från konsumenter översteg lagrets botten temperatur så stängdes MV5 mot lagret och värmevatten cirkulerades endast genom VÄP 1 och VÄP 2 kondensorkretsar.

Med MV6 reglerades vattentemperaturen till förångarkretsarna till 30°C eller lägre beroende på lagertemperaturen.

In- och urkoppling av värmepumpsteg begränsades av fördröjningstider.

### 2.8.10 Reservmode, värmesystem

I reservmode realiserades reglerfunktionerna med en funktionsmodul, två regulatorer och en gränsvärdesenhet.

Med funktionsmodulen genererades ett börvärde för framledningstemperatur som funktion av utetemperatur T001.

Med en regulator reglerades T406 till börvärdet för framledningstemperatur.

Då lagrets topptemperatur var otillräcklig dvs då T400 under en viss tid understeg börvärdet för framledningstemperatur inkopplades successivt effektsteg i VÄP 1 och VÄP 2. MV5 var i detta fall fullt öppen mot lager (om  $T401 < T224$ ) eller, om returtemperaturen T401 översteg lagrets bottentemperatur T224, tvångsstyrdes via gränsvärdesenheten till stängt läge mot magasinet (som i datormode).

Om differensen mellan börvärde och ärvärde för framledningstemperatur (T400) översteg ett visst värde inkopplades med fördröjning de olika värmepumpstegen i VÄP 1 och 2.

Värmepumparna urkopplades stegvis på motsvarande sätt.

Då värmepumparna var i drift reglerades T402 med MV6 till ett manuellt inställt börvärde.

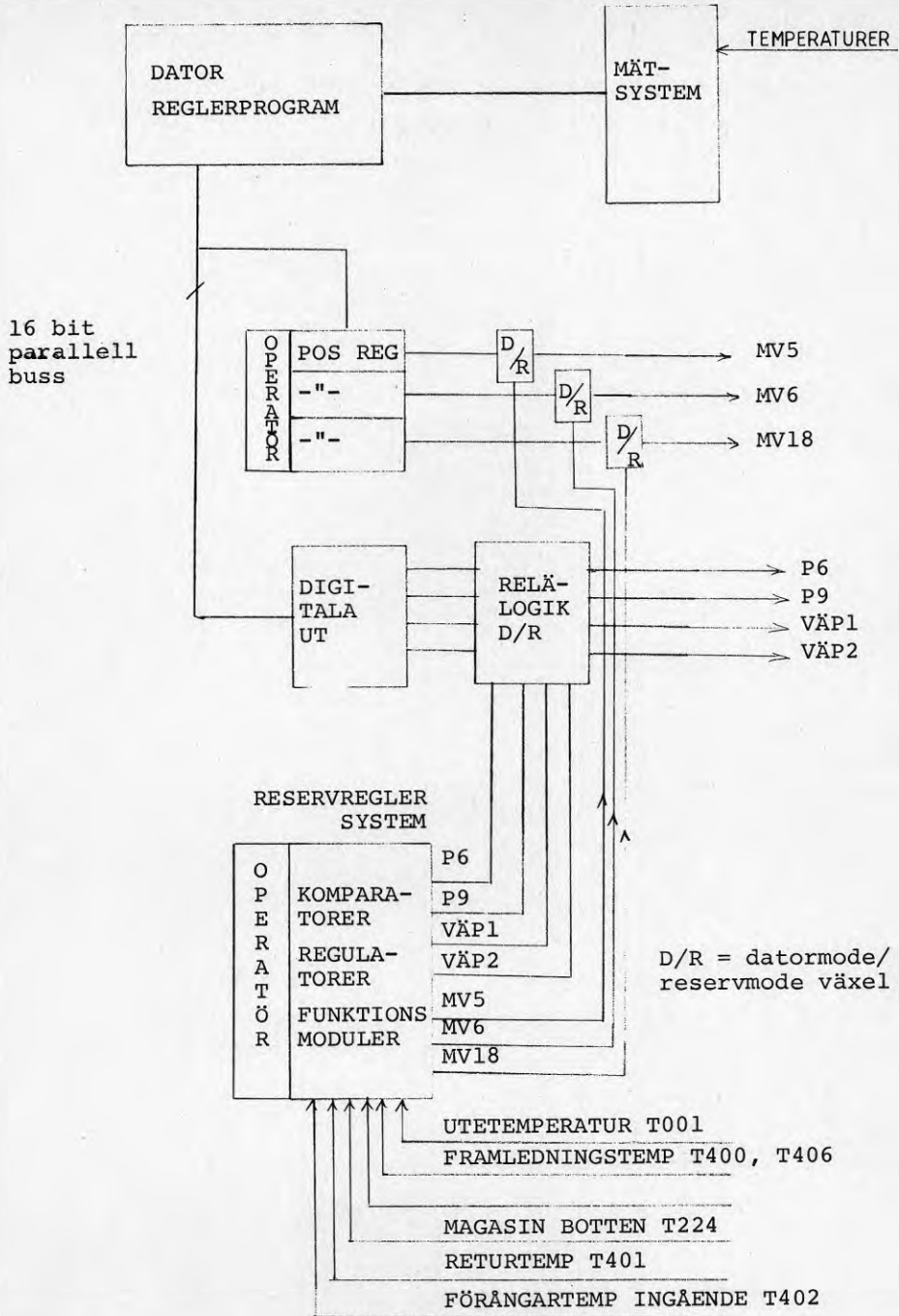
#### 2.8.11 Primärvarmvattensystem funktion

Primärvarmvattensystemet bestod av en värmepump och två hetvattenackumulatorer. Som för värmesystemet kunde vattnet i lagret användas direkt eller eftervärmas med VÄP 3.

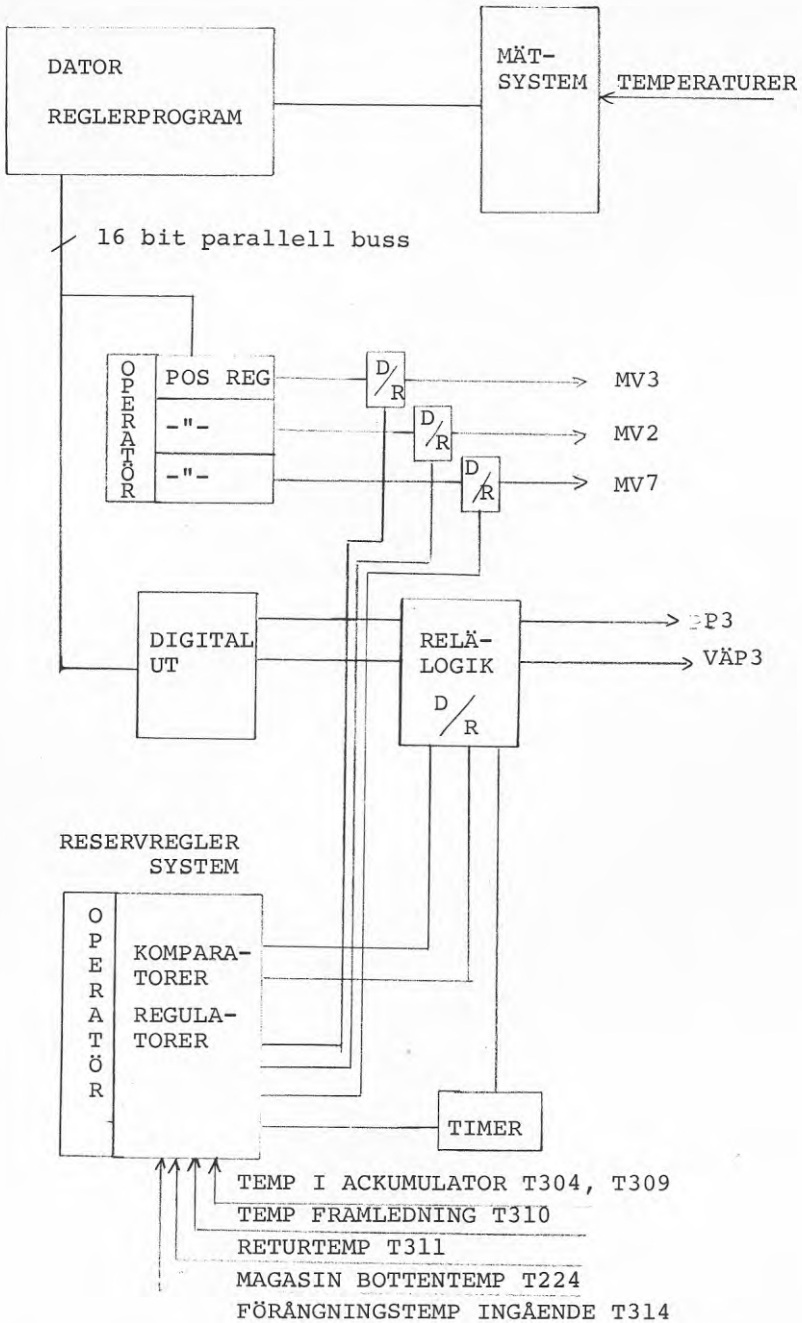
Pumpen P4 var i kontinuerlig drift även om laddning ej pågick (MV7 stängd).

Detta krävdes för att hålla systemet vattenfyllt då vissa delar var placerade över nivån i lagret.

Se Figur 2.31.



Figur 2.30 Värmeregler-system.



Figur 2.31 Primärvarmvattenreglersystem.

#### 2.8.12 Datormode, primärvarmvattensystem

I datormode startades laddning av primärvarmvattensystemet då temperaturen i någon av hetvattenackumulatorerna understeg ett referensvärde. Tidsmässigt blockerades laddning under dagtid samt vid återstart inom 1,5 timme.

Vid laddning öppnades MV7, MV3 och MV2. Laddningstemperaturen T310 reglerades till 60°C med MV3. Regulatorparametrarna valdes i första hand så att MV3 normalt stod i endera ändläget.

Då lagrets temperaturnivå var otillräcklig kopplades VÄP 3 in stegvis (med 10 minuters fördröjning).

Om returtemperaturen T311 översteg lagrets botten temperatur (T224) stängdes MV3 mot lagret för att förhindra återföring av varmt vatten till bottenskiktet.

#### 2.8.13 Reservmode, primärvarmvattensystem

I reservmode realiserades reglerfunktionerna med en gränsvärdesenhet, två regulatorer och relälogik.

Startvillkor för laddning var att temperaturen i någon hetvattenackumulator (T304, T309) understeg ett manuellt inställt gränsvärde samt att tidsvillkoret i timern var uppfyllt.

Laddningstemperaturen T310 reglerades med MV3 till 60°C.

Om returtemperaturen (T311) översteg lagrets botten temperatur (T224) stängdes MV3 mot lagret. I reservmode startades VÄP 3 alltid vid laddning på den effektnivå som förvalts av operatören.

Vid drift av VÄP 3 reglerades förångarkretsen med MV2 på samma sätt som i värmesystemet.

Laddningen stoppades på tidsvillkor eller då temperaturen i en ackumulator översteg ett referensvärde.

#### 2.8.14 Sekundärvarmvattensystem

Reglering av varmvattentemperatur till konsumenter skedde genom att en regulator styrde MV8 så att framledningstemperaturen (T313) hölls vid inställt börvärde. Pumpen P8 var i kontinuerlig drift.

### 3 PROJEKTERING, BYGGANDE

#### 3.1 Allmänt

Vad avser solfångare, lager, värmepumpar, värme- och tappvarmvattensystem, framgår projekterings- och byggfasen av beskrivningen i BFR projekt 780366-6 redovisat den 82-03-01. Valda delar ur nämnda rapport presenteras nedan

Projektgruppen bestod av:

Göte Törnebeck	projektansvarig
Jan Lilja	ekonomiskt ansvarig och projektledare
Bertil Dättermark	projektsamordnare
Bertil Ahlström	VVS-teknik
Jan Svensson	sol- och reglerteknik

När idéarbetet och projekteringen startade 1976-77 bedömde man att 50-100 lägenheter var ett tillräckligt underlag för att nå rimlig ekonomi och få tillförlitliga tekniska erfarenheter för en solvärmeanläggning i pilotskala. Erfarenheterna från Lambohovsprojektet visar att marknadsmässig ekonomi sannolikt kan erhållas på projekt större än 200-600 lägenheter, allt huvudsakligen beroende på val av lagringsteknik och solfångare samt markförhållanden och distributionsavstånd.

Linköpings kommun visade intresse för att ställa mark till förfogande för projektet. Till en början föreslogs mark inom Blästaområdet. Tanken var då att projektet skulle genomföras med AB Stångåstaden som byggherre och AB Östgöta-Byggen som projektör och producent. Marken beräknades där vara lämplig för gropmagasin, en konstruktion som då diskuterades och projekterades för Studsviksprojektet.

Av olika skäl avskrevs detta projekt och istället anvisades den mark i Lambohov där anläggningen nu ligger. AB Östgöta-Byggen kom att få hela ansvaret för såväl projektering, produktion samt försäljning av de 55 radhusen, som är anslutna till solvärmecentralen. Projektets ändrade placering fick följande konsekvenser:

- . de geologiska förutsättningarna förändrades
- . ett inom området beläget bergparti fick inrymma den bergdamm som idag är säsongslager
- . bergdammen blev väsentligt dyrare än beräknat för gropmagasin
- . projektet försenades ca 1 år.

Projektgruppen fastställde följande målsättningar:

- . att husen skulle utföras som statligt belånade 1½-plans radhus förlagda i östvästlig riktning

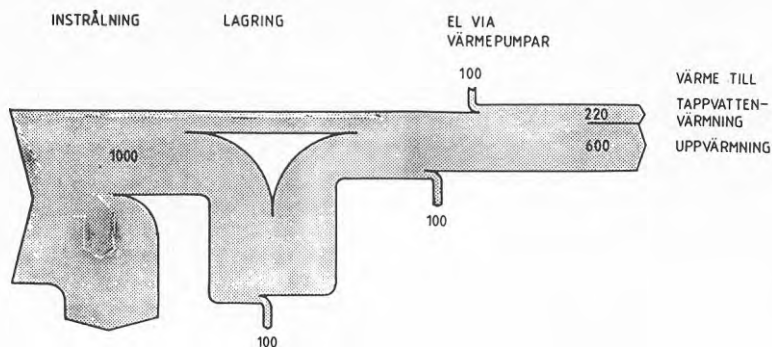


- . att solfångarna skulle förläggas på husens tak
- . att solenergi till 90% skulle svara för värme- och varmvattenförsörjning
- . att värmelagring skulle ske i en inom området centralt belägen vattenfylld bergdamm
- . att värmepumpar skulle användas för utnyttjande av energin i temperaturområdet under ca 40-50°C i lagret
- . att energiförlusterna vid värmeväxling och lagring skulle minimeras,
- . att i samarbete med svensk industri, utveckla en för vårt klimat lämpad ny solfångare,
- . att hålla en kostnadsram sådan att Statens Råd för Byggnadsforskning i sin helhet skulle kunna anvisa statliga medel för projektets genomförande,
- . att ett datorbaserat mät- och reglersystem av lämplig omfattning skulle ingå för utvärdering och reglering.

Projekteringen påbörjades på allvar i början av 1978. Från och med 1979 var följande konsulter anlitade:

arkitekt	Hans Åsberg Arkitektkontor AB
hus- och lagerkonstruktion	Ingenjörfirma Göran Sjöblom AB
geoteknik	VIK AB
elteknik	Östergötlands Elektriska AB
VVS-teknik	Bertil Ahlströms VVS-byrå
solfångarteknik	Sol-lab, Ingenjör Jan Svensson
mät- och reglerteknik	Studsvik Energiteknik AB.

Ett forskningsprojekt skapades avseende medicinska och beteendevetenskapliga synpunkter hos de boende i radhusen. Ansökan härom insändes till BFR.



Figur 3.1 Årlig energibalans för Lambohov.

Den projekterade energibalansen för anläggning visas i Figur 3.1.

### 3.2 Solfångarsystem

#### 3.2.1 Allmän FoU

4 års erfarenheter från provhuset i Hjulsbro samt Sol-labs (Jan Svensson) sedan 1972 pågående experimentverksamhet utgjorde underlag för FoU-arbetet.

Solfångarna skulle vara plana och om möjligt utformas integrerade med husens yttertak, vara av beständigt material, ha goda absorptions- och isoleringsegenskaper, om möjligt försedda med endast ett täckglas i lätt utbytbara delar samt totalt sett vara bättre än vad marknaden vid denna tidpunkt kunde erbjuda, allt inom rimlig kostnadsram. Kraven var uppenbarligen mycket höga i synnerhet som kunskapen om praktisk årsverkningsgrad för solfångare täckta med ett eller två glas då var mycket otillräcklig. Olika forskare hade olika uppfattning och tillräckliga praktiska prov saknades.

I denna del har utvecklingsarbetet vid mätstationen i Myra och sedermera uppföljning och utvärdering i Lambohov gett klarläggande och värdefulla resultat till en låg kostnad.

Solfångarna skulle ingå i ett system med värmelagret där vatten var värmebärare. Vid frysrisk skulle solfångarna dräneras. För att minska värmeförlusterna och öka solfångarnas verkningsgrad skulle distributionskretsarna vara kommunicerande med lagret.

### 3.2.2 Mätstation

Den praktiska delen av konstruktions- och mätarbetet med solfångarna startade våren 1977. Arbetet innebar uppbyggnad av mätstation, experimentell utvärdering och fullskaletest av den typ av solfångare som skulle utvecklas till att användas i Lambohovprojektet.

Arbetet bedrevs delvis i samarbete med Statens Provningsanstalt.

Mätstationen var belägen ca 10 km VNV från Linköping.

Vid en byggnad vars ena långsida riktats rakt söderut hade ett enkelt fundament uppförts där 4 st solfångarelement placerats med 55° lutning och fästs i byggnaden. Elementen var uppbyggda av i huvudsak 2 skikt där det undre utgjorde själva takkonstruktionen och det övre solfångarkonstruktionen. I de 3 första elementen var solfångare och takkonstruktionen integrerade. I element 4 var solfångaren separerad från takkonstruktionen.

Absorbatorn var i samtliga fall placerad direkt på den mineralullsmatta som utgjorde baksidesisoleringen av solfångaren. Solfångaren var täckt med ett 4 mm glas. Spalten mellan glas och absorbator hade valts till 30-35 mm. Glasens mått var 900 x 900 mm, direkt limmade på sidoprofiler av aluminium. Glasen var i längsled skarvade kant mot kant medelst en speciell limningsmetod. Elementen hade en längd av 6000 mm och en bredd av 900 mm.

Det värmebärande mediet var i samtliga försök vatten.

Mätutrustningen var uppbyggd omkring en mikrodator.

Ett speciellt datorprogram utvecklades av Sol-lab för temperaturmätning och reglering.

Vid temperaturmätning användes termoelement. Temperaturmätningen skedde 2 ggr/min.

Två solarimetrar användes. Solarimetrarna (Kipp & Zonen) var kalibrerade på platsen av personal från Statens Provningsanstalt i Borås. Temperaturmätningens noggrannhet antogs vara ca 0,3°C.

Flödet till varje solfångare mättes med två seriekopplade turbinvattenmätare (Brunata). Man angav från fabrikanten att onoggrannheten vid ett flöde av 5 l/min skulle vara <5%.

Ett stort antal turbiner måste kasseras då en onoggrannhet på upp till 10% uppmättes. Onoggrannheten efter sortering, som skedde efter kalibrering med mätglas, var ca 2%.

Olika metoder för start och stopp av "solpump" testades.

Tidskonstanten på solfångaren uppmättes vid nattkörning till 6 minuter.

En stor mängd data insamlades och lagrades. Utvärdering, sammanställning och massbearbetning skedde vid LiTH:s datacentral.

### 3.2.3 Konstruktionsval

Efter forsknings- och utvecklingsarbetena utfördes projekteringsarbetet av Sol-lab i samråd med Gränges Aluminium. Den tänkta integreringen solfångare - tak gick tyvärr ej att praktiskt genomföra. Ingående studier av de problem som en integrering skulle medfört: byggtoleranser, täthet, intäcknings- och tidsfaktorer, visade på stora problem.

Solfångaren konstruerades som ett helt takelement (se även kapitel 2) med yttre mått 0,90 x 6,04 m. Ramen är tillverkad av aluminiumprofiler. Isoleringens tjocklek har valts från önskemålet om optimal ekonomi. Gränges Aluminium och Sol-lab konstruerade absorbatoren.

Efter ingående studier och mätningar beslöts att solfångarna skulle täckas med endast ett glas. Utöver de avväganden som gjordes beträffande verkningsgradens förändring och ekonomisk optimering, var de tekniskt - praktiska förhållandena vid utbyte och reparation av glas den avgörande faktorn. Dubbla glas skulle innebära stora svårigheter vid reparationer. Isolerglas diskuterades och provades men föll av ekonomiska skäl.

Själva täckningsförfarandet var tänkt att ske med överlapp mellan glaset på traditionellt taktäckningssätt. Detta skulle dock starkt försvåra möjligheten med hela, långsgående, den vertikala skarven täckande, aluminiumlister. I stället föreslogs en teknik enligt Jan Svensson, 1974, vilken innebar att glaset skulle läggas dikt emot varandra och att skarven skulle utföras i silikon. Efter en särskild studieresa till tillverkaren Bayers i Tyskland föregående av prov och överväganden, valdes denna konstruktion. Varje glasskiva består av 4 mm tjockt glas av 100 cm längd. Vid skada kan utbyte ske genom att sidolisterna lossas, silikonskarvarna skärs upp, nytt glas insätts och ny silikonskarv utförs.

Hittills genomförda reparationer har visat metodens enkelhet och lämplighet. Med hänsyn till silikonets goda och stabila egenskaper, bl a mot UV-strålning, beräknas konstruktionen ha stor beständighet. Glaset är med hänsyn till absorptionsegenskaper valt med så låg järnhalt, som marknaden kunde erbjuda. Angivna aluminiumlister är specialsprutade hos SAPA i Vetlanda. Sammansättning av solfångarenheterna har utförts av Bahco Ventilation AB. Se Figur 3.2.

En beräkning av avluftningsfasens längd hade utförts på hus nr 5. Så som anläggningen var utförd klarade de avluftningsventiler som var inkopplade hela avluftningen på 35 minuter.

Solfångare och samlingsrör rymmer 755 l och varje flottöravledare klarade ca 10-12 l/min. Detta innebar att de dagar i februari-mars, då yttertemperaturen är under 0°C, kommer ingen energi att kunna insamlas om molnfrekvensen är större än 1 moln/35 min.

I praktiken betydde detta att under februari-mars minskade den insamlade energin till 30-40% av den beräknade. Detta resulterade i att flottöravledarnas kapacitet fördubblades.

Dessutom var det nödvändigt att komplettera reglersystemet med en magnet- eller backventil, placerad strax efter "solpumpen", som höll vattnet kvar i systemet vid tillfälligt pumpstopp. Detta därför att vid vacuum i systemet, som uppstår då "solpumpen" stannar, släpper flottöravledarna in luft och systemet dräneras automatiskt. 1981 monterades också en backventil i vardera solkretsen.

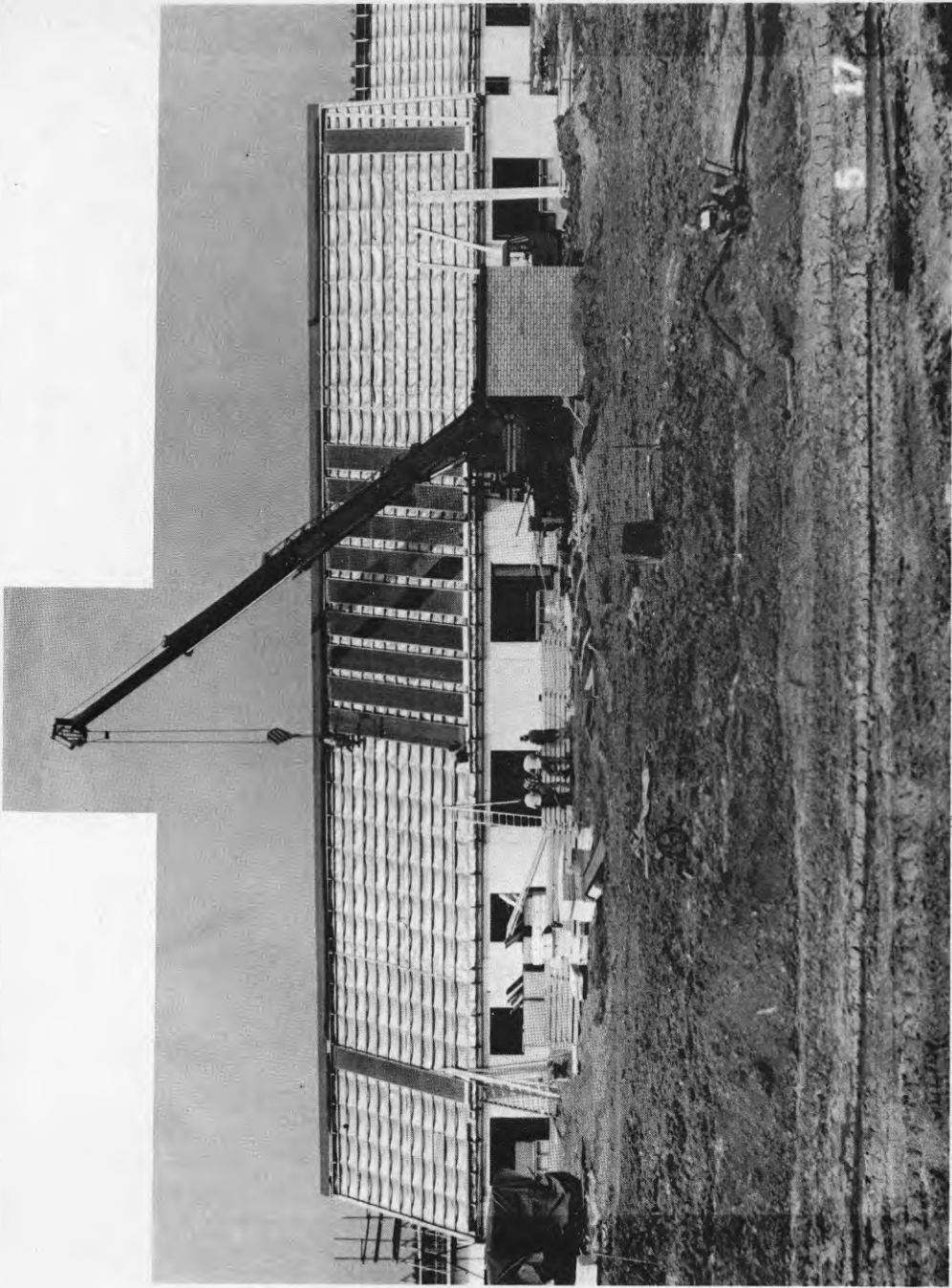
#### 3.2.4 Produktion och bygge

Solfångarna har sammansatts på fast pris av Bahco Ventilation AB. Absorbatorerna har till Bahco levererats färdiga för montage från Gränges Aluminium. Glaset har framställts och levererats av Emmaboda Glas AB. Vid ankomst till byggnadsplatsen provtrycktes alla solfångarna före montering. Montering skedde med kran och med hjälp av särskilt konstruerad elementvagg, se Figur 3.3. Montering skedde med stor precision och försiktighet. Elementen fixerades med långsgående skarvlistor. Takkonstruktionens täthet fullföljdes med speciella plåtbeslag såväl uppe vid taknock som vid takfot. Övre samlingsrör med luftklockor är åtkomliga från vindsutrymmet och det nedre från lägenheterna.

Ca 4 mm horisontellt avstånd hölls mellan solfångarna för expansion. Ingen övertäckning med presenningar erfordrades under montageperioden (se även bilaga 9). En mindre mängd byggdamm kom in via andningshål i några solfångare.



Figur 3.2. Fotot visar hur glasskivorna, 0,9 x 0,9 m, sammanfogade med silikongummi, lätt utbytes. Fotot liggande.



Figur 3.3. Fotot visar montering av solfångare på de första radhusen. Fotot liggande.



Figur 3.4 En solfångare tappades vid montage. Observera att krossat glas till största delen ligger kvar.

### 3.3 Lager

Värmelagret skulle kunna lagra de 55 radhusens hela årsbehov av energi för värme och varmvatten. Värmebärare skulle vara vatten i en värmeisolerad bassäng, nedsprängd i berggrunden.

Värmesystemet skulle i likhet med solfångarsystemet om möjligt anslutas direkt till lagret. Värmeförlusterna och solfångarnas verkningsgrad skulle genom detta systemval minimeras respektive förbättras.

Ett markområde anvisades för solanläggningen. Man hade av tekniska och estetiska skäl valt ett lager nedsänkt i mark. Terrängens utseende och tillgängliga markyta gjorde att man valde att arbeta med en i berget nedsprängd bassäng. Volymen skulle vara  $10\,000\text{ m}^3$ . 12 m djup var ekonomiskt optimalt varför diametern valdes till 32 m.



En första uppgift vid projekteringsarbetet var att utreda olika typer av isoleringsmaterial som skulle användas för värmeisolering. En målsättning vid val av isoleringsmaterial var att, eftersom man valt en nedsprängd bassäng, använda bergssidorna via isoleringen som lastupptagare av vattentrycket. På grund av bassängens djup ställdes höga krav på isoleringens förmåga att motstå motsvarande vattentryck. Tidigare erfarenheter vid prov med mineralullsisolering hade visat på vanskligheter vad gäller isoleringskomprimering, samt att det var svårt att uppnå en tillräckligt noggrann arbetsmetod. Olika typer av konstruktioner och isolermaterial undersöktes och man valde att efter 1978 utvärdera tre konstruktioner:

- 1 Sprutad polyuretan-isolering med tätskikt på sprutbetongstättat berg.
- 2 Lättklinker-murning med lättklinkerfyllning och tätskikt av gummiduk.
- 3 Prefabricerade betongelement med utvändig isolering.

Ett alternativ med träkonstruktion hade tidigare diskuterats.

Undersökning gjordes beträffande polyuretanisoleringens tryckupptagande förmåga vid gällande temperaturnivåer. Det visade sig att den ej på ett tillfredsställande sätt kunde bibehålla sin tryckupptagande förmåga under en längre tids belastning.

Vad gällde prefabbetongalternativet, där man hade svårigheter med att lösa konstruktion vägg-botten, visade det sig att den ej var konkurrenskraftig i kostnadshänseende. Eftersom man vid prefabbetongen valt att utföra konstruktionen som en "tunna" kunde man inte utnyttja bergsidorna som konstruktionsstöd.

Erfarenheterna från haveriet i Studsvik sommaren 1978 medförde att man för Lambohov inte ville använda någon konstruktion där vattentrycket låg direkt på isolering av mjuk typ.

Efter denna inledande utvärdering valde man från sommaren 1978 att närmare undersöka alternativ nr 2, lättklinkermurning och lättklinkerfyllning. Som "lock" på bassängen hade man redan tidigare valt att använda flytande block av polyuretanisolering.

Olika tekniska lösningar och provningar inleddes kring den beslutande konstruktionen.

Ett problem vid projekteringen var att lösa det rent arbetstekniska förloppet. En målsättning var att man skulle påbörja dagens arbeten med bakfyllning och komprimering av det man murat dagen innan. Murningen skulle då ha erhållit en sådan hållfasthet att den skulle tåla trycket från komprimeringen. Efter att ha utfört provmurning och fyllning visade det sig att murstödet efter relativt kort härdtid (12 tim vid ca +5<sup>o</sup>) klarade hårdhänt komprimering.

Beträffande komprimeringsarbetet kan nämnas att den 10% sjunkning som var målsättningen nåddes redan efter två överfarter. Den planerade arbetsgången visade sig i stort sett fungera i praktiken.

Ett annat problem var sprickorna i berget och svårigheter med bergstättning. Där skulle lättklinkerisoleringen närmast bergväggen fungera som dräneringsskikt till dräneringszonen i bassängens botten.

Eftersom lättklinkerfyllningen bakom de murade väggarna av arbetstekniska skäl måste vara cementbunden, ville man ha en rörlig-elastisk bottenkonstruktion på bassängen.

Man valde fyllnad med lös lättklinker som komprimerades i varv om 30 cm. På detta sätt erhöles botten som "inom sig" kunde uppta aktuella rörelser.

Innan de egentliga lättklinkerarbetena kunde påbörjas, skulle en stödmur från berg upp till och över färdig mark iordningställas. Ursprungsidéen var att använda prefabricerade stödmursegment. Efter friläggning av berget visade det sig att höjdvariationer och delvis blockigt berg innebar alltför många olägenheter, varför man övergick till en platsgjuten stödmur. Genom stödmuren och bergschakten hade man nu erhållit ett stöd för lättklinkermuren.

Väggen består av 250 mm murad vägg av lättklinker samt ca 750 - 1 000 mm bakfyllning med komprimerad cementbunden lättklinker i proportion 1:8. Medel  $k$ -värde för väggen är  $0,106 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  vid 6% fuktighet. Den cementbundna bakfyllningen komprimerades till 10% sjunkning. För den murade delen utfördes arbetena med B-bruk och murningsklass I. För beräkning av väggen har värden enligt nedan använts:

E-modul för den cementbundna lättklinkern är räknat med 2000 MPa.

Längdutvidgningskoefficient =  $7 \times 10^{-6}$ .

Tillåten tryckpåkänning för lättklinkerfyllning = 0,2 Pa enligt typgodkännande 2299-77.

Tillåten tryckpåkänning för murblock = 3,0 MPa.

Murblocken upptar genom trycköverföring mellan blocken de krafter som uppkommer på grund av temperaturutvidgningen. Genom den förhindrade temperaturutvidgningen uppstår en medeltryckpåkänning i murverket av 0,25 MPa. För att förhindra en okontrollerad sprickbildning vid temperatursänkning samt att erhålla samverkan kramlades murverket till bakomvarande lättklinkerfyllning. På grund av kramlingen och av vattentrycket förhindras på detta sätt att murverket förkortas. Detta ger då anledning till uppkomst av sprickor. För att fördela sprickorna i murverket och på detta sätt begränsa sprickvidderna erfordrades en armering av 2  $\emptyset$  10 ks 20 i var 3e fog. Den teoretiska sprickvidden blir då 0,15 mm/0,6 m.

För att ytterligare finfördela sprickvidderna föreskrevs en "elastisk" armerad puts. Putsen skulle utföras brädriven och bilda underlag för fiberduk (glidskikt) och tätduk.

Botten består av, nedifrån räknat, uppsprängd bergbotten som skall fungera som dräneringsskikt, däröver 1.200 mm varvvis löskomprimerad lättklinker, fiberduk, 50 mm fin sand samt fiberduk som underlag för tätduk.

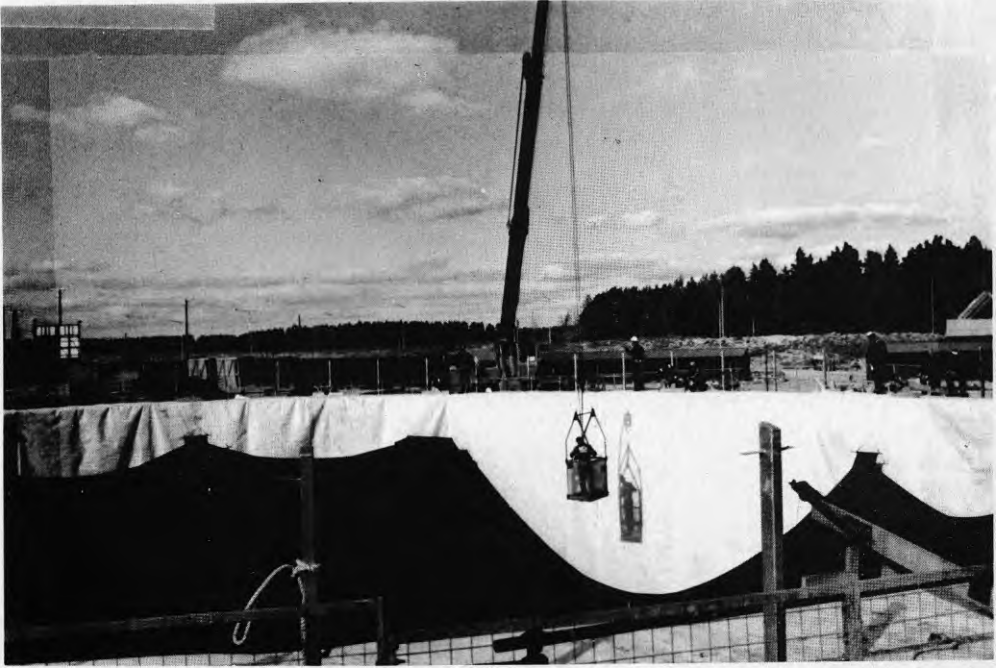
K-värde för botten =  $0,08 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Tätduken konstruerades som en enda stor förtillverkad påse av 1,5 mm butylgummiduk.

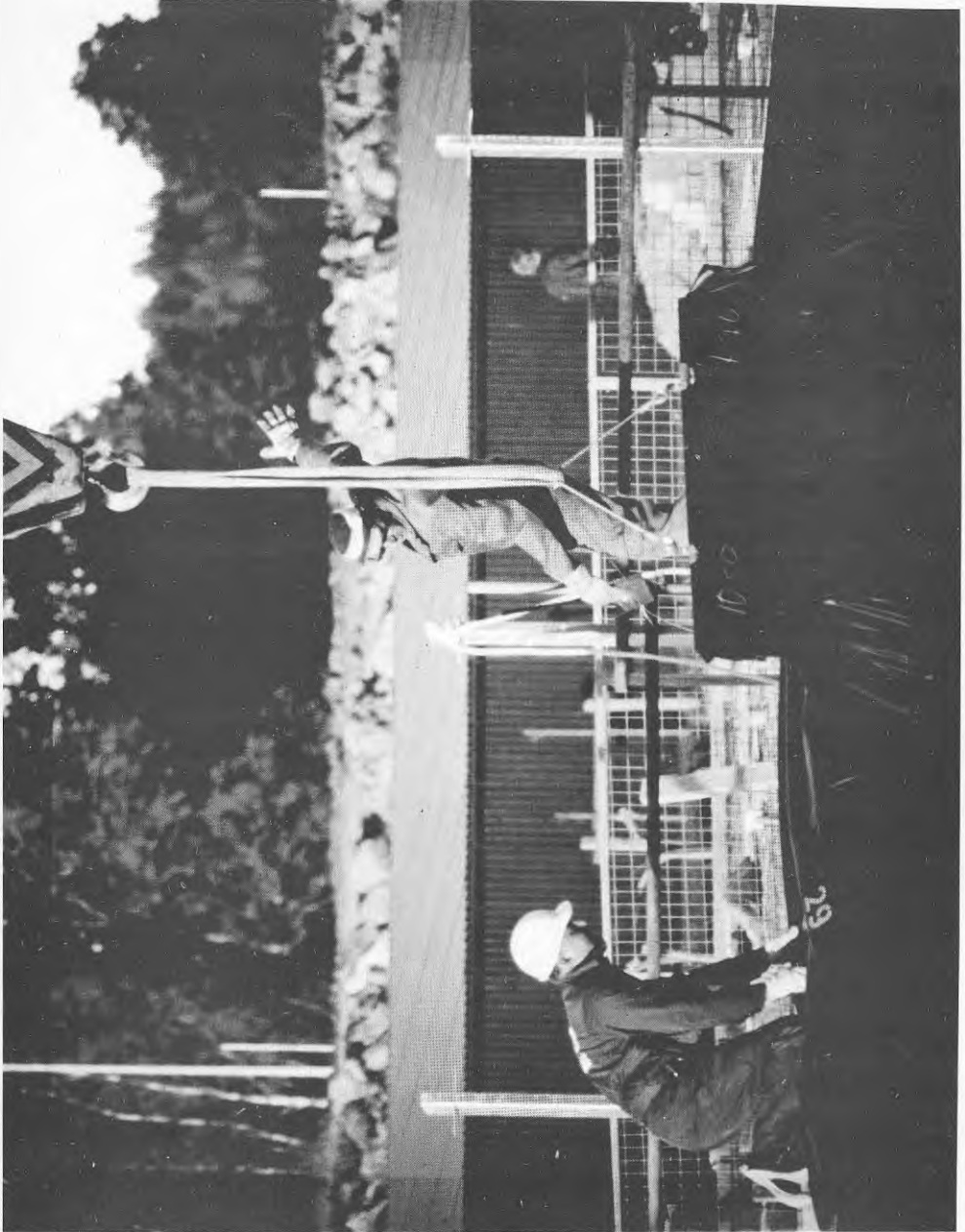
Locket är konstruerat att flyta på vattnet. Enda tekniskt-ekonomiskt tänkbara material visade sig vara polyuretanskum. Tjockleken valdes till 40 cm, som med hänsyn till värmeförluster och energipriser var optimal ekonomisk tjocklek. Locket utfördes i block på 200 x 200 cm med överlappskarvar. För att skydda blockets undersida för vatten föreskrevs en helsvetsad butylgummiduk närmast vattnet. Även på lockets översida föreslogs en helsvetsad plastduk avsedd att skydda blocken mot såväl regnvatten som yttre åverkan.



Figur 3.5 visar lagerväggens stödfundament. Obs! grundvatten.  
Fotot liggande.



Figur 3.6 Fotot visar hur butylgummiduken monterades. Ögonblicket efter att bilden togs föll duken. Ett begynnande brott syns till höger på fästskenan. Fotot liggande.



Figur 3.7 Fotot visar hur butylgummiduken monteras och fastgörs.

Tätningen utefter bassängens sidor vållade betydande tekniska problem. Flera idéer provades och diskuterades; kulor av polyuretanskum, långsgående uppblåsbara slangar m m. Slutligen valdes en konstruktion med enkel överlappning vid den övre butylgummiduken. Detta utfördes dock ej.

För att möjliggöra inspektion av bassängen och tillsyn av skikt-fördelaren konstruerades i lockets mitt en kantförsedd öppning, över vilken ett särskilt isolerat, på en polyuretankudde flytande, lock placerades. Särskilda anvisningar för rörgenomgångar av lock- och väggsidor gjordes.

Lättklinkerisoleringen närmast bergväggen avsågs genom sin dränerande förmåga medföra det eventuella grundvattenläckaget från bergväggen till dräneringszonen i gropens botten. Detta dräneringslager står sedan i förbindelse med en pumpgrop vid centralbyggnaden. Lättklinkerisoleringen som i sig är luftgenomsläpplig hade man tänkt att vid behov kunna ventilera. Ventilationen skulle då fungera genom ett skapat undertryck i pumpgropen och tilluftsventiler i bassängsockeln på motstående sida.

Efter omfattande grundundersökningar, med bl a djuphålsborrningar inklusive provpumpningar för fastställande av grundvattenflöde, utfördes jordschakten och berget frilades. Därefter utfördes bergschakten, som varierade mellan 5 och 12 m djup. Beroende på att grundvattenflödet var väsentligt kraftigare än beräknat och att sprängningsarbetena utfördes vintertid, kom dessa att bli mycket svårare och mer kostnads- och tidskrävande än beräknat. För att nedbringa grundvattenflödet till acceptabel nivå genomfördes omfattande injiceringar med cementbruk.

Uppttransporten av berget skedde med lastbil via en uppfartsramp i bergkonturens lägsta parti. Redan vid projekteringen togs hänsyn härtill. Hade sprängbotten förlagts lägre hade en betydande fördyring skett. Uppttransporten hade då fått lov att ske med kran.

Beroende på bergets opåräknat dåliga kvalitet blev bergrensningen, förstärkningsåtgärderna och de nödvändiga skyddsåtgärderna med nätinklädnad o d väsentligt mer omfattande och dyrare än beräknat.

I samband med att dessa arbeten gjordes genomfördes formsättningen för den stödmur, som upptill förhöjer och utjämnar bergkonturens nivåer. Efter armering, gjutning, formrivning och bottenutjämnning med kvarlämnad sprängsten, kunde det direkta uppbyggandet av dräneringsskikt, grundplattor och lättklinkermur igångsättas. Murningen utfördes med skiftvis uppmurning och bakfyllning dagen efter med cementbunden lättklinker. På så sätt fortgick arbetet successivt runt om och såväl bakfyllning som murnning fick tid till härdning och stabilisering innan nästa skift igångsattes. Såväl mur som bakfyllning blev av utmärkt kvalitet. Den valda arbetstekniken kan oförbehållsamt rekommenderas.

Den utjämnade putsen utfördes i två påslag; cementgrundning plus SIKA-blandat brädrivet putsbruk. På så sätt erhöles ett sekundärt tätskikt avsett att, vid eventuell läckage på butylgummiduken och eller inflöde av grundvatten, utgöra en god spärr för läckande vatten.

Butylgummiduken tillverkades färdigsvetsad i form av en ca 5 ton tung påse och uppsattes genom MCOs, Göteborg, försorg. Påsen monterades med hjälp av 12 st lyftanordningar mot det på väggarna uppsatta glidskiktet av fiberduk. Arbetet var det största som gjorts med denna, från mindre pooler och brunnar välkända teknik. I allt väsentligt lyckades arbetet dock väl, men uppenbart är att tätheten i svetsfogarna är oerhört svår att kontrollera. Under montaget föll duken ned vid ett tillfälle. Erfarenheten från detta projekt visar att konstruktionen med butylgummiduk bör utredas vidare i denna stora skala. Att montaget lyckades så väl var i sig en god teknisk prestation från MCOs sida.

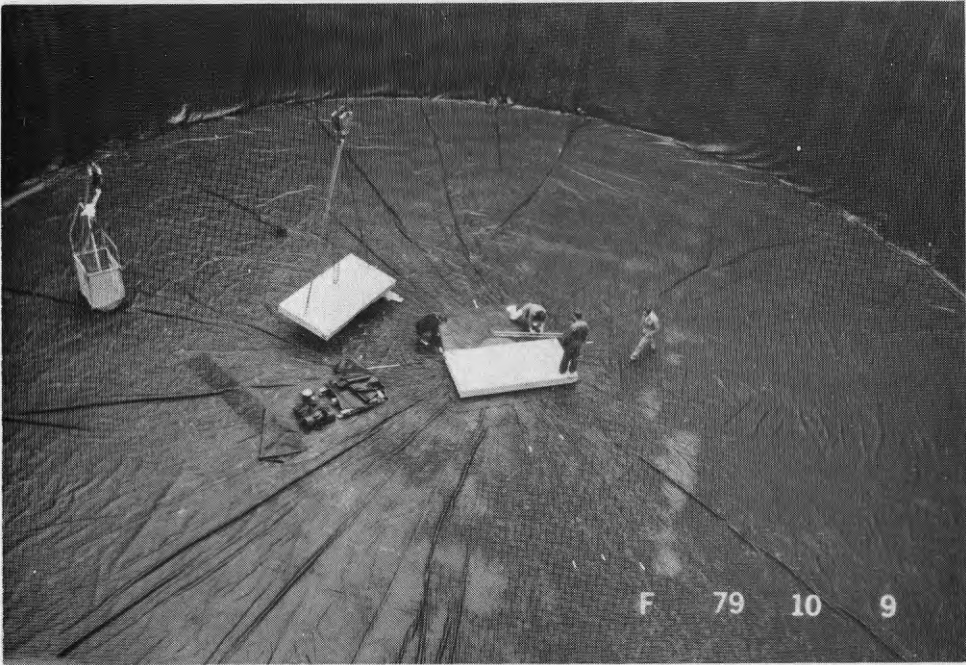
Så snart duken slätats, sträckts och förankrats utefter sidorna, togs hål för rören från centralanläggningen. På bottenduken placerades stödplattor såväl för rörkonstruktionen som för den centralt placerade skiktfördelaren, se Figur 3.8. Dessa plattor utfördes prefabricerade i betong och ställdes med kran på duken. Därefter monterades rörkonstruktionen och skiktfördelaren varefter förnyad inspektion av duken gjordes innan vattenfyllning skedde. Denna vattenvolym på ca 10 000 m<sup>3</sup> togs från kommunens ordinarie vattennät och tog ca 14 dagar att fylla.

Med hjälp av två kranar rullades den vattentäckande helsvetsade butylgummiduken för locket ut. Efter sträckning och fastsättning placerades isolerblocken i ett skarvförskjutande mönster, se Figur 3.12. Varje block består av två 20 cm tjocka skivor som sidförskjutits så att de i skarven överlappar varandra på alla sidor. Därigenom erhöles en väl samverkande, flytande konstruktion. Utläggningen av blocken gick snabbt; 2 dagar inklusive helsvetsad plast, som anslöts till den centrala kvadratiske öppningen, där inspektion av skiktfördelaren m m skulle kunna utföras, se Figur 3.10. Över öppningen tillverkades ett isolerat lock, som för att inte tynga ner öppningens omgivande isolerblock, försetts med ett speciellt lyftblock som placerats på locket undersida.

Betydande täthetsproblem med locket båda dukar har noterats. I denna eller större skala synes konstruktionen ej vara lämplig upprepa. Polyuretanmaterialet har sannolikt tagit viss skada av att under juli - november flyta direkt i vatten av 50 - 60° temperatur. Läckaget i tätdukarna har, trots intensiv felsökning och lagning, varit betydande. Länspumpningar har erfordrats vid flera tillfällen. Sannolikt har även locket isolerförmåga reducerats, så att det ej motsvarar de teoretiskt beräknade värdena.

Runt lagrets yttersida har ett staket monterats, så att barn och andra obehöriga ej kan komma upp på bassängens lock.





Figur 3.8 Betongfundament för rör och skiktfördelare monteras.



Figur 3.9 Livbåten användes vid montage av tätduk på lagret i Lambohov.



Figur 3.10 Dykarinspektion i lagret, mars 1980.



Figur 3.11 Mätgivarstege monteras för lagerlocket.



Figur 3.12 Utplacering av isolerblock på lagret. Blocken läggs direkt på butylgummiduken. Observera de omlottliggande kanterna.

Centralbyggnaden förlades direkt intill lagret. Problem uppstod under montaget av fiberduken mot väggen på grund av vind. Den gick sönder. Det var dessutom praktiskt omöjligt att utföra visuell täthetskontroll efter montage.

Den kalkylerade kostnaden var 3.370 kkr. På grund av ökade injicerings- och sprängningskostnader samt svårigheter med grundvatten och opåräknade skyddsåtgärder steg dessa kostnader med 1.571 kkr. Den totala slutkostnaden blev alltså 4.941 kkr vilket motsvarar 494 kr per m<sup>3</sup> vattenvolym.

Genom ambitionen att hela tiden hålla den värmeisolerande lättklinkern torr och opåverkad av grundvatteninströmning, har kostnaden blivit väsentligt högre än eljest. Eventuellt är denna ambitionsnivå ej ekonomiskt motiverad. Isoleringskravet kan kanske minskas, t ex att man låter grundvattnet inta sin naturliga nivå.

Se vidare diskussioner i kapitel 6.

### 3.4 Skiktfordelare och diffusor

I ett magasin med stor höjd i förhållande till ytan önskar man utnyttja temperaturskiktning så mycket som möjligt. Detta gäller både vid laddning och urladdning.

Avsikten var från början att mata in och ta ut vatten i lagrets sida, men då det visade sig att Sol-lab sedan två år hade studerat tekniken och patentsökt en skiktfördelare valde man att använda sig av denna teknik att få den utvärderad i full skala.

Diffusorns uppgift är att vid inflöde fördela vatten till respektive temperaturskikt. Detta innebar att när hastigt inströmmande vatten passerar diffusorn nedbringas hastigheten och flödet fördelas i två steg över en stor yta. Därefter kommer det inströmmande vattnet med hjälp av den i skiktfördelaren skapade strömningsbilden att nå sin egen temperaturnivå (densitetsnivå).

Konstruktionen av skiktfördelaren var tänkt att få sin största betydelse vid s k temperaturladdning av lagret som skulle ske under månaderna augusti-september när temperaturdifferensen klart översteg  $10^{\circ}$  mellan ut- och inströmmande vatten från respektive till solfångarna. Man var då tvungen att flödesreglera i solfångarkretsarna för att åstadkomma detta villkor. Avsikten med temperaturladdning var att kunna använda lagervattnet under en längre period utan värmepumpsdrift. Under andra perioder av solsäsongen skulle skiktfördelaren endast ge kortsiktiga fördelar för solfångarkretsarna därför att turbulensen i lagret förstörde ändå den långsiktiga skiktningen.

Introduktionen av denna skiktfördelare betraktades dock som ett viktigt separat forskningsprojekt, som inte hade någon större betydelse för energibalansen i Lambohov. Det var dock ett unikt tillfälle att få prova i full skala.

Skiktfördelaren prefabricerades i ett stycke av Calor & Celsius AB. "Strumpan" av polyester som är reglerbar i höjdled kan vid igensättning enkelt tas upp och rengöras eller utbytas. Montering, lodning och slutlig fixering har skett, som vid traditionell pelarmontering. Fortsatt utvärdering får avgöra skiktfördelarens betydelse och effektivitet i detta och andra projekt.

Totala kostnaden blev 225 kkr inklusive transport och montering med kranar.

### 3.5 Värmepumpar, värme- och tappvarmvattensystem

För att kunna utnyttja den energi som lagret innehåller i temperaturområdet under ca  $+50^{\circ}$  var värmepumpar ett nödvändigt komplement. För den storlek och typ av värmepumpar som var aktuella valdes STAL Refrigeration AB som leverantör.

Med hänsyn till tekniskt möjliga lagringstemperaturer, max  $70^{\circ}$  beroende på butylgummiduken, valdes lågtemperatursystem i konsumentkretsarna, ett system med varmlufts-batterier i varje radhus och varmluftskanaler i eller under bjälklag. Luftburna värmesystem förutsätter dock ett särskilt noggrant byggande så att husen blir täta.

Tappvarmvattensystemet byggdes konventionellt kompletterat med en till värmepumpen kopplad ackumuleringstank.

### 3.6 Distributionssystem

Markytan i området hade från början lutning från lagret. Denna ändrades genom att jordmassor flyttades. Man fick på så sätt fall mot lagret varigenom kulvertarna kunde dras centralt. Solfångarkretsarna kunde därigenom dräneras vid frysrisk.

### 3.7 Regler- och mätsystem

Sol-lab och Bertil Ahlström utformade regler- och mätsystem och var ansvariga härför fram till 1979 då erfarenheterna och ansvaret för dessa system överfördes på Studsvik Energiteknik AB. Se Sol-labs utredning om reglersystem, Bilaga 10.

## 4 DRIFTERFARENHETER

### 4.1 Allmänt

Följande kapitel behandlar drifterfarenheter från anläggningsdelarna vid uppstartning och drift under 1980 - 1981.

De dominerande problemen uppstod genom:

- . luft i systemen och därmed sammanhängande felfunktion hos komponenter och korrosionsproblem
- . organisk tillväxt och därmed sammanhängande igensättningsproblem

Drifterfarenheterna låg senare till grund för de ombyggnader som genomfördes och beskrivs i kapitel 7.

Drifterfarenheterna för respektive delsystem behandlas nedan.

### 4.2 Solfångarna

Verkningsgrader nära de uppmätta prestanda vid Statens Provningsanstalt har noterats vid olika tillfällen. Dessa resultat presenteras närmare i kapitel 6.

Balansering av flödet i solfångarfältet kunde på grund av tekniska svårigheter ej utföras under 1980 - 1981.

Olika metodik för undersökning av temperaturfördelningen i fältet diskuterades. VIAK utförde en mätning med värmekamera, som dock visade sig markera andra ytors temperaturer än absorbatorns.

Den använda fogmassan av silikongummi ger fogen en elektrostatisk attraktionsförmåga vilken ger en svag tendens till dammansamling på fogens ovsida.

Silikongummit har visat sig ha goda åldringsegenskaper.

På glasets undersida erhöles första året avsättningar som härrörde från gasavdrivning från silikonmassan. Denna gick dock att vädra bort.

Byggdamm vållade inga stora problem. Damm trängde in i solfångarna i speciellt två huslängor under byggfasen beroende på de i början stora luftningshål i solfångarna (för att evakuera gaser från härdning av silikongummifogarna).

För att hindra försmutsning, delvis i form av ättiksyrautfällning från tätningsgummi, och kraftig kondensbildning försågs solfångarna från början med ett antal ventilationshål. Gavel upptill försågs med tre hål om vardera 20 mm diameter och nedtill med fem hål med diametern 15 mm. Efter en tid iaktogs ändå viss kondensbildning. För att undersöka om ventilationen var för stor eller för liten gjordes följande försök:

Fyra grupper om sex solfångare valdes. Gruppvis pluggades hål igen på så sätt att man fick en grupp med ett hål öppet upptill och helt proppat nedtill, en grupp med två öppna hål upptill och tillpluggat nedtill o s v. Grupperna fotograferades vid två tidpunkter, kl 07.30 och 18.00, var dag i ca 10 dagars tid.

Man fann att en grupp där överdelen var helt täppt och ett hål fanns i underdelen visade obetydlig kondensbeläggning under dagtid. Se även Bilaga 8.

(I det av Sol-lab upprättade forskningsprogrammet för solenergi-problem 1981 ingick bl a en kondensstudie. Denna återges i Bilaga 8. Här visas också ett foto av kondens i solfångarna under hösten 1979.)

Vid avställning för vintern krävdes noggrann dränering av solkretsarna för att hindra frysning även i lokala fickor.

Vid uppstart på våren krävdes en täthetskontroll på radhuslägenheternas vindar vilken således måste ske i samverkan med husägarna.

Frysning av anslutningsrör till solfångare inträffade på grund av ouppmärksamhet på 2 respektive 4 solfångare våren 1980 respektive våren 1981 i samband med provtryckning.

Skuggning från träd och hustak är liten men torde ändå sänka möjlig energiinsamling med någon procent.



Figur 4.1 Kondens kan skönjas som ljusare partier under glaset i några solfångare.

#### 4.3 Distributionsledningar

Från ledningar till solfångare i husen har förekommit buller. Se kap 4.11. Detta avhjälpes efter injustering av flöden. Variationer i returtemperaturer indikerade flödesvariationer i solfångarna.

Temperaturen efter solfångare före och efter kulvert tyder vid jämförelse på små värmeförluster.

#### 4.4 Lager

Isoleringen, dvs Leca-kulorna, kräver för fullgod isolerförmåga att fukthalten hålls låg. Bergväggen runt lagret antogs dels kondensera ut fukt ur luften på den kallare ytan och dels förväntades att grundvatten kontinuerligt skulle inläcka. Man monterade därför en dräneringspump i gropen under lagret. Läckaget och kondensationen bestämdes till ca 38 m<sup>3</sup>/dygn. Dräneringspumpen stannade tidvis och i juli 1981 vattenfylldes på grund därav delar av isoleringen med försämrad isolerförmåga som följd. Pumpstoppen berodde på kalkavsättning i pumpen. Se kapitel 6.

Uppskattad bortförd energi genom dräneringspumpning vid ett tillfälle i juli 1981:

Grundvattentemperatur utanför lagret	8 <sup>o</sup> C	
Grundvattentemperatur som uppumpas	18 <sup>o</sup> C	
Pumpflöde 38 m <sup>3</sup> /dygn eller	0,44	kg/s
Detta ger ett värmefflöde av	18,4	kW

Analys av värmefflöden se kapitel 6.

I delrapport 7 från VIAK "Värmeförlustberäkning i gropmagasinet", 1981, har detta teoretiskt analyserats. Man fann att förlusterna var ungefär lika stora med sänkt som med normal grundvattennivå. Se vidare kapitel 6.

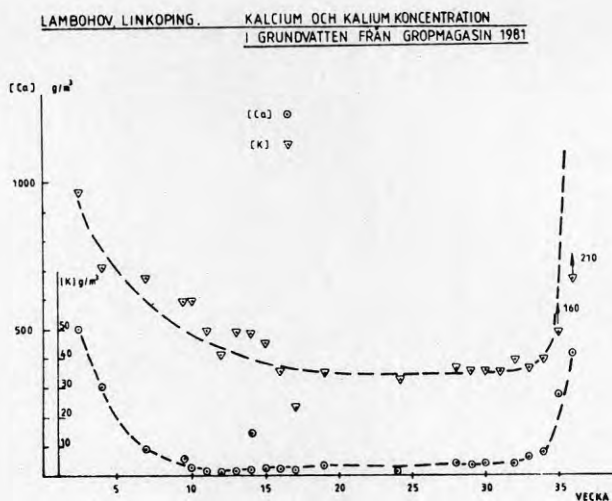
Emellertid torde de faktiska förlusterna vara mellan 75-100 kW, dvs >3 gånger de teoretiskt beräknade vid projektets planering.

Vattenanalys visade att "grundvattnet" vid ett tillfälle hade en temperatur på +21<sup>o</sup>C och ett pH 11,8. De möjliga källorna för betongkorrosion ansågs kunna vara injiceringsområdet i berget eller lagrets konstruktions- och fyllnadsmaterial.



Konsekvenserna av korrosionen bedömdes kunna bli allvarliga genom ökat grundvattenflöde respektive försvagad lagerkonstruktion.

Figur 4.2 visar hur kalciumhalt och kaliumhalt varierar under en provtagningsperiod. Dessa båda parametrar indikerar en kraftig betongkorrosion i början av året. Fallande under våren, särskilt låg under försommaren och kraftigt ökande från mitten av augusti.



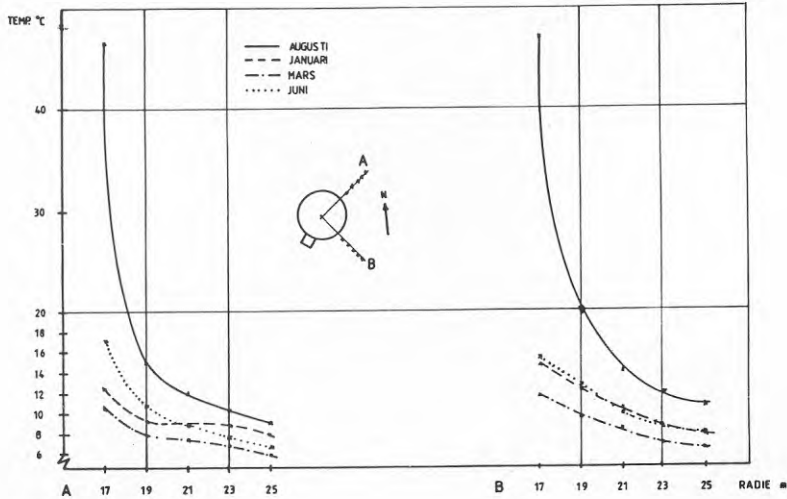
Figur 4.2 antyder att betongkorrosionen kan vara temperaturberoende.

Sedan augusti 1981 har grundvattnet tillåtit in ta sin naturliga nivå (vattenfylld Lecaisolering).

Läckage från lager ut till isolerskiktet har ej kunnat bekräftas men periodvis har volymändringar på  $1 \text{ m}^3/\text{dygn}$  konstaterats. Läckage ut från systemet kan tänkas ske genom hål i tätduken, diffusion i tätduken eller genom läckor i distributionsnätet.

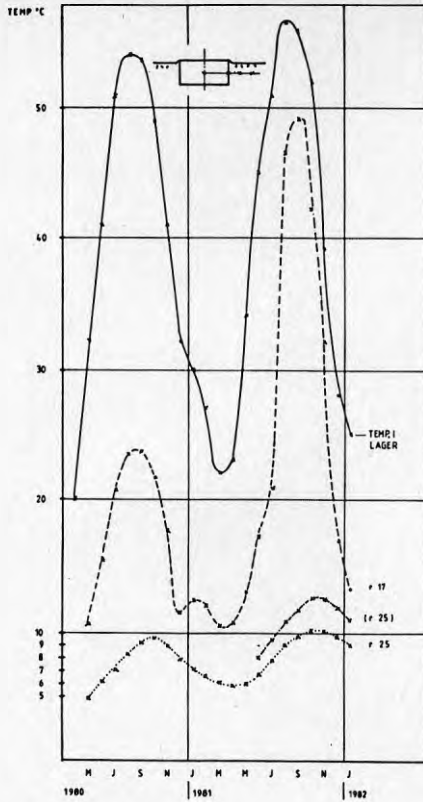
Inläckage av vatten till systemet skedde vid regn och snösmältning på grund av otäta dukar.

Vid bestämning av grundvattennivåer, se bilaga 1, kunde ett grundvattenflöde med sydvästlig riktning konstateras, varför mätpunkterna placerades radiellt från lagret på 5,5 m djup med nordostlig respektive sydostlig utsträckning. På grund av sprickbildning med varierande utsträckning kunde strömningsriktningen kring själva lagret ej direkt förutses. Den ridå respektive botteninjektering som utfördes bör ha hindrat strömning genom isoleringen. Injekteringen som har en begränsad utsträckning antas ej ha hindrat avkylning genom grundvattenströmning utanför injekteringsskiktet.



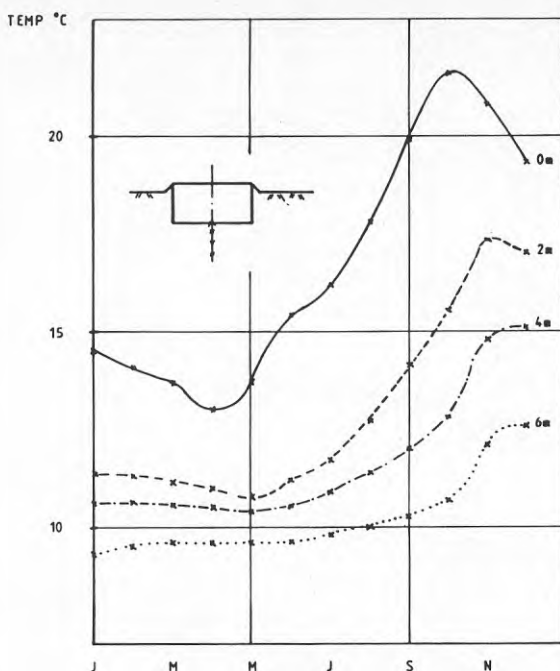
Figur 4.3 Månadsvisa temperaturer i mätpunkter placerade radiellt från lagret åt nordost respektive åt sydost. Djup under mark ca 5,5 m.

Temperaturer från ett par på varandra följande säsonger jämförs i Figur 4.4. Noteras skall att fr o m augusti 1981 dränerades ej isoleringen, varför temperaturerna är högre därefter. Jämför man temperaturer i exempelvis juni 1980 med juni 1981 finner man att skillnaden är ca  $0,8^{\circ}\text{C}$  på radien 21 m och lika stor på radien 25 m.



Figur 4.4 visar temperaturer i punkter på 5,5 m djup radiellt i nordostlig riktning utanför lagret som funktion av tid. Månadsvärden från maj 1980 - jan 1982. Observera att fr o m augusti 1981 slutade man dränera isoleringen. Parentes anger mätpunkter i sydostlig riktning.

Temperaturer under lagret tenderar också att öka något. Se Figur 4.5.



Figur 4.5 visar månadsvisa temperaturer i mätpunkter under lagret under 1981. Fr o m augusti slutade man dränera isoleringen.

#### 4.5 Ackumulatorer

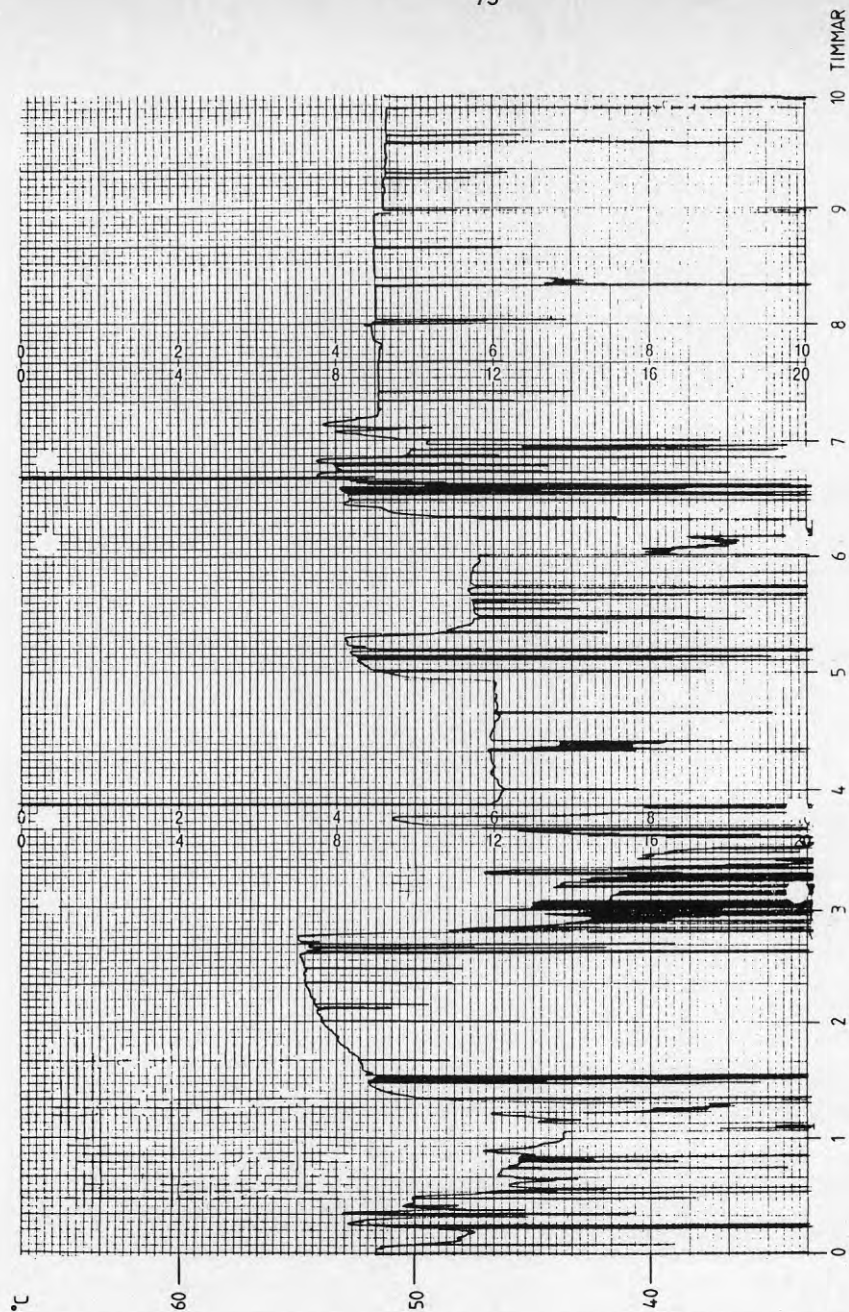
De två  $16 \text{ m}^3$  ackumulatorerna var cylindriska och placerade horisontellt och parallellkopplade. Tyvärr fungerade inte temperaturmätningen i ackumulatorerna på sådant sätt att man fick en klar uppföljning av temperaturskiktningen. Det verkade dock som om temperaturskiktningen i viss mån uteblev, i varje fall under laddningsperioder. Se dock kapitel 6.

#### 4.6 Cirkulations- och värmepumpar

Solfångarpumparna var försedda med "klaffar" vilka hindrade strömning i bakriktning. Detta förlängde tiden för dränering av solfångare till 1,5 h. Efter demontering av en klaff förkortades dräneringstiden till 15 minuter.

Kavitation i pumpar förekom på grund av att systemet kontinuerligt tillfördes luft och genom att trycket blev för lågt. Systemet tillfördes luft dels vid lokala undertryck i olika delar av systemen, dels vid ofullständig avluftning under fyllning av solfångarkretsar.

Cirkulationspumparna för solkretsarna gav för låga tryck varför de byttes ut.



Figur 4.6 Figuren visar framledningstemperaturen T400 vid provdrift av värmepumpar i värmesystem. De stora variationerna orsakades av regler-, VVS- och mätproblem.

Vid igångkörning av värmesystemets värmepumpar noterades stora variationer i framledningstemperaturen T400. Se Figur 4.6.

Variationerna berodde på ett antal felfunktioner:

- Luftinblandning i VVS-kretsarna orsakade mätfel i T400, felfunktion i MV5, störningar i pump P9.
- Strypventilregleringen i respektive lägenhet orsakade mycket låga flöden (och värmekapaciteter) i värmestystemet vid hög framledningstemperatur.
- Värmepumparnas effektsteg in- och urkopplades stegvis med olika tidsförreglingar, vilket i kombination med systemets korta svarstid försvårade regleringen.

#### 4.7 Ventiler

Reglerventiler i systemet stördes allvarligt av luftinblandning och av felaktigt inställda värden i kretsarna.

I syfte att bedöma inläckt luftmängd i värmesystemet monterades vid ett tillfälle väderballonger på några luftningsventiler. Mätningarna visade att mängden inläckt luft i systemet var av storleksordningen 1,3-3 m<sup>3</sup> per dygn.

#### 4.8 Filter

Den i 4.9 nämnda organiska tillväxten skapade stora igensättningsproblem i filtren i anläggningen.

#### 4.9 Problemen med vattnet som värmebärare

Följande är till valda delar hämtade ur Gunnar Söderlunds föredrag på BFR den 81-11-19.

Efter det att uppvärmningssäsongen hösten 1980 inletts märkte husägarna att det inte hjälpte att ställa husets lokala reglercentral (Danfossventiler) på maximal värme, temperaturen sjönk ändå.

Det visade sig att varmluftbatteriernas vattenkanaler i många fall var igensatta av en slemmig beläggning och att den nätsil, som skulle skydda respektive hus energimätare var igensatt av samma slemmiga beläggning.

Rensning fick göras frekvent, många hus drabbades upprepade gånger under hösten - vintern.

Tappvarmvattensystemet fungerade ej heller utan problem.

Lagervattnet, slembeläggningarna på en sil och beläggningarna på en temperaturgivare analyserades med följande resultat.

Antalet partiklar i vattnet inom storleksintervallet (2-80  $\mu$ ) är normalt 23 000/l i Linköpings kommunala nät. Partiklarna hade ökat till 1,5 milj/l.

Följande halter av metaller noterades: koppar, zink, järn och nickel var respektive 0,34, 0,27, 0,16 och 0,05 g/m<sup>3</sup>.

Normalt finns ej dessa metaller i mätbara mängder i Linköpingsvattnet.

Vattnet<sub>3</sub> var mjukt och kalciumhalten hade sjunkit från 24 till 19 g/m<sup>3</sup>.

Anmärkningsvärt var att det varma vattnet var fullt syremättat.

Slembeläggningen bestod till ca 50% av bakteriezoogloea, diverse bakterier i slemhöljen. Odling visade att dessa bakterier var grampositiva och av samma grundtyp som finns i mänskliga slemhinnor.

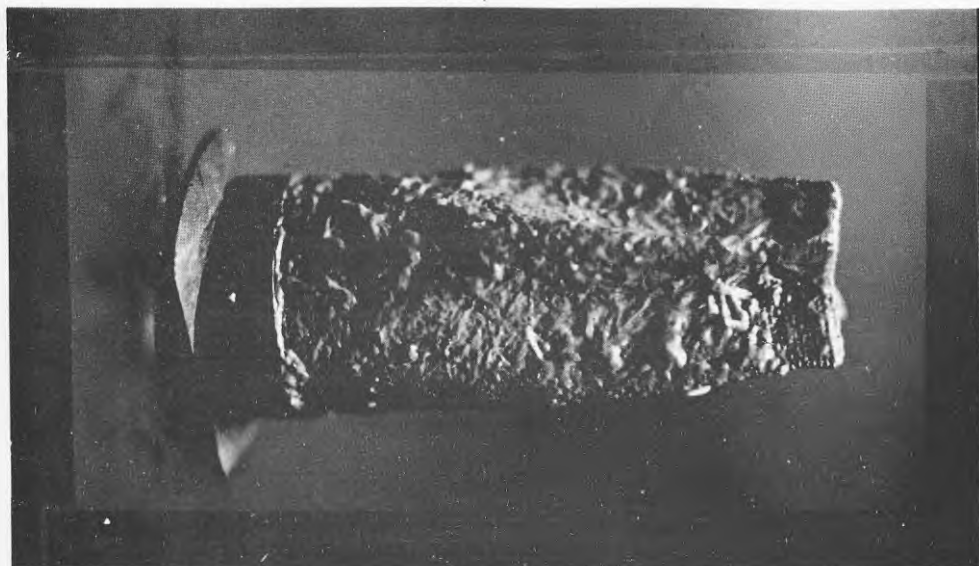
För övrigt konstaterades i mikroskop förekomst av sand, plastbitar, glassplitter och partiklar av gulmetall.

Analys visade att största delen av det oorganiska materialet bestod av koppar och järn.

Utfällningarna på temperaturgivaren bestod huvudsakligen av zink och koppar. Se Figur 4.7.



Figur 4.7 visar temperaturgivare. Typ PT 100. På denna ses korrosionsangrepp och beläggningar orsakade av det syresatta vattnet.



Figur 4.8 visar igensättning av skyddsfilter i värmebatterier i radhus. Skala 2:1.

Under hösten 1980 hade pH sjunkit till ca 4 men höjdes igen genom tillsättning av lut (NaOH).

Att vattnet var syremättat tydde på att luft kom in i systemet i stora mängder. En undersökning av solfångarsystemet och uppvärmningssystemet bekräftade denna misstanke, båda dessa system tillförde vattnet luft mer eller mindre kontinuerligt. I bassäng och system cirkulerade ett mjukt, syrerikt vatten. I och med att omgivningsluft frekvent tillfördes vattnet, kom syre, koldioxid, svaveloxider och partiklar (damm, sot, sporer etc) att införas, vilket skulle kunna medföra

- . pH-sänkning (vattnet är ej buffrat)
- . korrosion
- . utfällning
- . förslitning på rörliga delar
- . organisk aktivitet exempelvis slembildning och påväxt.

Alla dessa synpunkter har konstaterats i Lambohov (utom mekaniskt slitage). Eftersom luft således är den primära orsaken till problemen bedömdes det vara angeläget att snarast bygga om anläggningen för att förhindra fortsatt lufttillförsel i stor skala.

Om tillförseln skulle upphöra beräknades syrehalten i vattnet kunna sjunka till ett restvärde bestämt av den högsta temperatur systemet skulle uppnå. Denna resthalt bedömdes till  $2 \text{ g O}_2/\text{m}^3$  vatten.



Vidare ansågs det vara nödvändigt att tömma och göra rent systemet och börja med nytt vatten som från början hölls under kontroll. Detta kunde dock av tekniska skäl ej ske, vattnet med dess föroreningar måste behållas.

#### 4.10 Problemen med VVS-systemen

Följande är till valda delar hämtade från Berggren-Helenius-Wahlbergs föredrag på BFR den 81-11-19.

##### Problemställningar:

När den extra VVS-gruppen för problemlösning sammanträffade första gången (i början på 1981) framfördes följande driftproblem:

- . luft i solkretsar, värmepumparnas förångare och kondensorer, flödesmätare och pumpar samt över lagerlock. Vissa mätningar har visat lufttillförsel till lagret 1,3 -3 m<sup>3</sup> per dygn. Luften kunde lätt påvisas genom luftkuddar under lagerlocket.
- . påväxt och igensättningsproblem i värmeväxlare, filter m m
- . korrosionsproblem
- . misstänkt läcka i lagret
- . tidvis återföring av för varmt vatten till lagrets bottenskikt
- . otillfredsställande skiktbildning i lager och ackumulatorer
- . för lågt pH-värde
- . solfångarkretsarna dränerades alltid när respektive pump stoppade
- . otillfredsställande drift av värmepumparna.

För att med största säkerhet fastlägga vad som orsakade ovan nämnda problem upprättades ett prov- och kontrollprogram där bl a följande punkter ingick:

- . beräkning och mätning av tryck och tryckfall i värme- och solfångarsystem
- . kontroll av pump- och ventilkarakteristika
- . analys av värmepumparnas driftförhållande. Kontroll av flöden genom förångare och kondensorer samt effektavgivning vid olika driftbetingelser
- . kontroll av i systemet ingående komponenters korrosionsresistens
- . kontroll av avluftares funktion och kapacitet.

Det VVS-tekniska prov- och kontrollprogrammet gav bl a följande aspekter:

- regleringen av värmecentralen hade aldrig fungerat tillfredsställande beroende på både reglertekniska och VVS-tekniska problem.
- genom värmesystemets uppbyggnad utan tryckhållning kom under vissa förhållanden luft att sugas in i systemet via de automatiska luftningsventilerna. De teoretiska beräkningarna kontrollerades med mätningar vilka visade att undertryck uppstod i systemets högpunkter.

Sedan luften trängt in i systemet kom den att dels syresätta vattnet dels orsaka störningar vid flödesmätning, driftstopp i pumpar samt slutligen till en del föras ut i lagret och samlas under locket. Det syresatta vattnet kom att bilda en utmärkt miljö för olika typer av korrosionsangrepp och biologisk aktivitet.

- genom att temperaturen i bostäderna reglerades via en tvåvägsventil upphörde, vid t ex solinstrålning genom fönstren, flödet i värmesystemet nästan helt. Denna effekt förstärktes av att systemtemperaturen höjts för att säkerställa värmeförsörjning även vid försmutsade filter. Flödet genom värmepumpens kondensator hade senare säkerställts genom att värmevatten cirkulerades i en mindre krets. Den volym som cirkulerade var dock så liten att när värmepumpen gick in med minimieffekt erhöles en kraftig temperaturhöjning av det cirkulerande vattnet. Värmepumpen stoppade då och kunde därefter inte återstartas omedelbart på grund av startfördröjning. Det hände även att värmepumpen stoppade av högtryckspressostaten och då krävdes manuell återställning.
- ackumulatorerna låg delvis ovanför lagernivån vilket hade till följd att om cirkulationspumparna stoppades dränerades ackumulatorerna delvis och fylldes med luft.
- vissa delar av rörledningarna för vattendistribution till värmepumparnas förångare låg över lagernivån vilket hade till följd att när pumparna till förångarkretsarna stoppades, luftfylldes ledningarna. När sedan värmepumparna startade, stoppades de omedelbart via den flödesvakt som sitter i rörledningen.
- ventilerna för temperaturreglering i bostäderna var ej utförda i avzinkningsbeständigt material. I det syresatta vattnet hade därför en kraftig avzinkning uppstått.
- tryckfallsberäkning av solvärmesystemet visade att under vissa betingelser gick pumparna mot "dämda punkten". När flödet avtog började vattnet i solfångarna att koka.
- de befintliga automatiska avluftningsventilerna i solfångarsystemet visade sig ha för låg kapacitet speciellt om kokning av någon anledning uppkom.

rörssystemet vid solfångarna var så utformat att en kraftig snedfördelning av flödet erhöles. Snedfördelningen gick inte att rätta till då solfångarpumparnas tryckuppsättning inte räckte till.

#### 4.11 Givare, mät- och reglersystem

Studsvik Energiteknik AB engagerades när det gällde givare, mät- och reglersystem från hösten 1978. Dessförinnan hade Sol-lab och Bertil Ahlström utformat ett förslag, se Bilaga 10 och kapitel 3.7.

Vid igångkörning och drift av mätdatorsystemet och reglersystemet ställdes projektet inför flera problem av vilka några allvarligt begränsade möjligheterna till utvärdering av anläggningen och utprovning av reglersystemet.

Problemen kan indelas i några huvudgrupper:

- . organisatoriska problem
- . datorproblem (tillgänglighet, miljö, hantering)
- . mätproblem (kalibrering, ej fungerande givare)
- . reglerproblem.

##### 4.11.1 Organisatoriska problem

Ansvar för realisering, drift och utvärdering av anläggningen var i projektet uppdelat i delprojekt på ett sätt som skapade oklara gränser i ansvars- och befogenhetshänseende. Antalet parter i projektet var många. Samtidigt saknades länge en stark övergripande projektledning.

Viktiga slutsatser av de organisatoriska erfarenheterna i projektet är därför att redan vid planeringen, organisatoriskt och tekniskt, av projekt är det väsentligt att skapa och definiera klara gränssnitt ansvarsmässigt och tekniskt. Dessutom krävs någon stark central projektledning som kan samordna och styra företrädesvis i dessa gränssnitt.

Det är en stor fördel om anläggningen också tekniskt ger möjlighet att verifiera funktioner hos delsystemen mot definitionerna i gränssnitten.

Från utvärderingssynpunkt visade det sig t ex olämpligt att dela upp ansvaret för mätdatansamling och utvärdering på olika parter.

Vid idriftsättning av reglersystemet kunde aldrig dess funktion verifieras på grund av brist på specifikationer i kombination med fel i VVS-systemet.

Under projektets gång aktualiserades en stor mängd problem och frågeställningar av teknisk, organisatorisk och ekonomisk/juridisk karaktär samtidigt. Dessutom ifrågasattes projektets framtid. I denna situation förbrukades stora resurser på att enas om prioritering och inriktning av de åtgärder som nu lett fram till en ombyggd anläggning.

#### 4.11.2 Datorproblem

Tillgängligheten hos det använda datorsystemet varierade under 1980 och 1981 mellan 96% och 34% räknat månadsvis.

Under 10 månader var tillgängligheten <90% och under 5 månader <55%. Under perioden gjorde datorleverantören mer än 17 servicebesök.

Den höga felfrekvensen berodde troligen på att miljön ur skivminnessynpunkt ej var tillräckligt dammfri, på elektriska störningar på elnätet och på tidvis för hög temperatur i lokalen.

Vid användning av datorbaserade mätsystem finns risker för "dolda fel" i programvara samtidigt som ett minidatorsystem och skivminnesbaserad programvara ökar svårigheterna att finna orsakerna till sporadiska fel. Det har visat sig att kraven, på dokumentation samt utbildning av personal för handhavande av utrustningen, ökar.

Vid planering av datorbaserade mätsystem omfattar systemlösningen förutom mätsystemet även förfarandet vid lagring och utvärdering av data. Kompatibilitetsavvikelser och olika typer av kringutrustning försvårade i detta projekt avspelningen av rådata för bearbetning vid datacentral.

För att använda det aktuella datorsystemet i regleruppgifter var tillförlitligheten otillräcklig och det införda reservmodesystemet var en nödvändighet.

Tillgängligheten i datorbaserade system ökar om samma programvara kan användas i flera system genom att alla projektberoende storheter och funktioner ges som parametrar. Efter längre tester och med modulär uppbyggnad kan programvaran göras allt tillförlitligare.

Erfarenheter ifråga om krav på datareduktion, lagringsfunktioner och beräkningar under drift har under projektets gång gett underlag för framtagning av en parameterstyrd programvara som inom Studsvik användes för ett antal andra solprojekt där bordsdatorbaserade mätsystem användes.

#### 4.11.3 Mätsystem

Vid idrifttagning av mätsystemet uppstod tidigt problem med flödesmätningen. De använda flödesmätarna var av fluidistortyp och kräver normalt ca 1 bar tryckfall över fluidistorn vid fullt flöde och har ett dynamiskt mätområde ca 1:10.

För att tillgodose krav från VVS-sidan i projektet sänktes dock tryckfallet (genom byte av strypskiva) till ca 0,05 bar vid fullt flöde.

Det lägre tryckfallet orsakade en försämrad noggrannhet (4 - 8% onoggrannhet) och ökade risken för att luft samlades i fluidistorn. Det avgörande problemet med flödesmätningen var dock att stora mängder luft sögs in i kretsarna och blockerade fluidistorn.

För att lösa problemen ersattes givarna med magnetiska flödesgivare som dessutom gav möjlighet till ändring av mätområdet inom vissa gränser. Se kapitel 7. Under hösten 1982 togs dessa i drift och anpassades till de verkliga flödena i systemet. Vissa problem med störningar av givarsignalen förekom.

Kalibrering och felsökning i mätsystemet hade underlättats om frånskiljbara mellankopplingsplintar använts, om dokumentation och uppmärkning av kablage varit fullständig och om kalibreringsförfarande för olika givare förutsetts vid projektplaneringen.

#### 4.11.4 Reglersystem

De VVS-tekniska problem som uppstått i anläggningen i form av luftinblandning, organisk tillväxt och kavitation påverkade starkt även mät- och reglersystemet.

När reglersystemet tagits i drift elektriskt och datormässigt kunde funktionsprov ej ske mer än på enskilda punkter genom de funktionsfel som fanns VVS-tekniskt. Systemet kördes därför oftast i reservmode med manuella börvärden och begränsningar för att åtminstone få ett provisoriskt fungerande system.

Huruvida reglersystemet kunde ha fungerat eller ej kan därför ej besvaras. Däremot blev det uppenbart ur systemsynpunkt att tillgängligheten och servicebarheten ej var tillräcklig för att tillgodose konsumenternas krav på avbrottsfri värme- och varmvattenförsörjning.

Därför ersattes systemet enligt beskrivning i kapitel 7.

#### 4.12 Buller

I samband med att cirkulationsvattenflödet genom solfångarna ökades uppstod kraftigt strömningsljud från rörsystem i husen.

Ökningen skedde i maj 1981 genom byte av cirkulationspumpar.

Mätning av ljudnivån utfördes då i fyra radhus varav två gavelhus. Dessa rymde till skillnad från andra hus motorventiler på solfångarnas returledning.

Ljudmätare typ Brüel & Kjaer 2204 användes.

Mätningar utfördes i skilda delar i lägenheterna och vid följande driftfall:

- . Ingen cirkulation
- . Start av pump med delkapacitet, dvs fyllning av system
- . Avställning av pump
- . Tömning av system
- . Start av pump med full kapacitet.

Resultaten visade att

- . ljudnivån översteg aldrig de i normen angivna i något rum i husen i längorna
- . i gavelradhusen var ljudnivån i några rum endast kortvarigt över de i normen angivna, se Tabell 4.1 från de i ett gavelhus uppmätta värdena.

Tabell 4.1 Siffrorna anger ljudnivå i dB (A) för gavelradhus nr 34 för respektive rum och klockslag.  
Mätningen utförd 24 juni 1981

Tid	Vardagsrum	Sovrum	TV-rum	Anmärkning
14.25	31	-	-	Ingen cirkulation
14.30		28		"
14.33			34	"
14.38				Start fullt flöde
14.39			44-45	Bubbelljud
14.43			38	Bubbelljud upphör plötsligt
14.48		31		
14.52	34			
15.07	38			Start delflöde
15.12			44	Bubbelljud
15.15		31		
15.20	34-40			
15.35	35			Bubbelljud upphör
15.38		31		
15.42			37	

Det framgår att ljudnivån översteg normen 35 dB(A) då luft fanns i systemet, d v s vid uppstartning.

Efter ombyggnad av solkretsarna har bullernivån sänkts till acceptabel nivå.

## 5 EL- OCH OLJEENERGI

Inflyttning skedde under 1979 fram till hösten 1980 i de 55 radhusen. Uppvärmningen under denna period kom via oljepannan direkt. Värmebehovet var stort på grund av byggfukten.

Oljepannan började ladda lagret 1980-03-18. Laddningen avbröts 1980-04-18. Detta framgår av temperaturkurvan för lagervattnet, se Figur 6.10. Effekten var ca 350 kW.

På grund av igensättningar i filter och värmväxlare som nämnts i kapitel 4 med uppehåll för genomförande av vissa prov gick man över till matning från oljepannan 1980-12-17 och detta pågick med vissa avbrott till 1981-04-06.

Under perioden 17-31 december 1980 förbrukades 7117 l olja, vilket innebär med  $\eta = 80\%$  för pannan och 10% förluster i kulvertnät 50 MWh eller en medeffekt på 149 kW för värme och varmvatten.

Under 1981 förbrukades 30,7 m<sup>3</sup> olja. Detta betyder att cirka 240 MWh matades in i värmenätet. Samtidigt åtgick 251 MWh el för värmepumpar och annan central pump- och reglerutrustning.

Under 1981 uppmättes till de 55 husen en summa värmemängd på 647 MWh. Denna värmemängd bygger på värden från värmemängdsmätarna i de 55 husen och dessa mätvärden har utgjort underlag för värmedebiteringen i de enskilda husen. Emellertid kan ifrågasättas mätnoggrannheten av liknande skäl som för anläggningen för övrigt. Varmvattenförbrukningen var 2970 m<sup>3</sup>. Med  $\Delta t = 37^{\circ}\text{C}$  blir energitillskottet i varmvattnet 127 MWh. Med ett uppskattat värde på 10% för kulvertförluster skulle total tillförd energi från värmecentralen ha varit 851 MWh under 1981. Emellertid har lagret 32 MWh lägre värmeinnehåll 81-12-31 än 80-12-31.

Man kan anta att endast ca 90% av elenergin kommer husen tillgodo (på grund av förluster i motorer och andra komponenter), dvs 226 MWh. Totalt från olja och el sålunda 466 MWh för utmatning till kulvertsystemet.

Från solfångarna erhålls då 851-466-32 = 353 MWh. Eftersom detta passerar lagret som har betydligt högre förluster än som projekterats har från solfångarna levererats ett högre värde. Om förlusterna i lager uppskattningsvis är tre gånger det planerade värdet som var 100 MWh/år skulle solfångarna ha levererat ca 660 MWh år 1981. Värdet tre har valts dels med hänvisning till Tabell 6.2, dels beroende på de preliminära värden som framkommit för 1982 via CTH som anger värdet fyra. Detta innebär ca 242 kWh/m<sup>2</sup> solfångare år 1981. Beräknat värde för detta år är dock 350 kWh/m<sup>2</sup>. Uppmätt och kalkylerat på samma sätt som för 1981 blir motsvarande värde för år 1982 349 kWh/m<sup>2</sup>.

Projekterad elförbrukning var ca 100 MWh i stället för nu registrerad 251 MWh och ingen olja i stället för de 240 MWh nu använda.

Det kan nämnas att man för 1981 beräknat kostnaden per hus för tre fall enligt nedan.

Faktiska kostnader	2338 kr
Fjärrvärme enligt konv taxa	3158 "
Direkt elvärme	2922 "

(De s k "faktiska kostnaderna" är enbart driftkostnader, vilket innebär att de tre olika kostnaderna ej är jämförbara.)



## 6 ENERGIFLÖDEN, TEMPERATURER OCH KLIMATDATA

### 6.1 Allmänt

En uppskattning av energiflödena har gjorts. Som nämnts har volymmätarna visat osäkra värden på grund av luftinblandning. Temperaturer har insamlats och jämförs med projekterade och dessutom beskrivs vissa förlopp.

Klimatdata har insamlats, såsom soltid, solinstrålning och utetemperatur för Norrköping respektive för Malmslätt. Jämförelse har skett med värden från SMHI.

Temperaturer i lagret under 1981 har jämförts med dem för 1980 och projekterade värden.

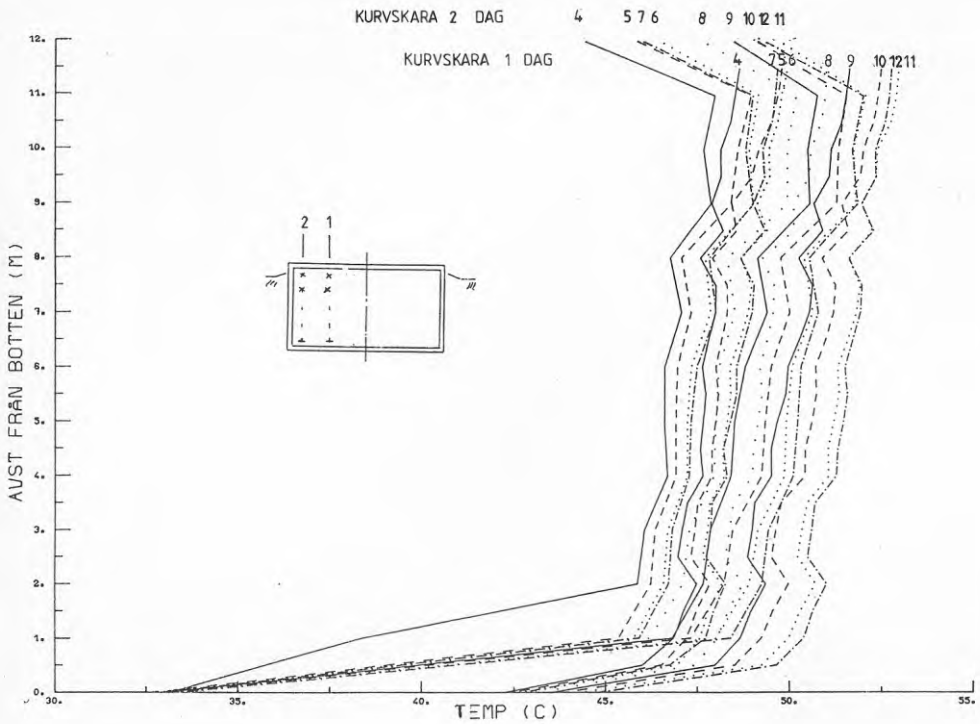
Marktemperaturer redovisas som funktion av tid och rum.

### 6.2 Temperaturer i och omkring lagret

Den högst placerade temperaturgivaren i lagret har tidvis ej haft kontakt med vattnet i bassängen, varför dess värden är opålitliga och de har ej redovisats i denna rapport.

För att studera temperaturgradienter i lagret under laddning med solvärme, bl a med hänsyn till skiktfördelaren framtoqs Figur 6.1. Den visar temperaturer på olika nivåer i lagret som funktion av tiden. En solig period valdes, 1981-07-04--07-12. Under perioden utgjordes värmebehovet endast av tappvattenvärmning samt förluster mot omgivande mark. Mätpunkterna framgår av figuren.

(Diagrammen 6.1 t o m 6.10 har framtagits av Lars Risting, Studsvik Energiteknik AB.)

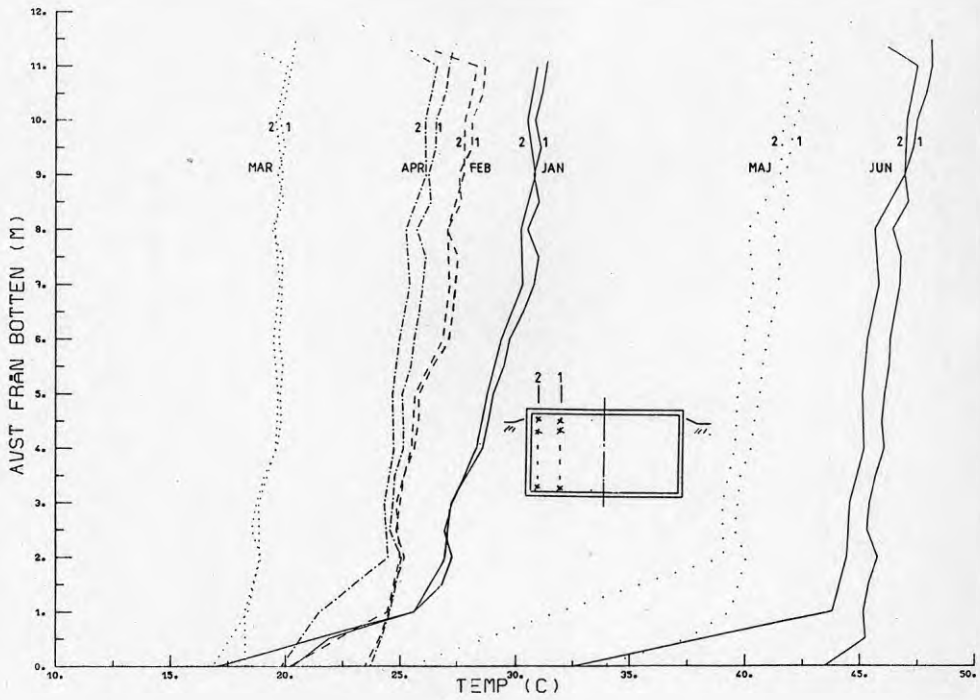


Figur 6.1

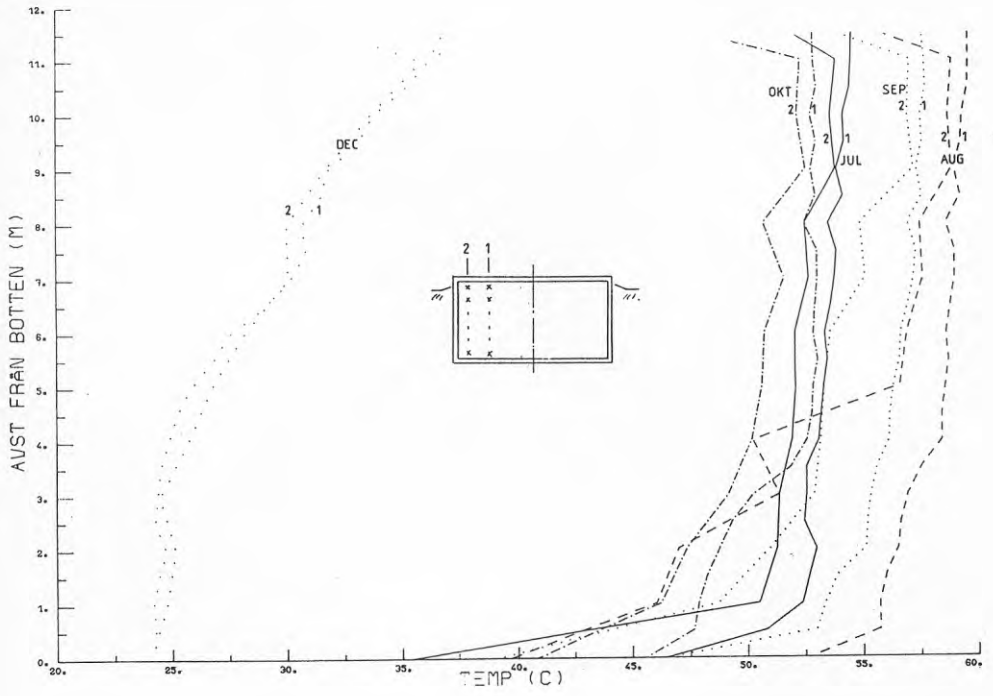
Viss skiktning kan urskiljas där vattnet i toppen är ca  $3^{\circ}\text{C}$  varmare än i bottenskiktet. Temperaturgradient om  $0,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Det är dock ej självklart att skiktningen uppstått under perioden. Skiktningen vid botten kan uppstå då kallt returvatten via värmeuttag tillförs bottenskiktet. Den kraftiga temperaturgradienten i bottenskiktet kan också sammanhånga med att avkylt kallt vatten från väggarna "rinner" ner i botten.

En omvänd temperaturgradient kan noteras i lagrets översta skikt beroende på avkylning via locket.

Avlästa värden gäller kl 12 den 25 i varje månad.



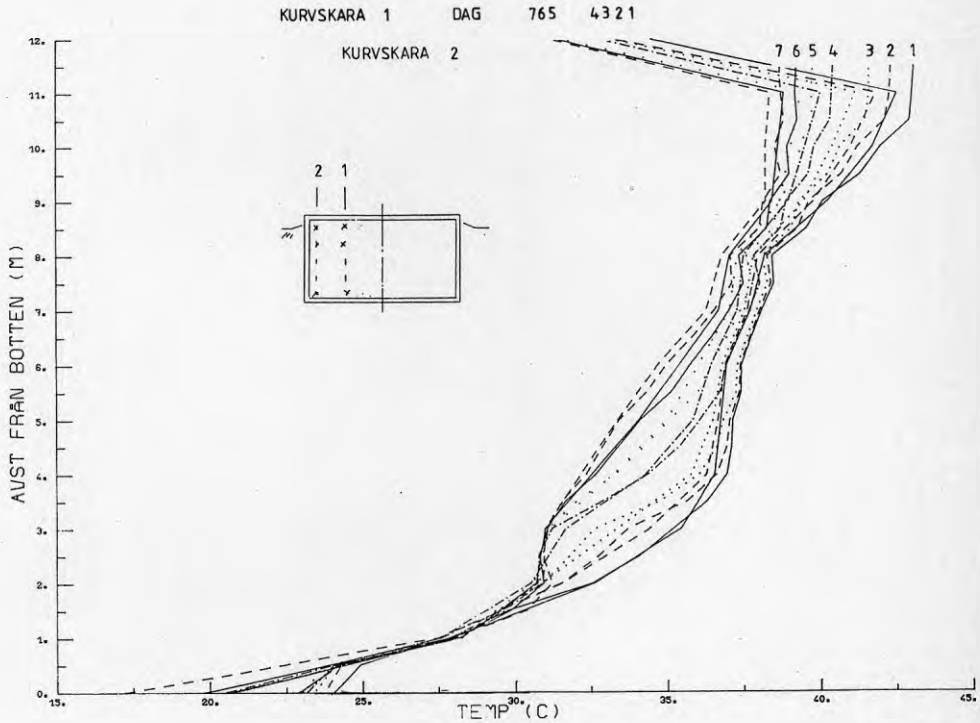
Figur 6.2 Lagrets temperaturprofil månadsvis under 1981. Figur 6.2 omfattar månaderna januari t o m juni och Figur 6.3 juli t o m december med undantag för november (data saknas). De två figurernas temperaturskalar är förskjutna  $10^{\circ}\text{C}$ .



Figur 6.3 Text se Figur 6.2

Under urladdning, januari till mars, tenderar temperaturgradienten att minska. Under uppladdning från mars till juni stiger gradienten från 0,2 till 0,3<sup>o</sup>/m. Under januari är gradienten ca 0,4<sup>o</sup>/m.

En period med stort värmeuttag och ingen laddning visas i Figur 6.4.

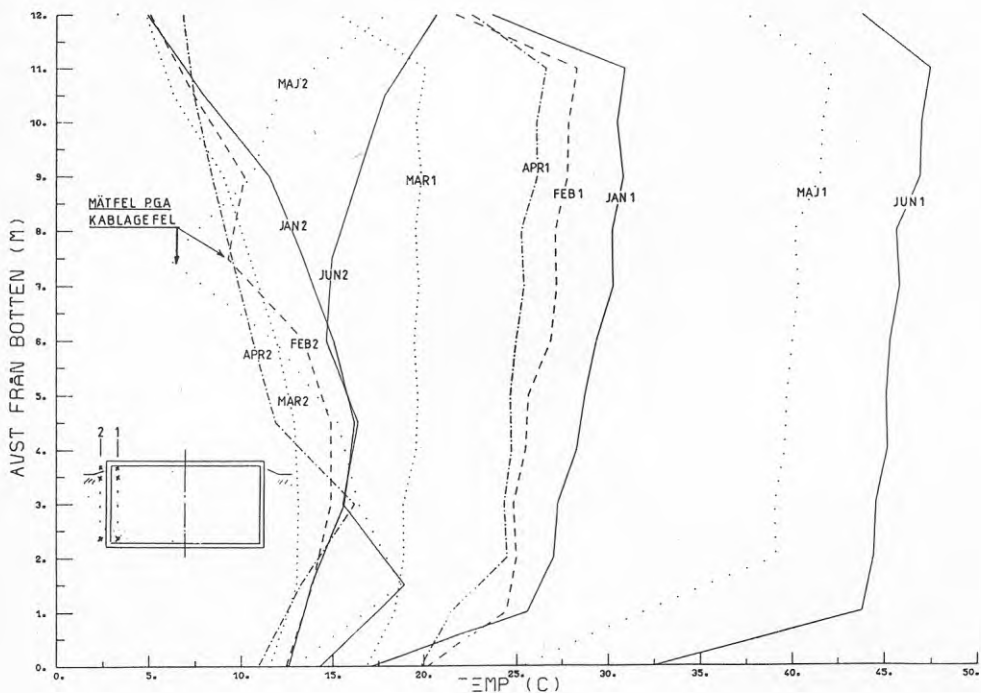


Figur 6.4 Temperaturer kl 24.00, 1980-11-25--12-02 i punkterna T202-T224 respektive T230-T242.

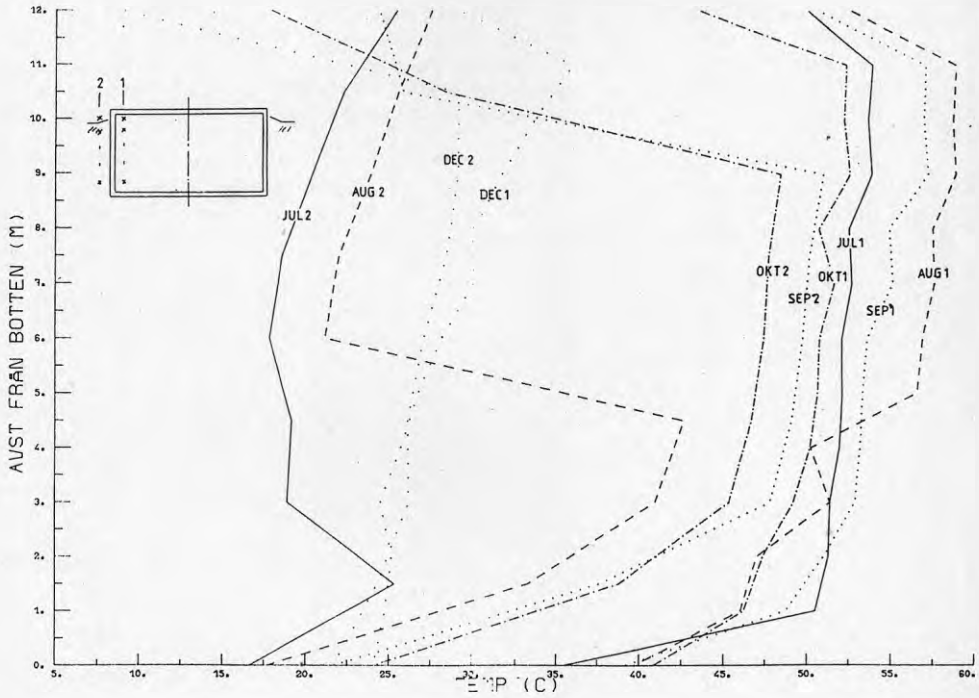
Den skarpa skiktningen i botten förklaras av att returflödet från värmesystemet under november ofta hade låg temperatur, +26<sup>o</sup>C, samt att kylningen från tankbotten är stor.

Figur 6.5 och 6.6 visar temperaturer kring väggisoleringen kl 12 en dag i slutet av 1981.

Mätpunkterna T230-T242 och T250-T254 har använts.



Figur 6.5 Temperaturer kring väggisoleringen kl 12 en dag i slutet av var månad de sex första månaderna 1981.



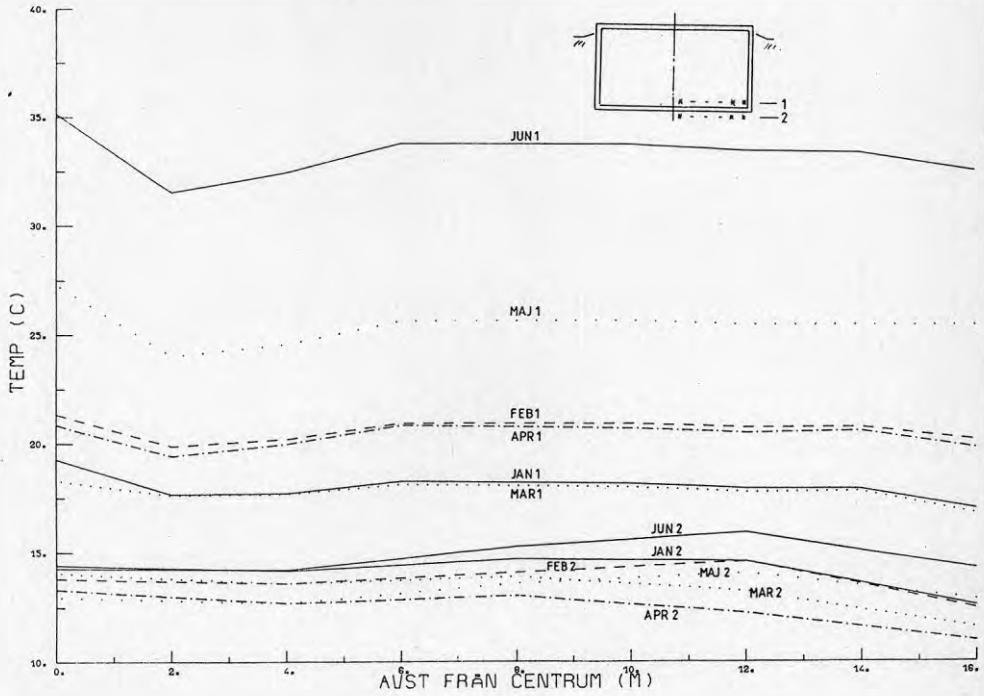
Figur 6.6 Temperaturer kring väggisoleringen kl 12 en dag i slutet av var månad under andra halvåret 1981.

Diagrammen indikerar en temperaturgradient över isoleringen som i det övre, ytnära, markskiktet är större i början av året. Allt eftersom temperaturen i lagret ökar under sommaren ökar också temperaturen utanför. Gradienten ändrar tecken vid mitten av juli. Därefter sjunker utomhustemperaturen men lagertemperaturen fortsätter att öka. Detta pågår fram till september då husens uppvärmningsperiod börjar. Av Figur 6.6 framgår att temperaturen utanför isoleringen nära botten, i juli, ökar plötsligt för att under följande månader öka även på högre nivåer. Detta förklaras av att grundvattnet ej pumpas ut fr o m augusti utan nivån tilläts stiga, vilket framgår av temperaturprofilen. I september har temperaturfronten nått ca 9 m höjd.

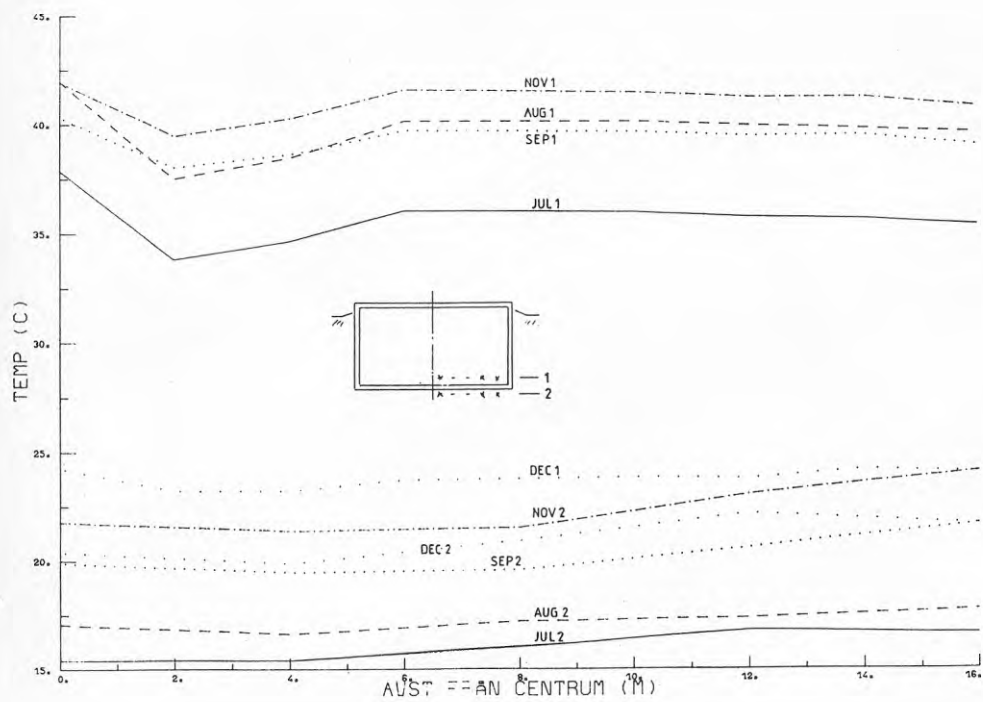
Det framgår tydligt ur figuren att temperaturfallet över isoleringen, värmemotståndet, minskar vid våt isolering. Detta medför större avkylning av lagret, vilket även yttrar sig i en större horisontell temperaturgradient, se Figur 6.3.

Figur 6.7 och 6.8 visar temperaturer kl 12 i slutet av varje månad (kring den 25) under 1981 för mätpunkterna T242-T249 och T254-T281, d v s längs tankens botten både insida och utsida. Månaden oktober saknas.





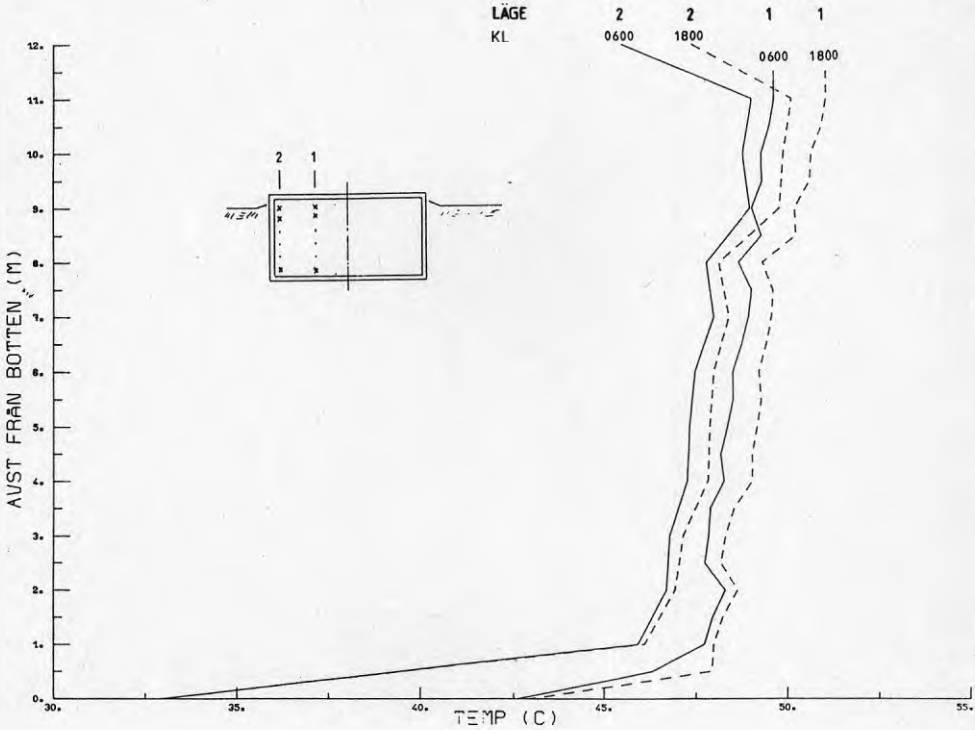
Figur 6.7 Temperaturer vid lagrets botten. Insida och utsida. Första halvåret 1981.



Figur 6.8 Temperaturer vid lagrets botten. Insiida och utsida. Andra halvåret 1981.

Temperaturen i lagrets botten varierar mellan  $18^{\circ}\text{C}$  och  $42^{\circ}\text{C}$  och variationen under botten är mellan  $12^{\circ}\text{C}$  och  $23^{\circ}\text{C}$ .

Figur 6.9 visar temperaturen kl 06.00 och kl 18.00 1981-07-28 en solig dag utan större värmeuttag, endast tappvattenvärmning, för mätpunkterna T202-T225 och T230-T242.



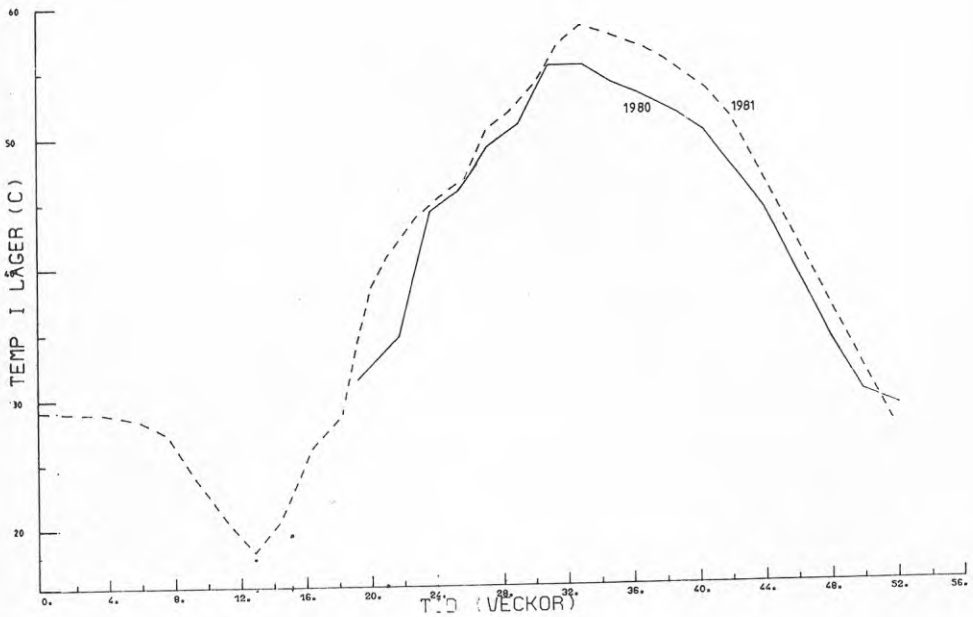
Figur 6.9

Den största temperaturhöjningen erhöles i det översta skiktet omkring 10-12 metersnivån, vilket innebär att temperaturgradienten kring  $0,3-0,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$  upprätthålls.

### 6.3 Värmeförluster från lager

Värmeförlusterna från lagret beror på temperaturförhållandena i lagret i förhållande till omgivande mark och luft.

Lagrets medeltemperatur under 1980-81 visas i Figur 6.10.



Figur 6.10 Medeltemperatur i lagret 1980-1981 samt temperaturer som man projekterat. Medeltemperaturen är direkt proportionell mot energiinnehållet i lagret. Energiinnehållet anses dock noll när medeltemperaturen understiger 7-8°C.

Värmeflödet genom lagerväggar, botten och lock har uppskattats med utgångspunkt från uppmätta temperaturfall och antagna värmeledningstal genom isolering.

Genom den uppmätta temperaturdifferensen och de antagna materialkonstanterna är värmeflödet bestämt.

Tabell 6.1 Värmeledningstal

Del	Material	Tjocklek m	Värmeledningstal W/m x K	Anmärkning
Lock	Polyuretan	0,4	0,036	Praktiskt värde enl VVS-tabeller och diagram
Vägg	Armerad o kramlad cementbunden Leca	0,85	0,17-0,10	Beroende av porositet och cementinblandning
	Lecablock	0,25	0,24-0,26	Beroende av porositet och cementinblandning
	"		0,106	Enl byggare. Vid 6% fukthalt
Botten	Lös Leca	1,2	0,10-0,08	Enl byggare

Beroende av porositeten och vad porerna är fyllda med, i detta fall med luft och/eller vatten, ändras ledningsförmågan. Med hänsyn till värmemotstånd i väggar, lock och botten har antagits följande k-värden (värmegenomgångstal).

Lock	0,086/0,13 W/m <sup>2</sup> K	Idealt/med visst luftläckage
Vägg	0,26/0,85 "	Torr/våt isolering
Botten	0,12/0,51 "	Torr/våt isolering

Det framgår att en torr isolering givetvis är bättre än en våt.

Med utgångspunkt från lagervattnets temperatur vid respektive lock, vägg (medelvärde) och botten samt temperatur ute, utsida vägg respektive under botten vid mätpunkterna, har värmeflödena uppskattats till nedan angivna värden.

Tabell 6.2 Från uppmätta temperaturer 1981 och uppskattade värmeomgångstal har följande effekter på värme-förluster och årsenergi framräknats.

Månad	Data enligt byggkonstruktör kW	VVS-tabeller o diagram		Projek-tör kW
		Torr isolering kW	Våt isolering kW	
Jan	5,2	8,9	25,9	9,7
Feb	4,3	7,3	20,3	7,9
Mar	3,7	6,1	17,7	1,5
Apr	3,6	6,8	19,5	2,9
Maj	5,4	9,9	31,6	5,5
Juni	7,8	14,3	45,7	8,2
Juli	8,6	15,6	50,2	10,7
Aug	7,8	13,5	46,5	12,9
Sep	7,2	11,3	34,8	14,3
Okt	6,0	9,7	28,7	14,3
Nov	4,7	6,7	18,3	12,6
Dec	3,3	3,8	7,9	11,0
Förluster under hela året, kWh	50 000	83 000	250 000	82 000

Torr isolering = idealt lock, torr vägg och torr botten

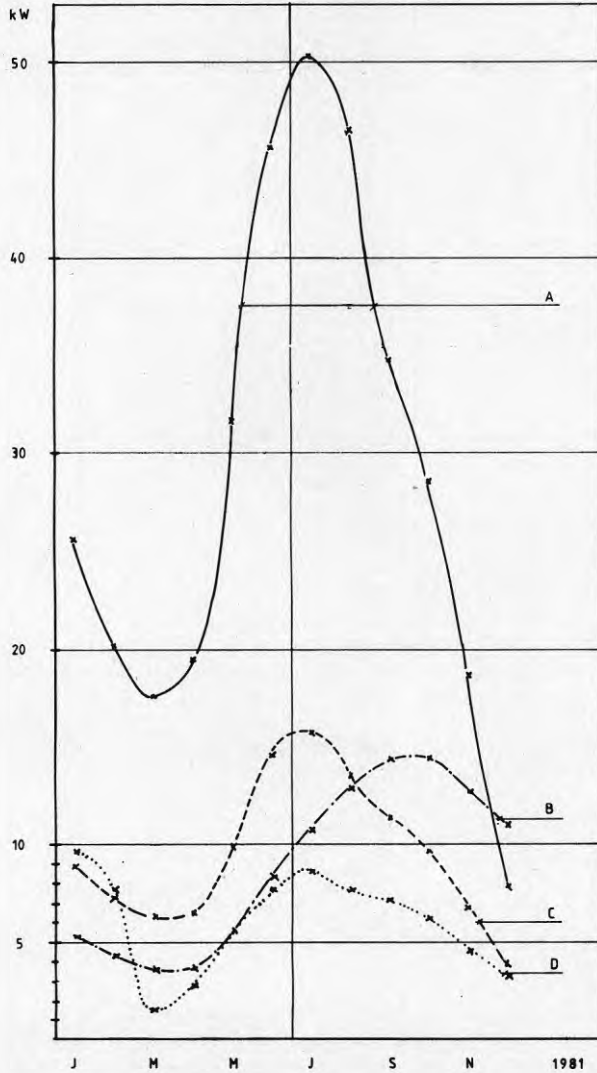
Våt isolering = lock med visst luftläckage, våt vägg och våt botten

Beräkningsresultatets tillförlitlighet är starkt beroende av:

- . hur väl temperaturmätningarna representerar det verkliga temperaturförhållandet runt lagrets gränsvyta
- . inhomogeniteter i isoleringen
- . lokala grundvattenströmmar som kan penetrera isoleringen och därmed undanröja principen för beräkningarna i dessa områden
- . läckage av varmluft genom lagerlocket
- . inläckage av regn- och smältvatten genom lagerlocket
- . vindpåverkan på locket.

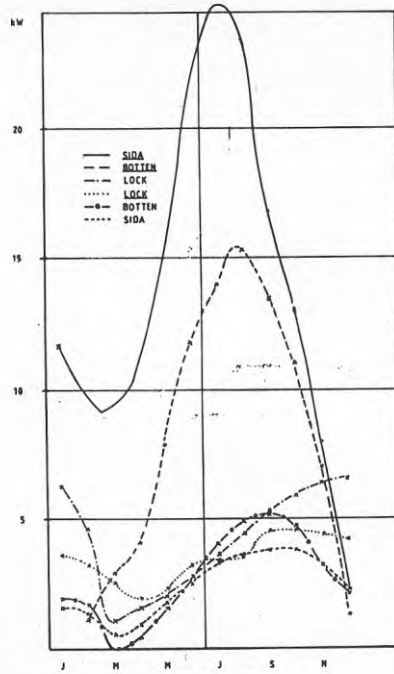
Preliminär förlustmätning för 1982 enligt CTH visar också att förlusterna är avsevärt mycket högre än de först antagna. Detta givetvis till förmån för den med solfångarna infångade energimängden.

I Figur 6.11 redovisas resultatet av beräkningarna. Figuren visar värmeförluster månadsvis beräknat från uppmätta temperaturer 1981 men antagna materialkonstanter. Effekt i kW.



Figur 6.11 Värmeförluster från lagret

A gäller värden för våt isolering. Kurva B visar förluster enligt projektören. C och D gäller för helt torr isolering respektive enligt byggkonstruktören. Notera att kurvorna har sitt maximum i juli, vilket är tidigare än man "projekterat".



Figur 6.12 anger förlusterna för respektive lock, vägg och botten för de uppmätta temperaturerna 1981. Understrukna = våt isolering, övriga = projekterat.

Under 1981 gjordes en beräkning med finita elementmetoden (FEM) för värmeförlusterna i lagret. Ref 24.

Förutsättningar var där värmeledningstal för

Lock	0,05	W/mK	
Väggar	0,15/0,33	"	torr/våt
Botten	0,15/0,33	"	"

Två fall beräknades till den i FEM-beräkningarna antagna temperaturnivån, vilken var  $55^{\circ}\text{C}$  i lager och  $0^{\circ}\text{C}$  ute, dels låg grundvattennivå, dels hög. Med ovannämnda materialkonstanter erhålls för de två fallen följande förluster i kW:



Tabell 6.3 Beräknade förluster från lager. kW

Förluster enl	Torr isolering		Våt isolering	
	FEM	*	FEM	*
Uppåt	6,375	3,450	9,985	4,640
Sidor	10,640	10,050	18,770	13,060
Nedåt	2,750	3,275	4,402	11,010
Summa	19,765	16,775	32,356	28,710

\* Materialkonstanter enligt Tabell 6.1

#### 6.4 Några energibalanser

De beräknade lagerförlusterna i kapitel 6.3 redovisas här tillsammans med värden för solenergi och förändring av lagrets energiinnehåll.

Tabell 6.4 Månadsvis energibalans för Lambohov. kWh

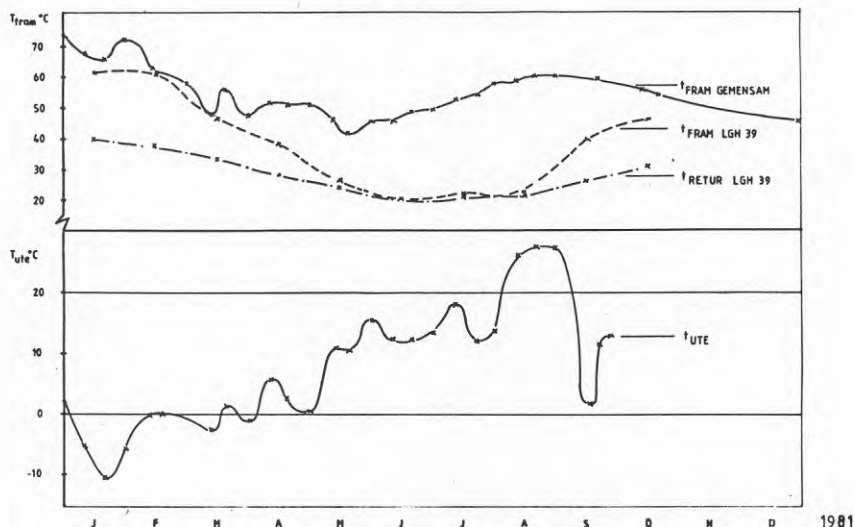
	Solinstråln solf. plan mätt 2730 m <sup>2</sup>	Lagerförlust mätt o be- räknad (våt isolering)	Lager netto enl. temperatur- mätning
1981			
Jan	86 900	19 050	-2 600
Feb	104 400	13 530	-43 000
Mar	236 400	12 080	-81 000
Apr	358 800	14 050	+98 500
Maj	355 600	23 440	+150 800
Juni	237 800	32 900	+64 300
Juli	311 000	37 430	+78 700
Aug	301 000	34 100	+41 500
Sep	123 200	25 100	+23 300
Okt	(76 200)	21 400	-46 200
Nov	(53 800)	13 200	-126 000
Dec	(35 400)	2 500	-126 000
Summa	2 149 900	-250 000	-32 300

För värden inom parentes saknas hela månadens data. Värden är antagna här.

## 6.5 Värmesystem

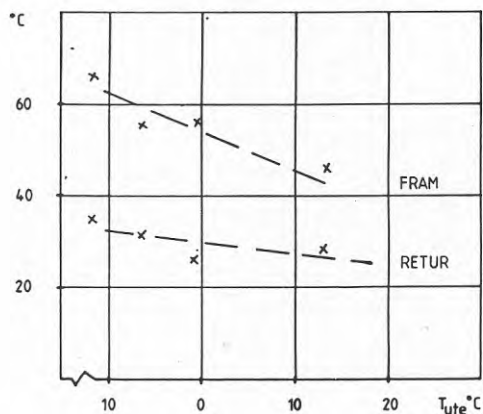
Dimensionerande fram/returledningstemperatur var vid projekteringen 55/25°C vid -20°C ute .

Figur 6.13 visar att temperaturer på fram- och returledning både för hus 38 och 39 varit högre.



Figur 6.13 visar framledningstemperatur för hus 38 mätt kl 06.00 tre dagar per månad och fram- respektive returtemperatur för hus 39, medelvärde var månad. Dessutom framgår utetemperatur kl 06.00 för tre dagar per månad. Året var 1981.

Ovannämnda fram- och returledningstemperaturer är också åskådliggjorda i Figur 6.14.



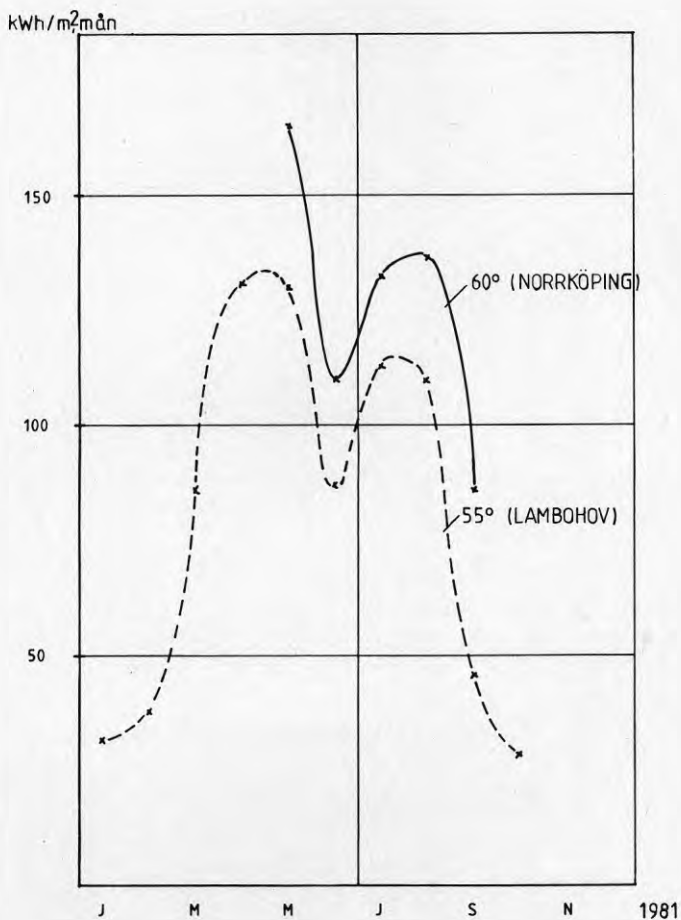
Figur 6.14 visar fram- och returledningstemperaturer för värmesystemet som funktion av utetemperaturen.

## 6.6 Uppvärmningsbehov för husen

Från värmeflödesmätningar under en tredagersperiod i december 1981 framräknades byggnadernas, 55 radhus, värmebehov till 7,75 kW/K. Då antogs kulvertförluster till 10 kW.

## 6.7 Instrålad energi

Solinstrålning mättes med Kipp und Zonen solarimetrar. Instrålning i solfångarplanet i Figur 6.15. Där anges även instrålning för Norrköping (SMHI) för en yta lutad 60° mot söder. Enhet kWh/m<sup>2</sup>, månad.

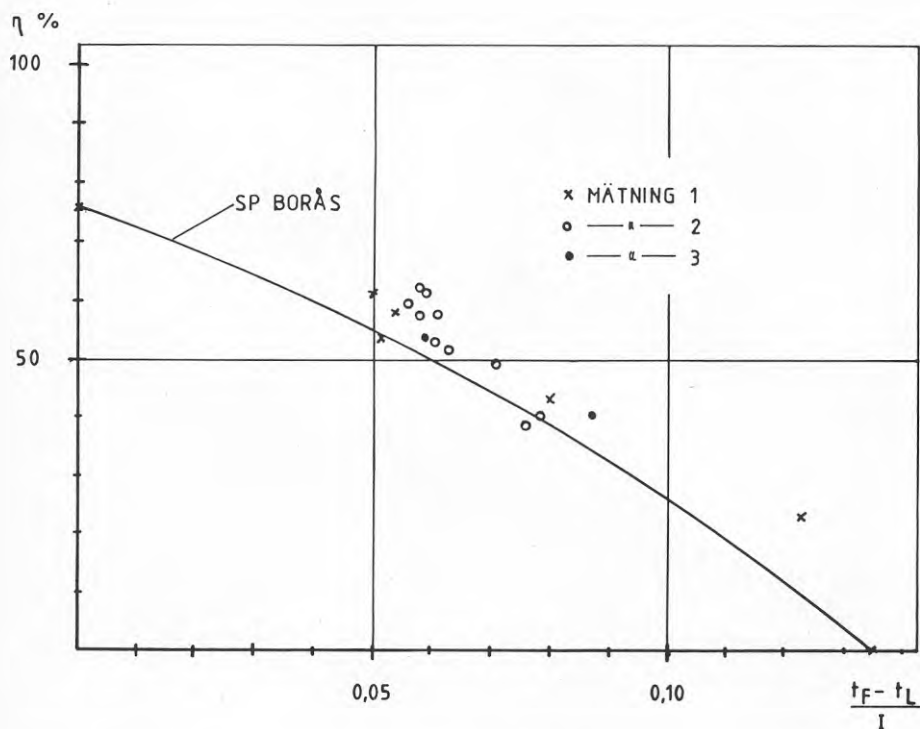


Figur 6.15 Total solinstrålning i Lambohov (mot lutande, yta 55°) respektive Norrköping (mot lutande yta 60°) under 1981.

## 6.8 Solfångare

Verkningsgraden hos solfångarna uppmättes momentant vid olika tillfällen (efter avluftning).

Några värden är markerade i Figur 6.16.



Figur 6.16 visar verkningsgrad som funktion av temperaturdifferens mellan solfångarens medeldrifttemperatur och omgivningstemperaturen dividerat med momentan solinstrålning.

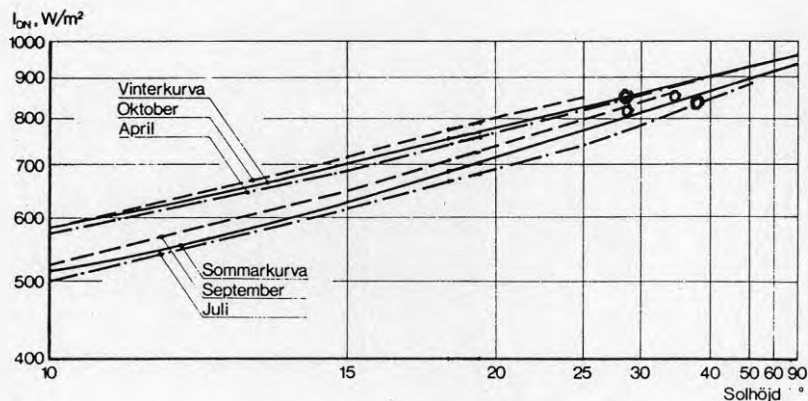
Mätning 1 avser mätningar vid samlingsledningar vid hus (före kulvert). Mätning 2 och 3 avser mätningar i centralbyggnaden.

SP-mätningarnas lägre värden har diskuterats bero av att de förluster man "simulerat" är för stora.

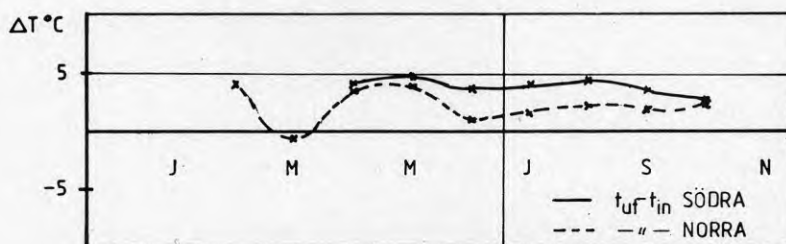
Verkningsgradsmätningarna i kombination med den generellt något lägre solinstrålningen jämfört med Norrköping i Figur 6.15 tyder på att solinstrålningsmätningarna ger något för låga värden i Lambohov.

Detta motsäges emellertid av uppmätta momentana strålningsnivåer vid klart väder som stämmer väl med andra empiriska värden över direkt strålning som funktion av solhöjd.

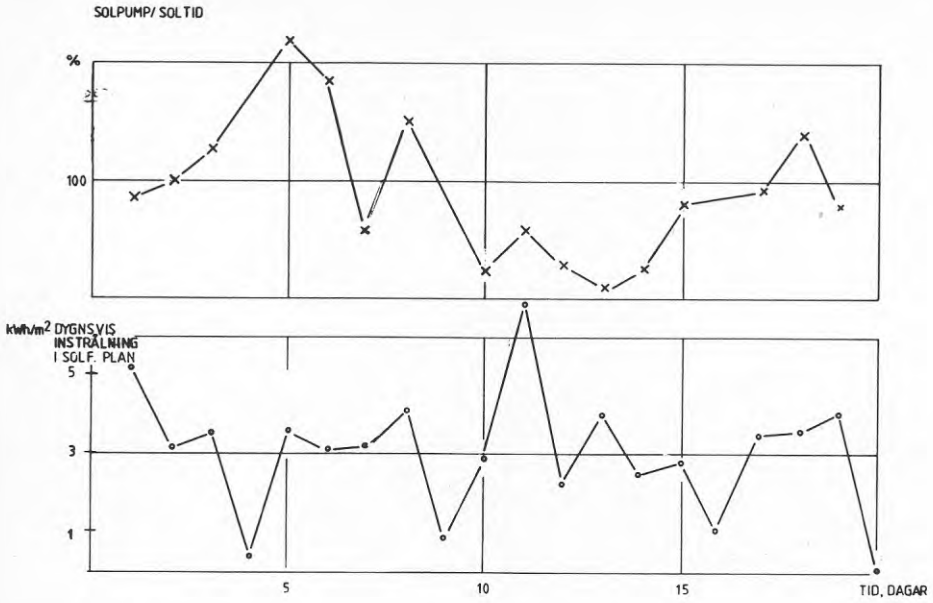
I Figur 6.17 visas momentana direkta strålningsnivåer tillsammans med andra uppmätta data som funktion av solhöjd (enligt Lunelund, 1936, Figurer ur Brown, Isfält, 1974).



Figur 6.17 Solinstrålning klara dagar som funktion av solhöjd. Uppmätta värden markerade med ringar.



Figur 6.18 Temperaturhöjning i solfångare, norra respektive södra gruppen under 1981. Temperaturen avser månadsmedelvärde.

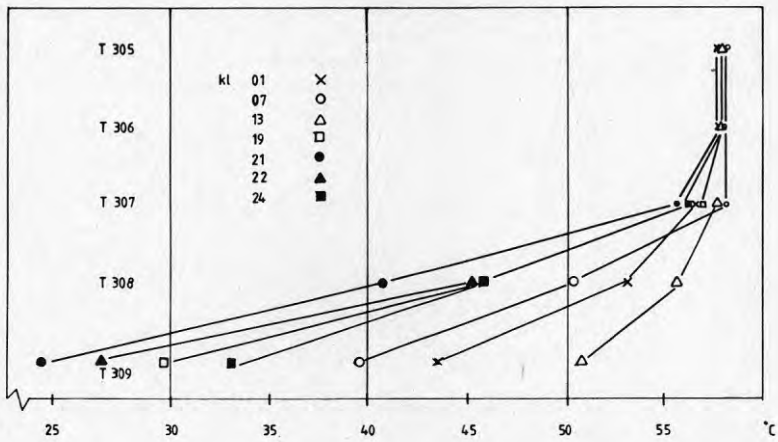


FIGUR 6.19

Figur 6.19 a visar tiden då solcirkulationspumpar är i drift dividerat med tid då instrålningen översteg  $200 \text{ W/m}^2$  mätt i solfångarplanet uttryckt i %. 6.19 b visar total solinstrålning, kWh/dag,  $\text{m}^2$  för samma tid.

## 6.9 Värmeackumulatörer

Skiktning kunde avläsas i varmvattenackumulatörer enligt Figur 6.20.



Figur 6.20 Temperaturer vissa klockslag den 12 mars 1981 i en av varmvattenackumulatörerna.

## 7 OMBYGGNADER

### 7.1 Allmänt

Stora problem med driften av Lambohovanläggningen upptäcktes redan vid första start, våren 1980. Livliga diskussioner förekom bland ansvariga angående nödvändiga insatser. Särskilt var det reglering av systemet och mätning som ej fungerade. Under hösten 1980 inträffade svåra störningar i värmeförsörjningen av radhusen. I slutet av november 1980 arrangerades ett möte med BFR, där flera utomstående experter var kallade. Ett flertal sammanträden hölls därefter under första kvartalet 1981. Problemen rörde enligt kapitel 4 i huvudsak vattenkemi och VVS. BFR fattade flera delbeslut om ombyggnad under våren 1981.

### 7.2 Åtgärder på VVS-systemen

#### 7.2.1 Värmesystemet

Tryckhållning av uppvärmningssystemet bedömdes som absolut nödvändigt.

De tekniska lösningar som därvid stod till buds var endera tryckhållning med pump och strypventil i utloppet eller separering av värmesystemen från lagret med en värmeväxlare.

Trots en något ökad elenergiförbrukning valdes värmeväxlaralternativet eftersom detta alternativ är enklare och säkrare, mindre störningar för samfällighetens medlemmar, minimerad risk för syresättning och försmutsning från lagret. Det bedömdes även att om en värmeväxlare installerades skulle forskningen rörande lager och solfångare lättare kunna genomföras, eftersom inverkan från uppvärmningssystemet blir under bättre kontroll.

Den ökade energiförbrukningen har beräknats till max 20 MWh/år.

- För att erhålla bättre driftbetingelser för värmepumparna valdes att använda en av de två ackumuleringstankarna för tappvarmvatten som utjämningsstank i värmesystemet.
- Utbyte av bostädernas reglerventiler (Danfoss) i respektive radhus på grund av avzinkning
- Överflödiga avluftningsventiler har demonterats.

#### 7.2.2 Solfångarsystem

- Solfångarpumparnas tryckuppsättning höjdes genom att befintlig pump flyttades från den större - södra - solfångarkretsen till den mindre - norra - kretsen och ny större pump för den södra solfångarkretsen installerades.

Med de högre tryckuppsättningarna fanns möjlighet att justera systemet så att jämn fördelning av flödet erhöles.



- . För att säkerställa avluftning från solfångarsystemet har större avluftningsventiler monterats.
- . Styrutrustning för uppfyllning av solsystemet både via tilllopps- och returledning har installerats. (Tidigare fylldes systemet enbart via tillloppsledning.)
- . Styrutrustning för dränering av systemet endast när frysrisk föreligger har installerats.

### 7.2.3 Tappvarmvattensystem

- . Ledningar för vattendistribution till förångaren har ändrats så att de kommer under lagernivån.
- . Ackumulatorer för tappvarmvattenberedning ligger över lagernivå. För att ej få in luft i ackumulatorer har systemet kompletterats med backventil och magnetventil.

### 7.2.4 Systemlösningar

Systemlösningar efter åtgärds paketet framgår av Figur 7.2 och 7.3.

## 7.3 Åtgärder på vattenkemisidan

Följande åtgärder vidtogs för att skydda systemet från vidare påverkan.

### Kemiska åtgärder

- . avdödning av bakteriekulturen
- . höjning av pH och buffertkapaciteten hos vattnet
- . tillsättning av korrosionsinhibitor
- . tillsättning av dispersionsmedel (utfällningshindrande).

### Fysikaliska åtgärder

- . införande av delkretsrening.

Delkretsreningen, som bestod av ett automatiskt backspolningsfilter, monterades och togs i drift i maj 1981. Efter cirka ett halvårs drift hade partikelkoncentrationen i vattnet (2-80  $\mu$ ) sjunkit från de tidigare nämnda 1,5 milj/l till 180 000/l.

De kemiska åtgärderna, som bl a innebar att bikarbonat tillsattes för att höja vattnets pH, alkalinitet och buffertförmåga har givit avsedd effekt.

Kostnaderna för dessa åtgärder har varit ca 60 000 kr för kemisk behandling och ca 40 000 kr för det permanenta delkretsreningsfiltret.

## 7.4 Åtgärder på mät- och reglersystem

### 7.4.1 Allmänt

Under provdriften av anläggningen (se Kapitel 4) uppstod så stora problem VVS-tekniskt och med flödesmätningen att omfattande ombyggnader under 1981 blev nödvändiga.

Mätsystemet modifierades och förbättrades på en del punkter:

- . Flödesmätare av magnetisk typ installerades.
- . Mätningarna på värmesystemet anpassades till de ändrade VVS-kretsarna.

Skärmade kablar lades in för alla energimätningar.

Den slutliga placeringen av givare i det ombyggda systemet framgår av Figur 7.3 (VIK 4912-3050-01 VVS 100) och Figur 7.2 (4912-3056-01 VVS 103).

För att öka servicebarhet och tillgänglighet på lång sikt och samtidigt bevara den stora flexibiliteten i datorbaserade system valdes en modern mikrodatorbaserad enhet för var och en av de tre delsystemen sol, värme och varmvatten.

### 7.4.2 Solreglersystem ombyggt

Ombyggnaden av solsystemet omfattade bland annat ett modifierat tömnings- och fyllningsförfarande samt två driftmoder, konstant tryck eller konstant temperatur.

För att bevara möjligheterna från forskningssynpunkt, att med all den information och alla styrsignaler som redan fanns tillgängliga i mät datorn, realisera regleralgoritmer inom vida gränser behölls datormodefunktionerna som tidigare.

Reservreglersystemet ersattes med en TA undercentral samt en reläutrustning för övervakning av mät dator, reservmode/datormodelogik, fyllnings-/tömningslogik och operatörsfunktioner.

Blockschemat för detta reglersystem visas i Figur 7.1.

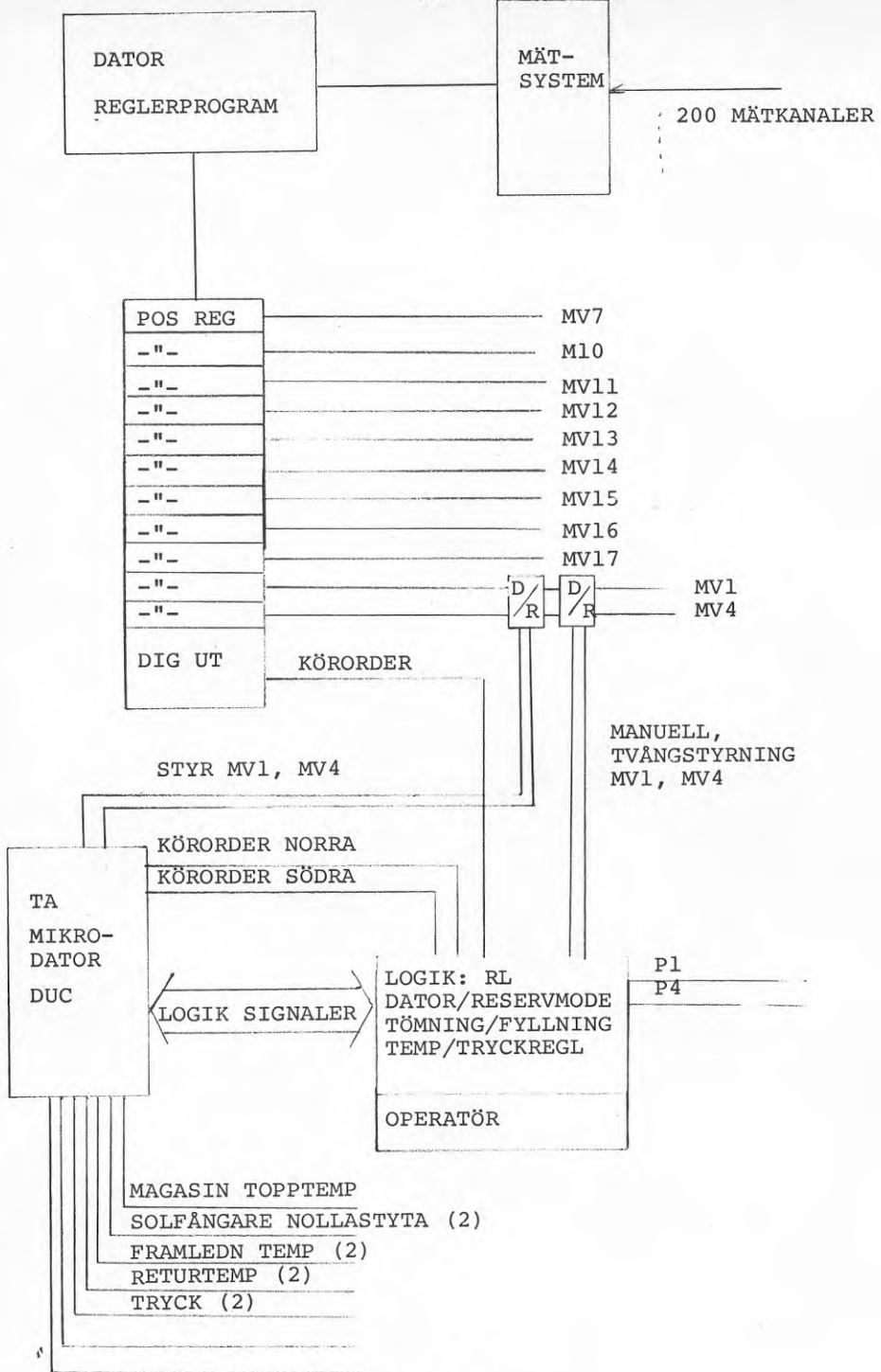
Mät datorn har via nio lägesregulatorer för MV9 - 17 möjligheter att reglera temperaturfördelningen mellan huslängor.

Ytterligare två lägesregulatorer för MV1 och MV4 ger mät datorn möjlighet att reglera returtemperaturen från norra och södra kretsen.

Till TA undercentralen är anslutna givare för:

- . lagertemperatur (topp)
- . fram- och returtemperatur norra kretsen
- . fram- och returtemperatur södra kretsen
- . tryck i norra respektive södra kretsens returledning
- . temperatur på nollastyta.

Utöver dessa mätsignaler används ett antal kontrollsignaler för samverkan med reläutrustningen (RL) och för styrning av ventiler. Dessa signaler och deras logiska riktning framgår av Figur 7.1.



Figur 7.1 Blockschema solreglersystem

Reläutrustningen (RL) innehåller växlar för styrning av MV1 och MV4 från RL, från TA eller från mätdatorn. Vidare finns en operatörspanel för val av

- . reservmode/datormode
- . sommar/vinterfall
- . tryckreglering/temperaturreglering.

#### 7.4.3 Solreglersystem, funktion i datormode

Körordern kommer i detta fall från mätdatorn (solinstrålning eller absorbatortemperatur). Om systemet är dränerat genomförs först en sekvens med fyllning av fram- och returledning samt avluftning.

Då trycket i returledningen överstiger drifttryckgränsen kopplas tryckreglering in i TA.

Efter en viss fördröjning aktiveras datordrift varvid mätdatorn tar över och temperaturreglerar enligt tidigare modell.

Enbart tryckreglering kan begäras av operatör.

Då körordern blir inaktiv (returtemperatur lägre än framledningstemperatur) stoppas systemet och dräneras om vinterfall gäller.

I sommarfall dräneras systemet om signalen FRYSRISK aktiveras, (genereras från TA) eller läckage upptäckts (lågt tryck).

TA kan med signalen RESERVMODE vid fel överföra driften till reservmode.

#### 7.4.4 Solreglersystem, reservmode

I reservmode genereras startorder från TA om temperaturen på respektive nollastyta överstiger en gräns. Kretsarna kan startas och stoppas oberoende av varandra.

Stoppkriterium är att returtemperaturen är mindre än framledningstemperaturen.

Efter uppstartningsförloppet då drifttryck uppnåtts sker tryckreglering under en tid varefter temperaturreglering inkopplas med ett börvärde = lagrets topptemperatur +  $\Delta T$ . Kontinuerlig tryckreglering kan begäras av operatör. I övrigt är funktionen identisk med datormode.

#### 7.4.5 Värmesystem ombyggt

I värmesystemet innebar ombyggnaden att en hetvattenackumulator installerades för utjämning av värmepumpdriften samt att en värmeväxlare skiljde kretsen lager från kretsen konsumenter, värmepumpskondensorer och hetvattenackumulator. Se Figur 7.2.

All tidigare reglerutrustning är här ersatt med en TA undercentral som inrymmer ett antal reglerfunktioner.

Utetemperaturen GT1 ger via en funktion ett börvärde BT1 för framledningstemperatur. Från ett tänkt läge med tillräckligt hög lagertemperatur står MV1 helt öppen mot A och GT2 regleras med MV2. Då energitillskottet i värmeväxlaren ej räcker öppnas MV1 mot B så att en allt större del hetvatten från ackumulatoren utnyttjas.

I det läge framledningstemperaturen (GT2) ej kan upprätthållas (med MV1) startas värmepumparna via RC4.

RC2 kör pump P1 så länge lagertemperaturen (GT4) överstiger returtemperaturen från konsumenter (GT3).

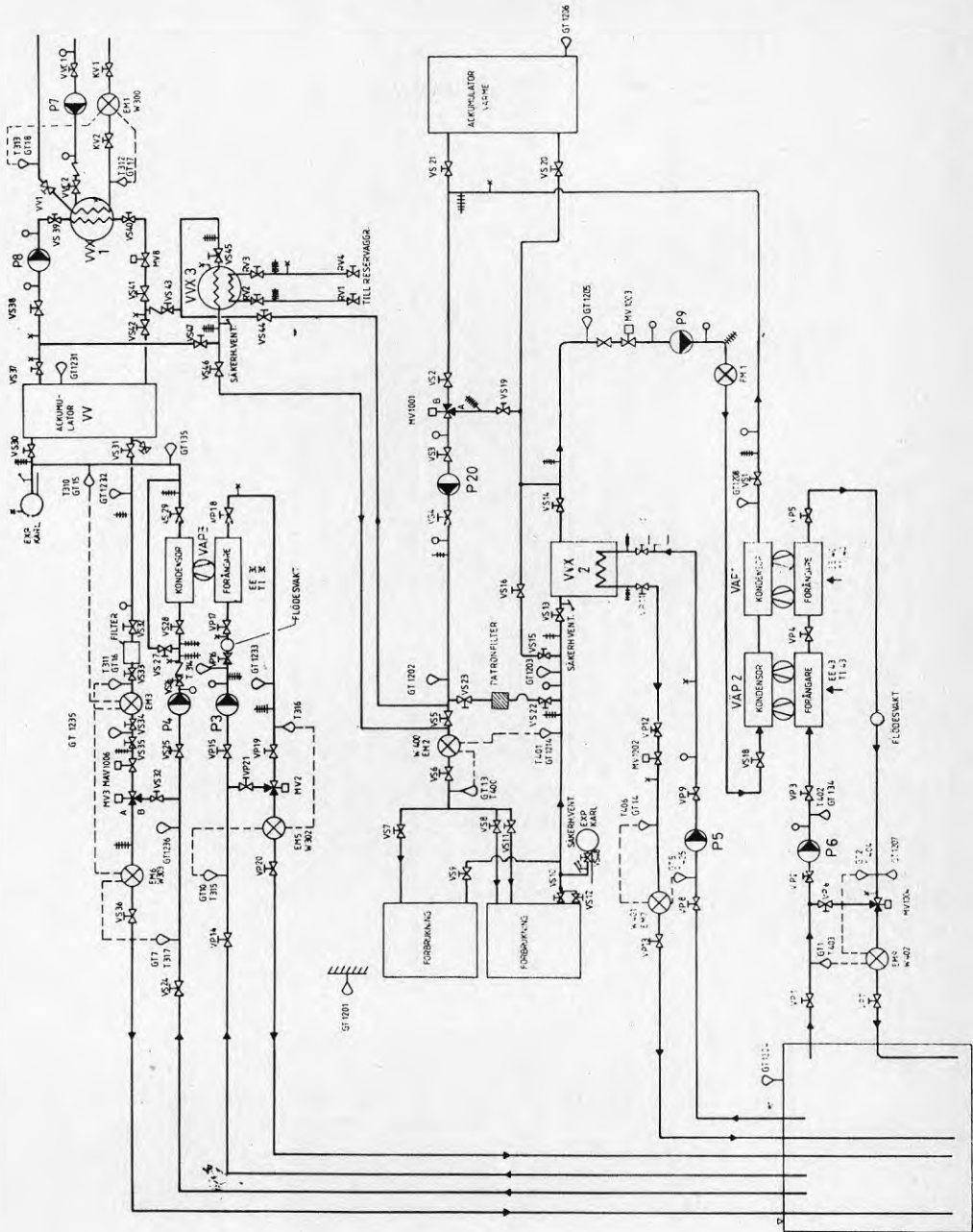
Värmepumpsteg och tillhörande ventiler och pumpar (MV3, P2, P3) styrs av RC4 så att GT9 större än BT1 uppnås.

Urkoppling av värmepumpar sker sedan hetvattenackumulatorns vattentemperatur uppnått BT1.

Förångarkretsen för värmepumparna regleras till en vald temperatur med MV4 och RC3.

#### 7.4.6 Varmvattensystem

Ingen ändring funktionsmässigt men funktionerna realiserades i en TA undercentral.



Figur 7.2 Flödesschema för uppvärmnings- och tappvarmvatten-system efter åtgärder.





## 8 DRIFTORGANISATION. ÄGANDEFÖRHÅLLANDEN. UTVÄRDERING

Det var ett allmänt intresse hos de 55 blivande husägarna som tecknade kontrakt med säljaren-byggaren Östgöta Byggen AB, år 1978-1979, att få uppleva en ny energiform - direkt solvärme. Man trodde på projektet och gavs uppfattningen att värme- och varmvattenkostnaderna skulle bli lägre än med andra konventionella uppvärmningsmetoder.

Det skrevs ett avtal mellan samfälligheten (husägarna) och Östgöta Byggen AB, där en s k gemensamhetsanläggning blev reglerad. Avtalet byggde på 1973 års anläggningslag. (Avtalet framgår av Bilaga 5.)

För solvärmearläggningen (solfångare, fram- och returledningar, lager, värmepumpar, ackumulatortankar, styr- och reglerutrustning m m) hade Östgöta Byggen AB fått ett BFR-lån som skulle omprövas senast 1983-12-31. Ur nämnda avtal citeras följande:

"Före utgången av denna tid skall villkoren för lånet omprövas mot bakgrund av det fastighetsekonomiska utfallet av de åtgärder, för vilka lånet har beviljats. Finner BFR att förutsättningar härför föreligger, skall lånet eller del därav efter beslut av BFR löpa med ränta och amorteras.

Ränte- och amorteringsvillkoren skall på sätt, som regeringen senare bestämmer, anpassas till vad som vid återbetalningstillfället tillämpas för lån som kan utgå för byggnad för motsvarande ändamål.

Finner BFR att lånet eller del därav inte kan förräntas och amorteras, kan regeringen efter framställning av BFR besluta om förlängning av den ursprungliga bestämda lånetiden eller eftergift av lånet helt eller delvis. Bifalles inte sådan framställning, meddelar regeringen föreskrifter om ränta och amortering".

Avsikten var att den utvärdering, som startade våren 1979, skulle pågå i fem år och resultatet härifrån skulle ge det beslutsunderlag som behövdes för att avskriva lån för solvärmearläggningen. Samfälligheten skulle därvid överta lånen från Östgöta Byggen AB liksom äganderätten och driften.

Utvärderingsgruppen bestod av representanter från Östgöta Byggen AB, Studsvik Energiteknik AB, Sol-lab, Tekniska Verken (Linköping) och VIAK AB. Härutöver medverkade till och från även andra representanter. Denna utvärderingsgrupp erfor i ett mycket tidigt skede stora problem som dels berodde på att anläggningen saknade tekniska förutsättningar för att kunna fungera i det skick som den då befann sig dels på konflikter mellan personer eller företag där åsikter om felen och åtgärder för deras avhjälpande var motstridiga. Utvärderingsgruppen med hjälp av styrgruppen för solvärmecentraler i Sverige genomförde i slutet på 1980 och första kvartalet 1981 ett bakgrundsarbete som VVS- och vattenkemiingenjörer sedan utvecklade

och slutförde. Nämnda utvärderingsgrupp avger härmed sin slutrapport som täcker tiden fram till 1 januari 1982. (Utvärderingen efter den tidpunkten utförs av Chalmers Tekniska Högskola.)

Beträffande driften, dvs tillsyn och skötsel av solvärmeanläggningen, ingick i avtalet att Östgöta-Byggen AB ansvarade för denna. Vid behov skulle reservenergi erhållas från en oljedriven anläggning. Östgöta-Byggen AB garanterade samfälligheten att deras kostnader ej skulle bli högre än om de i stället haft fjärrvärme från Tekniska Verken i Linköping.

Vid ett par tillfällen gjordes försök att få Tekniska Verken i Linköping att överta rollen som ägare och driftansvarig för solvärmeanläggningen från Östgöta-Byggen AB. Det fanns flera skäl härtill. Emellertid mötte detta förslag motstånd både från Tekniska Verkens sida och från samfälligheten.

Samfälligheten har haft ett stort intresse att följa projektet både beträffande teknik och ekonomi eftersom de själva planerade överta solvärmeanläggningen efter utvärderingsperioden. Bland de boende fanns också en av huvudkonstruktörerna av anläggningen och Tekniska Verkens representant. Samfälligheten har varit tveksamma till ett övertagande med hänsyn till de problem som varit med anläggningen och därmed sammanhängande osäkra kapital- och driftkostnader.

## 9 KÖRSTRATEGIER

Vid projektets början var avsikten att under första och andra driftåret inhämta maximal mängd energi från solfångarna. Åren därefter skulle inriktningen vara att få minimal kostnad för värme och varmvatten till samfälligheten.

Optimering genom att köra maximalflöde genom solfångarna eller ett lägre flöde men då en högre returtemperatur blev aldrig möjligt att prova under den aktuella provperioden. Ett simuleringsprogram hade utvecklats bl a för detta ändamål, se Bilaga 6, "Optimering av system för säsongslagrad solvärme" av Per-Åke Andersson och Åke Hermansson. Programmet i källkod (SIMULA) som sådant finns hos BFR.

En fråga som diskuterades var att ersätta oljepannans inmatning med elvärme. Elpriset varierar kraftigt över året och detta förhållande skulle kunna utnyttjas.

Att lagra elvärme i lagret under långa perioder ansågs dock ej vara ekonomiskt riktigt, i synnerhet inte med de höga förluster lagret nu visat sig ha.

## 10 KOSTNADER

Nedan följer en sammanställning av investeringskostnader enligt avstämning 1979-09-28. Kostnaderna avser energisystemet exklusive husen med sina värme- och tappvarmattensystem.

<u>Benämning</u>	<u>Kostnad kkr</u>
Värmelager	4 790
Solfångare	2 770
Anslutningsledningar och inkoppling	670
Installationer i centralanläggning	1 970
Solvärmekulvertar i mark	460
Styr- och reglerutrustning	690
Reservanläggning	180
Intrimning av anläggning	150
Slutprojektering	450
Kontrollantarvoden	125
Advokatarvoden	20
Planering och projektledning	250
Försäkringar	150
Inteckningskostnader	75
Entreprenörarvoden	400
Djuphålsborrning	70
Index	450
SUMMA	<u>13 670</u>

Ombyggnadskostnaderna enligt kapitel 7 uppgår till 2,6 miljoner kronor.

## 11 AVSLUTNING. SAMMANFATTNING

Efter de första 12 månadernas drift i Lambohov, där problemen hade att definieras och åtgärdas, har anläggningen byggts om. De väsentliga ombyggnaderna skedde i slutet av 1981. Året därefter ägnades till intrimning.

Projektets syfte var från början att utvärdera den solvärmecentral som blev färdigbyggd 1979 i Lambohov i Linköping. Utvärderingen skulle innebära mätningar på och studier av:

- a solfångarnas prestanda, beteende, drift- och underhåll
- b lagrets egenskaper, förluster, konstruktionsproblem
- c värmepumpars funktion, värmefaktorer, drift
- d optimala körstrategier för solfångare och värmepumpar
- e temperaturskiktningen i lager och ackumulatortankar. Inverkan av diffusorer och skiktfördelare i lagret.

Det visade sig redan vid första start, våren 1980, att anläggningen var behäftad med så svåra konstruktionsfel att nämnda ambition för utvärdering ej var möjlig att uppfylla.

Projektet omformulerades därför i början på 1981 att gälla en ganska noggrann redogörelse för:

- . projekterings- och byggfas
- . drifterfarenheter
- . temperaturmätningar och beräkningar utgående från dessa
- . ombyggnad av Lambohovanläggningen
- . problem med ägandeförhållanden, organisation, projektstyrning, och liknande.

Härtill har även lagts 1980 och 1981 års driftresultat (el, olja, utmatad energi) i den reducerade form som var möjlig.

Redovisningen gäller från idéstadium till och med år 1981.

Resultaten kan sammanfattas sålunda:

- . Icke avsedda luftinsläpp i vattenkretsar har vållat mycket svåra störningar i anläggningen. Detta har i sin tur påverkat cirkulationspumpar, värmepumpar, mätning, reglering, biologisk tillväxt med igensättningar som följd, korrosion m m.
- . Andra felaktigheter i VVS-systemen som t ex för små cirkulationspumpar i solkretsar, för liten kapacitet hos avluftningsventiler, icke beaktade konsekvenser av undertryck i system (luft tränger in) m m.
- . Vatten som värmebärare i ett öppet system kan ge många problem.

- . Värmelagret ger värmeförluster som avsevärt överstiger kalkylerade värden.
- . Värmelagrets konstruktion, särskilt beträffande tak och frågan hur inläckande grundvatten skall beaktas, måste behandlas vidare.
- . Temperaturskiktningen i lagret har inte helt uppnått kalkylerade värden, dels beroende på att in- och utmatningsanordningar för vattnet ej var de lämpligaste, dels beroende på att körning med toppladdning av lagret på grund av anläggningsfelen ej kunde få provas.
- . Solfångarnas prestanda har på grund av anläggningsfelen varit svåra att exakt kartlägga genom direkta mätningar och på grund av de mycket stora lagerförlusterna som ej heller kunnat beräknas exakt. Genom energibalansstudier har beräknats att  $242 \text{ kWh/m}^2$  solfångare matats in till lagret 1981. (Motsvarande värde för 1982, då anläggningen fungerat i ombyggt skick var  $349 \text{ kWh/m}^2$ .) Kalkylerat värde är  $350 \text{ kWh/m}^2$ , år.

Momentant uppmätta verkningsgrader under vissa dagar har givit resultat som är något bättre än de som uppmätts på Statens Provningsanstalt i Borås.

Projektet har varit för litet uttryckt i antal anslutna hus för att vara ekonomiskt, men detta hade man klart för sig redan från början. Grundidéerna har dock varit riktiga beträffande val av lagertyp och val av solfångare.

Skulle projektet ha byggts i ekonomisk skala hade kostnaden för stöd från samhället (BFR) blivit en storleksordning större vilket i detta tidiga stadium säkert varit felaktigt.

Erfarenheterna från projektet har varit mycket givande både för Lambohovprojektet och för alla som arbetar med projekt av liknande karaktär.

Den kostnadsökning på cirka 19% som erfordrades för att detta fullskaleprojekt skulle bli driftdugligt kan betecknas som acceptabel.

Ett antal problem återstår att studera vidare. Av dessa bör nämnas

- . förlusterna hos lagret. Vid mätning av alla värmeflöden kan dessa bestämmas.
- . takkonstruktionen på lagret med avseende på täthet och beständighet
- . inläckande grundvatten
- . temperaturskiktning i lagret och dess inverkan på insamlad energi

- . hur hålla vattenkvaliteten under kontroll i ett öppet system där man har varierande temperaturer
- . material i VVS-komponenter
- . temperaturspridning på stora avstånd från lagret.

Den extra tillsatta VVS-gruppen avslutade sitt utlåtande med följande synpunkter:

- . Brukarna måste upplysas om de problem som kan förväntas uppstå vid ett forskningsprojekt.
- . Forskningsuppgiften skall begränsas.
- . Vid beslut om nya forskningsprojekt bör tillgång till starka referensgrupper med bra resurser finnas.
- . Erfarenhetsåterföringen är viktig både vad gäller kunskap från liknande och närliggande teknik och från projektet som sådant.
- . Val av forskare och konstruktörer skall ske så att så långt möjligt den erfarenhet som finns inom respektive område utnyttjas.
- . Resurser bör finnas för granskning av konstruktioner. Detta gäller speciellt sådana som inte direkt har med forskningsidén att göra.
- . Anläggningarnas driftsäkerhet måste beaktas i synnerhet om den avser att fungera i ordinära system. Det är viktigt att bra drift- och skötselinstruktioner upprättas och att dessa är anpassade till den organisation som skall handha drift och skötsel.
- . Det är av största vikt att byggandet sker noggrant så att slarvfel undviks. Därvid kan forskningen komma igång snabbare och med mindre störningar. Noggrant byggande kan uppnås dels genom val av rätt entreprenör och entreprenadform samt genom noggrant kontrollskap.

## 12 LITTERATURFÖRTECKNING

- 1 Ahlström B (död dec 1981): Solvärmecentralen i Lambohov, beräkningsunderlag - verklighet, VVS 4/82, sid 75-76, 79-80, 1983
- 2 Margen P: Solvärmecentraler. En ekonomisk lösning för användning av solenergi i Norden, Byggmästaren, 3/1980, sid 25-28
- 3 Abel E: Vad man behöver beräkna för att utvärdera energi-experimenthus, VVS 12/1981, sid 49-52, 67
- 4 Ahlström A: Lambohov solvärmeanläggning 88 procent försörjningsgrad med säsonglagring i vattenmagasin, VVS 11/1978, sid 17-19
- 5 Ahlström A: Solvärmecentral Lambohov Linköping. Datorberäkning av magasin. Delrapport 1 och 2, 1978
- 6 Tätning och isolering av behållare för säsonglagring av solvärme i vatten, G36:1980, BFR seminarium, oktober, 1979
- 7 Erfarenhetsåterföring från solvärmecentraler, BFR seminarium, november 1981
- 8 Lilja J m fl: Placering av stor solvärmecentral. Inledande undersökning, BFR R10:1979
- 9 Norbäck K & Hallenberg J: A Swedish Group Solar Heating, Plant With Seasonal Storage. Technical-economic description of the Lambohov Project, BFR 1980
- 10 Braun J E, Klein, S A och Mitchell J W: Seasonal Storage of Energy in Solar Heating, Solar Energy Vol 26/1981, page 403-411
- 11 Maw R: Design and economic analysis of solar heating systems integral with housing. TM-Polytechnic of central London, London, 1981
- 12 Schmittiger J R: Tillförlitlighetsteknik hos solvärmecentraler, Metodstudie av Lambohovprojektet i Linköping, BRF, R117:1979.
- 13 Dalenbäck J-O, Gabrielsson E och Ludvigsson B: Swedish group solar heating plants with seasonal storage, D5:1981
- 14 Nordgaard-Hansen P: Seasonal heat storage in hot water stores, (Paper presented at International Conference on numerical methods, Swansea) Lab for Varmeisol DTH, Lyngby, Danmark.



- 15 Roseen R och Perers B: A solar heating plant in Studsvik - design and first-year operational performance, BFR, D21:1980.
- 16 Finn L: Solvärmeverk Ingelstad i Växjö - Projektering och byggförberedelser, BFR, R82:1979.
- 17 Finn L: A Swedish solar heating plant with seasonal storage, BFR, D14:1979.
- 18 Ahlström B, Hedman E och Dättermark B: Solar energy house in Linköping, BFR, D4:1977
- 19 Lagerkvist K-O och Wennerholm H: Solfångares hållbarhet - erfarenheter från besiktning av solvärmeanläggningar 1979-1980, BFR, R127:1980
- 20 Perers B och Roseen R: Solvärmecentralen i Studsvik, Resultat 1980, BFR, R59:1981
- 21 Gabrielsson G, Ludvigson B och Dalenbäck J-O: Solvärmecentraler i Studsvik, Lambohov och Ingelstad, Sammanfattande erfarenheter fram till årsskiftet 1980/81, BFR, R53:1981.
- 22 Brown G, och Isfält E: Solinstrålning och solavskärmning, 1974, BFR, R19:1974
- 23 Nordgaard-Hansen P: Saesonlagring af varme, Dansk VVS-teknisk tidskrift, nr 5, 1981
- 24 Beräkningar av värmeförluster från vattenlager i Lambohov enligt finita elementmetoden", VIAK, 1981
- 25 Risting L: Datainsamling i Lambohov, arbetsrapport, Studsvik, E I 1982/1.
- 26 Holst P: Flödesmätning i Lambohov, arbetsrapport, Studsvik, E I 1980/130.
- 27 Bresle Å: Ett skadefall i bakteriell korrosion i vattenvärmsystem, VVS-teknisk tidskrift, nr 9, 1981
- 28 Svensson Jan: Mät-, styr- och reglerutrustning för Lambohov, programförslag, 1978
- 29 Svensson Jan: Utveckling av solfångare, beskrivning av solfångare och mätstation. Delrapport 1, Linköping, 1978
- 30 Svensson Jan: Resultat från mätningar. Delrapport 2, Linköping 1977-78

- 32 Svensson Jan: Kondensproblem i solfångare. Resultat från försök i Myra, 1979
- 33 Svensson Jan: Förslag till styrning av solvärmesystem i Lambohov, 1978
- 34 Svensson Jan: Informationsprogram för Lambohov, 1979
- 35 Svensson Jan: Luftproblem i energidistributionssystem i Lambohov, 1979-80
- 36 Svensson Jan: Dagboksanteckningar om drift, 1978-1981
- 37 Svensson Jan: Fysikalisk-kemisk undersökning av vattenkvalitet, Lambohov, 1980
- 38 Svensson Jan: Solfångarsystem med pigmenterad vätska som energiupptagande medium, STU, 1976
- 39 Svensson Jan: Förslag till forskningsprogram för Lambohov, Linköping, 1981-82
- 40 Svensson Jan: Konstruktion för skiktuppbyggnad i termiskt värmelager. Patent och registreringsverket, 1978
- 41 Svensson Jan: Sammanställning och dokumentation av modellförsök med färgade vätskor, 1978
- 42 Svensson Jimmy: Byggdokumentation, Östgötabyggen, Linköping, 1978-80

LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 1

VIAKs GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR

61.7625

AB ÖSTGÖTA-BYGGEN  
LINKÖPING  
LAMBOHOV OMRÅDE B  
BASSÄNG FÖR LAGRING AV VATTEN  
GEOTEKNISKT UTLÅTANDE

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

- 1 Uppdragets omfattning
- 2 Planerad anläggning
- 3 Fältarbete
- 4 Beskrivning av området, jordlagerföljd
- 5 Geoteknisk undersökning
- 6 Provpumpning av bergborrhål
- 7 Pm angående sprängning och injektering
- 8 Rekommendationer angående fortsatt arbete
- 9 Bilagor:  
Beteckningar vid geotekniska undersökningar
- 10 Ritningar:  
61.7625 -6 A Borrplan i skala 1:400  
-8 o -8A Sektioner i skala 1:100

61.7625

## 1 UPPDRAGETS OMFATTNING

På uppdrag av AB Östgöta-Byggen har VIAK AB under en längre tid (mars 1977) deltagit i projekteringsarbetet för att finna en metod att lagra soluppvärmt vatten inom ett planerat bostadsområde i Lambohov.

Kraftigt generaliserat kan arbetet beskrivas enligt följande:

a/ Borrning och utvärdering av möjligheterna att utföra anläggningen i jord.

Detta alternativ slopades av stabilitets- och kostnadsskäl.

b/ Borrning för lokalisering av lämplig bergplint inom området belägen så att kortast möjliga anslutningsledningar, lämpligt höjdläge, och tillräcklig volym (10.000 m<sup>3</sup>) kunde erhållas.

c/ Sedan en bergplint lokaliserats har denna undersökts närmare med avseende på bergkvalitet och täthet (vattenförekomst). Denna undersökning har föranlett justeringar av dammens läge i flera omgångar för att hitta bästa möjliga läge. Bergborrningar har utförts i två etapper med en mellanliggande provpumpning.

## 2 PLANERAD ANLÄGGNING

Den planerade anläggningen blir en öppen isolerad bergdamm med lock. Volymen blir ca 10.000 m<sup>3</sup> och dammens botten kommer att ligga på nivån +28. Från bergets överyta och till den nivå som erfordras upp till locket uppförs stödmurar av betong.

Tätning av berget kommer att utföras genom botteninjektering och ridåinjektering enligt den beskrivning som görs i PM angående sprängning och injektering. Under arbetets gång kommer tätning av berget att krävas till den omfattning som beskrivs i PM angående provpumpning och sprängning. Max 10 l/min grundvatten kan tillåtas och då inte som en samlad inströmning från en eller två punkter.

### 3 FÄLTARBETE

Fältarbetet inom området har utförts i flera etapper och bestått i slagsondering med Pionjär, viktsondering med motordriven sond, vingborrning, grundvattenståndsmätning genom öppna system rör och med typ svängande strängborrning i berg med 110 mm krona samt provpumpning i de bergborrade punkterna. Utsättning och avvägning har skett från polygonpunkter inom området (Linköpings kommunala system).

### 4 BESKRIVNING AV OMRÅDET, JORDLAGERFÖLJD

Området för bergdammen utgörs av ett glest bevuxet område där berghällar syns i dagen på flera ställen. Berget är dessemellen täkt av jord (morän och block) vars mäktighet syns variera från 0 - ca 4,5 m.

Vatten har påträffats högt upp i marklagren omkring +38,3.

De bergborrningar som utförts har visat att berget i den östra delen är kraftigt uppsprucket från ytan och att stora mängder vatten förekommer i spricksystemet. Mot väster är bergplinten tätare.

Vid borrningarna har även en nära horisontell spricka kunnat konstateras i den östra - nordöstra - norra delen av dammläget. Sprickan finns på nivån + 28 - +32 med lutningen in mot dammens centrum. Sprickan syns vara kraftigast mot dammen periferi i nordost.

### 5 GEOTEKNISK UNDERSÖKNING

Den geotekniska undersökningen har i huvudsak avsett att kartlägga bergets överyta. Härvid har åtskilliga borrhållningar utförts, dels med Pionjär dels med bandgående bergborrtröstning.

För att få en överblick av borrhållningarna har endast medtagits de som kan anses väsentliga i dammens slutliga läge.

Bergborrade punkter har betecknats med bokstäverna A, B, C, D, I, K, L och M. I dessa punkter har även vattenobservationer gjorts liksom i punkterna E, F, G och H.

Övriga punkter är slagsonderade med Pionjär och visar djupet till berg i diagramform. Således visar det från borrhypunkten dragna radiella sträcket djupet från markytan till antagen bergyta i skala 1:100.

De vattenobservationer som utförts i bergborrade punkter och/eller i lerområden har legat till grund för den geohydrologiska bedömningen men kommer även under byggnadstiden och en tid efter denna att få stor betydelse. Någon redovisning av dessa görs därför icke nu utan de kan ses som ett inledningsskede av en längre mätperiod.

#### 6 PROVPUMPNING AV BERGBORRHÅL

Se bilaga 1.

#### 7 PM ANGÅENDE SPRÄNGNING OCH INJEKTERING

Se bilaga 2.

#### 8 REKOMMENDATIONER ANGÅENDE FORTSATT ARBETE

Utöver vad som sägs i ovanstående avsnitt om provpumpning och sprängning/injektering rekommenderas följande:

Kontroll av grundvattennivåer i och omkring arbetsplatsen skall ske under arbetets gång och därefter fram till en tidpunkt då ett stabilt läge på grundvattennivån åter har utbildats.

Kontroll av bortpumpade vattenmängder skall ske under byggnadstiden för att i ett slutläge av injekterings och tätningsarbetet kunna konstatera att icke mera än 10 l/min grundvatten bortpumpas från bassängområdet.

Projektörer, geohydrologer och geoteknider bör ges möjlighet att förlöpande följa arbetet och på så sätt kunna bidra till att de för projektet viktiga förutsättningar kan hållas.

Linköping 1978-06-19

VIAK AB  
Linköpingskontoret

Klas Fredrikson

Ove Hinnerson









ÖSTGÖTA-BYGGEN AB  
 LINKÖPING  
 LAMBOHOV, OMRÅDE B  
 REDOGÖRELSE FÖR KORTTIDSPROVPUMPNING AV BERGBORRHÅL

Härtill hör:

Bilaga 1	"PM för korttidsprovpumpning av bergborrhål", daterad 1978-05-02
Ritningar nr 61.7625-21	Plan i skala 1:1 000
-22	Plan i skala 1:1 000, avsänkning
-23	Provpumpningsdiagram
-24	Avsänkning $s-t/r^2$

I avsikt att erhålla ett fullständigt underlagsmaterial för att bedöma erforderlig teknik vid byggande av lagringsbassäng av vatten i berg, både vad beträffar anläggningens utformning och ur grundvattensänknings-synpunkt, har VIAK AB utfört en kortvarig propumpning i ett bergborrhål vid den föreslagna platsen.

#### Borrningar

Förundersökningarna har omfattat såväl borrningar i jord som i berg. Jordlagrens mäktighet har bestämts och grundvattenförhållandena har fastställts dels med observationsrör i friktionsjorden, dels med portryckmätare i leran.

I berg har fyra 110 mm borrningar utförts, tre till ett djup av ca 20 m och en till ca 40 m under markytan. Borrningarnas lägen framgår av ritning nr 61.7625-21 och resultatet redovisas i annan rapport. Av borrhålen är B och C de som givit mest vatten under borrhningsarbetet och således även lämpligast att utföra pumpning i.

#### Grundvattenförhållanden

Som framgår av ritning nr 61.7625-21 är grundvattennivån i berg och jord ungefär densamma och är belägen något under markytan. Topografin är flack och grundvattenflödets riktning är svårbedömd. Under våren har en sjunkande trend förmärkts i samtliga observationshål. Detta härrör sannolikt från ett naturligt avsänkningsförlopp med ringa nybildning som största orsak. Det är emellertid väsentligt att framhålla att schakt-

ningsarbeten med tillhörande länshållningar pågått endast något hundratal meter från undersökningsområdet. Effekten av dessa pumpningar kan sannolikt ha påverkat de uppmätta grundvattennivåerna.

#### Korttidsprovpumpning

Under tiden 9-12 maj 1978 utfördes korttidsprovpumpning med efterföljande återhämtningsmätningar. Pumpningen gjordes med undervattenspump i borrhål B. Uttaget var till en början 140 l/min, men måste på grund av stor avsänkning efter 90 minuter minskas till 60 l/min och hölls därefter konstant. Mätningar av grundvattennivåer utfördes enligt bilagda PM för propumpning.

#### Avsänkingsförlopp

Vid propumpningen uppmättes avsänkningar i samtliga observationspunkter såsom framgår av bilagda propumpningsdiagram, ritning nr 61.7625-23. Representativa data för varje observationsrör har sammanställts i tabell 1.

Tabell 1 - Sammanställning av observationspunkter

Observationspunkt	Rör överkant (m)	Avstånd till uttagsplats (m)	Gvy före pumpstart (m)	Nivåförändring vid pumpstopp (m)
A bergborrn	+40.02	28.5	+38.38	-0.85
B "	+39.66	0.0	+37.39	-4.90
C "	+40.83	36.0	+38.31	-1.49
D "	+39.89	50	+38.42	-0.60
E jordborrn	+41.83	40	+39.91	-1.09
F "	+39.91	82	+37.25	-0.35
G portryck	+38.41	72	+38.05	-0.55
H "	+38.35	105	+37.75	-0.25

De registrerade avsänkningarna har sådan karaktär att de med säkerhet kan hänföras till det gjorda vattenuttaget. Återhämtningsförloppet bekräftar detta.

Kontakten mellan grundvattenmagasinet i berg och jord är mycket god.

Analys av erhållna data

Såväl avsänkingsdata som återhämningsdata har analyserats enligt metoder som regelmässigt användes för geohydrologiska beräkningar. Sålunda har förloppen betraktats som logaritmiska funktioner och därför uppritats i logaritmisk skala. För att undersöka grundvattenmagasinets homogenitet har koordinataxlarna valts till avsänkning (s) respektive tiden dividerad med avståndet från uttagsplatsen i kvadrat ( $t/r^2$ ), ritningar nr 61.7625-4 och -5. De hydrauliska parametrarna, transmissiviteten (T) och magasincoeffcienten (S), har utvärderats enligt Theis typkurvemetod respektive Jacobs förenklade metod och redovisas i tabell 2 A-B.

Tabell 2 A - Sammanställning av beräknade hydrauliska parametrar  
Utvärdering enligt Theis s-t/r<sup>2</sup>

Observationspunkt	Transmissivitet T m <sup>2</sup> /s	Magasinscoeffcient S
A	$3.4 \times 10^{-4}$	$9.9 \times 10^{-4}$
C	$2.8 \times 10^{-4}$	$3.6 \times 10^{-4}$
D	$3.9 \times 10^{-4}$	$36 \times 10^{-4}$
E	$4.1 \times 10^{-4}$	$6.0 \times 10^{-4}$
F	$4.4 \times 10^{-4}$	$44 \times 10^{-4}$

Tabell 2 B - Sammanställning av beräknade hydrauliska parametrar  
Utvärdering enligt Jacob s-t

Observationspunkt	Transmissivitet T m <sup>2</sup> /s	Magasinscoeffcient S
A	$4.9 \times 10^{-4}$	$28 \times 10^{-4}$
C	$2.7 \times 10^{-4}$	$6.2 \times 10^{-4}$
D	$4.0 \times 10^{-4}$	$34 \times 10^{-4}$
E	$3.7 \times 10^{-4}$	$7.7 \times 10^{-4}$
F	$5.1 \times 10^{-4}$	$31 \times 10^{-4}$
Medelvärde tabell 2 A-B:	$3.9 \times 10^{-4}$	C o E $5.9 \times 10^{-4}$ A, D o F $30 \times 10^{-4}$

Som framgår av tabellen erhålles en enhetlig bild av transmissiviteten, medan magasincoeffcienten visar större variationer. Inga störningar i form av hydrauliska gränser har observerats vid analysen. Sannolikt har därför grundvattenuttaget stor areell influens.

Variationerna hos magasinskoefficienten kan dels hänföras till effekten av samverkan mellan grundvattenmagasinet i jord och i berg; dels till att strömning sker i spricksystem i olika riktningar, dvs avståndet till uttagsplatsen kan ej räknas radiellt för vattentransporten, utan sprickornas orientering måste beaktas. Detta innebär också att transmissiviteten är olika i olika riktningar.

Återhämtningsförloppet ger en något avvikande bild jämfört med avsänkningen och antyder att ett begränsat grundvattenmagasin påverkas. Emellertid kan detta vara ett felvisande resultat med hänsyn till de grundvattensänkningar som sker i omgivningen. Vi har därför valt att utgå från att avsänkingsförloppet är det som bäst beskriver grundvattenmagasinets hydraulik, vilket ger en bedömning "på säkra sidan".

#### Effekter av framtida avsänkningar

För att bedöma effekten av grundvattenavsänkningar i området kan de beräknade parametrarna användas. Under antagande att resultatet kan extrapoleras för ett större område, har en beräkning gjorts för vad som kan hända "i värsta fall". Denna är grundad på ett läge av bergschakten som redovisas på ritning nr 61.7625-21.

De vattenkvantiteter som kan förväntas vid en avsänkning skall balanseras mot en naturlig tillrinning. Nuvarande grundvattensituation, med flack topografi och flacka, svårbestämda gradienter antyder att några större grundvattenflöden ej förekommer i området. Ett ingrepp innebär därför att tillskottet i vattenbalansen kommer att utgöras av nybildning av grundvatten i den sänkningstratt som ingreppet orsakar.

En balansberäkning har utförts och visar på att vattenmängder av storleksordningen 300 l/min i medeltal per år kan komma att tillföras dräneringen. Sänkningstrattens utbredning kommer då att uppgå till storleksordningen 900 m, mindre under nybildningsperioderna (vår och höst) och större under torrperioder.

Genom injektering kan grundvattenflödet begränsas. De läckagemängder som kan tolereras uppgår maximalt till storleksordningen 10 l/min, förutsatt att inläckaget sker fördelat i bergschakten, då annars en enda spricka som dräneras med denna kapacitet kan ge stora avsänkningar lokalt.

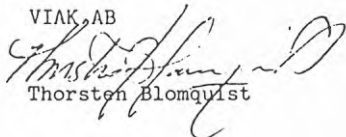
Resultat och sammanfattning

Den geohydrologiska undersökning som utförts visar att betydande grundvattensmängder kan omsättas i berget. Grundvattenmagasinet samverkar med omgivande jordars grundvatten. Vid en avsänkning kan vattensmängder av storleksordningen 300 l/min i genomsnitt per år dräneras vid bergschakten och påverkan i såväl jord som berg kan komma att erhållas på upp till ca 900 meters avstånd.

Spricksystemet i berget är kraftigt vattenförande i flera olika riktningar. Det torde vara av sådan omfattning, att betydande problem kan uppstå vid anläggningsarbetena. Förinjektering är sannolikt nödvändig. En grundvattenavsänkning genom dränering kan orsaka byggnadstekniska problem i angränsande områden, varför vi rekommenderar en konstruktion som ej orsakar stationär grundvattenavsänkning.

Göteborg 1978-05-31

VIAK, AB

  
Thorsten Blomquist

  
Peeter Maripuu



ÖSTGÖTA-BYGGEN AB

LINKÖPING

LAMBOHOV, OMRÅDE B

PM för korttidsprov-pumpning av bergborrhål

Härtill hör ritning 61-7625-1 b. Geoteknisk plan i skala 1:1.000.

För att undersöka de geohydrologiska förhållandena i anslutning till byggandet av ett lagringsutrymme i berg skall en kortvarig provpumpning utföras i ett befintligt bergborrhål. Resultatet av pumpningen skall ge en uppfattning om bergets täthet, spricksystemens kommunikation och eventuell påverkan av grundvattenförhållandena i omgivande jordar och på så sätt utgöra projekteringsunderlag för berganläggningen.

Pumpningens varaktighet skall vara ca två dygn och skall utföras med konstant vattenuttag vars storlek bestäms vid pumpmontaget. Pumpningen skall ske ur borrhål B.

Före pumpningen mätes samtliga observationspunkter i jord och berg, två gånger en dag före pumpningens början och en gång omedelbart före pumpstart.

Under pumpningen utförs vattenståndsobservationer vid följande punkter Borrhål A, B, C och D samt observationsrör och porttrycksmätare E, F, G H och K. Därtill förs protokoll över uppumpad vattenmängd. Under provpumpningens tre första timmar mätes följande observationspunkter kontinuerligt med en observatör vid varje punkt: Borrhål A, B, C och D. Därefter enligt grundschema. Övriga observationspunkter mätes enligt grundschema så snart tiden medger det.

#### Observationsprogram, grundschema

##### Före pumpstart

Samtliga klockor ställes lika för att erhålla gemensam "pumpningstid". Vattenståndet i observationspunkterna avläses minst en gång och bokföres på raderna 01, 02 eller 03 i provpumpningsprotokollet.

Vid och efter pumpstart

Vattenståndet i observationspunkterna avläses efter följande tidschema:

Dag 1	Pumpstart	0	min
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,			min
12, 14, 16, 18, 20			min
25, 30, 35, 40, 50, 60			min
75, 90, 120, 150 och 180			min = 3 tim
4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20			tim

Dag 02 kl 08  
kl 13  
kl 18  
kl 23

samt dag 3 före pumpstopp.

Vid och efter pumpstopp

Vattenståndet i observationsrören avläses efter samma tidsschema som vid pumpningen.

Kommentar

Viktigt är att tidpunkten för avläsningen är rätt antecknad i protokollet, även om denna ej är utförd enligt tidsschemat. Skulle av någon orsak en mätning utebli, kan denna ej ersättas med en mätning vid annan tidpunkt.

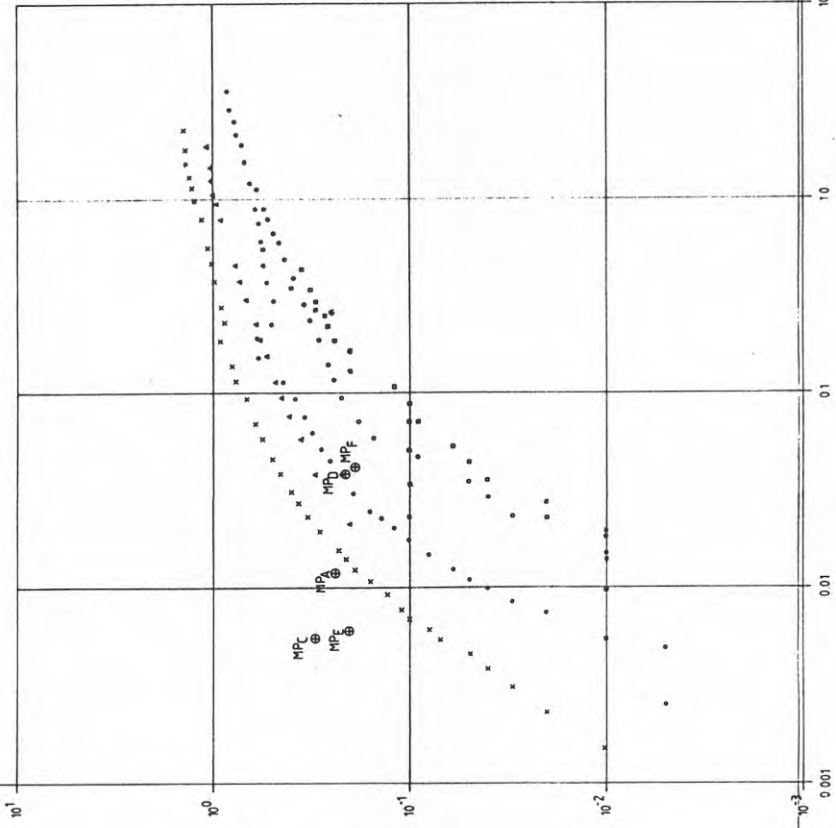
Göteborg den 2 maj 1978

VIAK AB

  
P. Maripuu



AVSANKNING  
(m)

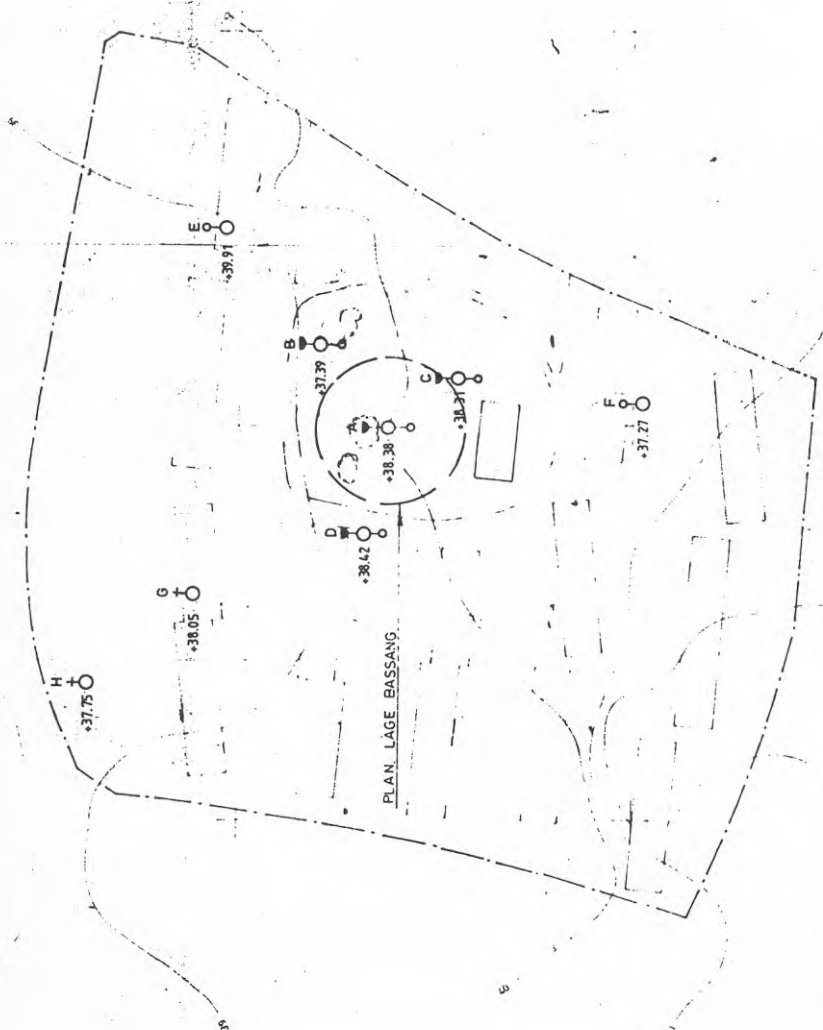


BORRHÅL	AVSTÅND TILL PUMPLATS	BORRHÅLSTYP
• A	r = 28.5 m	BERGBORRN.
x C	r = 36.0 m	— " —
• D	r = 50.4 m	— " —
△ E	r = 40 m	JORDBORRN.
• F	r = 82 m	— " —
• G	r = 72 m	PORTRYCK
• H	r = 105 m	— " —

TIDEN/AVSTÅND<sup>2</sup>

**VIAK**  LOSTGÖTA - BYGGEN AB  
 L. NILSSON LUNKÖPING  
 GÖTTESGÅRDEN 27808001 LAMBOHOV, OMRÅDE B  
 61-7625... KORTTIDSPRÖVNING 24





TECKENFÖRKLÄRING

- ○ BORRPUNKT I BERG 20 M DJUP CENTRUM-  
PUNKT 40M. TÄTHETSPROVNING, PROFVPUMPNING  
UNDERSÖKNING AV BERRKAX GRUNDVATTEN-  
OBSERVATIONER
- ⊕ ○ ○ GRUNDVATTEN-OBSERVATION. PORTRYCKMÄTN.  
GRUNDVATTEN-OBSERVATION LÅNGTID ÖPPET  
SYSTEM

VIAB AB		ÖSTGÖTA-BYGGEN AB	
L. NILSSON		LINKÖPING	
SÖDERBORG		LAMBORV. OMRÅDE 8	
BYGGNAD		KORTLIDSPROVNING	
BYGGNAD		GV-NIVA FÖRE PUMPESTART	
BYGGNAD		61-1625-01	
		21	

PM angående sprängning och injektering av bergbassäng för  
lagring av varmvatten, Lambohov, Linköping

1. Borrning och sprängning
2. Utlastning
3. Injektering
4. Övrigt.

1. Borrning och sprängning

Berg är ett material som har helt varierande egenskaper. Drag-, tryck-, och skjuvhållfastheten kan variera med flera faktorer mellan olika bergarter.

Hållfasthetsegenskaperna inverkar av naturliga skäl på bergets sprängbarhet då bergets draghållfasthet måste övervinnas för att en sönderbrytning av berget skall ske vid detonationer av sprängämnet.

Vad som komplicerar bilden är att bergarterna sällan uppvisar någon högre grad av homogenitet. Slag och sprickor förändrar helt eller lokalt bergets motståndskraft mot sprängämnets påverkan. Det är naturligt att berget i en väl utbildad slagyta, där bergets hållfasthet i stort sett består av friktioner mellan bergytorna, jämfört med en homogen hård bergart med draghållfasthet omkring  $200 \text{ kg/cm}^2$ , uppvisar mycket skiftande sprängbarhet.

En skiffrig bergart med öppningar, som erbjuder sprängämnets gaser möjligheter att tränga ut utan att verka fullständigt, kan vara svårsprängd trots relativt låga hållfasthetsvärden.

Man finner att tillgängliga teoretiska underlag för laddningsberäkning är empiriska. Empiriska värden har framtagits av, i första hand Nitro Nobel, genom provsprängningar och sammanställning av praktiska erfarenheter.

Fortsättningsvis hänvisas till Nitro Nobels laddningstabeller om ej annat anges.

I avsikt att uppnå en så slät bergvägg som möjligt i den aktuella bergbassängen är det vår uppfattning att FÖRSPRÄCKNING av konturhålen bör utföras. De fördelar som vinnes vid FÖRSPRÄCKNING är:

Slätare bergytor

Ökad berghållfasthet

Mindre överberg

Minskad betongåtgång vid motgjutning

Uppnående av nära teoretisk profil

Minskad uppsprickning - minskad vatteninträning.

Den aktuella bergarten, grovkornig ung granit, gör att avståndet mellan konturhålen kan sättas till 0,5 m. Håldiametern bör sättas till 51 mm och laddning utföras enligt Nitro Nobels laddningstabell för förspräckning

0,32 kg/m Dyn., vilket är lika med 2 x 17 mm Guritrör.

Initieringen bör ske med momentan tändning. En provsprängning om ca 5 m konturhålsrad kan utföras i en första omgång för att hitta det riktiga förhållandet mellan hålavstånd och laddningskoncentration.

Uppskjutet för den fortsatta sprängningen bör inte ske mot den förspräckta konturen, då ett sådant förfarande kan äventyra utfallet av förspräckningen inom området. Dimensionerande för kvaliteten på den kvarvarande bergväggen är, förutom laddning och hålavstånd, även riktning av konturhålen. Vi föreslår därför att borrhningstoleransen sätts enligt mark AMA tab 36/1. Bassängväggen föreslås få en lutning om 10:1.

Inför varje sprängetapp bör entreprenören redovisa borrh- och laddplan för godkännande.

## 2. Utlastning

En stor del av kostnaden för bergschakt utgöres av last- och transportkostnader. Lastkostnaden styrs bl.a. av schaktdjupet. Det finns idag hydrauliska grävmaskiner, typ Åkerman H25<sup>B</sup>, som schaktar till ett djup om ca 10 m. För det aktuella projektet är en sådan lastmaskin i övrigt olämplig, varför vi föreslår att bassängen placeras med sprängbotten på + 28.00, vilket möjliggör användandet av en mindre schaktmaskin, som bättre svarar mot arbetet i övrigt..



Ett annat alternativ är att utöka sprängningsarbetet att omfatta även en nedfartsramp utanför bassängen. I det fallet kan sprängbotten placeras på önskat djup. Härvid bör man dock observera att en snabb kostnadsökning uppstår med ökat bassängdjup.

På grund av att bergövertytan har sin lägsta höjd i norra delen, är det sannolikt att schaktentreprenören väljer denna del som infart till bassängen.

### 3. Injektering

Utförd geohydrologisk undersökning i området visar att betydande grundvattenmängder kan omsättas i den aktuella bergplinten. För att minska behovet av förinjektering har bassängen flyttats mot väster. Kompletterande borrhningar har utförts i fyra punkter.

Med ledning av informationer från propumpning och kompletterande borrhningar föreslår vi ett skafflerat område på bifogad skiss förinjekteras, dels som ridåinjektering och dels som botteninjektering.

Ridåinjekteringen syftar till att avskärma de yttligare spricksystemen, som enligt borrhprotokollen är vattenförande, medan botteninjekteringen motiveras av förhållandet att samtliga propumpningshål påverkades vid pumpningen och att det således finnes ett horisontellt spricksystem på större djup än bassängbotten, som antagits till + 28.00.

Ridåinjekteringen utföres till ett djup av 5 m under sprängbotten. Ridåhålen ansättes 1 m utanför teoretiskt väggliv och med ett inbördes avstånd om max 3,0 m.

Botteninjekteringen utföres innan sprängningsarbetet påbörjats. Injekteringen skall utföras till ett djup om 5 m under sprängbotten och från nivån 1 m ovanför sprängbotten. Inbördes avstånd mellan injekteringshålerna får ej överskrida 3 m. För allt injekteringsarbete skall gälla

Fortifikationsförvaltningens "Föreskrifter och kommentarer för utförande av injekteringsarbeten i samband med gjutning av skyddsbarriärer".

Som tillsatsmedel till injekteringsbruket skall bentonit användas (3 % bentonit räknat på cementvikten).

Flera hål kan injekteras samtidigt - seriekoppling - varvid hål med små vattenförluster injekteras först. Seriekopplingen bryts när flödet i ett eller flera hål minskar väsentligt i förhållande till övriga, eller när trycket börjar stiga. Hålen injekteras därefter var för sig genom växling från hål till hål. Tiden mellan två injekteringar bör inte överstiga en timma.

Efter det att bassängen sprängts ut kan efterinjektering bli nödvändig. Härvid skall injekteringshålens riktning, djup och antal anpassas från fall till fall med hänsyn till slagriktningar och läckornas omfattning.

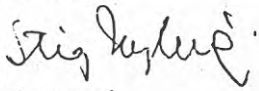
Enligt de beräkningar som utförts i samband med provpumpningen, har den tolererbara inläckningsvolymen satts till 10 l/min, förutsatt att inläckaget sker fördelat i bassängen, då annars en enda spricka som dräneras med denna kapacitet kan ge stora lokala avsänkningar.

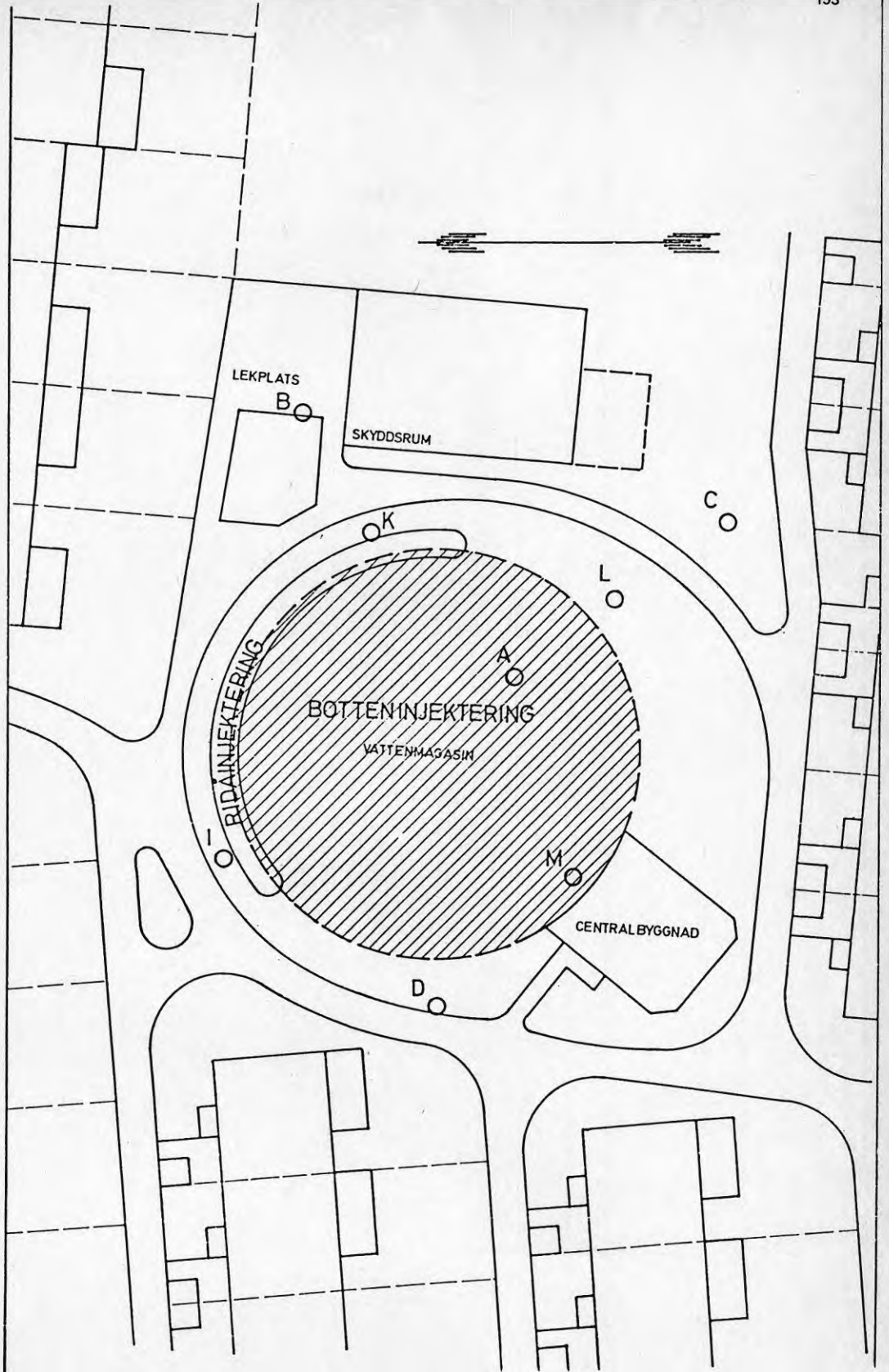
#### 4. Övrigt

Vid byggandet av bassängen är det enligt vår uppfattning nödvändigt att allt arbete bedrivs med noggrannhet och omsorg, då kvaliteten är helt beroende av detta. Särskilt viktigt är att borriktningen för bassängens konturhål hålls inom angivna gränser, då annars kostnaden för både inbyggnad och bergtätning kan komma att öka dramatiskt.

Göteborg 1978.06.16

VIAK AB

  
Stig Myhré



LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 2

UPPLÄGGNING AV RÅDATA

PERIODEN MAJ 1980 - DECEMBER 1981

UPPLÄGGNING AV RÅDATA LAMBOHOV FRÅN PERIODEN  
MAJ 1980 - DEC 1981

---

I mätsystemet i Lambohov har data insamlats och lagrats som timvärden. Som beskrivits i kapitel 2 överförs dessa och konverteras för att analyseras och lagras vid Studviks datacentral.

Data från mätsystemet omfattar förutom mätvärden även ett antal beräknade storheter baserade på uppmätta momentanvärden.

Förutom energiberäkningar (vilka på grund av fel i flödesmätning är otillräckliga i de flesta fall) finns beräkningar av magasinets värmeinhåll, magasinets medeltemperatur, varmvattenförbrukning, ledningsförluster m m.

På datacentralen lagras alla dessa mätvärden och beräknade storheter i dygnsmatriser med en kolumn/mätkanal och 1 rad/timme.

Dygnsmatriserna är dimensionerade (24,222) och är avsedda för max 220 mätkanaler och 24 timmar.

Kolumn 1 och 2 används för statusinformation. Kolumn 1 rad 1-3 innehåller datum (integer). Rad 4 innehåller namn (sträng) på parameterfil, vilken bestämmer i vilken ordning mätvärdena i kolumn 3-222 ligger. Vid byte av parameterfil under dygnet anges i namnpositionen "OBS NAMNBYT" och i rad 7 namnet på gamla parameterfilen, i rad 8 namnet på den nya samt i rad 9 sista timmen då den gamla användes (integer).

Kolumn 2 används som statusinformation ( $\emptyset$  = data saknas för hela timmen, 1 = data finns för timmen eller delar av den).

Från och med kolumn 3 är timmedelvärden för mätkanalerna lagrade.

Dygnsmatriserna är lagrade på magnetband med en dygnsmatris/record.

I princip kan användare som önskar utnyttja dessa data gå in som användare vid Studsviks datacentral och göra de analyser och sammanställningar som önskas.

LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 3

SPECIFIKATIONER FÖR ANLÄGGNINGEN

## DATA FÖR SOLVÄRMECENTRALEN I LAMBOHOV

## SOLFÅNGARSYSTEM

Typ	Plant englas yttertakselement
Antal	564 st
Solfångararea	L x B 6,0 x 0,9 totalt 3045 m <sup>2</sup>
Absorbatorarea	Koppar-aluminium <sub>2</sub> komposit, total area 2568 m <sup>2</sup>
Ytbeläggning	Svartnickel (selektiv)
Max utloppstemperatur	80°C
Lutning mot horisontalplan	55°C
Insamlad energi	1000 MWh/år (teoretiskt beräknad)
Värmebärare, frysskydd	Vatten, dränering

## VÄRMELAGER

Form, placering	Cylindrisk, nersprängd i berg
Invändig diameter, tätskikt	32,2 m, butylgummiduk
Lagringsmedium	Vatten
Vattendjup, volym 70°C	12 m, 9772 m <sup>3</sup>
Temperaturintervall	+20°C - +70°C (max +5° - +70°C)
Isolering, tjocklek	Lättklinker, 1,2 m
Värmeförluster*	90 MWh/år

## VÄRMEPUMPAR

För tappvarmvatten	1 st, eleffekt 29,5 kW Avgiven värmeeffekt 82 kW Dimensionerande förångningstemp +5°C Dimensionerande kondenserings- temp +60°C
För husuppvärmning	4 st, total eleffekt 156 kW Avgiven värmeeffekt 432 kW Dimensionerande förångningstemp +5°C Dimensionerande kondenserings- temp +60°C
Total energiförbrukning*	90 MWh/år

\* Resultat av beräkningar med simuleringsprogram

## RESERVCENTRAL (mobil oljepanna)

Effekt 730 kW, EO1

## DISTRIBUTIONSNÄT

Rör isolering Kopparrörssystem, mineralull

Framledningstemperatur värme  
vid värmecentralen +25°C - +60°C

Framledningstemp varmvatten  
vid värmecentralen 47°C

Värmeförluster\* 80 MWh/år

## ABONNENTER

Antal radhus, totalt till-  
förd energi  
(beräknat värde) 55 st, 800 MWh/år

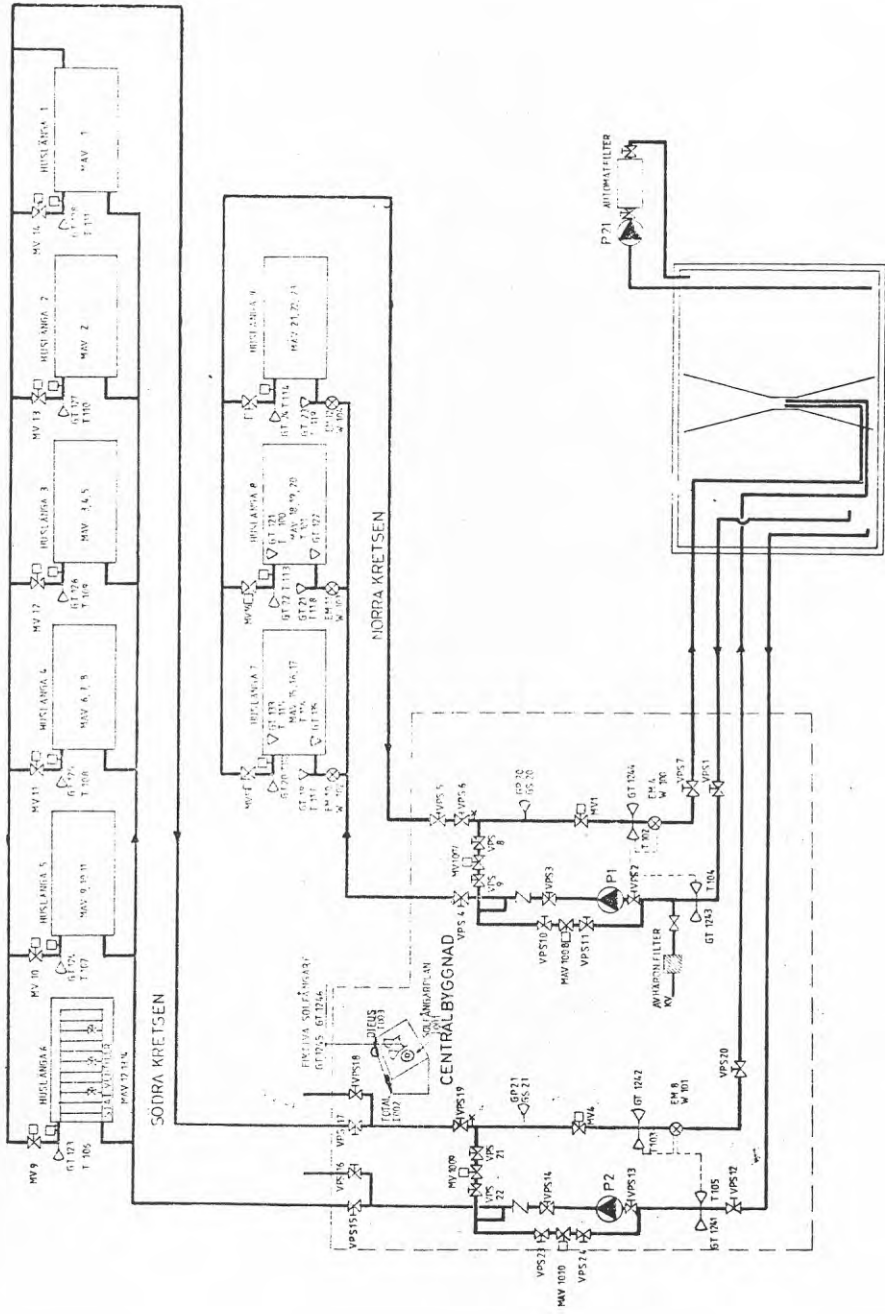
\* Resultat av beräkningar med simuleringsprogram



LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 4

KRETSSCHEMA



LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 5

BESTÄMMELSER FÖR GEMENSAMHETSANLÄGGNING  
INOM KV ISBORRET I LINKÖPING

## GEMENSAMHETSANLÄGGNING INOM KVARTERET ISBORRET I LINKÖPING

För tomtrötter, som inskrivits i radhusfastigheterna Isborret 1 - 55, skall bildas en gemensamhetsanläggning enligt 1973 års anläggningslag.

För anläggningen skall, om annat ej föranledes av beslut eller föreskrift av myndighet, gälla följande.

### 1. Omfattning

Gemensamhetsanläggningen skall avse utförande och drift av:

1. fyra (4) garagebyggnader med sammanlagt 56 garageplatser med tillhörande anordningar och belysning (armaturer, ledningar, elmätare och andra anordningar) samt grovsoprum;
2. fyrtioen (41) parkeringsplatser, kommunikationsleder (asfalterade), planteringar, grönytor och lekplatser (grusade, utan lekutrustning) enligt ritning;
3. ledningar för kallvatten, spillvatten och dagvatten med tillhörande brunnar samt dräneringsledningar med brunnar enligt ritning;
4. centralantennanläggning med master, ledningar m m enligt ritning;
5. gatubelysning inom gemensamhetsområdet med stolpar, ledningar, armaturer m m enligt ritning;
6. apparatbyggnad enligt ritning;
7. solvärmeanläggning med takbaserade solkollektorer, fram- och återledningar i kulvert, central vattenackumulatortank med tillhörande undercentral, försedd med bl a värmepumpar, utjämnings tankar, styr- och reglerutrustning, ledningsnät m m enligt ritning. (Se punkt 3.2.2 nedan om tillträde).

### 2. Deltogande fastigheter

Inskrivna tomtrötter till radhusfastigheterna Isborret 1 - 55, vilka skall bilda en samfällighetsförening för anläggningens utförande och drift enligt 1973 års lag om förvaltning av samfälligheter.

### 3. Utrymme för anläggningen m m

1. Härför upplåtes följande utrymmen m m:

- 1.1. tomträtten till gemensamhetstomten Isborret 56, som av AB Östgöta-Byggen kommer att gravationsfri och utan vederlag överlåtas till samfällighetsföreningen, så snart denna registrerats;
- 1.2. de delar av och utrymmen på tomträtts- och radhusfastigheterna Isborret 1 - 55, som erfordras för utbyggnad, underhåll och drift av solkollektorer, ledningar m m enligt punkt 1.3., 1.4., 1.5. och 1.7. ovan;

2. Tillträde:

- 2.1. till anläggningar enligt punkt 1.1. - 1.6. ovan: då anläggningsbeslut vunnit laga kraft;
- 2.2. till anläggningen enligt punkt 1.7. ovan, solvärmeanläggningen: efter en utvärderingsperiod, som beräknas pågå t o m år 1983, vid en tidpunkt som därefter skall prövas enligt 35 § anläggningslagen;

3. Ersättning:

- 3.1. Ingen ersättning skall utgå för upplåtelse av utrymmen enligt punkt 1.1. och 1.2. ovan. Samfälligheten skall reparera och ersätta skada på fastighet, förorsakad av anläggningens underhåll eller drift. Tomträttshavare radhusägaren får ej vidtaga åtgärder eller utföra anläggning, som försvårar eller fördyrar underhåll och reparation av gemensamhetsanläggningen.
- 3.2. För anläggning under punkt 1.7. ovan, solvärmeanläggningen, ersättes AB Östgöta-Byggens utförandekostnad vid tillträdet genom att samfällighetsföreningen övertar dess härför beviljade och eventuellt kvarvarar statliga lån, se punkt 4.3.2. nedan.

#### 4. Anläggningens utförande

##### 1. Ansvarsfördelning:

I gemensamhetsanläggningen enligt punkt 1.1. - 1.7. ovan ingående byggnader och andra anläggningar skall utföras av AB Östgöta-Byggen i samband med och i takt med uppförandet av radhusen. Färdigställandet skall i möjlig mån anpassas till inflyttningen i radhusen.

##### 2. Garanti.

För AB Östgöta-Byggens entreprenadåtagande gentemot samfällighetsföreningar skall beträffande garanti, besiktningar, fel och brister samt tillämpning av Allmänna bestämmelser för byggnads-, anläggnings- och installationsentreprenader (AB 72) gälla, vad i samma frågor stadgas i huvudavtalet.

##### 3. Kostnadsfördelning.

3.1. Kostnaderna för utförandet av under punkt 1.1. - 1.6. ovan upptagna byggnader och andra anläggningar ingår i köpeskillingen/entreprenadsumman för de berörda villabyggnaderna;

3.2. För kostnaden för utförande av den under punkt 1.7. ovan upptagna solenergianläggningen har AB Östgöta-Byggen erhållit ett statligt lån om . . . . . kronor enligt beslut av Statens Råd för Byggnadsforskning, (BFR). För lånet gäller bl a följande:

"Lånet omprövas senast 1983-12-31 och är fram till denna tidpunkt fritt från ränta och amortering.

Före utgången av denna tid skall villkoren för lånet omprövas mot bakgrund av det fastighetsekonomiska utfallet av de åtgärder, för vilka lånet har beviljats. Finner BFR att förutsättningar härför föreligger, skall lånet eller del därav efter beslut av BFR löpa med ränta och amorteras.

Ränte- och amorteringsvillkoren skall på sätt, som regeringen senare bestämmer, anpassas till vad som vid återbetalningstillfället tillämpas för lån, som kan utgå för byggnad för motsvarande ändamål.

Finner BFR att lånet eller del därav inte kan förräntas och amorteras, kan regeringen efter framställning av BFR besluta om förlängning av den ursprungliga bestämda lönetiden eller eftergift av lånet helt eller delvis. Bifalles inte sådan framställning, meddelar regeringen föreskrifter om ränta och amortering.

Låntagaren skall tillse, att byggprojektet är försäkrat till fulla värdet mot skada och förlust i en omfattning, som minst motsvarar gällande allmänna villkor för allriskförsäkring för byggnadsrörelse. Försäkringen skall gälla under entreprenadtiden och även gälla under garantitiden för sådana skador eller förluster, som härrör från entreprenadtiden.

Låntagaren åtager sig att intill utgången av den tid, lånet är räntefritt och stående, vidmakthålla och väl underhålla de anordningar, som installeras på fastigheten med stöd av förevarande lån, och är skyldig att lämna det tillträde till fastigheten, som Byggnadsforskningsrådet finner erforderligt för genomförandet av experimentverksamheten.

Förändringar inom fastigheten, som kan påverka det experiment, för vilket lånet beviljats, får inte ske under den tid, som lånet är räntefritt och stående, om inte den av rådet särskilt tillsatta styrgruppen för solvärmecentraler lämnat skriftligt godkännande. Låntagaren är därför skyldig att i god tid taga kontakt med styrgruppen, när sådana förändringar planeras."

Vid inrättande av gemensamhetsanläggningen avseende solvärmeanläggning ersättes AB Östgöta-Byggens utförandekostnad genom att samfällighetsföreningen övertar eventuellt kvarvarande del av ovannämnda lån. Därvid skall samfällighetsföreningen till långivaren överlämna de säkerheter som denne kräver.

## 5. Anläggningens drift

1. Samfällighetsföreningen ansvarar för underhåll och drift av hela gemensamhetsanläggningen efter dess iordningsställande.
2. Om ej annat överenskommes, skall AB Östgöta-Byggen till utgången av 1980 - mot ersättning för företagets självkostnad - ombesörja skötsel av gemensamma park och kommunikationsytor inom området.
3. Beträffande solvärmeanläggningen enligt punkt 1.7. ovan skall särskilt gälla följande:
  - 3.1 Under en utvärderingsperiod som beräknas pågå ca 5 år, ansvarar AB Östgöta-Byggen för tillsyn och skötsel genom en systemskötare, som utses av AB Östgöta-Byggen.
  - 3.2 Under utvärderingsperioden kommer att ske omfattande mätningar och uppföljning av systemets funktion. Dessa kontrollåtgärder skall i huvudsak utföras via i systemet anbringade mätdon och datorstyrt mätprogram och ingår i tillsynen. Under denna tid skall AB Östgöta-Byggen kostnadsfritt disponera apparatbyggnaden enligt punkt 1.6. ovan.
  - 3.3 Anläggningen kan vid behov förses med reservenergi från en oljedrivnen reservanläggning, som finns tillgänglig enligt avtal med Tekniska Verken i Linköping AB.
  - 3.4 Inkoppling av reservenergi från reservanläggningen sker vid behov genom systemskötarens försorg enligt AB Östgöta-Byggens bestämmande.
  - 3.5 Byggforskningsrådet kommer att under utvärderingsperioden göra en bedömning av solvärmeanläggningens/systemets funktion. Om utvärderingen föranleder därtill, kan solvärmesystemet komma att tagas ur bruk. Om så sker, skall värmeanläggningen enligt avtal med Tekniska Verken i Linköping AB därefter förses med energi från reservanläggningen.
  - 3.6 AB Östgöta-Byggen ombesörjer och ansvarar utan kostnad för samfällighetsföreningen för praktisk- teknisk utbildning under minst 3 månader av systemskötare, som samfällighetsföreningen utser, för tillsyn och skötsel av anläggningen/systemet efter utvärderingsperiodens utgång.
  - 3.7. För tiden intill utgången av 1983 utfäster/garanterar AB Östgöta-Byggen gentemot samfällighetsföreningen, att i denna deltagande fastigheters/tomträtters kostnader för värme och varmvatten ej kommer att överstiga jämförlig kostnad, om byggnaderna i stället hade försetts med värme och varmvatten från Tekniska Verken i Linköping fjärrvärme nät. Kostnadsjämförelse skall ske med ledning av de energimätningar, som utföres genom systemskötarens försorg. Denna garanti kan komma att förlängas om överenskommelse härom och om förlängd utvärderingsperiod kan träffas mellan AB Östgöta-Byggen och Statens Råd För Byggnadsforskning. Tvist om skyldighet för AB Östgöta-Byggen att på grund av denna utfästelse/garanti utge ersättning till samfällighetsföreningen skall - om uppgörelse i godo ej kan träffas - hänskjutas till skiljemen för avgörande genom skiljedom enligt lag om skiljemen.
  - 3.8. AB Östgöta-Byggen har hos försäkringsbolaget Trygg-Hansa till förmån för samfällighetsföreningen och utan kostnad för denna tecknat en enligt Allmänna försäkringsvillkor av år 1978 före Företagsförsäkring gällande maskinskadeförsäkring avseende solvärmeanläggningen, som skall gälla till utgången av 1983. Försäkringstiden kan komma att förlängas om överenskommelse härom och om förlängd utvärderingsperiod kan träffas mellan AB Östgöta-Byggen och Statens Råd För Byggnadsforskning.

LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 6

SIMULERINGSPROGRAM FÖR ANLÄGGNINGEN  
ÅKE HERMANSSON

# OPTIMERING AV SYSTEM FÖR SÄSONGLAGRAD SOLVÄRME

AV

PER-ÅKE ANDERSSON OCH ÅKE HERMANSSON

## INLEDNING

Denna del av Lambohov-studien, BFR-projekt nr 770444-9, utförs vid Universitetet i Linköping, avd. för optimeringslära, med professor Sven Erlander som projektledare.

I det pågående arbetet bygger vi en matematisk modell av värme- och varmvattenförsörjningen i ett bostadsområde, där plana solfångare levererar vattenburen energi till ett centralt magasin för säsonglagring och där värmepumpar höjer temperaturnivån på det vatten som transporterar efterfrågad energi till bostäderna - genom att ta värme från (annat) magasinsvatten. För att kunna studera och utvärdera olika strategier för anläggningens drift under ett eller flera år programmerar vi in systemmodellen i en dator, tillsammans med rutiner som gör det bekvämt att följa och ingripa i skeendet. Med strategi avses här inställningen av någon varierbar fysisk storhet, t ex vattenflödet genom solfångarna, vilken direkt påverkar funktionen hos någon systemkomponent och där gruppen av strategistorheter (parametrar) är så vald att parametrarna normalt kan regleras oberoende av varandra.

Eftersom mätdata från Lambohov låter vänta på sig, har den tilltänkta utvärderingen av det framtagna simuleringsprogrammet ännu inte kunnat ske. Med denna reservation kan dock programmet tillämpas på andra likartade solvärmeanläggningar genom en enkel anpassning av ingångsvärdena. Därför bifogas en programlista som bilaga till denna rapport.



## VÄDERMODELL

En simulering av förloppet kommer att grunda sig på verkliga väderdata, hittills SMHI:s timvisa registreringar av olika storheter. (Mätvärden från 3 väderstationer för standardåret 1971 finns tillgängliga på magnetband. Alternativet till att använda en historisk väderleksutveckling direkt vore att först skapa en statistisk modell av vädervariationerna, grundad på uppmätta värden, och att sedan använda denna vädermodell vid simuleringen. En svårighet därvid är att enkelt efterlikna varaktigheten för en viss vädertyp. Vårt simuleringsprogram kommer i stället att bearbeta många data; dock aldrig mer än den aktuella timmens väderregistreringar samtidigt.)

Den meningsfulla komplexiteten hos varje delmodell av systemet är kopplad till de driftsåtgärder (strategier) som skall studeras. När det gäller beskrivningen av funktionen hos nya, vitala komponenter är vi dock restriktiva till att förenkla (något som vi lättare tillåter oss där beprövad erfarenhet finns att tillgå, som i fråga om konventionell VVS-teknik). En förenkling gör vi genom att använda instrålnings- och temperaturvärden som är konstanta (medelvärden) över en timmes tid, varigenom vi bortser från den solenergi som kan infångas genom en taktisk dränering av kollektorerna. Detta är aktuellt när solinstrålningen fluktuerar omkring den kritiska nivå vid vilken ingen höjning av vattentemperaturen fås genom solfångaren och när intensitetsvariationen dessutom är så långsam att en framgångsrik taktisk dränering + påfyllning hinner genomföras (så att värmebäraren inte kyls ner för mycket och nästa instrålningsstopp tillvaratas). Därför har vi studerat de kontinuerliga intensitetskurvor över solinstrålningen som Jan Svensson registrerat under sommaren - hösten 1978, med syftet att bestämma typisk frekvens och amplitud för korttidsvariationerna per timme. Klart/moln-tillstånden tycks dock svårigen låta sig beskrivas som två intensitetsnivåer, vilka överlagrar inverkan från solståndet. Eftersom denna senare klartväder-instrålning ändras kraftigt under en typisk timme är det sannolikt ovanligt med längre perioder av fluktuationer omkring ett och samma (kritiska) instrålningsvärde. Av dessa skäl bortser vi från korttidsvariationerna i vår nuvarande

vädermodell; dock finns möjlighet att senare inkludera dessa (utgående från uppgifter om molnmängd, molnslag och vindstyrka).

Det hittills använda tidssteget 1 timme kan sålunda enkelt förkortas för anpassning till, säg, 5-minutersregistreringar.

## ANVÄNDNING AV SIMULERINGSPROGRAMMET

Innan vi här närmare beskriver de specifika driftsåtgärder som kan vidtas under simuleringen skall vi se hur denna fungerar i stort. Användaren sitter vid en bildskärmsterminal, där den aktuella informationen presenteras. Före den egentliga simuleringens start är det datorns frågor och användarens svar på dessa (som ges via terminalens tangentbord) som anges; under simuleringen visas systemtillståndet vid den uppnådda tidpunkten, specificerat av rådande flödes- och temperaturvärden plus gällande strategier. Frågorna i början syftar till att fastlägga starttillståndet: året som skall simuleras, startdatum, rådande temperaturer på olika djup i mark och magasin, ortens och bostadsområdets karakteristika.

(Även om programutvecklingen är knuten till Östgötabyggens Lambohovprojekt, liksom de första produktionskörningarna, så är programmet utformat för att kunna användas med andra karakteristika. Fastän huvudsyftet är att studera driften av anläggningen, så får man på detta sätt också möjlighet att experimentera med vissa dimensioneringsfrågor, t ex utformningen av solfångarnas glasning. Genom att låta användaren precisera starttillståndet kan det känsliga uppladdningsförloppet i magasinet studeras från vattenpåfyllningen, och senare - när energilagringen kommit igång - kan gällande temperaturvärden användas som indata till programmet, vilket då skall ge vägledning om den fortsatta driften från det uppnådda systemtillståndet.)

Användaren måste dessutom ange de strategier som simuleringen skall starta med, från en i förväg uppställd åtgärds katalog. Före start skall slutligen hopptiden bestämmas, dvs den tid i hela timmar (t ex 1 eller 168) som skall simuleras mellan två bildvisningar av systemtillståndet. Denna facilitet är till för att användaren varken skall överhoppas med eller gå miste om information, men påverkar naturligtvis inte programmets energiberäkningar (där är tidssteget, förutom i rutinen för värmeledning i mark, som regel 1 timme).

Om användaren senare t ex skulle vilja studera tidsförloppet

mera i detalj (p g a att ett intressant läge inträtt), så kan han enkelt ändra hopp-tid. När han av denna eller någon annan orsak vill avbryta simuleringen, så görs detta genom att slå in ett godtyckligt tecken via tangentbordet. Därefter ges det önskade kommandot (åtföljt av <return>): T ex H för ändring av hopp-tiden, S för simulering av ytterligare en hopp-tid, K för kontinuerligt fortsatt simulering (till nästa avbrottstillfälle), MARK för en bild av rådande marktemperaturer, eller något av de många strategipåverkande kommandona. Om något parametervärde behöver fastläggas för kommandots genomförande (t ex den nya hopp-tidens längd), så ställer programmet nödvändiga frågor. Om användaren då svarar med en bokstav i stället för ett begärt tal, så finns en omfattande kontrollapparat som förhindrar att simuleringskörningen därmed slutar i ett ödesdigert exekveringsfel; likaså om han ger ett formellt korrekt men orealistiskt svar (säg hopp-tiden = -2): Under alla förhållanden får användaren försöka igen. När alla önskade nya kommandon (med parametervärden) har inmatats korrekt, så rullar simuleringen vidare med något av kommandona S eller K.

För det fall att systemet inte uppnått ett slags fortvarighets-tillstånd vid det simulerade årets slut, så kan användaren begära att få simulera ytterligare 1 år - med samma väderdata som förut, eller ett annat kalenderår (i den mån sådant underlag föreligger). När en viss strategi eller kombination av strategier prövats tillräckligt begär användaren att sammanfattande statistik från simuleringen skall sparas undan.

Om så önskas kan man sedan genomföra en ny simulering t ex över samma följd av år men med en ny uppsättning strategier (strategipaket). Att systemet därvid ev. uppnår ett fortvarighetstillstånd syns på att temperaturvärdena vid ett års början och slut nära sammanfaller. Den under året tillförda energin är då ett mått på strategipaketets "asymptotiska" egenskaper; dock behöver ett sådant jämviktstillstånd inte ens bero av det specificerade starttillståndet. Däremot innehåller den totala energitillförseln över åren fortfarande viss information om de första åren efter start.

## DATA SOM PROGRAMMET PRESENTERAR

De data som sparas undan av programmet och som kan skrivas ut på papper efter simuleringskörningens slut är till för analys och utvärdering av olika åtgärder och för jämförelse mellan olika strategipaket. Förutom allmänna data om den genomförda studien matas här månads- och årssammanfattningen av olika storheter ut. Det gäller förbrukning av värme och varmvatten i bostadsområdet vilka anges både totalt och uppdelat på sina källor: förångarvärme och elenergi i värmepumparna (även natt-el) samt magasinvärme; vidare den insamlade energin från solfångarna uppdelad efter temperaturnivåer; motsvarande uppdelning av den kvarvarande magasinvarmen och dess nettoändring över månaden eller året; värmeförluster från magasin, ledningar och kulvertar, värmepumpar och småackumulatörer; slutligen väderdata i form av total instrålning och medelvärden för lufttemperatur resp vindstyrka. (Om SMHI:s magnetband hade tillåtit det skulle vi, med tanke på det markreflekterade solljuset, även ha angett antalet dagar med snötäckt mark.)

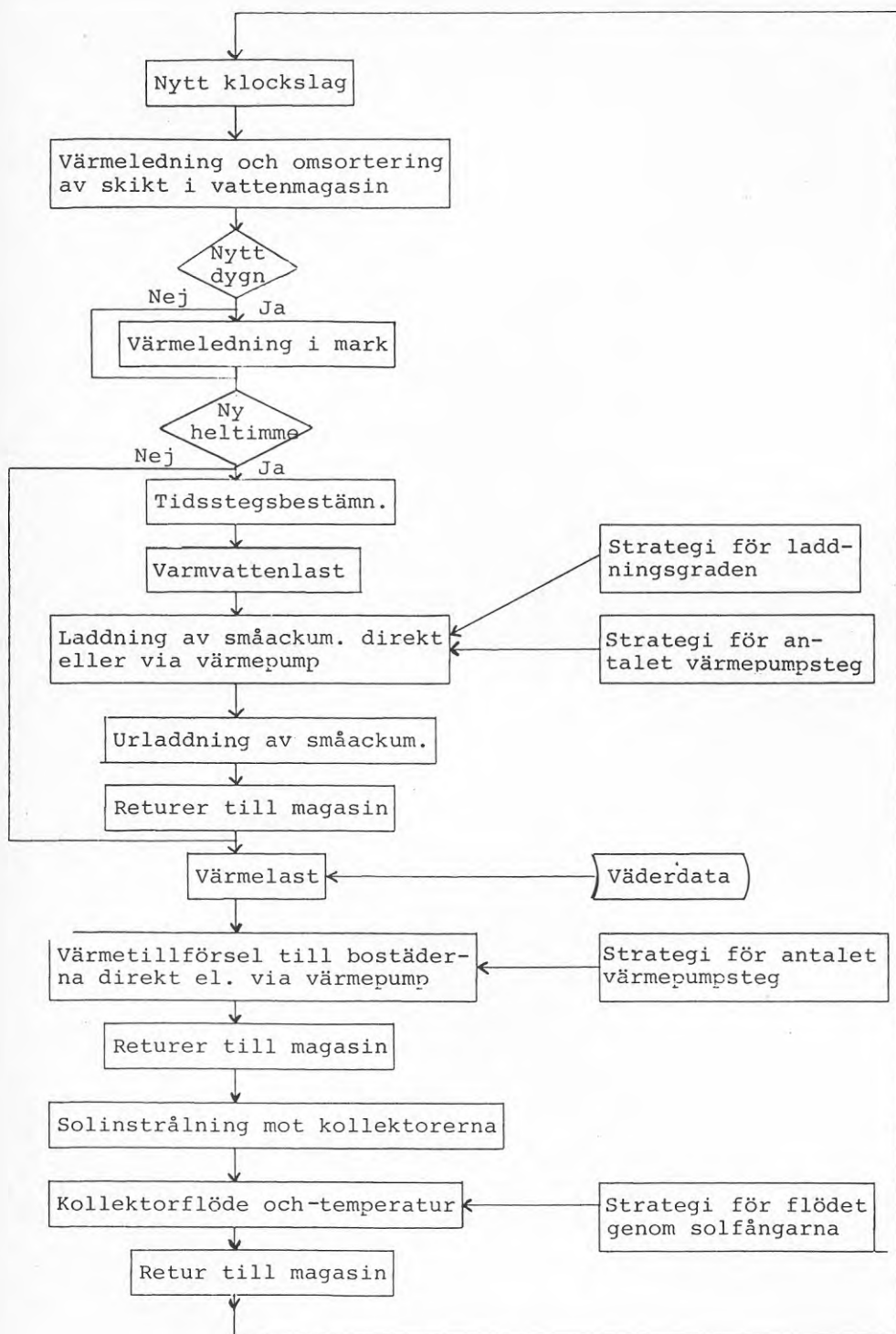
I anslutning till nedan återgivna datorutskrift skall vi här passa på att redogöra för de värden som presenteras på bildskärm under simuleringens gång efter varje hopptid och som karakteriserar det uppnådda systemtillståndet:

- o Tidpunkt,
- o väderlek (vid *VADER* anges total(global) solinstrålning, lufttemperatur och vindstyrka),
- o temperaturer på olika djup i vattenmagasin (*TANK*) och mark (*MARK* - 1 resp 2 meter från magasinskanten),
- o vattentemperaturer på olika magasinstillflöden (från förångnings- resp kondensor/lastsidorna i värmepumparna samt från solfångarna - där *TEMP.FRAN* gäller vid resp utlopp, och *RETUR* vid magasinet),
- o utgående vattentemperatur till värmelasten (bostäderna),
- o laddningsgrad i småackumulatörerna i vv-kretsen (*ACKUM* visar vattentemperaturen i övre resp undre skikt samt andelen varmt vatten - här laddningsgrad 0.3),
- o sammanfattande mått på den utnyttjningsbara energin i magasinet (här 77786.6 kWh mätt från 0° C) och i småackumulatörerna,

- o under dagen insamlad energi i solfångarna,
- o fördelning på energikällor (*MAX-EL* anger de taxegrundande 4 högsta månadsvärdena på uttagen effekt),
- o samt aktuella strategiers parametervärden (vid *STRAT* - mera därom i nästa avsnitt).

En schematisk bild av de olika beräkningsrutinerna visas nedan.







## DRIFTSTRATEGIER

För de olika systemkomponenterna har vi t v tänkt oss följande driftsfall.

Solfångare Eftersom inloppsvattnet alltid tas från botten av magasinet är flödet den enda reglerbara storheten. Det finns 2 pumpar som försörjer var sin grupp av takbaserade kollektorer, varför de maximala flödena genom resp solfångargrupp ev kommer att vara något olika. (Dock eftersträvas 1 liter/m<sup>2</sup>, min.) För att få en jämnt fördelad strömning genom alla solfångarna krävs säkert ett visst minsta flöde.

Under senvintern medför frysrisker enligt uppgift att solfångarna kommer att dräneras så snart solen går i moln. Som beslutsunderlag för en ev dränering mäts utloppstemperaturen. Med tanke på de förluster som även en dränering medför kan alternativet till detta vara att bara strypa flödet (så snart värmebärarens temperatur sjunker från inlopp till utlopp). I simuleringsprogrammet måste dräneringsbesluten grundas på timmedelvärden.

För att ge den bästa verkningsgraden (uppnås vid låga genomsnittstemperaturer på vattnet i solfångaren) skall flödet hållas maximalt. Med tanke på den efterfrågade temperaturnivån på lastsidan (värme och varmvatten), uppgående till 55 - 60°C, kan man alternativt ladda magasinet med varmest möjliga vatten för undvikande av värmepumpsdrift. Värmepumparna har också en idealtemperatur om 30°C på förångningssidan. I stället för att där blanda mycket varmt toppvatten från magasinet med returvatten från förångaren är det, med hänsyn till kollektoreffektiviteten, bättre att ladda just 30°C vatten i magasinet. De sistnämnda övervägandena indikerar att kombinerade strategier kommer att formuleras. Sammanfattningsvis finns följande strategikommandon i programmet:

*MAX* håller flödet maximalt,  
*TEMP* väljer flödet mellan min- & maxvärdena så att uttemperaturen så nära som möjligt ansluter sig till den begärda (en parameter),

*TOPP* ger högsta möjliga uttemperatur i intervallet 5-70<sup>0</sup> (utan att minflödet tillåts underskridas).

I alla strategierna gäller att flödet stryps, alt. dräneras om vattnets temperatur sjunker från inlopp till utlopp.

Värme Huvudalternativen är att endera ta varmt toppvatten (ev blandat med bottenvatten) direkt till värmeväxlarna i husen eller att använda de båda seriekopplade värmepumparna. Vardera pumpen har 2 kompressorer som kan regleras i stegen 0-50-100%, vilket totalt ger 8 aktiva steg (på 12.5% av maximalkapaciteten). För en given vädersituation (lufttemperatur) är värmeefterfrågan given. Flödet i kondensor/last-kretsen är tämligen konstant, varför uttemperaturen från den sista kondensorn är fixerad (i intervallet ca 55-20<sup>0</sup>C). Eftersom även flödet i förångarkretsen är konstant, så blir inloppstemperaturen till den första kondensorn bestämd så snart antalet inkopplade värmepumpsteg fixeras - om man inte ruckar på principen att i förångaren mata in så nära 30<sup>0</sup>:igt vatten som möjligt. Praktiskt sker temperaturregleringen genom lämpliga blandningar av retur- och toppvatten. Samma resonemang gäller direktintaget av värme från magasinet (benämns här 0 steg, dvs värmepumparna är urkopplade). Utredningen ovan leder till en enda strategityp på värmesidan:

*VÄRME* fixerar antalet inkopplade kondensorsteg till det begärda (en parameter) när värmebehov förefinns.

Varmvatten Här svarar 1 värmepump, med kompressorstegen 0-30-55-75-100%, för försörjningen. Om tillräckligt varmt toppvatten finns i magasinet kan detta tas direkt (genom den urkopplade värmepumpen). I båda fallen leds 50-70<sup>0</sup>:igt vatten till två små dygnsackumulatörer för mellanlagring. Härifrån tas varmvatten i takt med behovsvariationerna till bostäderna via en värmeväxlare som återlämnar 20-30<sup>0</sup>:igt vatten till dygnsackumulatörerna (värdet beror på det uppvärmda kallvattnets årstidsberoende temperatur på sekundärsidan). Om den önskade temperaturen i dygnsackumulatörerna är given och såväl kondensor/last-flödet som förångarflödet är konstanta råder samma förhållanden som på värmesidan: Antalet inkopplade steg i värmepumpen är den storhet

som kan regleras. Att öka detta antal kräver mer elenergi och förångarvärme men en mindre mängd varmt kondensorvatten från magasinet - valet bör bero av årstiden och av rådande temperaturförhållanden i magasinet. Dygnsackumulatorerna är dimensionerade med viss marginal - särskilt gentemot förbrukningen under veckans 4 första dagar (som normalt är lägre än veckogenomsnittet) och mest under sommarhalvåret (med tanke på den högre kallvattentemperaturen). Därigenom finns möjlighet att inte ladda ackumulatorerna helt (vilket annars kräver maximalt 14 tim), utan avbryta uppladdningen med tidur (temperaturgivaren sitter vid tankbotten). Man kan här välja mellan att förlägga den mesta uppladdningen till natten (och lägre eltaxa) eller till dagtid (med lägre transmissionsförluster fram till den väntade kvällsavtappningen som följd). En alternativ strategi är att tillåta uppladdningstemperaturen att variera något, säg i intervallet 50-70°C. De tilltänkta strategierna för varmvattenförsörjningen får därmed utseendet:

*VVSTEG* sätter antalet inkopplade värmepumpsteg (parameter),

*LADDTID* fixerar uppladdningsintervallet (start- och stopptidpunkterna är parametrar),

*VVTEMP* väljer den laddningstemperatur som begärs (en parameter).

Naturliga kombinationer av ovanstående grundstrategier kommer att definieras vid behov. De blir av typen betingade styråtgärder, där programmet automatiskt väljer en strategi bland flera (valet beror på den aktuella driftssituationen).

På den ovan återgivna datorutskriften av ett systemtillstånd kan vi utläsa att de begärda strategierna *VÄRME* och *VVSTEG* båda är 0 medan de använda - nödvändiga för att täcka behovet - är 1 resp 2 steg (angivna inom parentes). Ackumulatorerna skall börja laddas kl 22 till laddningsgrad 0.9 med vattentemp 63°C. Solfångarflödet är *MAX* = 2600 l/min.

## BESKRIVNING AV SYSTEMKOMPONENTER

Vi kommer nedan att relativt ingående beröra några modellbitar - värmetransporterna i vattenmagasin och mark. Först skall vi bara kortfattat kommentera övriga delmodeller av solvärmecentralen.

Solfångarna Några mer eller mindre detaljerade funktionsbeskrivande modeller har prövats. Förutom instrålningsdata beaktas därvid lufttemperatur, värmebärarflöde, in- och utloppstemperaturer och vindstyrka vid kollektorn. Även den utvändiga glasytans temperatur har registrerats vid Jan Svenssons mätningar. Vår mer detaljerade (realistiska) modell för solfångarnas funktion behöver kalibreras mot utförligare data än de värden som Statens Provningsanstalt har registrerat för Lambohov-kollektorerna.

Solinstrålningen Eftersom vår sofistikerade solfångarmodell skiljer på diffus- och direktinstrålning har ett datorprogram tagits fram för att skatta värdena i de fall dessa inte direkt föreligger. För att ge sådana skattningar allmängiltighet har vi därvid utgått ifrån olika indatasituationer: känd globalinstrålning mot mark resp mot glasning bl a. Skattningsprogrammet innehåller både solståndsberäkningar och statistisk bestämning av diffusstrålningsparametrar. Viss utvärdering har skett mot SMHI:s väderdata för standardåret 1971. Eftersom solinstrålningsmodellen är en del av solfångarmodellen får (den formeltyngda) beskrivningen anstå tills dess att den definitiva utvärderingen av våra kollektormodeller föreligger.

Värmepumparna För givna kretsflöden anges uttemperaturen från (sista) kondensorn som funktion av vattentemperaturerna i ledningarna till (första) kondensorn resp. förångare i de kapacitetsdiagram som STAL Refrigeration tillhandahåller. Eftersom förångarematerialiet i Lambohov inte är standard behöver dessa samband ev korrigeras något.

Värmebehovet T v baserar vi detta på gradtimmar för utomhus-temperaturer understigande  $17 - 18^{\circ}\text{C}$ , där behovsberäkningarna per gradtimme utförts av Bertil Ahlström. Resterande energi (upp till  $20 - 21^{\circ}\text{C}$ ) anses tillförd genom instrålning, personvärme och hushållsel. Ingen koppling finns till aktuella, simulerade instrålningsvärden (för transmissionsförlusterna), utomhustemperaturerna över 1-2 dygn (motsvarande byggnadernas värmetröghet eller 'tidskonstant'), eller vindstyrka (för den ofrivilliga ventilationen och det yttre värmeövergångstalet). När mätdata från husen föreligger kan en sådan noggrannare behovsmodell formuleras. Detta kan vara påkallat även av det skäl att byggnadsmaterialet i ytterväggarna är en relativt ny produkt.

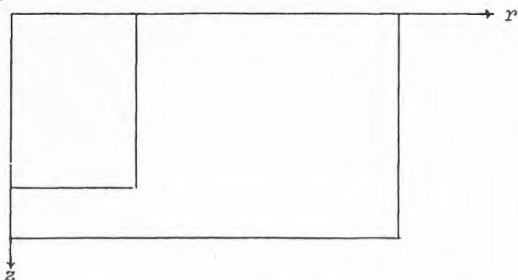
Varmvattenbehovet Normalkurvor för fördelningen över dygnet resp. över veckan kommer att användas. För uppskattningen av totalbehovet svarar Bertil Ahlström.

Ledningar och kulvertar Kulvertförlusterna har beräknats enligt tillverkarens anvisningar. Ledningsförlusterna i solfångarkretsarna beräknas med förlustformel för isolerade rör.

Allmänt gäller att modellbitarna är separata enheter som är till för att ge nödvändig information för den logiska styrningen av systemet och för utvärderingen av olika driftsstrategier. De kan lätt bytas ut mot andra delmodeller om verkliga mätdata så påkallar.

När det gäller värmetransporterna i mark och vattenmagasin har vi haft förmånen att kunna utgå ifrån det datorprogram som utgavs av Anders Ahlström tidigare tagit fram för Östgötabyggens räkning.

Marken Programmet för värmeledning i marken är tvådimensionellt och betraktar ett vertikalsnitt innehållande tankens centrum-axel.



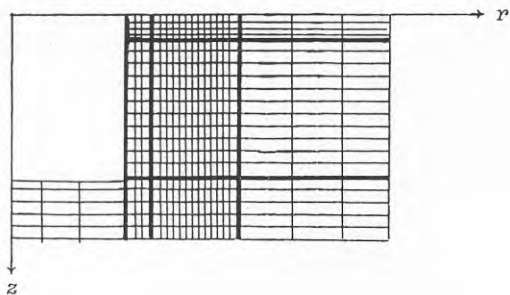
$z$ -axeln är tankens centrum. Värmeledningsekvationen i de cylindriska koordinaterna  $r$  och  $z$  skrivs:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{k} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (T = \text{temperaturen})$$

Det har vid provkörningar på det aktuella systemet visat sig att  $\frac{1}{r}$ -termen kan försummas (den inverkar mest nära  $z$ -axeln). Ekvationen övergår då i

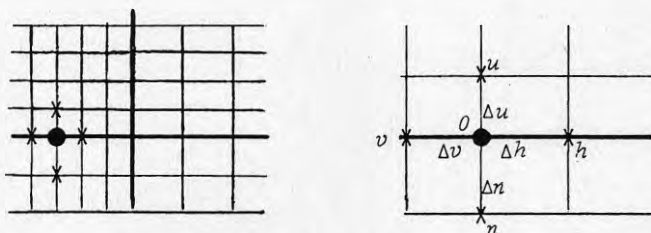
$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{k} \frac{\partial T}{\partial t},$$

vilket överensstämmer med ekvationen i vanliga kartesiska koordinater. För att möjliggöra noggrannare studier i särskilt intressanta områden kan marken delas in i rutor.



När ekvationen approximeras numeriskt kan steglängd i  $r$ -resp  $z$ -led väljas fritt mellan olika rutor (med finare indelning nära tanken och nära marknivån). Denna uppdelning medför också att materialegenskaperna (för berg/jord) kan varieras mellan rutorna.

Betrakta en viss gitterpunkt  $0$  och låt  $v$  (vänster),  $h$  (höger),  $u$  (upp),  $n$  (ner) beteckna de intilliggande gitterpunkterna - se figur. Punkternas temperaturer relateras genom:



$$\frac{\partial^2 T_0}{\partial r^2} = \frac{\frac{T_h - T_0}{\Delta h} - \frac{T_0 - T_v}{\Delta v}}{\frac{\Delta v + \Delta h}{2}} =$$

$$= \frac{2}{(\Delta v + \Delta h) \Delta h} (T_h - T_0) - \frac{2}{(\Delta v + \Delta h) \Delta v} (T_0 - T_v).$$

$$\text{Låt } c_{ri} = \frac{\lambda_i \Delta t}{\rho_i c_{pi} \Delta r_i}$$

där index  $i$  står för ruta nr  $i$  (den ruta som ett visst punktpar avses tillhöra).

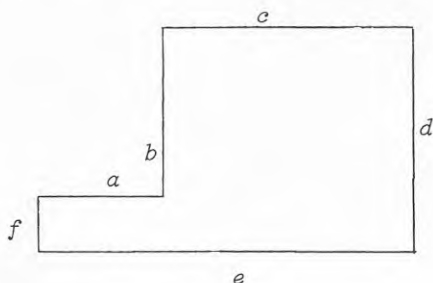
$$c_{zi} = \frac{\lambda_i \Delta t}{\rho_i c_{pi} \Delta z_i}$$

Då kan den fullständiga värmeledningsekvationen tecknas:

$$T_0(t + \Delta t) = T_0(t) + \frac{2}{\Delta r_v + \Delta r_h} \left( c_{rv} (T_v - T_0) + c_{rh} (T_h - T_0) \right) + \\ + \frac{2}{\Delta z_u + \Delta z_n} \left( c_{zu} (T_u - T_0) + c_{zn} (T_n - T_0) \right)$$

Eftersom en fin indelning (små  $\Delta r$  och  $\Delta z$ ) kräver ett litet tidssteg för att ge numerisk stabilitet så måste  $\Delta t$  väljas med hänsyn till den finaste indelningen.

### Randtemperaturen

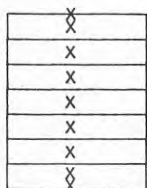


Temperaturen på randen mot tanken ( $a$  och  $b$  i figuren) bestäms genom gradientvillkor som ges av förlusterna från tanken. På randen  $c$  är lufttemperaturen känd och längs  $d$  ( $r \rightarrow \infty$ ) och  $f$  ( $r = 0$ ) är gradienten  $0$ . Temperaturen på  $e$  är grundvattnets temperatur.

Vattentanken Programmet för det stora vattenmagasinet innehåller följande rutiner:

- flöde genom solfångare
- flöde genom värmepumpar (varmvatten, värme)
- flöde till hus (varmvatten, värme direkt).

Värmeledning Tanken delas i modellen in i ett valfritt antal skikt. Varje skikt har sin egen temperatur. Vid den numeriska



approximationen av värmeledningsekvationen antas att det finns en gitterpunkt mitt i varje skikt. Dessutom finns en gitterpunkt alldeles under taket och en över tankens botten. Temperaturerna i dessa punkter bestäms ur gradientvillkor som fås från förlusterna genom tak resp. botten (takets utgörs av ett flytande lock av 40 cm polyuretan, sidorna och botten av 100 cm leca-lättklinker). Självva den numeriska approximationen av värmeledningsekva-



tionen tillgår på samma sätt som i marken. Här tillkommer dock en term som svarar mot förlusterna från resp. skikt till marken:

$$T_i(t + \Delta t) = T_i(t) + \frac{\Delta t \lambda}{(\Delta z)^2 \rho c_p} \left( T_{i-1}(t) - 2T_i(t) + T_{i+1}(t) \right) - \frac{\lambda_{iso}}{\Delta_{iso}} (T_i(t) - M_i(t)) \cdot \frac{\Delta_{area} \cdot \Delta t}{\Delta_{vol} \cdot c_p}$$

där  $\lambda$ ,  $\rho$  och  $c_p$  är vattnets materialkonstanter

$\Delta z$  = skikt tjocklek

$\lambda_{iso}$  = isoleringens värmeledningstal

$\Delta_{iso}$  = " - tjocklek

$M_i(t)$  = marktemperaturen på nivå  $i$

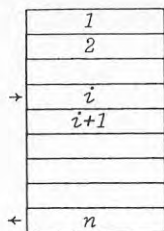
$\Delta_{area}$  = begränsningsarean mellan skikt  $i$  och marken

$\Delta_{vol}$  = volymen av skikt  $i$ .

Vid översta och understa skikten är gitterpunktsavståndet hälften av det normala, vilket vi kompenserar för på samma sätt som i marken (de där beskrivna ekvationerna tillåter ju varierande steglängder). Dessutom tillkommer i dessa skikt förlusttermer för flöde genom tak resp. botten.

Flöde genom solfångare För flödet till solfångarna gäller att vattnet alltid tas från botten och returneras till det skikt vars temperatur bäst överensstämmer med returvattnets. Här används samma uppdelning i skikt som i värmeledningsrutinen. (Det finns även en rutin som tillåter returvattnet att gå in i toppen).

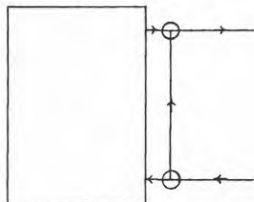
Antag att man under en tidsperiod kör med konstant flöde till solfångarna och att tidsperioden är så kort att temperaturerna till resp. från solfångarna kan anses vara konstanta. Tidsperioden uppspaltas i delperioder och det konstanta flödet approximeras med en "stöt" per delperiod. Varje stöt består då av (flödesstyrkan)  $\times$  (delperiodens längd) =  $s$  liter vatten. Skiktens temperaturer uppdateras efter varje stöt och beräknas genom antagandet att skikt nr  $i$  (se figur) får  $s$  liter av sitt vatten utbytt mot  $s$  liter returvattnet.



Skikt  $i+1$  byter  $s$  liter av sitt vatten mot  $s$  liter från skikt  $i$  o.s.v. Skikten ovanför skikt  $i$  påverkas ej!

För att denna stötvisa approximation skall vara god krävs att delperioderna är tillräckligt korta. Vi har som norm att inget skikts temperatur skall förändras mer än 10% i varje stöt.

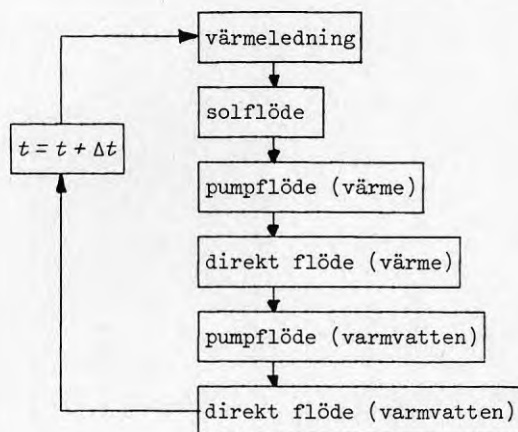
Flöde genom värmepumpar och last(direkt) Här önskas en viss temperatur på vattnet ut från tanken. För att uppnå denna blandas returvattnet med toppvattnet och den del av returvattnet som inte används till detta återförs till magasinets vatten. Flödet delas alltså upp i två parallella strömmar - en ström genom tanken och en som kopplas förbi denna. Temperaturerna i



magasinet påverkas enbart av den ström som går genom detsamma och även här används en stötvis approximation. Skikten "byter" alltså delar av sitt vatten med varandra i varje stöt. Om returvattnet är varmare än det näst understa skiktet så kan det hända att också det resulterande undre skiktet blir varmare än detta. Inträffar detta så sorteras skikten. Om stora mängder returvatten håller en mycket högre temperatur än bottenskiktet, så kan de konvektiva inslagen i värmetransporterna ev. påkalla en mer

sofistikerad tankmodell. (Jfr dock Cabelli (1977), som anser att strömningen har försumbar inverkan, åtminstone för isolerad rand.)

Allmänt Uppspaltningen av en tidsperiod i delperioder, som antytts i föregående avsnitt, är gemensam för alla rutiner i tanken. Samtliga dessa rutiner anropas alltså i slutet av varje delperiod. Förlusternas medelvärden uppdateras efter varje delperiod och blir sedan indata till värmeledning i marken. Den sistnämnda rutinen anropas dock mera sällan (en gång per dygn).



Dygnsakumulatorerna för varmvatten Akumulatorerna laddas med 50-70°C. Vid urladdning returneras vatten från värmeväxlaren med en fix men årstidsberoende temperatur på 20-30°C. Tillståndet i akumulatorerna beräknas en gång per timme. Då utförs

- förlustberäkning
- laddning
- urladdning

I samtliga rutiner antas akumulatorn ha två skikt, ett "laddat" och ett "urladdat".

Förlustberäkning Förlusttermens inverkan på vattnets temperatur beräknas på samma sätt som i den stora tanken. Här antas

isoleringen vara 15 cm mineralull och omgivande luften (i centralbyggnaden) ha 20 - 25°C temperatur (ökade temperaturer förhindras genom termostatreglerad ventilation).

Laddning Laddningen sker med konstant flöde, en gång per dygn mellan två klockslag som operatören anger. För att förhindra oönskade utblandningseffekter undviks laddning medan den stora kvällsavtappningen pågår.

I modellen laddas ackumulatorerna en gång per timme med en mängd vatten (laddliter) som blandas med och utökar toppskiktet. Detta skiktets temperatur ändras enligt

$$\text{topptemp:} = (\text{toppvolum} * \text{topptemp.} + \text{laddliter} * \text{laddtemp.}) / (\text{toppvolum} + \text{laddliter})$$

och skiktets volym enligt

$$\text{toppvolum:} = \text{toppvolum} + \text{laddliter}$$

där topptemperatur och toppvolym är övre skiktets temperatur resp. volym och laddtemperatur är temperaturen på det vatten som tillförs ackumulatören.

Laddliter vatten från det undre skiktet tappas ur:

$$\text{bottenvolum:} = \text{bottenvolum} - \text{laddliter}$$

där bottenvolum betecknar volymen på det undre skiktet.

Urladdning Urladdningen görs också en gång per timme. Den totala energimängd som skall tas ur ackumulatören under dygnet antas vara känd (Ahlström) och den relativa intensiteten (per timme och per veckodag) antas variera enligt någon känd kurva. När praktiska mätresultat föreligger kan även slumpmässigheten komma att beaktas, eftersom konstantvärdena bagatelliserar den risk det innebär att inte ladda fullt. Beroende på det aktuella dygnets energibehov, timmens behov (intensitet) och toppskiktets temperatur tas den mängd vatten (urladdliter) som krävs från toppskiktet och returneras till bottenskiktet efter att dess temperatur har sänkts till ovannämnda värde, säg 25°C.

toppvoly: =toppvoly - urladdliter

bottentemperatur: = (bottentemperatur \* bottenvoly + 25 \*  
urladdliter)/(bottenvoly + urladdliter)

bottenvoly: = bottenvoly + urladdliter.

Om det visar sig angeläget kommer även förlusterna i värmeväxlaren och på sekundärsidan (i kulvertar och ledningar) att beskrivas särskilt.

LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 7

POSITIONER FÖR GIVARE I MARK OCH LAGER

Temperaturgivare för mätning i mark och värmelager.

Inre radie 16,25 m. Yttre radie 17,35 m

Djup refererar till magasinets botten.

Beskrivning	Beteckning IEA	Position	
		Radiellt (m)	Djup (m)
Ovanpå locket	T200	8.1	på lock
Vattentemp	T201	"	12
( $\frac{1}{2}$ radien	T202	"	11,5
och lodrätt	T203	"	11
0,5 m avstånd)	T204	"	10,5
	T205	"	10
	T206	"	9,5
	T207	"	9
	T208	"	8,5
	T209	"	8
	T210	"	7,5
	T211	"	7
	T212	"	6,5
	T213	"	6
	T214	"	5,5
	T215	"	5
	T216	"	4,5
	T217	"	4
	T218	"	3,5
	T219	"	3
	T220	"	2,5
	T221	"	2
	T222	"	1,5
	T223	"	1
	T224	"	0,5
	T225	"	0
Berg $\frac{1}{2}$ R	T226	8,1	1
lodrät kolonn	T227	"	-3
2 m avstånd	T228	"	-5
	T229	"	-7

Beskrivning	Beteckning IEA	Position	
		Radiellt (m)	Djup (m)
Magasinet	T230	16,25	12
inre sidoyta	T231	"	11
lodrät kolonn	T232	"	10
1 m avstånd	T233	"	9
	T234	"	8
	T235	"	7
	T236	"	6
	T237	"	5
	T238	"	4
	T239	"	3
	T240	"	2
	T241	"	1
	Magasinets inre	T242	16
bottenyta	T243	14	0
radiell rad	T244	12	0
2 m avstånd	T245	10	0
	T246	6	0
	T247	4	0
	T248	2	0
	T249	0	0
	Magasinets	T250	17,35
sida utanför	T290	"	10,5
isoleringen	T251	"	9
lodrät kolonn	T291	"	75
1,5 m avstånd	T252	"	6
	T292	"	4,5
	T253	"	3
	T293	"	1,21
	T254	"	-0,58



Beskrivning	Beteckning IEA	Position	
		Radiellt (m)	Djup (m)
Berg sida	T255	19,25	12
Ry + 2 m	T256	"	9
lodrät kolonn	T257	"	6
3 m avstånd	T258	"	3
	T259	"	0
	T260	"	-1,73
Berg sida	T261	21,25	12
	T262	"	9
	T263	"	6
	T264	"	3
	T265	"	0
	T266	"	-2,89
Berg sida	T267	23,25	12
	T268	"	9
	T269	"	6
	T270	"	3
	T271	"	0
	T272	"	-4,04
Berg sida	T273	25,25	12
	T274	"	9
	T275	"	6
	T276	"	3
	T277	"	0
	T278	"	-5,20
Magasinets	T279	12	-1
botten	T280	4	-1
Radiell rad	T281	0	-1
under isolering			
Kontrollpunkter	T282	17,35	6
i berg	T283	19,35	6
Radiell rad	T284	21,35	6
	T285	23,35	6
	T286	25,35	6

LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 8

KONDENSIKTTAGELSER

## KONDENSPROBLEM I SOLFANGARE.

Produktion av solfångare har de senaste åren fått en stor betydelse i en strävan att finna en alternativ energikälla. En bred satsning inom många företag har lett till att en mängd problem redan lösts. De olika tekniker som framförallt studerats är bl.a. olika ytors förmåga att absorbera solstrålning och emittera värmestrålning, samt olika täckmaterial till solfångare. Långtidsegenskaper hos solfångare har man försökt studera genom att artificiellt åldra de ytor och de konstruktioner man velat testa.

Inriktningen har sedan varit att tillverka absorbatorytor som skall motstå den i solfångaren uppkomna miljön. Därför har man inte tidigare försökt förbättra miljön i solfångaren. Vissa projekt i Sverige satsar på de solfångarkonstruktioner som finns att köpa på marknaden. Den solfångare som kommer att användas i Lambohovprojektet har utvecklats och speciellt anpassats med hänsyn till komplexiteten i detta projekt. Under det senaste året har konstruktionen studerats ingående för att bli kartlägga fukt och försmutsningsproblem på solfångarens absorbatör och täckyta.

Det kunde konstateras att om luftströmningen mellan glas och absorbatör varierades ändrades också förekomsten av kondens i solfångaren.

Den studie som gjorts av vissa på marknaden förekommande solfångartyper visar att problem i samband med kondens och försmutsning i dessa, har ägnats ringa vikt. I huvudsak förekommer två typer dels den oventilerade och dels den ventilerade där man helt enkelt gjort hål i ramen på solfångaren.

Vid de prov man har utfört på den senare typen, vid mätstationen, har framkommit att mycket stora energiförluster kan uppkomma om man optimerar ventilationen endast till kondensproblemet. Så mycket som 20% skillnad har erhållits mellan en okontrollerad ventilerad solfångare och en med kontrollerad ventilation. Vid den senare ventileras utrymmet mellan glas och absorbatör endast när solfångaren ej är i drift. Anledningen till att energiförlusterna kan bli så stora vid den andra typen, är att det eller de ventilationshål som man förser solfångaren med har lämplig area för att åstadkomma en tillräcklig ventilation när temperaturen är under +20°C i solfångaren. Medeltemperaturen i solfångaren under drift är över +40°C vilket innebär att den termiska lyftkraften ökar betydligt. Under hösten när drifttemperaturen i solfångaren är högre än +50°C ökar luftgenomströmningen mellan glas och absorbatör ytterligare och eftersom yttertemperaturen är låg minskar verkningsgraden katastrofalt i solfångaren. Resultatet av de studier som utförts är att man i ett sent stadiet i projekteringen av Lambohovprojektet föreslagit en mekanisk ventilation av solfångarna. Eftersom husen i Lambohov är radhus och solfångarna är takplacerade har man kunnat fördela luften från ett centralt fläktaggregat per radhuslänga till samtliga där ingående solfångare. Kondens i en solfångare uppstår i huvudsak morgon, kväll och vid vissa väderleksförhållanden. För att erhålla en godtagbar livslängd på solfångaren bör kondensationsproblemet till så stor del som möjligt undanröjas. De experiment och beräkningar som utförts visar att antalet kondensationstillfällen kan minskas till långt under hälften vid mekanisk ventilation.

För att undvika problem med nedsmutsning av absorbdatorytor och glastäckningens insida bör man filtrera ventilationsluften till solfångaren. Detta åstadkommes i ett finfilter placerat i anslutning till fläktaggregatet. De brandtekniska synpunkter som framkommit under projekteringen av ventilationsanläggningen belyser vissa fördelar med mekanisk ventilation.

Kondens i en svagt ventilerad solfångare kan uppstå när omgivningstemperaturen är högre än temperaturen inne i solfångaren eller när relativa fuktigheten på luften i solfångaren är mycket hög och omgivningstemperaturen sjunker. Ventilationen i solfångaren är helt avgörande för när och hur mycket kondens kan uppträda. Problemet är störst under juli och augusti. Under dessa månader varierar dygnstemperaturen som mest. Dvs den tid på året då luften tar upp mest vatten på dagen för att kondensera ut det på natten.

I juli är nattkondens mera vanlig, i augusti morgonkondens. Detta beror på att medeltemperaturskillnaden mellan kl. 7.00 och kl. 13.00 är större i augusti än i juli.

En förutsättning för kondensbildning i solfångaren var att temperaturen där skulle vara lägre än omgivningstemperaturen. Detta uppstår genom utstrålning från i första hand täckskivan på solfångaren. Täckskivan utgöres oftast av glas som kan ha en emissionskoefficient ca 0,9. Vid klart väder kan en ekvivalent himmelstemperatur vara mellan 5-10°C lägre än omgivningstemperaturen. Vid moln eller dis är skillnaden mellan himmelstemperatur och omgivningens temperatur mindre.

Utstrålningen kan beräknas enligt följande:

$$P = \epsilon_g \cdot \sigma (T_g^4 - T_{sky}^4) \cdot A$$

$P$  = effekten i W

$\epsilon_g$  = emissionskoefficienten för glas

$\sigma$  = konstanten i Stefan Boltzmanns lag

$T_g$  = temperaturen på glaset K

$T_{sky}$  = ekvivalent himmelstemperatur

$A$  = solfångarens area  $m^2$

För att kunna beräkna avkylningen i solfångaren måste även vindens påverkan medräknas. Experimentellt har man kommit till en skillnad mellan solfångarens täckyta och omgivningens temperatur på 3-6°C nattetid. För att förhindra att kondens faller ut i solfångaren i större mängd än den normala dag som ändå förekommer i förhållande till luftvolymen i solfångaren, måste solfångaren "värmas" till omgivningens temperatur. Detta åstadkommes genom att den omgivande luften i tillräcklig mängd leds mellan absorbator och glas. Problemet man då kan råka på är att för lite luft passerar vilket får till följd att solfångaren ej når omgivningens temperatur, utan i stället fungerar som fuktavskiljare för nattluft. Detta fenomen uppstår även om ventilationshålet i en självdragsventilerad solfångare är för litet, eller om det mynnar på exempelvis en vind. Luftmängden i en mekaniskt ventilerad solfångare har experimenterats fram till som mest i augusti ca:  $5m^3/h$  och  $m^2$ .

De fördelar man får med filtrerad mekanisk ventilation är:

1. Minskad kondens (avsevärt längre livslängd)
2. Minskad försmutsning (ökad energitransmission genom glas)
3. Att slippa energiförlust genom felaktig ventilering

tidsmässigt.

4. Möjligheten att utnyttja "vattenkyld" solfångare som "luftkyld" .
5. Förhindra höga solfångartemperaturer vid ex. värmebölja eller driftstörning.
6. Ökad utnyttjandegrad på ex. morgonen

SOL-LAB  
Jän Svensson

Linköping 1979-03-19

Bilden visar kondensutfall under en kall natt. Liggande foto.





## LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

### BILAGA 9

Den driftansvariges redogörelse för drifterfarenheter från solfångar-, värme- och varmvattensystem fram till 1 januari 1982

ERFARENHETER OCH SYNPKUNKTER GÄLLANDE SOLFÅNGAR-  
SYSTEMETS DRIFT FRAM TILL 1 JANUARI 1982

Efter att konstruktionen avslutats och en monterings teknik med skarvprofiler och monteringsprofiler utvecklats, vidtog driftprov. De första fyra solfångarna som serieproducerades provades ingående beträffande såväl mekaniska som värmetekniska aspekter. Glasens motståndskraft mot snöras (simulerat med en säck cement, 40 kg) provades. Dessa prov visade en mycket god hållfasthet hos glaset. I de fall glaset krossades föll mycket få bitar ner på marken. Detta beror till mycket stor del på att glaset är limmade i alla fyra kanterna så att om glaset spricker hänger största delen av glasbitarna kvar i sidoprofilerna. Beträffande de värmetekniska aspekterna var man orolig för dels glasens dels absorbatorns (aluminium) termiska rörelser.

Den första solfångaren monterades i Lambhov den 17 maj 1979 och man fick möjligheter att göra de första mätningarna på plats. Stagnationstemperaturer uppmättes till  $190^{\circ}$  i toppen trots relativt stora ventilationshål. Glasetemperaturen uppmättes som mest till mellan  $70-80^{\circ}\text{C}$ .

Idrifttagning av solsystemen var planerad till våren 1980 och av den anledningen var man tvingad att låta solfångarna stå okylda och med stagnationstemperatur under hela sommaren 1979. I syfte att minska temperaturen i solfångaren och på glaset, för att i händelse av en hastig regnskur, spänningsskador skulle uppstå i glaset, täckte man alla solfångarna med presenningar. Ett ytterligare argument för att täcka solfångarna var att man bedömde att det selektiva skiktet på absorbatoren skulle skadas eftersom stagnationstemperaturer på upp till  $200^{\circ}\text{C}$  skulle uppstå.

Täckningen med presenningar fick dock till följd att glasetemperaturen på glaset i stället steg och då i vissa fall upp till  $100^{\circ}\text{C}$  och man fick skador, sprickor, i något 10-tal glas. Temperaturen på absorbatoren höll sig däremot på  $60-80^{\circ}\text{C}$ . Detta berodde på ljusabsorption i presenningen, som låg tätt mot glaset. Efter dessa erfarenheter togs alla presenningar bort och värmesprickorna i glaset upphörde.

Vid fyllning av systemet, dessa tillfällen inträffar ofta då temperaturen i absorbatoren är över  $100^{\circ}\text{C}$ , noterades att kraftiga rörelser och slag uppstod i de sex parallellkopplade stripsen i absorbatoren. Stripsen "slog" emot glaset vid flera observationer, dock ej med sådan kraft att skador uppstod. Man ändrade då konstruktionen genom att montera flera tvärgående stagband på de ännu ej levererade absorbatorenerna.

Senare har erfarenheter av driften visat att detta problem dock var litet. Montering av solfångarna på hustaken skedde med kran. Montaget utfördes av snickare under ledning av under-teknad som teknisk expert. För att klara termiska rörelser i sidled anvisades att solfångaren skulle monteras med 4 mm spelrum från varandra. Passbitar av masonit tillverkades och lades mellan solfångarna vid monteringen. Efter 2 veckor konstaterades

ett 10-15-tal trasiga glas på första huslängan och man blev orolig för att en konstruktionsmiss hade begåtts. Vid senare undersökning visade det sig att masonitbitarna kvarlämnats och det nödvändiga expansionsutrymmet ej kunde utnyttjas. När bitarna avlägsnats upphörde glasen att spricka. Efter denna incident kontrollerades monteringen noggrant och man tog hänsyn till och med till utomhustemperaturen vid monteringen.

Efter montering av solfångarna och röranslutningar skedde provtryckning huslänga för huslänga. Första huslängan provtrycktes med vatten under hösten 1979. Man glömde efter provtryckningen att öppna och dränera systemet. Natten efter provtryckningen blev det fryskallt och man kunde konstatera att så gott som samtliga (42 st) röranslutningar hade frusit och det iaktogs en dimensionsändring av rören. Endast två av rören gick sönder och fick bytas. De övriga är ej utbytta.

Efter detta missöde provtrycktes de övriga huslängornas solfångare med luft. I samband med idrifttagningen som skedde i april 1980 noterades många elektriska felkopplingar av magnetventiler för luftinsläpp i systemet vid dränering. Dessa ventiler var felkopplade så att vatten strömmade ut på hustaken. En del magnetspoler brann upp. Alla spolar byttes senare ut. Efter ett par dagars drift konstaterades att fyllningen skedde på 15-20 minuter. Detta var något mer än räknat med. Dräneringar, som enligt beräkningarna skulle ske på mindre än 10 minuter, tog över 2 timmar. Detta berodde på att parpumpar som ingick hade 2 klaffar istället för normalt 1 klaff. När en klaff bortmonterats kunde vattnet passera pumpen och dräneringstiden förkortades till ca 15 minuter.

På grund av datorkrångel, luft i olika system och diverse mindre felkonstruktioner på olika ingående delar i hela systemet kunde datorregleringen inte startas direkt utan den, som varit ansvarig för driften, fick manuellt köra systemet med "grova" regleringar. Problem uppstod med temperaturreglering. Sättet att starta och stoppa systemet var en, från dag till dag varierande, inställning på en temperaturregulator som startade pumparna vid ett visst uppnått värde på absorbatortemperaturen.

Problem uppstod också vid några tillfällen med ångbubblor som stod kvar i solfångarna så att tillräcklig cirkulation ej erhöles. Detta noterades vid stark solinstrålning i slutet av sommaren när temperaturen i lagret var hög. Solfångarna kokade vid några tillfällen vid strömavbrott beroende på att en ventil i returledningen hade stängt. Felen med luftningsventilerna var ett återkommande problem. De öppnades via ett fördröjningsrelä när pumparna stoppade. Vid fel på dessa sprutade varmt vatten ut på taken och ner på marken. Detta hände ofta. Det berodde dels på fel på fördröjningsreläerna, dels fel på magnetventilerna. Flera av ventilerna pluggades under sommaren.

Ett trettiotal glas har bytts under perioden fram till 1 januari 1982. De flesta byttes efter olika missöden under byggtiden. Originalglasen hade låg järnhalt. De nya glasen är vanliga fönsterglas. Ett av problemen med absorbatörer och läckage har berott på att nedre samlingsrörets lilla hals till strips varit igenlödd, vilket fick till följd att den frös under första vintern.

Detta noterades på 8 st absorbatörer som fick bytas. Andra läckor: (i 4 fall) på absorbatörer, 2 fall porer mitt på en strip, 2 fall porer i lödningar, 3 st har skadats på annat sätt.

Totalt har 15 absorbatörer bytts ut, beroende på läckskador. Vissa andra byten har gjorts i studiensyfte, bl a för åldringsprov i samråd med Gränges Aluminium.

Vid en brand i en kulvert fick 4 absorbatörer bytas beroende på skador från rök och pulver från släckare. Hösten 1980 pluggades 4 solfångare i olika huslängor på grund av trasig absorbatör. Detta gjordes så olyckligt att vatten stod kvar i ett samlingsrör på vinden. Röret frös sönder. Detta noterades inte förrän det åter blev tryck i systemet. Vid start av solfångarsystemet den 4 april uppstod därför läckage på vinden i 4 hus. Vatten rann via vinden ner i lägenheten. Detta lagades och man startade på nytt den 14 april efter ingående diskussioner med husägare.

Denna gång hade en ventil i ett hus borttagits och en läcka uppstod.

Även sommaren 1981 kördes anläggningen helt manuellt i reservreglermode.

Under den fortsatta driften 1981 kördes anläggningen manuellt i reservreglermode. De största problemen var då eliminerade med undantag för inreglering av flöden. Utbyte av magnetventiler och utbyte av avluftningsventiler gjordes. Detta skedde dock under 1981 i samband med övrig ombyggnad, se kapitel 7. Driftproblemen under denna andra säsong bedömdes som små med hänsyn till kontinuerlig drift och energiinsamling.

Linköping 1983-03-09

Sol-lab  
Jan Svensson



ERFARENHETER OCH SYNPUNKTER GÄLLANDE HELA ANLÄGGNINGENS DRIFT FRAM TILL 1 JANUARI 1982

Undertecknad gavs uppdraget att ansvara för drift och fortlöpande tillsyn, injustera datorreglering samt att dokumentera och följa upp driften.

De olika systemen togs i drift successivt från januari 1980 till maj 1980.

Tekniska meningsskiljaktigheter mellan inblandade parter uppstod i ett tidigt skede av projektet (1978), vilket har försvårat genomförandet och uppföljningen avsevärt.

Inflyttning i området startade hösten 1979. Den oljepanna som tänktes utgöra framtida reservenergi användes direkt till värme- och varmvattensystemen fram till april 1980. Ursprungligen avsågs det stora värmemagasinet att laddas med solenergi, varefter värmepumpar för respektive system skulle startas.

Olyckligtvis frångicks detta ursprungliga beslut och oljeeldad laddning av magasinet startade 80-03-18 efter beslut av projektledaren. Detta medförde att valideringen av beräkningsunderlaget år 1 omöjliggjordes.

Vid idrifttagning av reglersystemet under mars och april 1980 erhöles stora problem med luft i ventiler och cirkulationspumpar. Reglersystemet arbetade dels via ett analogt reservreglersystem, dels via datorreglering. Datorreglering togs aldrig helt i bruk beroende bland annat på luft- och andra VVS-tekniska problem.

För att minska problemen med inläckande luft lät VVS-konstruktören montera avluftningsventiler på samtliga pumpar och i andra delar av anläggningen. Detta utfördes under april 1980. Erfarenheterna var dock negativa.

Experiment med avluftningsklockor på pumpar:

Beskrivning av försöket:

De på pumparna befintliga luftklockorna försågs med en 2 dm lång slang som monterades på den nippel där luften från klockan släpps ut. Slangen fylldes med 1 dm vatten och luft som luftklockan skall avskilja från pumpen var tvungen att bubbla genom denna 1 dm höga vattenpelare. Pumparna var under drift och drifttrycket på kretsarna var i samtliga fall vid försökets start över 5 m vp. Strax före pumpen anslöts en nippel, varpå en tryckluftsslang monterades. Trycket i luftslangen var över 50 m vp.

Olika flöden på tryckluften provades och inflödet av luft i pumpen kontrollerades med den strax efter pumpen placerade tryckmätaren. Luftinflödet i pumpen ökades efter hand så att efter ca 2 minuter pumpen inte fungerade alls. Pumpen var då helt luftfylld och tryckmätaren efter pumpen visade endast ca 1 m vp. Pumpen stannades och startades något 10-tal gånger för att avlägsna luften i pumpen och försöket upprepades.

Försöket upprepades i två olika pumpkretsar, 10 ggr i vardera. Samtliga förekommande pumptyper provades. Resultatet var i samtliga tjugo försöken lika.

Slutsats:

Okulärt konstaterades att ingen luft passerade luftklockan vid något försök.

Försöken dokumenterades med videoteknik.

Luftproblemen fortsatte, framförallt i värmesystemet. Luft sögs in via avluftningsventiler särskilt i högpunkter och följde med vattnet ut i värmelagret, där det samlades under locket. Genom att lossa gummiduken och släppa ut luften avluftades locket så ofta som en gång i veckan.

Ett annat problem vid den tidpunkten var inläckande vatten mellan dukarna i locket. Analys, 80-04-11, av vatten från bassängen, mellan dukarna och ovanpå översta duken (regnvatten) visade att vattnet mellan dukarna var regnvatten. Små hål, sprickor och bristfälliga vulkningar kunde efter visst besvär (1000 m<sup>2</sup> lockyta) lokaliseras och repareras.

Vid provdrift av värmepumparna april/maj 1980 visade det sig att luftproblemen omöjliggjorde användning av automatmode på grund av det utökade reglerkravet. Luft i returledningen från husen orsakade nämligen flödesbortfall i cirkulations- och värmepumpar och förhindrade temperaturreglering via shuntar.

Det minskade uppvärmningsbehovet under maj ledde dock till att värmepumpar ej längre behövdes, utan man kunde nyttja bassängvattnet direkt. Liksom tidigare vid oljedrift innebar detta ett betydligt enklare reglerfall, principen "raka rör".

Studier av systemfunktionen under den genomförda provperioden resulterade i ett preliminärt ombyggnadsförslag, vilket presenterades i slutet av maj 1980. Semesterperioden och det minskade värmebehovet ledde dock till att diskussionerna avstannade.

Ändringsförslag på grund av luftproblemen:

Problem med luft i olika system hade iakttagits en tid. Vid diskussioner med Studsvik Energiteknik AB, Bernt Fagerström, hade framkommit att reglersystemet ej fungerade tillfredsställande beroende på luft i vattenkretsar. Flödesmätningen fungerade endast delvis. Olika förslag hade diskuterats och framlagts för att öka tillgängligheten på anläggningen.

Vid prov och mätningar som den driftansvarige utfört hade framkommit att luft kom in i solfångarsystemet men framförallt i värmesystemet. Detta berodde på att, när termostatventilerna stängde uppstod undertryck i returledningen och luft sögs in i denna. Detta innebar att reglering av systemet omöjliggjordes och att värmepumparna löste ut på högtryck, vilket enligt Stal Refrigeration kunde skada dessa. Vid diskussion med Bertil Ahlström hade följande föreslagits beträffande värmesystemet före idrifttagningen hösten 1980.

- 1 Flytta MV 5 från pumpen P5:s tilloppsledning till returledningen.
- 2 Placera en tryckhållningsventil på returledningen så att ett statiskt tryck kan hållas i systemet på samma sätt som när oljepannan används.
- 3 Montera en bypass-ledning mellan tillopp och returledning.
- 4 Flytta T 400 närmare värmepumparna.
- 5 Montera en backventil på pumpens sug sida före shuntledningen.

Liknande men mindre omfattande reglertekniska problem för varmvattensystemet kringgicks till stor del genom manuell drift. Värmepumpen för varmvattenproduktion var i drift tills bassängvattnet nådde en topptemperatur på 53°C (juli).

Under juni och juli månad 1980 noterades beläggningar och felaktigheter på temperaturgivare i olika delar av systemet och man misstänkte att vattenkvaliteten hade försämrats. Några trasiga temperaturgivare med kraftiga beläggningar skickades på analys. Analysen visade bl a att avzinkning och korrosion pågick. Vattenkvaliteten undersöktes och man konstaterade att syrehalten i vissa delar låg på full syremättnad. Problem uppstod också med igensättningar i filter. Första vattenprovet skickades för analys 80-07-08. Proverna visade hög kopparhalt, dålig buffringsförmåga och lågt pH. Samtliga analyser utfördes av Svelab i Linköping.

Vid konsultation med länsstyrelsens vattenexperter erhöles rådet att tillsätta natriumhydroxid och kalciumkarbonat, vilket också gjordes.

Den 3 juli 1980 havererade dräneringspumpen för grundvattnet och så gott som hela isoleringen omkring värmelagret vattenfylldes. Pumpen reparerades och avsänkning av grundvattnivån startade igen inom 2 veckor.

Vid en analys av grundvattnet 80-07-10 konstaterades mycket hög sulfathalt och pH >12 och man befarade betongkorrosion.

Efter semesterperioden fortsatte drift- och funktionsproven för att kartlägga felena i anläggningen. Vid systematisk genomgång av anläggningen fann man en stor mängd felaktiga eller felaktigt kopplade komponenter. Temperatur- och flödesmätningar stördes bland annat på grund av luft i vattenledningar.

Motsättningarna och de tekniska meningsskilligheterna mellan inblandade parter ökade då man inte kunde enas om felmekanismen. Samfällighetsföreningens tvister med AB Östgöta-Byggen resulterade i att en lokal i anslutning till det utrymme, där den centrala datorn för mätning och reglering var placerad, började användas som bordtennislokal. Dessa båda lokaler har ett gemensamt ventilations- och återluftsystem, vilket innebar att datorrummet blev mycket dammigt. Dammet orsakade problem med datordriften (skivminnet).

Det ökade flödet i uppvärmningskretsen, till följd av det större energibehovet i september-oktober ledde till värmeproblem i husen på grund av igensatta filter i vattenkretsen. Vid analys visade det sig att beläggningen var av organiskt slag. Husägarna försågs med verktyg och råddes att utföra rensing av sina filter vid eventuella problem.

Bland annat av miljöskäl kontaktades länsstyrelsen och rådet erhöles att tillsätta klor direkt till lagret för att lösa problemen. Detta skedde aldrig.

Värmepumpen för varmvatten startades omkring den 20 oktober 1980 och man fick omedelbart tekniska problem framförallt med luft, vilket innebar att så gott som utelsutande manuell drift användes.

Värmepumparna för uppvärmningssystemet togs i drift för säsongen den 1 november 1980 och på grund av tidigare anförda luft- och komponentfel fick även dessa köras manuellt.

Eftersom undertecknad var ensam ansvarig för driften och hade sin bostad ca 2 mil från anläggningen anlätades en person boende i området för enklare tillsynsuppgifter med målsättning att öka tillgängligheten på anläggningen.

Under november ökade problemen kraftigt ute i husen. I huvudsak var det igensättningar av silar i värmesystemet som orsakade avbrott i värmeleveransen.

Utgående temperatur och flöde från centralbyggnaden till husen fungerade tillfredsställande på grund av den manuella driften, men den krävde en oproportionerligt stor arbetsinsats. Avbrott på värmeleveranser torde till 90% ha berott på "felaktigheter" i husen. De felaktigheter och avbrott som noterades på varmvattensystemet berodde däremot helt på problem i centralbyggnaden.

Gränsdragningsproblem förekom beträffande driftsansvaret för de centrala anläggningsdelarna och konsumentkretsarna i de enskilda radhusen.

Under början av december 1980 intensifierades diskussionerna kring de allt större problemen i Lambhov. Man enades om att omedelbara åtgärder beträffande vattenkvalitet och luftproblem skulle vidtagas.

En vattenkemist från VIAK anlätades i det läget för att komma till rätta med vattenkvaliteten.

Inför de stundande jul- och nyårshelgerna bedömdes emellertid problemen vara så allvarliga att oljepannan beslutades att tas i drift.

Den höga framledningstemperaturen avsågs minska störningarna med organiska igensättningar av filtren i husen genom lägre flöde och lägre tillväxt av organiskt material. Genom drift av oljepannan isolerades förbrukarkretsarna från värmelagret och dess föroreningar. Oljeeldning bibehölls i cirka 2 månader.



För att ytterligare klarlägga felmekanismen drevs anläggningen i VVS-konstruktörens regi under en period på cirka 1 månad (februari-mars 1981). Under denna period drevs anläggningen utan det ordinarie reglersystemet och istället med några enkla termostatstyrningar. Avsikten var bl a att avgöra huruvida problemen berodde på datorregleringen eller VVS-konstruktionerna.

Driftstatus värmesystem 1981-02-24:

Vid en kontroll som togs 1981-02-24 på värmesystemet framkom följande (se Figur Värmepumpskretsar).

- 1 Kontinuerlig luftavgång vid luftare på pump. (H). Vid värmepumpstopp erhöles undertryck vid något tillfälle.
- 2 Bypass-ventil (B) orsakade att värmepump löste ut på högtryck ett flertal gånger.
- 3 Syreprov togs på framledningsvattnet. Resultatet visade att vattnet innehåll 7,2 mg syre, d v s 130% övermättnad ( $55^{\circ}$ ) trots att vattnet i systemet endast rundpumpas i slutna krets. AV-ventil (G) på returledning var vid tillfället avstängd.

Reglerventil (F) var ställd på ca 50% öppning.

- 4 Regleringen av framtemperaturen skedde med hjälp av en 3-stegs kvicksilverbrytare där givaren till denna monterats vid (C).
- 5 Ett värmepumpsteg startade varannan minut (ca 600-700 ggr/dygn).

Förloppet var följande vid reglering:

VÄP 1A startade vid  $55^{\circ}\text{C}$ , temperaturen på framledningsvattnet sjönk sedan under 5 sekunder till  $50^{\circ}\text{C}$  då VÄP 1B startar. Under de följande 15 sekunderna sjönk temperaturen till  $45^{\circ}\text{C}$  för att sedan på 90 sekunder höjas till  $60^{\circ}\text{C}$  då VÄP 1B avstängdes. Temperaturen steg till  $65^{\circ}\text{C}$  på 30 sekunder då VÄP 1A stannade. Sedan varade stoppet under 1 minut innan förloppet upprepades. Trycket framför pump (E) varierade mellan 0-0,5 m vp. Dunkande ljud hördes i huvudledning (troligen luft).

Kontrollen upprepades ett 10-tal gånger under dagen och kvällen 1981-02-24.

- 6 Trycket på utgående ledning uppmättes (A) till 22-24 m och borde ha varit 16 m. Trycket på inkommande returledning var omkring 1 m. Ett kraftigt undertryck noterades vid varmluftaggregaten på returledningen på en husvind.

Utomhustemperatur var  $-1^{\circ}$  -  $+5^{\circ}\text{C}$  1981-02-24.

Då denna driftperiod visade att huvudproblemen kvarstod återupptogs ordinarie drift och driftsansvar i mars 1981. Anläggningen återställdes och manuell värmepumpdrift enligt tidigare mönster fortsatte värmesäsongen ut.

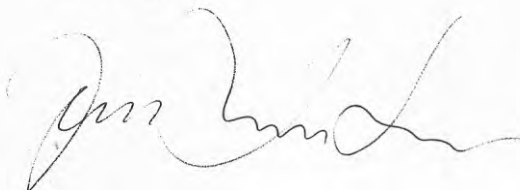
Samtidigt återupptogs diskussionerna kring de aktuella driftproblemen i anslutning till det ovan nämnda ändringsförslaget.

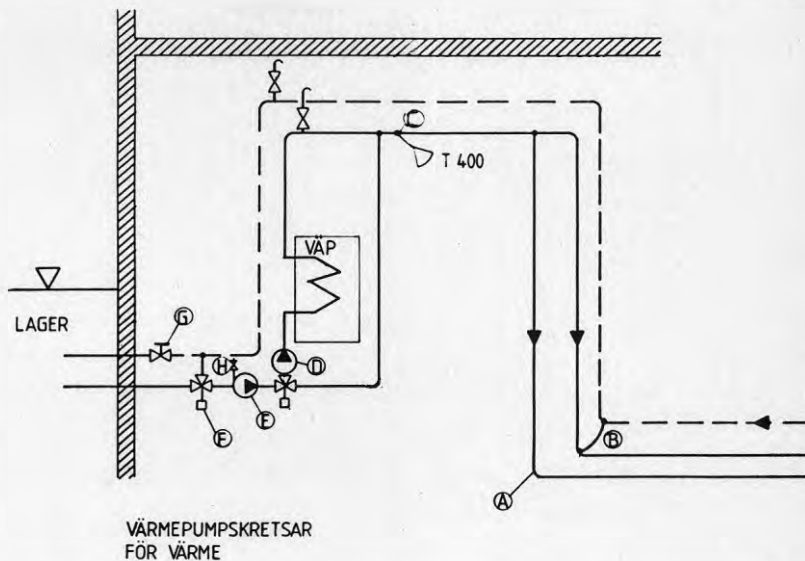
Man kan avslutningsvis konstatera att de erfarenheter och det tidskrävande forskningsarbete som utförts vid den direkta driften av anläggningen från start och under första årets drift utgjort ett värdefullt underlag vid utarbetandet av det slutgiltiga modifieringsförslaget, som beträffande värmesystemet ansluter sig till det ursprungliga ovan nämnda ändringsförslaget från maj 1980.

Av litteraturförteckningen framgår ytterligare underlag rörande drift, prov, protokoll m m.

Linköping 1983-03-09

Sol-lab  
Jan Svensson





Figur Värmepumps-kretsar

- A Mätpunkt för tryckmätning utgående ledning
- B Nyinsatt "bypass" mellan retur- och utgående ledning
- C Borttagen givare ersatt med givare till 3-stegs kvicksilverbrytare för reglering av värmepump
- D Cirkulationspump för kompensation av tryckfall i värmepump
- E Huvudcirkulationspump för värmesystem
- F Reglerventil mellan retur- och lagervatten till framledning
- G AV-ventil i returledning
- H Luftare på pump

LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 10

URSPRUNGLIGT FÖRSLAG (1978) ÖVER MÄT-, STYR- OCH  
REGLERUTRUSTNING

## MÄT-, STYR- OCH REGLERUTRUSTNING FÖR LAMBOHOVPROJEKTET

### MÅLSÄTTNING

Huvudmålsättningen är att erhålla en funktionsmässig och ekonomisk totalbild av anläggningen. Häri ingår som delstudier bl a fastställande av energibalans för anläggningen, uppföljning och förbättring av reglerprogrammet mot bakgrund av uppmätta förhållanden samt att ge underlag för förbättrade beräkningsmetoder för liknande anläggningar i framtiden.

Energiförbrukningen i enskilda hus kommer att studeras. Ett eller två hus kommer att studeras noggrannare än de övriga.

Av särskilt intresse är studier av temperaturskiktningar i ackumulatorbassängen samt temperaturvariationer i marcken runt omkring. Dessutom kommer mätningarna att ge värdefulla erfarenheter av energiförluster från kulvertar i lågtemperatursystem.

Projektet förväntas även ge fördjupad kunskap om temperaturförhållanden m m i och omkring solfångarna.

### SAMMANFATTNING

Utrustningen kännetecknas av följande:

En dator med god kapacitet används som centralenhet. Den utför ett normalt mät- och reglerprogram, men har dessutom kapacitet att enkelt utföra speciella mätningar som behövs för detaljundersökningar av anläggningen.

Datorn ger också projektledningen och övriga som arbetar med anläggningen god tillgång till mätresultat och möjlighet till enkel förändring av mät- och styrprogrammet.

Utrustningen är försedd med modem för anslutning till telenätet och därmed ges möjlighet till överföring av data till större mätcentral.

Utrustningen är uppbyggd av standardkomponenter i största möjliga utsträckning för att medge enkel service och möjlighet att förändra utrustningen.

I området kommer ca 150 mätpunkter att utplaceras.

## Mät-, styr- och reglerutrustning

### 1. Inledning

Mät-, styr- och reglerutrustningen (nedan benämnd mätstation) skall kombineras för bästa utnyttjande av mätgivare och datorutrustning. Mätstationen skall användas för följande tre uppgifter:

- a. Insamling av data som skall ligga till grund för utvärdering av anläggningen. Denna uppgift är relativt omfattande och utsträckt över en tidsperiod om minst två år.
- b. Styrning och reglering av anläggningen. Insamlade data
- c. Användning för detaljstudier av delar av anläggningen. Detta kan innebära att extra givare kopplas in för en kortare tid och/eller att data från befintliga givare insamlas med tätare tidsintervall.

Mätstationen skall vara utförd så att insamlade mätdata skall kunna vidareändas till en större mätsentral för ytterligare bearbetning. Denna överföring sker med hjälp av modem och telenätet. Programmering av mätstationens dator skall ske i högnivåspråk (ex. BASIC) för att underlätta genomförandet av detaljstudier av systemet.

Nedan följer en beskrivning av mätstationen i detalj samt en kostnadsberäkning för ingående delar

### 2. Mätstation

Mätstationen består av tre delar, scanners och räknare för anslutning av givare, mikrodator med periferiutrustning samt utgång till ställdonen i reglersystemet. Blockscheman se fig.1.

#### 2.1 Dator

Mätstationens dator skall utföra följande

- a. Intagning av data från mätgivarna, behandla dessa data samt lagra dem i massminnet.
- b. Med hjälp av insamlade mätdata (från ett mindre antal av givarna) beräkna styrsignaler och mata ut dessa till anläggningens ställdon.
- c. Utföra mätningar för detaljstudier av delar av anläggningen.

d. Överföra data via modem och telenätet till mätcentral.

Deluppgifterna a, b och d utföres under lång tid med oförändrade program. Uppgift b däremot kräver att särskilda program tas fram för varje detaljstudier. Det har då bedömts som nödvändigt att tillräckliga resurser för programmering och utvärdering av detaljstudierna finns inom anläggningen. Programmeringsspråket kommer att vara BASIC (eller om så önskas kan FORTRAN IV användas).

Insamlade data bearbetas (medelvärdesbildning, givarkonstanter, larm etc) och lagras på floppy-diskenheten. Vid lämpliga tidpunkter skrivs rapporter ut och på begäran av mätcentralen överförs data till denna. Mätstationen är utförd så att den arbetar utan tillsyn en längre tid.

Genom bildskärmen och skrivaren kan användaren få rapporter om systemet och på ett enkelt sätt modifiera mätprogrammet. Datorn är försedd med IEC-buss för anslutning av standardinstrument.

Olika alternativ för datorn har utretts, bl.a har jämförelse med kalkylator med högnivåspråk gjorts. Pris- och prestandamässigt har den valda datorn visat sig mycket fördelaktig.

## 2.2 Mätenhet för analoga signaler.

Två typer av givare skall anslutas till denna enhet, dels termoelement och dels resistiva givare. Antalet mätpunkter är ca 120 st. Scanner-enheten är sammankopplad med en analog-digitalomvandlare och anslutning till datorn sker via IEC-bussen.

## 2.3 Mätenhet med räknande ingångar.

Denna enhet har 20 ingångar och anslutes till IEC-bussen. För närvarande saknas uppgifter om exakt pris och leveranstid för denna enhet.

## 2.4 Utenhet för styrsignaler.

Enheten har till uppgift att anpassa styrsignalen från datorn till ställdonen i systemet. Kanalantalet är 25. Enheten är ansluten till

datorn via IEC-bussen eller alternativt via separat interfacekort.  
Enheten skall kunna medge manuell styrning och reglering av systemet.

### 3. Givare

#### 3.1 Temperaturgivare.

Termoelement och resistiva givare planeras att användas. Cirka hälften av antalet givare kommer att placeras i bassängen och omgivande berg. Dessa givare måste vara helt fuktsäkra och mycket driftsäkra eftersom de endast med stora svårigheter kan ersättas sedan anläggningen tagits i drift.

#### 3.2 Övriga givare.

Värmeenergi, elenergi, flöden, vindhastighet m.fl. mäts med givare med pulsutgång, som anslutes till mätenheten med räkmande ingångar.

### 4. Kostnadsberäkningar

Som bilaga 1 följer kostnadsberäkning.



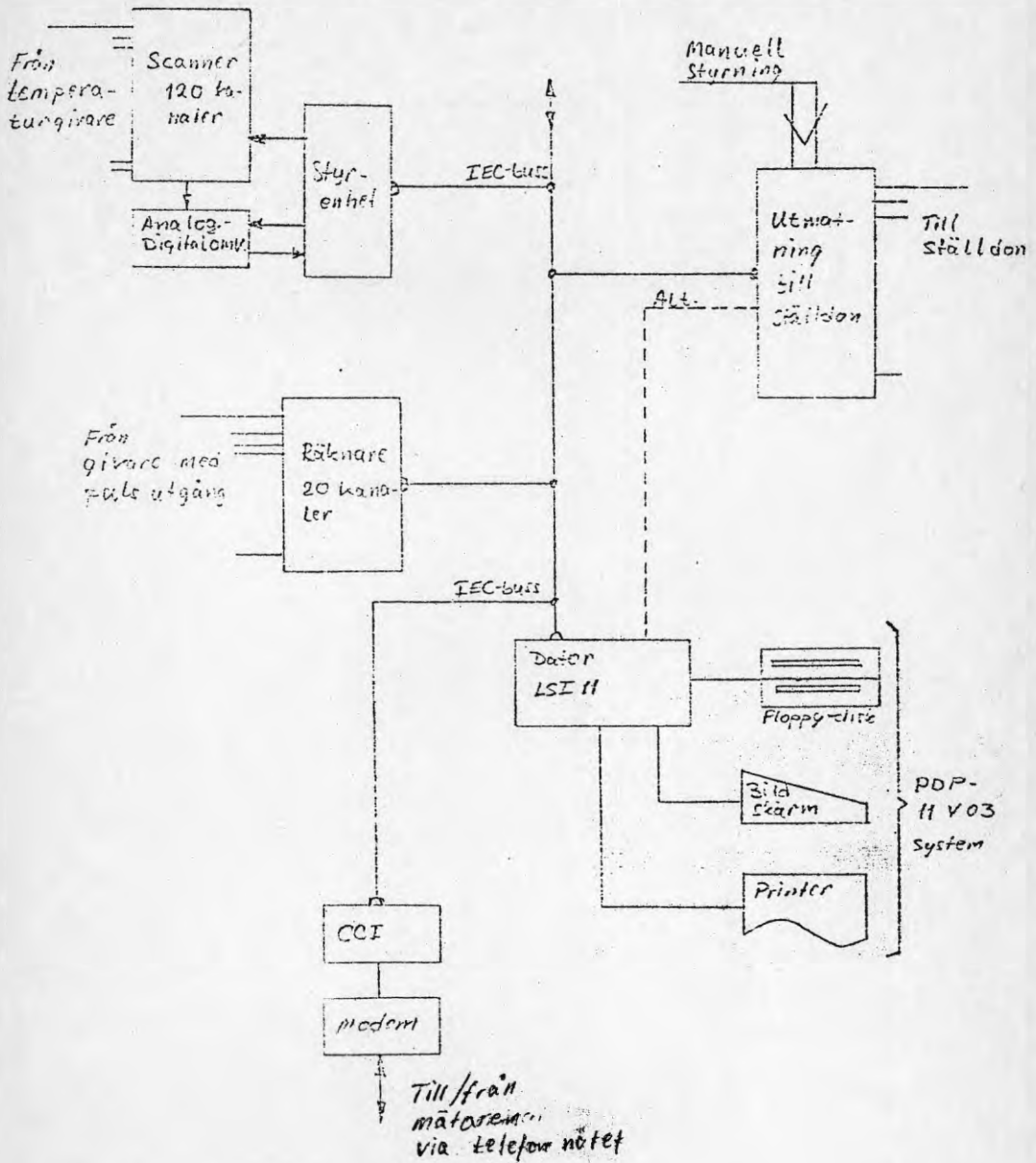


Fig. 1

Blockschema för mätstation

Dator, FDP LSI 100, inkluderande 24 kord minne, dubbel floppy-diskettenhet, IEC-buss-interface, bildskärms terminal, printer, operativsystem, BASIC och FORTRAN IV	83.000
Modem och CCE för anslutning till telenät	14.000
Analog mätenhet, 120 kanaler, scanner Solartron 3325	38.100
Räknande mätenhet, 20 kanaler (uppskattat pris)	9.000
Utenhet till ställdon, 25 kanaler (ställdon ej medräknat, beräknat till 25.000:-)	14.500
	<hr/>
	158.600
Givare för temperatur, 120 st, inkl kabel och montering	133.200
Övriga givare, inkl mätvärdesomformare, kabel och montering	56.000
	<hr/>
	189.200
Installation, programmering och intrimning	155.000
Utvärdering, underhåll och projektledning, 2 år	370.000
	<hr/>
	525.000

<u>Sammenställning</u>	exkl moms	inkl moms
Utrustning	158.600	192.000
"	189.200	229.000
Installation, programmering, utvärdering, projektledning mm	525.000	525.000
	<hr/>	<hr/>
	872.800	946.000
Oförutsett	61.000	66.000
Prisökning, 1 år	87.000	95.000
	<hr/>	<hr/>
SUMMA	1020.800	1107.000

## I. <sup>Sol</sup> Reglersystem.

### S 1. Allmänt:

Projektets huvuddelar är solfångarsystem, energilagringssystem, varmvatten och uppvärmningssystem. Regler, mät och utvärdering sker via en minidator placerad i centralbyggnaden.

mätpunkter avläses med olika intervall. För större databehandling finns möjlighet att via modem överföra primär och sekundärdata till en stor datacentral.

Anläggningen ska vara i drift året runt och leverera den energi som åtgår för bostadsuppvärmning och varmvattenberedning. Energin infångas till största delen under sommaren. Laddningsperioden börjar i februari och slutar i oktober. Solhöjden varierar från  $18^{\circ}$  i februari till  $54^{\circ}$  som högst i juni och tillbaka till  $22^{\circ}$  i oktober. Bästa månadsverkningsgrad erhålles i maj. Försörjningsgraden från solsystemet är 100 %, och när driftsenergin till värmepumparna är borträknad 88%.

### S 2. Solfångarsystem

Med solfångarsystemet menas här solfångare, reglerventiler, kulvert, pumpanordning och inmatningsanläggning i värmelager. Solfångarna utgör den energiinsamlade enheten. De består utifrån av; glasning, den selektiva aluminiumabsorbatorn, 5 cm mineralullsisolering och en bottenskiva varpå aluminiumramen, som bär upp glaset, är skruvad. Solfångarlådorna är 6030mm långa, 900 mm breda och placerade på husens tak. Taklutningen är  $55^{\circ}$ . Det värmebärande mediet i solfångarna är vatten, som pumpas i riktning från takfoten mot taknocken. På det övre av de två samlingsrör, som förbinder solfångarna, är automatiska avluftningsventiler och styrda dräneringsventiler monterade. Dräneringsventilerna är magnetventiler som har till uppgift att släppa in luft i vattenrören i toppen på solfångarna så att dränering sker.

Samtliga solfångare är parallellkopplade.

I varje radhuslänga är solfångarnas gemensamma returledning försedd med en motorventil, som har till uppgift att reglera den statiska tryckhöjden, så att den solfångare som är belägen på den högsta nivån i området blir helt vattenfylld.

#### Pumpsystem.

Solfångarsystemet har två pumpkretsar. Den ena för byggnaderna norr om, och den andra för byggnaderna söder om centralbyggnaden. Sugledningarna från solpumparna börjar vid magasinbotten. Pumparna är placerade i centralbyggnaden på en lägre nivå än vattenytan i bassängen. Vidstart av dränerat system pumpas vatten från magasinets botten genom kulverten till de reglerventiler som under avluftningsfasen befinner sig i min. läge, och vars uppgift är att under drift balansera de olika solfångargruppernas uttemperatur. Reglerventilernas min. värde är justerat så att en jämn tryckfördelning sker och att samtliga solfångare fylls med vatten. När avluftningsfasen är avslutad (beräknad till 6-8 min) kan en temperaturreglering av systemet påbörjas, medelst samma reglerventiler. Ventilerna styrs då antingen efter solfångargruppernas medeltemperatur vid maxflöde eller efter en förinställd önskad temperatur. Solfångarnas tidskonstant är uppmätt till 6-8 min och avluftningsfasen vid fyllning är beräknad till 6-8 min, vilket ger en total fördröjning på ca 12-16 min innan stabila förhållanden råder och solfångarna lämnar maximal energi. Vid dagar då uttemperaturen är över fryspunkten kan systemet fyllas på morgonen när solen nått tillräckliga instrålningsvärden och tömmas på kvällen när laddningen upphört. Däremellan startas och stoppas solpumparna med solinstrålningens variation eller efter vattnets in och uttemperaturer. När solpumparna stoppas och solfångarna inte dräneras förloras den värmeenergi som vattnet innehåller pga utstrålning. Detta kompenseras genom att man vid återstart av systemet ej behöver avlufta och stabilisera utan att temperaturreglering kan ske direkt efter start. Den valda absorbatoren kan lagra mycket lite värme. Glas, isolering och de övriga komponenterna i solfångarlådan har också en mycket liten värmelagringskapacitet.

Absorbatorplåten väger ca  $2,3\text{kg/m}^2$  och innehåller ca  $0,29\text{ l vatten/m}^2$ . Vid en temperaturskillnad mellan solfångare och omgivning på ca  $40^\circ\text{C}$  vatten  $\times 2500\text{ m}^2 = \text{ca } 34\text{ kWh}$  plus värmeinnehållet i solfångarkomponenterna som beräknats till  $0,024\text{kWh/m}^2$  vid  $40^\circ\text{C}$ :  $2500 \times 0,024 = 60\text{kWh}$ . Totalt för hela området  $94\text{kWh}$ . Värmeöverlusten vid pumpstopp blir vattnets energiinnehåll,  $34\text{kWh}$ . Om solfångaren och dess innehållande vatten hinner kallna till omgivningens temperatur måste före nästa pumpstart solen ha levererat  $94\text{kWh}$  till solfångarna.  $94\text{kWh}$  vid  $50\text{-}75\%$  verkningsgrad,  $600\text{ W}$  medelinstrålning uppnås efter  $6\text{-}8\text{ min}$ .

De dagar då frysrisk föreligger kan solpumparna inte stoppas utan att systemet omedelbart dräneras.

Hela februari och större delen av mars kommer systemet att dräneras efter varje pumpstopp. De förluster man får en sådan dag beror på uppstartningsfasens längd och oregelbundenheten i solinstrålningen. Mätningar har utförts under dagar med växlande molnighet. Ett medelvärde för dessa dagar är 3 pumpstarter/dag vid  $T 30^\circ$ , och 4 pumpstarter  $T 45^\circ$ . Av tidsskäl har flera temperaturer inte kunnat undersökas. Mätningen är osäker eftersom solinstrålningen är intermitterent och slumpartad. Denna uppskattning innebär att man i februari kan komma att förlora upp till  $30\text{min/dag}$  av soltiden och i mars något mera. I kWh innebär en sådan förlust i februari  $14\text{ }700\text{kWh}$  och i mars  $16\text{ }650\text{ kWh}$ . Stort intresse kommer att riktas på dessa problem vid uppföljningen av projektet. Statistiskt finns inte någon möjlighet att beräkna "solsstundernas" längd men SMHI uppger att när man vid en utvärdering av solinstrålningen under ett år plockat bort alla "solstunder" som varit kortare än  $0,2$  timmar har man fått en återstod av ca  $90\%$  av soltimmarna.

De förluster man får vid inmatningstekniken i magasinet är svåra att uppskatta. Skiktbildningen har studerats i en datormodell och tidigare presenterats som en rapport. Temperaturskillnaden mellan topp och botten vid laddningsperioder är av stor betydelse för solfångarnas verkningsgrad.

Magasinet behandlas i avsnitt II.

S 3. Reglering av solfångarsystemet, normalår.

Månadsvis kommer solsystemet att regleras enligt följande:

S 3:1 Nov-jan. Solsystemet avstängt.

S 3:2 Feb. hela systemet uppstartas, temperaturen i magasinbotten ca 22-25°C.

När ett visst förhållande råder mellan instrålning och magasin-yttertemperatur, startas solpumparna. Styrdiagrammet för pumpstart bygger på momentanverkningsgradsdiagrammet. Pumpstopp styrs på två olika sätt.

Under avluftning och stabiliseringstiden (12-16min) stoppas pumparna när instrålningen minskar till ett värde under pumpstartvärdet två på varandra följande minuter. Det andra sättet är att när stabila förhållanden råder, efter 12-16 min, anropas en annan subrutin, som stoppar pumparna när solfångarnas uttemperatur är något lägre än intemperaturen. Då temperaturerna balanserar kan en tidsgräns eller en temperaturgräns sättas som fördröjning av pumpning.

Laddning sker vid max. flöde för att erhålla största möjliga energi och bästa verkningsgrad på solfångarna.

S 3:3 Mars. De dagar utomhustemperaturen är under eller omkring 0°C sker laddning på liknande sätt som i februari. De dagar temperaturen är över noll sker första pumpstart efter instrålningsdiagrammet med fyllning, avluftning och stabilisering av systemet. Pumpstopp sker på samma sätt som i februari.

När pumpen stannat och frysrisk inte föreligger dräneras ej systemet, vattnet finns kvar i solfångarna så länge som det finns teoretisk möjlighet, oavsett molnigheten men med hänsyn till omgivningstemperatur, solhöjd och asimut, att efter instrålningsdiagrammet erhålla tillräcklig effekt för pumpstart.

Vid den tidpunkten på dagen då laddning ej kan ske oavsett molnighet osv, dräneras solfångarna.

S 3:4 April, maj, juni och juli. Samma reglerfilosofi som för mars kommer att tillämpas.

- S 3:5 Augusti, september och oktober. I dessa månader kommer i första hand energiladdning att ske, men beroende på uppladdningsbehov av magasinet kan man välja att ladda magasinet med en efterfrågad topptemperatur.
- S 4 Uppfyllning, dränering.  
Eftersom intemperaturen i solfångarna under augusti, september och oktober är hög kommer olika metoder för uppfyllning och dränering att studeras. Syftet är att optimera uppfyllningsmetod, studera och jämföra energiförlusterna vid olika väderleksförhållanden och att kartlägga betydelsen av solstrålningens variation och intermittens.
- S 5 Första året kommer regleringen av solfångarna att inriktas på energiuppladdning av magasinet. Efter tidplanen startas första solfångaren i mars-april.  
De första mätningarna kan utföras och reglerfilosofin fastställas för systemet under byggnadstiden. När samtliga solfångare är inmonterade i juli-augusti, övergår man till den ursprungliga laddningsplanen för år 1.  
På grund av tvångsladdning av magasinet under år 1 kommer den beräknade laddningsplanen av magasinet ej att stämma, och skikten i magasinet får ett annat utseende än beräknat.  
Mot slutet av år 1 och fram till februari år 2 kommer man att inrikta sig på att med värmepumpkörning balansera temperaturerna i magasinet så att förutsättning för normalår skall uppstå.
- S 6 Intermittenta förluster.  
Vid studier och simulering av hela systemet som utförts har det konstaterats att förluster på upp till 10%, utöver den beräknade insamlade energin, kan uppstå.
- S 7 Resultat-beräkningsunderlag.  
Stort intresse kommer att ägnas åt uppföljning av beräkningsunderlag, teknisk analys och driftsoptimering.

## S 8 Optimering.

Under år 1 och 2 kommer inriktningen att vara att samla in energi. Först när betryggande energiöverskott erhållits kan projektets inriktning bli att optimera och samköra samtliga system för att erhålla lägsta möjliga driftskostnad. Denna del i projektet kommer att ta mycket lång tid dels beroende på att värmemagasinet förluster minskar allteftersom marken runt om magasinet uppvärms, dels beroende på att värmeförlusterna i husen minskar allteftersom uttorkning av byggfukt fortskrider. Fortfarighets-tillstånd kommer förmodligen ej att inträffa förrän efter omkring 10 år.



LAMBOHOV SOLVÄRMEANLÄGGNING

BILAGA 11

NÅGRA FOTOGRAFIER



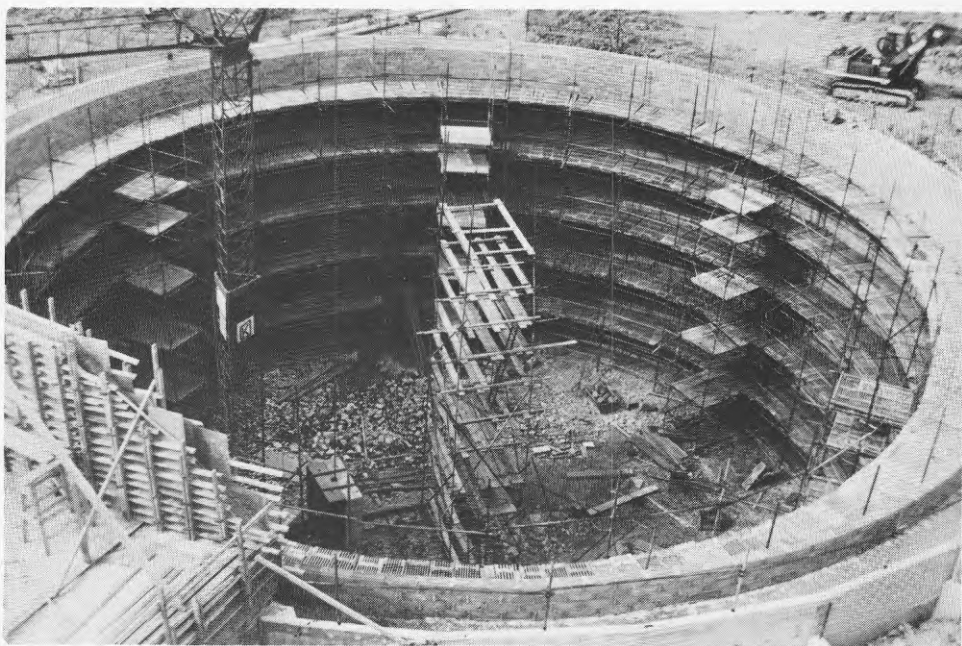
Figur 1 Flygfoto av lagret. Datum 1979-09-22.  
De utanför lagret placerade givarna är markerade som mörka punkter på fotot (riktning kl 07 00 och kl 04 00).



Figur 2 Området, lagret, före sprängning och schaktning.  
Observera granen till vänster som fortfarande står där.



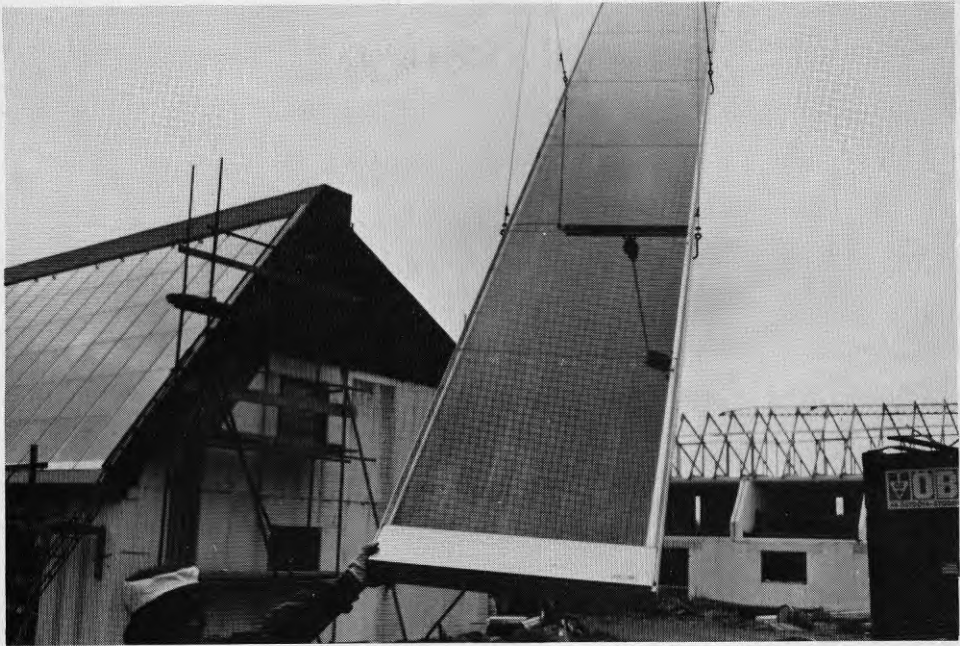
Figur 3 Sprickor i berg tätades med lin, träkilar och betong.



Figur 4 Murning av lecablock. Ställningen i mitten uppbär måttreferenspunkt.



Figur 5 Efterinjektering.

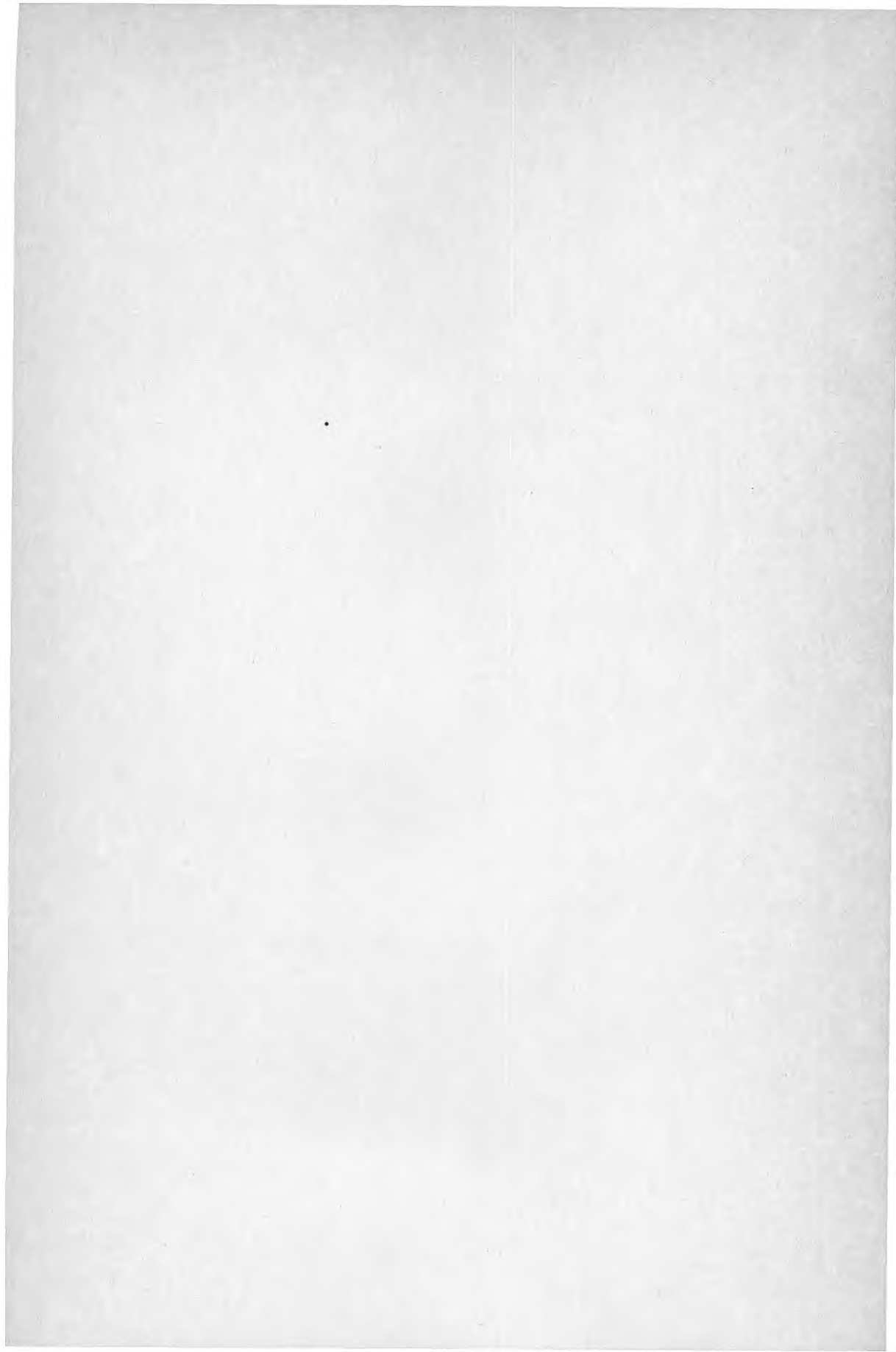


Figur 6 Solfångare monteras med traktorkran.



Figur 7 Kondens på solfångare innanför glas. Största kondensmängd i de övre delarna. Fotot är taget kl 02.00.









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
790746-8 från Statens råd för byggnadsforskning  
till VIAK AB, Falun.**

**R92: 1984**

**ISBN 91-540-4182-1**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704092**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

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

**Cirka pris: 55 kr exkl moms**