

Termokemisk energilagring

Fullskaleförsök i en villa i Jakobsberg

Kjell Bakken
Ernst-Åke Brunberg
Valdis Girdo
Ray Olsson

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Acnr	
Plac	<i>See</i>

*K
9/12*

BYGGDOK

Institutet för byggdokumentation
Hälsingegatan 49
113 31 Stockholm, Sweden
Tel 08-34 01 70
Telex 125 63. Telefax 08-32 48 59

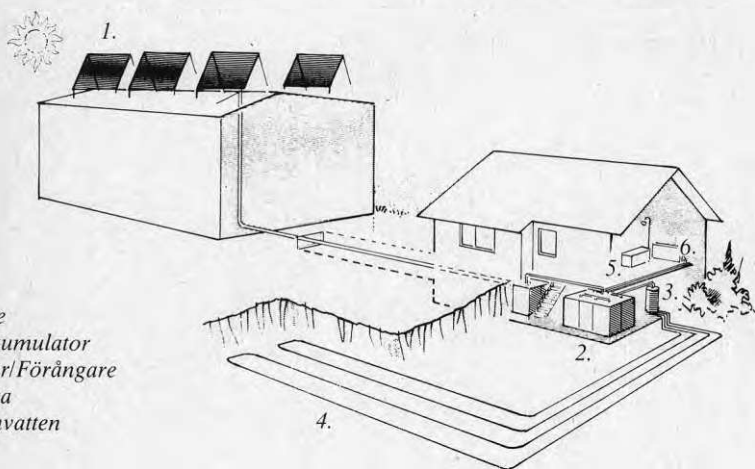
Byggtforskningsrådet

R49:1982

TERMOKEMISK ENERGILAGRING

Fullskaleförsök i en villa
i Jakobsberg

Kjell Bakken
Ernst-Ake Brunberg
Valdis Girdo
Ray Olsson



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771436-0 från Statens råd för byggnadsforskning samt forskningsanslag 80-4497 från Styrelsen för teknisk utveckling till Tepidus AB, Stockholm.

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

R49:1982

ISBN 91-540-3685-2
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

LiberTryck Stockholm 1982

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	7
1. INLEDNING	11
1.1 Målsättningen med experimentanläggningen ...	11
1.2 Belägenhet och omgivning	12
1.3 Klimatet	13
1.4 Referensgrupp	16
2. TERMOKEMISK ENERGILAGRING/VÄRMEPUMP	17
2.1 Inledning	17
2.2 Termodynamiska samband hos ackumulator med natriumsulfid som absorberator och vatten som flyktig substans	19
2.3 En ackumulators effekt och dess beroende av olika parametrar	24
3. FÖRSÖKSANLÄGGNINGENS UPPBYGGNAD	39
3.1 Inledning	39
3.2 Villan och värmedistributionssystemet	39
3.3 Solfångarna	43
3.4 Energilagret	45
3.5 Kondensator/förångare	47
3.6 Markslingor	48
3.7 Mätgivare	49
3.8 Styrenhet	49
4. SYSTEMETS ARBETSSÄTT	51
4.1 Driftfall	51
4.2 Styrstrategi	69
5. UTVÄRDERING OCH DRIFT AV LAGRINGSSYSTEMET... ..	71
5.1 Inledning	71
5.2 Testparametrar	71

6.	MÄTPROGRAM FÖR UTVÄRDERING AV SYSTEMET INTEGRERAT I HUSET	75
6.1	Inledning	75
6.2	Teoretiska beräkningar av prestanda hos solvärmesystemet	75
6.3	Experimentella undersökningar	78
6.4	Utvärdering av lagrade mätvärden	81
6.5	Mätsystemet	82
7.	DRIFTRESULTAT	85
7.1	Experiment och driftresultat 1980-81	85
7.2	Kurvor och diagram	91
8.	UNDERSÖKNING AV NATRIUMSULFIDS VÄDLIGHET VID DESS ANVÄNDNING I TEPIDUS-SYSTEMET ...	109
8.1	Inledning	109
8.2	Kontakter med svenska myndigheter och vissa brandförsök	109
8.3	Brandprov	112
8.4	Svavelväteproblemet	116
9.	EKONOMI	119
10.	LITTERATUR	120

ANVÄNDA BETECKNINGAR

- t_{in} : temperatur hos vattenflöde in i ackumulatorns värmeväxlare
 t_{ut} : temperatur hos vattenflöde ut ur ackumulatorns värmeväxlare
 t_{oin} : temp. hos vattenflöde in i kondensator/evaporator
 t_{out} : temp. hos vattenflöde ut ur kondensator/evaporator
 t_{ofik} : kondensatorns/evaporatorns fiktiva temperatur, är den temperatur, som svarar mot ångans tryck vid inflöde till eller utflöde från kondensatorn/evaporatorn. t_{ofik} har bestämts genom tryckmätning i kondensatorns/evaporatorns topp där in- och utflöde sker. När ångflödet är noll är $t_{ofik} = t_{oin} = t_{out}$, förutsatt att kondensatorn/evaporatorn är helt, termiskt isolerad från omgivningen
 P : medeleffekt upptagen eller avgiven av saltet och beräknad ur förångad eller kondenserad vattenmängd per tidsenhet
 P_s : systemets spec. effekt definieras som $P/m \cdot \Delta t$, $W/kg \cdot ^\circ C$ där effekten P är definierad ovan, m i kg är den mängd Na_2S (torr natriumsulfid) som ackumulatören fyllts med och Δt är temperaturskillnaden mellan temperatur hos ackumulatören när ackumulatörens effekt är 0 och temperatur vid effekten P
 P_{sa} : ackumulatörens specifika effekt definieras som $P/m \cdot \Delta t$, $W/kg \cdot ^\circ C$, där effekten P är definierad såsom ovan, m i kg är den mängd Na_2S (torr natriumsulfid) som ackumulatören fyllts med och Δt är skillnaden i temperatur mellan $t_{ofik} + 56^\circ C$ och temperaturen t_{in} vid laddning respektive t_{ut} vid urladdning vid effekten P
 Δt_m : temperaturskillnad mellan förångare/kondensator och absorberator vid samma tryck hos de båda ("termomotorisk" kraft)
VVB : elektrisk varmvattenberedare
 p : tryck $|N/m^2|$
 τ : tid $|s|$
 T : $^\circ K$
 ρ : spec. vikt, täthet $|kg/m^3|$
 c_p : spec. värme $|Ws/kg \cdot ^\circ C|$ eller $|Ws/gmol \cdot ^\circ C|$
 w : värmeflöde i saltmassa $|W/m^2|$

SAMMANFATTNING

En viktig länk i energikedjan är lagringen. Fossila bränslen utgör exempel på av naturen kemiskt lagrad energi, som frigöres vid förbränning. För att utnyttja de så kallade förnyelsebara energikällorna såsom sol och vind, krävs att lagringsproblemet är löst. För att utnyttja solenergin måste i extremfallet överskottet av värme under sommarhalvåret kunna förvaras till vinterhalvåret då värmebehovet är som störst. I Skandinavien krävs således en lagringsperiod på 5-8 månader, men i sydligare länder kan perioden vara betydligt kortare.

Förutom säsonglagringsbehov finns det i många länder ett stort behov av korttidslagring (dygn eller timmar). Där kärnkraften svarar för stor andel av energin, uppstår regleringsproblem med överskott av energi under vissa tider på dygnet och kraftiga spetsbelastningar under andra tider.

Lagring av spillvärme från industrier, och transporter till förbrukare för uppvärmningsändamål är ett annat viktigt tillämpningsområde, förutsatt att energitätheten i lagringssubstansen är tillräckligt hög.

Destillationslagring (termokemisk lagring) i tvåkammer-system är ett av de mest effektiva, kända sätten att lagra energi. Värmeenergi omvandlas till kemisk energi och kemisk energi kan förvaras obegränsat länge. Vid behov kan den kemiska energin återomvandlas till värmeenergi.

Förutom genom termokemiska metoder kan värme lagras sensibelt (exempelvis i vatten eller sten) eller latent (smältning). I denna rapport behandlas endast termokemisk lagring.

Projektets huvudsyfte är att genomföra fullskaleexperiment med TEPIDUSSYSTEMET, där bl a solfångare kan användas som primär energikälla.

TEPIDUSSYSTEMET initierades vid Institutionen för elektrofysik, KTH i Stockholm. Förutom laboratorieförsök byggdes 1977/78 en mindre anläggning med en lagrings- och produktionskapacitet på 500 kWh. Som absorbatör i systemet används Na_2S (500 kg) och som arbetsmedium H_2O .

Resultaten från laboratorieförsöken och den mindre anläggningen bedömdes så intressanta att det beslöts att fortsätta projektet i större skala.

TEPIDUS AB bildades 1978 för att vidareutveckla systemet och när det är färdigutvecklat, marknadsföra det.

För att studera möjligheten att tekniskt klara säsonglagring och utnyttja solfångare som laddningskälla valdes en 50-talsvilla i Jakobsberg för pilotinstallationen. BFR och STU har givit ekonomiskt stöd. Villans årsför-

brukning bedöms vara c:a 20 000 kWh. Solfångarytan är 40 m². Systemets lagrings- och produktionskapacitet är c:a 7 000 kWh. Anläggningen har av försökstekniska orsaker dimensionerats för att täcka c:a 70% av årsbehovet av värme och tappvarmvatten i huset.

Systemet har varit i drift sedan 1980. Under perioden nov 1979 - mars 1980 laddades ackumulatorerna fullständigt. En första urladdning gjordes i perioden mars-juli 80, och uppladdningsperiod II under september-november samma år. En andra urladdning påbörjades i december 1980.

Vid laddningen har dels solfångarna använts, dels en elvärmepanna. Effekten var under första laddningen 4-8 kW, med t_{in} c:a 90°C. Vid andra uppladdningen blev effekten något högre med samma laddningstemperatur.

Temperaturen hos lagret översteg vid första urladdningen 50°C ända tills ackumulatören var urladdad till 60%. Andra urladdningen gav lägre temperatur vid motsvarande effektuttag. Detta överensstämde inte med tidigare försök gjorda med individuella ackumulatorer, och i småskaliga försök.

Laddning II genomfördes med något för hög temperatur, vilket resulterade i för hård sintring av saltet. Härigenom minskade ångtransporten genom saltmassan vid givet tryckfall och effekten minskade. Efter ingrepp i en av modulerna förbättrades effekten, och det beslöts att åtgärda samtliga ackumulatorer. De övriga 7 ackumulatorerna har åtgärdats under hösten 1981, och anläggningen beräknas tas i full drift igen under november/december.

De uppmätta energimängderna i systemet överensstämmer med de teoretiskt beräknade.

De första solfångarna som installerades var felaktiga. Efter utbyte av dessa har de fungerat bra, men med lägre verkningsgrad än beräknat. Lagringssystemet är så stort att om solinstrålningen är dålig under flera dagar i följd, måste delar av lagret skiljas av för att snabbt få upp temperaturen så att laddning av olika delar av systemet kan ske separat.

Markslingorna har inte förorsakat några problem. De fungerar enligt teoretiska beräkningar.

Med undantag av att totala systemeffekten har visat sig vara lägre än vad som förväntats med hänsyn till vad individuella ackumulatorer har gett, har anläggningen fungerat enligt planerna. Avvikelsen beror troligtvis på den alltför höga temperaturen under laddning, såsom beskrivits ovan. Detaljer behandlas under kapitel 7.

I samarbete med Televerket har en anläggning med lagringskapaciteten 30 000 kWh byggts och installerats i en arbetscentral i Jakobsberg. Beräknade systemeffekten är 60 kW, och laddning görs med en dieselvärmepump.

Husets totala värmeeffekt den kallaste vinterdagen är beräknad till 100 kW, varför dieselvärmepumpen och en befintlig värmepanna skall ge tillsatsvärme.

Anläggningen sattes igång under våren 1981 och är nu i provdrift. Då denna anläggning har byggts med erfarenhet från villaanläggningen, har flera delenheter förbättrats. Delar (3 st av 15 st ackumulatorer) har testats och givit resultat motsvarande beräkningarna.

Konstruktionen av anläggningarna bygger delvis på känd teknik, men många nya konstruktioner har prövats. De idéer som tidigare har prövats i laboratorieskala har i dessa anläggningar fått anpassas till industriella förhållanden och stor skala. Detta har gett ovärderlig erfarenhet.

Den kemiska lagringstekniken har visat sig ha många positiva egenskaper. Det är den enda nu kända teknik som gör säsonglagring möjlig för enstaka hus.

Även om det fortfarande återstår tekniska problem att lösa - framför allt för att sänka kostnaden och studera olika komponenters driftsäkerhet - har dessa anläggningar visat att de representerar en teknik som har goda utsikter att lösa lagringsfrågan.

Den substans som används, natriumsulfid, är klassifierad som vådlig. Den är enligt litteraturen bl a brandfarlig, och kan med nuvarande bestämmelser transporteras med bil och järnväg endast som den kommersiellt framställs med 3 mol H_2O /mol Na_2S . För spillvämetransport är det nödvändigt att torka saltet helt. I samarbete med berörda myndigheter har brandförsök gjorts, och dessa försök visar att brandrisken är liten. Tillståndsfrågan diskuteras med myndigheterna och olika riskförsök med substansen fortsätter.

Säsonglagring med värme från solfångare är med nuvarande priser på el. och fossila bränslen icke ekonomiskt konkurrenskraftig. Lageromsättningen sker endast en gång per år och utnyttjandegraden blir således låg. Med nuvarande priser på solfångare och stor serieproduktion av TEPIDUSSYSTEMET kommer kostnaden per kWh att bli över 50 öre per kWh. Men om priserna på de fossila bränslena ökar väsentligt är det viktigt att lagringstekniken, såväl som solfångartekniken, blir mera utvecklad. Jämfört med annan lagringsteknik synes kemisk energilagring i de flesta fall överlägsen.

Preliminära kalkyler över systemets användning för transport av spillvärme indikerar att tekniken kan vara konkurrenskraftig redan idag.

Bästa ekonomin erhålles om systemet användes för korttidslagring med nattel. Detta kan visa sig bli den första kommersiella tillämpningen. Nattel. ("off peak electricity") förekommer i många länder i Europa och USA. Elkostnaden är ofta dubbelt så hög under dagen som under

natten, och lagret omsätts mer än 300 ggr per år.

En optimal användning av systemet uppnås t ex om tappvarmvatten (eller lokal värme) tas ut samtidigt som en lokal kyles.

Den fortsatta utvecklingen av TEPIDUSSYSTEMET till en kommersiell produkt bör följa tidigare uppgjorda riktlinjer med utvärdering under 1982 och 1983 av de unika anläggningar som villan och Televerkets arbetscentral utgör. Anläggningarna är flexibla och väl lämpade för experiment. Komponenter och nykonstruktioner för att föra utvecklingen vidare kan utprovas i dessa anläggningar.

TEPIDUSSYSTEMETS användning för spillvärmetransport och korttidslagring kräver att effekten höjes väsentligt. Arbetet med detta pågår i samarbete med KTH.

Denna delredogörelse ger en beskrivning av anläggningens uppbyggnad och en försöksperiod på c:a 1,5 år. Omfattande mätningar på TEPIDUSSYSTEMET har gjorts, men det kontinuerliga mätprogrammet som skall genomföras i samarbete med Institutionen för byggnadsteknik, KTH, har ännu inte påbörjats. En redovisning av anläggningens experimentellt bestämda prestanda kan troligen först lämnas i slutrapporten 1983.

1 INLEDNING

1.1 Målsättningen med experimentanläggningen

Sedan 1978 har utvecklingen av TEPIDUSSYSTEMET pågått. Provet har gjorts i laboratoriet i kg-skala och i en anläggning vid forskningsstationen med en energiproduktionskapacitet på 500 kWh (motsvarar 500 kg torr Na_2S). Under 1980 startades en fullskaleanläggning med en produktionskapacitet på 7000 kWh, och 1981 ytterligare en med kapaciteten 30 000 kWh (motsvarar 30 000 kg torr Na_2S).

I laboratoriet kan teorierna provas i mindre skala och lagringssystemens princip verifieras. Den praktiska erfarenheten som tekniska och ekonomiska faktorer för en industriell exploatering av tekniken kräver kan endast inhämtas genom fullskaleprojekt. Projektets mål är att utprova den kemiska lagringstekniken i en stor anläggning och finna praktiska lösningar samt även studera lagringssystemets möjligheter och begränsningar. Tyngdpunkten i projektet ligger i konstruktion och systemutformning samt uppbyggnad, men också inplacering och anpassning till det övriga VVS-systemet. Framtida bruk av bl a spillvärme beaktas.

En förutsättning för att få lagringstekniken ekonomiskt intressant är att konstruktionerna blir enkla och så långt som möjligt utnyttjar känd teknik och tillgängliga komponenter. Dessutom måste rätta tillämpningar väljas och utprovas.

TEPIDUSSYSTEMET med sitt temperatursteg om 55°C är lätt anpassningsbart till befintliga VVS-system.

Projektet syftar sammanfattningsvis till:

- a) att konstruera och installera TEPIDUSSYSTEMET med utgångspunkt från de teoretiska och praktiska resultat som tidigare har erhållits
- b) att i görligaste mål använda befintliga komponenter, men även där så är nödvändigt göra nya konstruktioner som senare har förutsättning att i serieproduktion bli tekniskt och ekonomiskt godtagbara
- c) att skaffa erfarenhet av den praktiska uppbyggnaden av sådana system. De installations- och anpassningstekniska problemen skall speciellt beaktas
- d) att utprova systemet med solfångare som energikälla
- e) att utvärdera anläggningen med avseende på dess olika egenskaper. Mäta energibalanser, begränsningar för effektinmatning och effektuttag och var begränsningarna finns

- f) att skaffa erfarenhet av såväl bygge som driften av anläggningen under en flerårig utvärderingsperiod
- g) att ge underlag för en säkrare bedömning av den framtida ekonomien

För att uppnå denna målsättning söktes 1978 ett lämpligt hus att installera systemet i. Järfälla kommun upplät 1979 en vaktmästarbostad i ett industriområde för försöket.



Fig. 1.1 TEPIDUS experimentvilla. Solfångarna är placerade på taket till bakomliggande industrihus

1.2 Belägenhet och omgivning

Försökshuset är beläget i Jakobsberg (Kvartalsvägen 1-3, vid Viksjöleden inte långt från Jakobsbergs station) c:a 25 km NV Stockholms city. I Stockholms city finns Stockholms Observatorium (latitud $59^{\circ} 21' N$, longitud $18^{\circ} 04' O$, 44 m ö h) från vilket klimatobservationer har gjorts för Stockholm under lång tid.

Landskapet kring försökshuset är tämligen flackt med inslag av enstaka bergknallar på avstånd. En stor del av omgivningen är bebyggd. Bebyggelsen är inom närmaste omgivningen låg. Inga stora träd finns i närheten. Några km från försökshuset finns sjön Mälaren.

Försökshusets solfångare är placerade på en angränsande industribyggnads tak c:a 40 m ö h ty försökshuset hamnar ofta i skuggan av industribyggnaden. Solfångarna är orienterade i riktning mot söder och lutade 50° mot horisontalplanet. Ingen skuggning av solfångarna förekommer från yttre hinder. Ingen nämnvärd horisontavskärmning råder sett från solfångarna. Bakre solfångarrader kan, beroende på solståndet, skuggas till varierande omfattning av främre rader.

Omgivande markens reflexionsfaktor är sannolikt normal. Man brukar anta värdet 0.2.

1.3 Klimatet

Det finns inga speciella klimatstudier för Jakobsberg lokalt. Man är istället hänvisad till observationer för Stockholm, vilket i detta fall torde vara fullt acceptabelt.

Instrålningen mot en horisontell markyta är c:a 1000 kWh/m² . år och varierar mellan olika år c:a ± 15% (SMHI:s årsbok, suppl. till 1957-71; inform. från SMHI). Instrålningens variation under året framgår i stora drag av fig. 1.2 (SMHI:s årsbok 1971; Girido, 1978).

Molnighetens variation under året kan enkelt beskrivas med antalet klara, halvklara och mulna dagar, se fig. 1.3 (Taesler, 1972). Den största andelen mulna dagar inträffar under tiden nov.-jan. då samtidigt instrålningen från en klar himmel är som lägst på grund av det låga solståndet. Redan en låg horisontavskärmning (10°) medför att den direkta solstrålningen avskärmas helt under nov.-jan.

Lufttemperaturen ute har stor inverkan på husets energibehov och en inverkan av något mindre betydelse på solfångarens prestanda. För solfångare är endast lufttemperaturen under dagtid av intresse. Variationen under året hos dygnsmedeltemperaturen och temperaturen under dagtid kl 08-18 framgår av fig. 1.4 (Taesler, 1972). Det temperaturberoende uppvärmningsbehovets variationer mellan olika år (uttryckt t ex i gradtimmar) är c:a ± 10%.

Vindhastighet och riktning är mycket varierande i tiden och till viss del påverkad av lokala förhållanden. Vardaktigheterna av olika vindhastigheter är tämligen lika under årets månader. Vindriktningar mellan syd och väst är vanligare än andra riktningar. Den genomsnittliga vindhastigheten under året är c:a 5 m/s (Taesler, 1972).

Årsnederbörden är c:a 550 mm (Taesler, 1972). Sommaren är vanligen den nederbördsrikaste årstiden. Nederbörden är då ofta intensiv men med kort varaktighet. Snötäcke på marken påverkar strålningsförhållandena och ligger

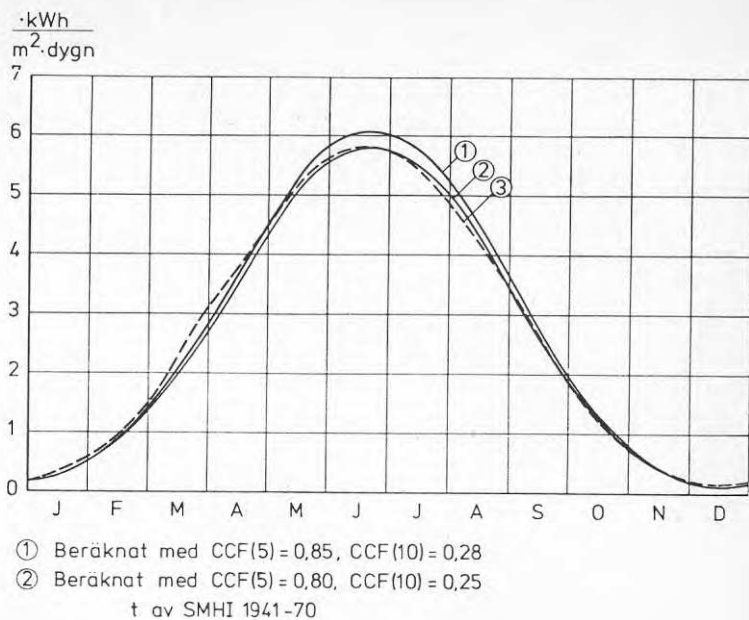


Fig. 1.2 Medelinstrålning mot horisontell yta i Stockholm under naturliga molnighetsförhållanden. Beräknade och uppmätta värden.
(Girde, 1978)

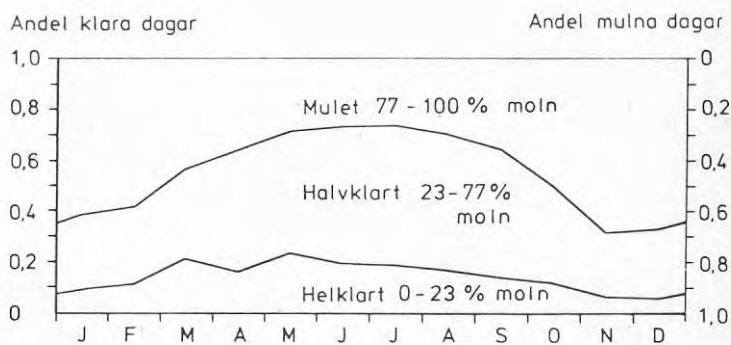


Fig. 1.3 Andelen helklara, halvklara och mulna dagar i Stockholm enligt statistik av SMHI, från 1931-60.

(Girde, 1978)

normalt mellan dec. och mars. Stora variationer kan förekomma mellan olika år beroende på lufttemperatur och nederbörd. Erfarenhetsmässigt ligger snö sällan kvar under någon längre tid på takytor med en lutning av minst 55° mot horisontalplanet. Detta kan ha sitt intresse vid val av lämplig solfångarlutning.

Luftfuktigheten antar under sommaren tämligen höga absoluta värden, storleksordningen 10-15 g/m³, relativ fuktighet storleksordningen 60-70%. Under vintern är den absoluta luftfuktigheten låg till följd av låg lufttemperatur men den relativa fuktigheten är hög, storleksordningen 90% (SMHI:s årsbok 1971).

Under sommarhalvåret då absoluta luftfuktigheten är hög kan samtidigt nattetemperaturen ofta vara väsentligt lägre än dagstemperaturen, vilket i kombination med långvågig utstrålning mot atmosfären medför kraftig kondens på kalla ytor t ex på och inuti solfångare.

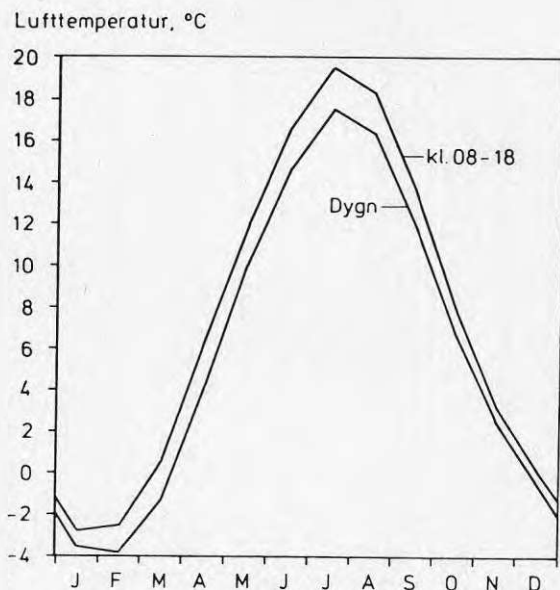


Fig. 1.4 Medeltemperaturen ute under dagen kl 08-18 och under dygnet för Stockholm 1931-60

Jordtemperaturen på c:a 1 m djup är av intresse i samband med markslingor. Lokala förhållanden avseende jordarter, grundvatten, solinstrålning, lufttemperatur m m kan kraftigt påverka jordtemperaturen. I Stockholms län redovisas jordtemperaturer av SMHI för Nyckelby på Ekerö i lerjord. Temperaturen varierar under året mellan c:a 1,5°C under mars och 13,5°C under augusti. Årsmedelvärdet ligger på c:a 7°C. (SMHI:s årsbok 1971).

I TEPIDUSPROJEKTET har i experimentsyfte en av mark-slingorna förlagts på djupet 0,3 m. Av intresse kan i detta fall vara jordtemperaturen på 0,2 m djup i Nyckelby som varierar mellan c:a $-0,5^{\circ}\text{C}$ under mars och c:a 16°C under augusti.

1.4 Referensgrupp

En referensgrupp som sammanträder 1 ä 2 gånger/år har utsetts av BFR/STU. Den består av:

Professor Ingemar Höglund, KTH
Civ ing Bernt Bäckström, CTH
Tekn dr Johan Claesson, Lunds Universitet
Docent Valdis Girdo, KTH
Civ ing Kjell Norbeck (Björn Svedinger) VIAK
Direktör Kjell Bakken, TEPIDUS AB

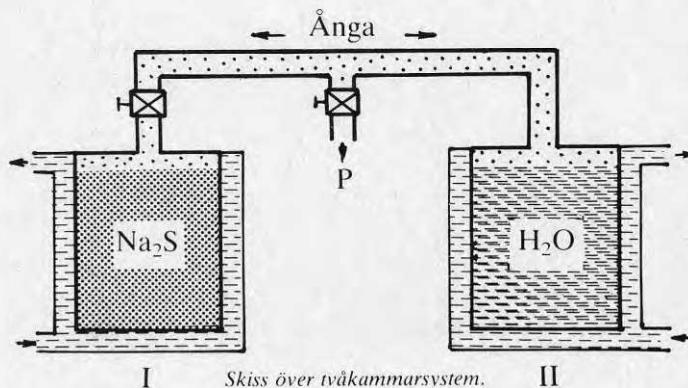
2 TERMOKEMISK LAGRING/VÄRMEPUMP

2.1 Inledning

System TEPIDUS är en diskontinuerligt arbetande absorptionspump med lagring och fungerar på följande sätt:

- Två kammare, I (energiackumulator) och II (kondensator/förångare) är vakuumsätt förbundna med varandra.

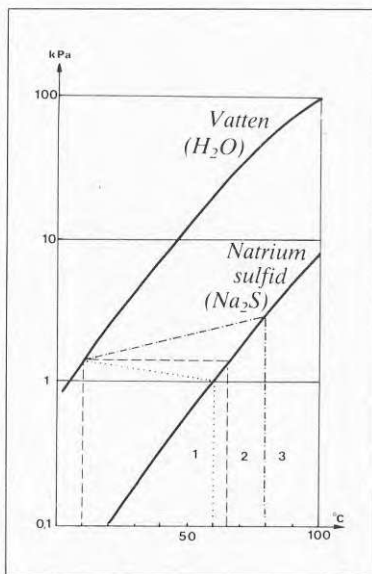
- Kammare I innehåller en ångupptagande (hygroskopisk) substans, Na_2S , kammare II en ångavgivande substans, vatten. Alla gaser utom vattenånga har avlägsnats med en intermittert arbetande vakuumpump P.



- Vattnet absorberas snabbt av saltet eftersom detta är starkt hygroskopiskt. På grund härav kommer den vattenånga, som avdunstar från vattnet i kammare II att absorberas av saltet i kammare I. Det absorberade vattnet upptages som kristallvatten i saltet. Vid processen åtgår i kammare II värmeenergi för att förångare vattnet (ångbildningsvärme). Denna värmeenergi frigörs i kammare I när vattenångan absorberas av saltet (kondensationsvärme), samtidigt som viss kemisk bindningsenergi frigörs när vattenmolekylerna infångas i saltets kristallstruktur. Kammare II avkyls alltså, kammare I uppvärms.

- Om kammare II hålls vid konstant temperatur, t ex $+10^{\circ}\text{C}$ genom att värmeenergi tillförs II från en lågradig värmekälla, t ex genom en slinga i marken, kan man ta ut värme från kammare I vid 65°C eller lägre beroende på den uttagna värmeeffektens storlek. Mellan saltet i kammare I och vattnet i behållare II ett temperatursteg på ca 55°C . Vid tryckjämvikt mellan kamrarna och inget effektuttag blir temperaturen hos behållare I $10+55=65^{\circ}\text{C}$.

- Det som driver vattenånga från den ena kammaren till den andra är en tryckdifferens dem emellan, vilken existerar så länge temperaturskillnaden mellan kamrarna är större eller mindre än 55°C . Den energi som krävs för att "pumpa" vattenånga kommer från den i saltet lagrade kemiska energin. I nedanstående figur visas vattenångans jämviktstryck över en vattenyta och över saltet. För alla temperaturer är trycket över saltet mindre än över vattenytan.



Jämviktsskurvor för vattenånga över vattenyta och över natriumsulfid. Siffrorna visar exempel på: (1). Ur-laddningsförlopp. (2). Effektivt uttag=0. (3). Laddningsförlopp.

Vi ser av figuren att om temperaturen i behållare II är 10°C , är ångtrycket ca $1,2\text{ kPa}$, således högre än i behållare I så länge dess temperatur är lägre än $+65^{\circ}\text{C}$. Vattenångan strömmar följaktligen över till I tills tryckjämvikt uppnåtts. Om man tar ut värme från I sjunker dess temperatur något och en liten tryckskillnad uppstår mellan II och I, varigenom mera vattenånga - och därmed värmeenergi - förs från II till I. När saltet i kammare I har tagit upp en bestämd mängd vatten är den urladdad.

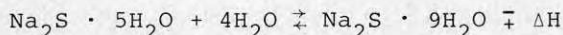
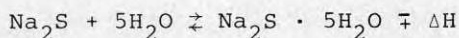
Akkumulatören återuppladdas genom att värme tillförs vid en temperatur som är högre än jämviktstemperaturen, vilken i exemplet är 65°C . En tryckskillnad uppstår då mellan I och II, varigenom vattenånga och därmed $2/3$ delar av den tillförda värmeenergin strömmar över från I till II. Saltet torkas på detta sätt. Samtidigt omvandlas den återstående tredjedelen av den tillförda värmeenergin till kemisk

energi.

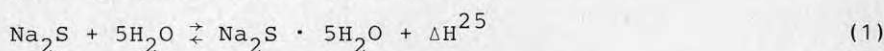
Om förbindelseledningen mellan kamrarna stängs av kan den kemiska energin lagras förlustfritt för obegränsad tid.

2.2 Termodynamiska samband hos ackumulator med natrium-sulfid som absorbatör och vatten som flyktig substans

I det följande behandlas systemet $\text{Na}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ såsom ett exempel. Två fasövergångar finns, nämligen:



Av flera skäl är främst endast den första fasövergången användbar i en kemisk värmepump. Med Handbook of Chemistry and Physics erhålles (vid $+25^\circ\text{C}$):



78	90	168		mol vikt
1	1,15	2,15		kg
-89,2	-289,0	-452,7		kcal/mol (ånga)
	(ånga)			"
	-341,6			(vätska)
	(vätska)			"
				kJ/mol
				"
				= ΔH_K^{25}
				kWh/kg Na_2S
				"
				kWh/kg H_2O
				"

När reaktionen enl ekv 1 äger rum vid annan temperatur t än 25°C gäller för ΔH^t :

$$\Delta H^t = \Delta H^{25} - \Delta c_p \cdot (t-25) \quad (2)$$

$$\text{där } \Delta c_p = c_p(\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}) - c_p(\text{Na}_2\text{S}) - c_{p_{\text{ånga}}} (5 \cdot \text{H}_2\text{O})$$

Spec. värmets för de olika substanserna kan anses vara konstant inom det aktuella temperaturintervallet. Följande värden har använts:

$c_p(\text{Na}_2\text{S})$	= 79,45 [J/mol · °C]	Ur tabellverk
$c_p(\text{H}_2\text{O-ånga})$	= 33,3	- " -
$c_p(\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O})$	= 450	Prel experimentell bestämning

Följaktligen erhålles $\Delta c_p = 204$ [Ws/mol · °C] och vi får

$$\Delta H^t = 312,2 - 204(t-25) \cdot 10^{-3} \text{ [kJ/mol Na}_2\text{S}] \quad (3)$$

ΔH^t kan även beräknas ur tryck/temperatur-sambandet i fasövergången varvid enl Clasius-Clapeyron gäller:

$$\Delta H^t = \frac{RT^2}{p} \cdot \frac{dp}{dt} \cdot n \quad [\text{kJ/mol Na}_2\text{S}] \quad (4)$$

där p = jämviktstryck

R = 8,32 J/mol \cdot °C

n = antal mol H_2O i fasövergången

Följande empiriska uttryck gäller för jämviktstrycket p över en natriumsulfidmassa, som laddats och urladdats några gånger:

$$p = 133,3 \text{ e}^{21,86-6125/(246+t)} \quad \text{N/m}^2 = P1 \quad (5)$$

2.2.1 Avgiven energi vid urladdning av ackumulator

Vid ackumulatorns urladdning strömmar ånga från den kalla förångaren, som hämtar sin värmeenergi från en värmekälla med temperaturen t_0 , till ackumulatorn. Vid jämvikt under ett visst effektuttag har ackumulatormassan temperaturen:

$$t = t_0 + \Delta t_m - \Delta t \quad (6)$$

där Δt är avvikelsern i temperatur hos saltmassan från temperaturen vid jämvikt utan effektuttag och Δt_m systemets temperatursteg.

Δt beror av temperatur- och tryckfall i hela systemet och studeras närmare i kap 3.

Den "kalla" ångan av temperatur t (vi försummar fn temperaturfall i förångaren) uppvärms av ackumulatormassan till temperaturen t_0 . Denna värmeenergi tages från i saltmassan frigjord värmeenergi och är:

$$33,3 \cdot 5 \cdot (\Delta t_m - \Delta t) \cdot 10^{-3} = 0,1665 \cdot (\Delta t_m - \Delta t) \quad [\text{kJ/mol Na}_2\text{S}] \quad (7)$$

Uttagen värmeenergi från ackumulatorn under en komplett urladdning är följaktligen:

$$W^t = \Delta H^t - 0,166 \cdot (\Delta t_m - \Delta t) \quad [\text{kJ/mol Na}_2\text{S}] \quad (8)$$

Ur ekv 3, har ΔH^t beräknats. Se nedanstående tabell 1:

t_0	Δt_m	$t = t_0 + \Delta t_m$	ΔH^t
0	55,5	55,5	306,0
5	56,0	61,0	304,9
10	56,5	66,5	303,7
15	56,5	71,5	302,7
20	56,5	76,5	301,7
25	56,5	81,5	300,7

Där

 t_0 = kalla källans temp Δt_m = temperatursteg ΔH^t = totalt frigjord värmeenergi vid absorption av 5 mol $H_2O/mol Na_2S$ uttryckt i $kJ/mol Na_2S$

Tabell 1

Slutligen har ur ekv 8 netto uttagbar värmeenergi från ackumulatören beräknats vid urladdning för några olika värden på Δt (tabell 2, sid 33). För att förenkla framställningen har antagits att temperatur- och tryckfall i förångaren kan försummas och ångans temperatur när den lämnar förångaren är följaktligen t_0 .

Av tabellen framgår att vid $\Delta t = 1^\circ C$: a 3% av den frigjord värmeenergin åtgår för uppvärmning av den kalla ångan. Vid $\Delta t = 9^\circ C$ är motsvarande del c:a 2,5%.

Av ekv 1 och angivna energivärden framgår att när absorption av vattenånga eller vatten sker vid $+25^\circ C$ de frigjord energimängderna är 312,2 resp 91,8 [$kJ/mol Na_2S$], där $91,8 = \Delta H_K^{25}$ utgör den kemiskt bundna delen av frigjord energi vid $25^\circ C$. Skillnaden, 220,4 $kJ/mol Na_2S$, är ångans kondensvärme och ett mått på pumpad värmeenergi.

När reaktionen sker vid annan temperatur än $25^\circ C$ beräknas ΔH_K^t ur (jmf ekv 2):

$$\Delta H_K^t = \Delta H_K^{25} - \Delta c'_p (t-25) \cdot 10^{-3} \quad [kJ/mol Na_2S] \quad (10a)$$

$$\text{där } \Delta c'_p = 450 - 79 - 5 \cdot 75,4 = -6,1 \quad [J/mol \cdot ^\circ C]$$

$$\therefore \Delta H_K^t = 91,8 + 0,006(t-25) \quad [kJ/mol Na_2S] \quad (10b)$$

Förhållandet mellan totalt frigjord energi i massan och ursprungligen lagrad kemisk energi är:

$$\frac{\Delta H^t}{\Delta H_K^t} = \frac{312,2 - 0,204(t-25)}{91,8 + 0,006(t-25)} \quad (11)$$

Förhållandet mellan totalt uttagbar energi från massan vid förångartemperatur t_0 , och lagrad kemisk energi är (jmf ekv 8):

$$\epsilon_u = \frac{W^t}{\Delta H_K^t} = \frac{312,2 - 0,204(t-25) - 0,166(\Delta t_m - \Delta t)}{91,8 + 0,006(t-25)} \quad (12)$$

där $t = t_o + \Delta t_m - \Delta t$

Tabell 2 kan nu kompletteras med tabell 3 (sid 33), som förutom ϵ_u ger uttagen energi per kg vatten, som förångats i evaporatorn vid olika t_o och Δt .

2.2.2 Tillförd energi vid laddning av ackumulator

När ackumulatormassans temperatur är större än $t_o + \Delta t$ strömmar vattenånga från ackumulatoren till kondensorn^m p g a större tryck i ackumulatoren. Den värmeenergi, som tillföres saltmassan vid olika laddningstemperaturer t och olika temperatur t_o hos kondensorn bestäms av ekv 3, där $t = t_o + \Delta t_m + \Delta t$ och är uträknad i tabell 4.

2.2.3 Samband mellan tillförd energi under laddning och uttagen energi hos en ackumulator

Antag att $t_o = 5^\circ\text{C}$ vid såväl laddning som urladdning.

En fullt laddad ackumulator urladdas vid sådan vald belastning att $\Delta t = 3^\circ\text{C}$. Ur tabell 2 erhålles då uttagbar energi $W^t = 296,6$ [kJ/gmol] vid temperaturen $t_u = 58^\circ\text{C}$ (u för urladdning).

Därefter laddas ackumulatoren med en sådan effekt att $\Delta t = 15^\circ\text{C}$. Ur tabell 4 erhålles totalt tillförd energi $\Delta H^t = 301,8$ [kJ/gmol] vid temperaturen $t_o = 76^\circ\text{C}$. Ackumulatoren måste emellertid först värmas upp från 60° till 76°C , varvid den urladdade saltmassan tillföres sensibel värme.

Efter laddning får den nu helt torra massan svalna till 58°C . Därvid bortföres värmeenergi, som kan nyttiggöras.

Netto tillförd värmeenergi p g a uppvärmning och avsvälning under en cykel blir:

$$[c_p(\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}) - c_p(\text{Na}_2 \cdot \text{S})] (t - t_u) \text{ [kJ/mol]}$$

Med insatta värden:

$$(0,450 - 0,079) (76 - 58) = 6,68 \text{ [kJ/mol]}$$

Fall 1

Laddning med $t = 15^\circ\text{C}$ och urladdning med $t = 3^\circ\text{C}$, båda vid $t_o = 5^\circ\text{C}$ ger alltså förhållandet mellan uttagen och tillförd energi:

$$\frac{296,6}{301,8 + 6,68} = 0,961$$

Fall 2

Motsvarande beräkning för laddning med $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ över och vid urladdning $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ under jämviktstemperaturen vid tomgång ger förhållandet:

$$\frac{295,9}{304,7 + (0,450 - 0,079) \cdot 2} = 0,969$$

Fall 3

Ett realistiskt fall för en villaanläggning är följande. Urladdning sker vid $t_o = 5^\circ\text{C}$ och en effekt som innebär att $\Delta t = 3^\circ\text{C}$. Tabell 2 ger $W^t = 296,6$ för $t = 58^\circ\text{C}$.

Laddning sker vid $t_o = 20^\circ$ och en effekt, som begränsas av att saltets temperatur skall vara $< 83^\circ\text{C}$ för att undvika smältrisk i saltet. Av tabell 4 framgår att $\Delta t = 6^\circ\text{C}$ vid $t_\ell = 82,5$ är ett lämpligt val, varvid $\Delta H^t = 300,8$ [kJ/mol].

Förhållandet mellan uttagen och tillförd energi blir:

$$\frac{296,6}{300,8 + (0,450 - 0,079) (81 - 58)} = 0,972$$

Fall 4

Vid transport av ackumulator från en laddningsstation till en förbrukare, varvid saltet får svalna till 20°C efter såväl laddning som urladdning gäller följande, varvid antages att:

laddning sker vid $t_o = 10$ och $t_\ell = 81,5^\circ\text{C}$ med $\Delta t = 15^\circ\text{C}$ (ur tabell 4), som ger $\Delta H^t = 300,7$ [kJ/mol],

urladdning sker vid $t_o = 5^\circ\text{C}$ och $\Delta t = 3^\circ\text{C}$ (tabell 2), som ger $W^t = 296,6$ [kJ/mol] vid $t_u = 58^\circ\text{C}$.

Uppvärmning av torr massa från 20°C till $t_u = 58^\circ\text{C}$ kräver värmeenergin $0,079(58 - 20) = 3,00$ [kJ/mol].

Uppvärmning av urladdad massa från 20°C till $t_\ell = 81,5^\circ\text{C}$ kräver värmeenergin $0,450(81,5 - 20) = 27,6$ [kJ/mol].

Avgiven sensibel värme mellan $81,5^\circ$ till 58°C är $0,450(81,5 - 58) = 10,58$ [kJ/mol].

Förhållandet mellan uttagen energi och totalt tillförd energi under en cykel blir följaktligen:

$$296,6 - 3,0 / (300,7 + 27,6 - 10,58) = 0,924.$$

Observera att intressantare är förhållandet mellan uttagen värmeenergi vid 58°C efter uppvärmning av den kalla, fullladdade ackumulatören och uttagen värmeenergi från en, redan vid start av urladdningen, varm ackumulator:

$$(296,6 - 3,0) / 296,6 = 0,990$$

dvs endast c:a 1% av värmeproduktionen förloras p g a avsvälning under transporten mellan laddningsstationen och förbrukaren.

Energitätheten blir $(296,6-3,0)/0,078 \cdot 3600 = 1,05$ kWh/kg Na_2S .

Sammanfattningsvis är energiförlusten (av rent termodynamiska skäl) mellan 3 till 4% under en hel cykel, där ackumulatortemperaturen växlar mellan c:a 60° till 80°C . Större delen utgöres av sensibel värme för uppvärmning av den kalla ångan vid urladdning.

2.2.4 Energitäthet

Med en ackumulators substans energitäthet avses här den energimängd per massenhet eller volymenhet av substansen, som den kan producera. Häri inräknas den energimängd, som den kemiska värmepumpen kan pumpa från en kall källa och där drivenergin är den i egentlig mening lagrade, kemiska energin i ackumulators substansen.

Kurvblad 1 visar mängden Na_2S per volymenhet av massan $\text{Na}_2\text{S} \times n \text{ H}_2\text{O}$ (utan porer eller kanaler). Kurvan har bestämts genom att smälta och gjuta massa med olika vattenhalter och sedan bestämma vikt och volym. Värdet för helt torr natriumsulfid är en tabelluppgift.

Genom att utgå från att 1 kg Na_2S i runt tal kan producera 1 kWh värme mellan $n = 0 \rightarrow 5$, representerar kurvan i kurvblad 1 även energitäthet uttryckt i kWh/dm³ hos natriumsulfid. Detta är maximal energitäthet. För att vara lämplig som ackumulators substans krävs kanaler av olika dimensioner i saltmassan, så att ångtransport kan ske inom massan utan för stort tryckfall och därigenom begränsad effekt. För en fungerande ackumulator ligger täthetskurvan således under den angivna. Om substansen arbetar mellan $0 \rightarrow 5$ mol kan uppenbarligen energitätheten ej vara större än 0,7 kWh/dm³, i praktiken omkring 0,6 kWh/dm³. Jmfr även kurvblad 2.

Om hänsyn tagits till volymen hos värmeväxlare och isolering av ackumulatorsystemet är värdet omkring 0,5 kWh/dm³ eller 0,5 MWh/m² för en fullskaleanläggning för långtidslagring.

2.3 En ackumulators effekt och dess beroende av olika parametrar

Effekten hos en ackumulator beror dels av den hastighet med vilken absorbanten absorberas i olika delar av absorbatormassan, dels på värmeflödets storlek genom massan. Värmeflödet beror emellertid inte bara på massans termiska värmeledningsförmåga utan även på gastransport inom massan, varvid gasens förångnings/kondensationsvärme har betydelse för det totala värmeflödets storlek. Denna "inre värmepumpning" mellan punkter inom massan med olika temperatur och

därmed även jämviktstryck bidrar under delar av såväl laddning som urladdning väsentligt till värmeflödet inom ackumulatormassan.

2.3.1 Kanalstruktur i den aktiva, absorbatormassan och dess betydelse för gas- och värmeledning i massan

Inom större absorbatormassor definieras tre typer av gaskanaler.

Huvudkanaler, vilkas diameter är \gg andra kanalers (> 5 mm). Deras uppgift är att med litet tryckfall fördela gasflöden mellan olika massområden i en stor volym av massan.

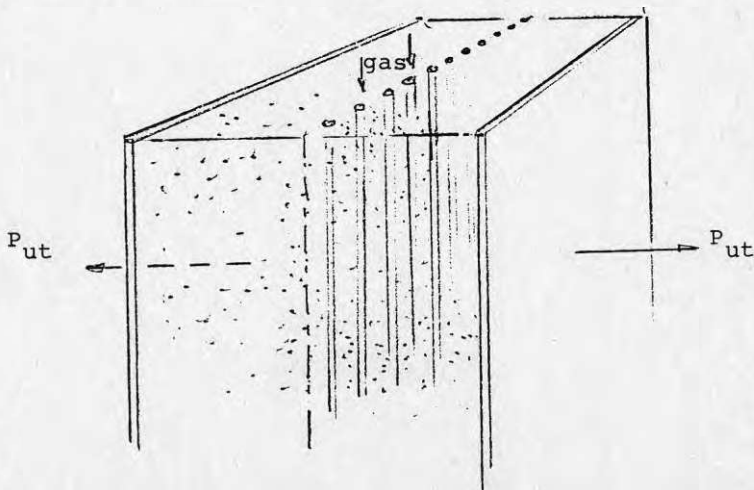
Makrokanaler, vilkas diameter är några mm \rightarrow 0,01 mm. De förbinder i ett "grenverk" huvudkanalerna och andra större, fria utrymmen i ackumulatormassan med alla områden där gasen absorberas eller desorberas.

Mikrokanaler (μ -kanaler), utgör det fina nätverk inom massan, där gasens slutliga absorption sker. μ -kanalernas diameter i en sintrad Na_2S -massa är $\ll 10^{-2}$ mm. Kanaltätheten ökar med minskad diameter.

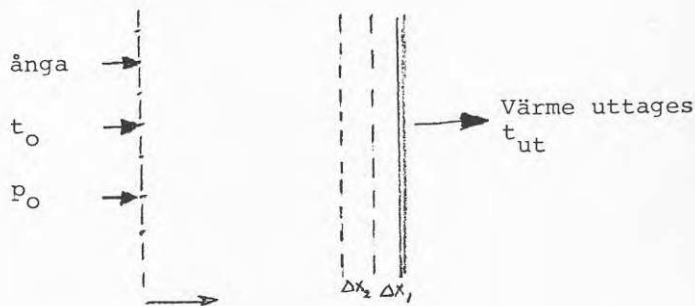
I en saltmassa, som består av ett stort antal korn eller flingor finns alltså från början både makro- och mikrokanaler, varvid de sistnämnda leder in i kornen. Efter någon eller några laddnings- och urladdningscykler kan vid vissa substanser - bl a $\text{Na}_2\text{S} \times n \text{H}_2\text{O}$ - kanalfördelningen beroende på värmebehandling och ursprunglig kornstorlek ha ändrats.

2.3.2 Kvalitativ beskrivning av uppladdning och urladdningsförlopp i ackumulatormassa med planparallella värmväxlare

Emellan två planparallella värmväxlarytor finns en absorbatormassa med given kanalstruktur. Absorbanten tillföres/bortföres genom ett antal huvudkanaler i absorbatormassans mitt:



Såsom exempel antages att $\text{Na}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ -systemet användes. Vi förutsätter att tryckfallet i huvudkanalerna kan försummas, så att t_{ex} vid urladdning ånga strömmar in i massan mot värmeväxlarytorna:



Ångan är mättad och har temperaturen t_0 . I massan frigjörd värmeenergi uttages via värmeväxlarytorna, som har temperaturen t_{ut} .

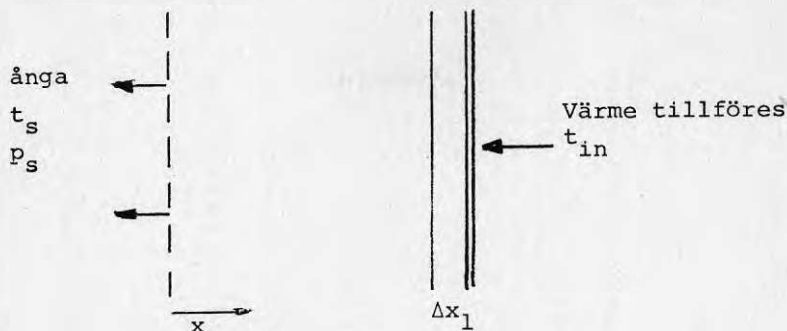
Vid urladdning sker följande, varvid antages att ackumulatormassan är kall och att inget effektuttag från värmeväxlaren sker.

Ånga från förångaren strömmar in i alla delar av massan och absorberas, varvid värme frigöres. När jämvikt mellan vattenångans tryck, p_0 , i förångaren och trycket i saltmassan uppnåtts, avstannar ångflödet och temperaturen i hela massan är $t_0 + \Delta t_m$, där Δt_m är temperatursteget i $\text{Na}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ -systemet.

Värmeenergi uttages nu via värmeväxlaren. Därvid sjunker temperaturen i massskiktet Δx_1 närmast värmeväxlaren och skiktets jämviktstryck minskar. Värme tillföres nu skiktet på två sätt, dels genom termisk ledning från närmaste skikt Δx_2 in mot massan, dels genom ångtransport från detta skikt och eventuellt (beroende på kanalstrukturen) från längre bort mot ytan för ånginsläpp belägna skikt. En successiv transport av värme och ånga från längre bort belägna skikt äger alltså rum, varunder skiktet närmast värmeväxlaren först urladdas, dvs övergår till $\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Vid fortsatt urladdning och effektuttag sker värmetransporten genom det urladdade skiktet närmast värmeväxlarytan, varvid enbart skiktets termiska värmeledningsförmåga bidrar. Det urladdade skiktets tjocklek växer från värmeväxlarytan och allt större temperaturfall krävs över det urladdade området vid konstant uttagen effekt från värmeväxlarytan.

Vid uppladdning är förloppet följande:



Temperaturen hos värmväxlaren och skiktet Δx_1 närmast värmväxlarytan höjs till över jämviktstemperaturen $t_0 + \Delta t_m$ och jämviktstrycket där blir högre än längre bort från värmväxlarytan. Genom termisk ledning föres värmeenergi till de längre in belägna skiktet i massan. Någon värmeöverföring via ångtransport är ej möjlig eftersom alla skikt längre in är urladdade (består av $\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Däremot kan ånga eventuellt via makrokana-ler i den urladdade massan strömma ut från saltmassan vid $x = 0$ och vidare till kondensorn där trycket är p_0 . Under uppladdningens gång torkas först skiktet närmast värmväxlaren (laddas) och uppladdningszonen flyttas successivt från värmväxlaren in mot $x = 0$. Under hela förloppet måste den värmeenergi, som krävs för uppladdning av ett skikt genom enbart termisk ledning föras från värmväxlaren till skiktet i fråga.

Under uppladdning krävs större temperaturfall än vid urladdning vid samma effekt av två skäl:

Under uppladdning sker värmetransport mellan olika skikt enbart genom värmeledning under hela uppladdningsförloppet. Vid urladdning däremot sker värmeöverföring även genom ångtransport under delar av urladdningsförloppet.

Värmeledning under uppladdning sker (beroende på makrokana-lernas dimension) mer eller mindre i torrt (uppladdat) salt under det att värmeledning under urladdning äger rum i urladdat (vattenhaltigt) salt. Troligtvis är termiska ledningsförmågan större i vattenhaltigt än i torrt salt, vilket ytterligare ökar skillnaden i temperaturfall mellan uppladdning och urladdning.

2.3.3 Ackumulatoreffektens beroende av temperaturen

Såsom framhölls i inledningen till detta kapitel bestäms ackumulatoreffekten till stor del av absorbantens flödes-

hastighet i den absorberande massan. Flödes hastigheten beror på det system av kanaler - främst deras tvärsnittsyta - som finns i absorbatormassan. Men flödes hastigheten beror också av absorbantens tryck och temperatur i ett kanalsystem, vilket finns beskrivet i läroböcker i vakuumteknik.

Man kan beräkna ångtransportens storlek i ett givet system av kanaler i en natriumsulfidmassa vid olika tryck och temperatur. Resultaten är sammanfattade på kurvbladen 2 och 3 i två fall, nämligen vid molekylär strömning och viskös strömning. Vid aktuella tryck i en natriumsulfidmassa är strömningen molekylär i de finaste kanalerna i massan (μ -kanalerna) och viskös i kanaler med diametrar från några mm till någon tiondels mm.

Av kurvbladen 2 och 3 framgår att effekten hos en given kemisk värmepump i likhet med effekten hos en mekanisk värmepump är starkt beroende av temperaturen.

Med hjälp av kurvbladen 2 och 3 belyses detta med några exempel:

1. Laddning sker i ett fall vid $t_o = 5^\circ\text{C}$ och $t_{in} = 70^\circ\text{C}$, i ett annat fall vid $t_o = 15^\circ\text{C}$ och $t_{in} = 80^\circ\text{C}$. Om viskös strömning antages råda i massan ger kurvblad 2 förhållandet mellan effekterna i första och andra fallet: $4,2/14 = 1/3,3$
2. Urladdning sker i ett fall vid $t_o = 5^\circ\text{C}$ och $t_{ut} = 50^\circ\text{C}$, i ett annat fall vid $t_o = 15^\circ\text{C}$ och $t_{ut} = 60^\circ\text{C}$. Om viskös strömning antages råda i massan ger kurvblad 2 förhållandet mellan effekterna i första och andra fallet: $1,4/4,2 = 1/3,0$.
3. Urladdning sker i ett fall vid $t_o = 0^\circ\text{C}$ och $t_{ut} = 50^\circ\text{C}$, i ett annat fall vid $t_o = 10^\circ\text{C}$ och $t_{ut} = 55^\circ\text{C}$. Om viskös strömning råder i massan blir förhållandet mellan effekterna i de båda fallen: $0,49/0,88 = 1/1,8$.
4. Laddning sker vid $t_o = 20^\circ\text{C}$ och $t_{in} = 80^\circ\text{C}$
Urladdning sker vid $t_o = 5^\circ\text{C}$ och $t_{ut} = 55^\circ\text{C}$.

Förhållandet mellan effekterna i de båda fallen blir vid viskös strömning: $7/0,88 = 8/1$.

Exempel 4 visar att tryck- och temperaturförhållandena i massan innebär 8 ggr högre effekt vid laddning jämfört med urladdning vid samma temperatursteg $\Delta t = 5^\circ\text{C}$.

Om molekylär strömning antages i exemplen erhålles liknande resultat, men effekten är mindre beroende av temperaturen än vid viskös strömning.

Den stora, teoretiska skillnaden mellan ackumulatoreffekt vid laddning och urladdning beroende på skillnaden i temperatur och tryck uppväges emellertid av den sämre värme-

transporten vid uppladdning jämfört med vid urladdning, såsom beskrivits under 2.3.2.

2.3.4 Tryckfall i rörledningar för ånga mellan ackumulator och kondensator

I en kemisk värmepump, baserad på $\text{Na}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ där ackumulatorteffekten är 10 kW absorberas eller desorberas c:a 10 l vatten per timme. Trycket i systemet kan vara mellan 5 till 25 torr. Vid 10 torr, t ex, är ångflödet mellan ackumulator och förångare/kondensator:

$$10 \cdot \frac{1000}{18} \cdot \frac{22,4 \cdot 760}{3600 \cdot 10} = 263 \text{ l/s}$$

Flödes hastigheten i ett rör med diametern 0,1 m blir:

$$\frac{4}{\pi \cdot 0,1^2} \cdot 0,263 = 33,5 \text{ m/s}$$

Rörssystemet för ångtransporten skall då dimensioneras för minsta möjliga tryckfall, så att ackumulatorns temperatur, speciellt vid belastning ej sjunker för mycket. Man kan visa att om ackumulatorns arbetstemperatur är 50°C , ett tryckfall på 1 torr innebär en temperatursänkning på $4,5^\circ\text{C}$. Vid 75°C är motsvarande siffra 1°C . Rörssystemet bör alltså dimensioneras för belastningsfallet. Ett tryckfall på 0,2 torr sänker då ackumulatorns temperatur med c:a 1°C vid 50°C .

Totala tryckfallet blir summan av tryckfall i rörledningar, rörböjar och ventiler varvid från vakuumentekniken kända metoder användes vid dimensioneringen.

2.3.5 Temperaturfall i kondensator/förångare

Den kombinerade kondensator/förångaren består av en cylindrisk behållare i vilken en värmeväxlare av plattor, spiralformigt lindade rör eller dubbelväggiga cylindrar (emellan vilkas ytor vatten i kontakt med den kalla källan strömmar) är monterad.

Vid förångning duschas vatten över förångarens värmeväxlare. Även andra metoder att förånga vattnet prövas.

Totala temperaturskillnaden mellan producerad ångas temperatur vid förångning och den kalla källans temperatur, given av temperaturen t_{oin} hos det till värmeväxlaren inströmmande vattnet är summan av dels temperaturskillnaden mellan värmebärande vätska inuti värmeväxlaren och värmeväxlarens yttre yta, dels temperaturskillnaden mellan ytans temperatur och den mot ångtrycket svarande mätningstemperaturen hos den bildade ångan (kokpunkten). Denna senare temperaturskillnad bestäms av värmetransporten genom den vattenfilm, som genom duschning erhålles på ytan, och som därför bör vara så tunn som möjligt.

Vid kondensering gäller i stort sett motsvarande förhållanden.

Förloppen vid kondensering och förångning finns utförligt behandlade i litteraturen.

I de förångare/kondensorer som använts vid laboratorieförsök har totala temperaturfallet uppgått till $3 \text{ } ^\circ\text{C}$ till $4 \text{ } ^\circ\text{C}$ vid effekter på 800 W. Värmeväxlarytan var $0,4 \text{ m}^2$.

I fullskaleanläggningen i Jakobsberg (Televerket) har ett motsvarande temperaturfall på $\sim 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ uppmätts vid effekten 20 kW.

Sammanfattningsvis bör ej kondensor/förångarsidan utgöra något oöverkomligt tekniskt problem i en kemisk värmepump. Förbättringar av nuvarande konstruktioner är möjliga, varvid bl a en bättre lösning av problemet med vätning av förångningsytorna bör sökas.

2.3.6 Temperaturfall i systemet p g a restgaser

Med "restgaser" eller "skräpgaser" i en kemisk värmepump avses andra gaser än vattenångan och som kan finnas i systemet p g a läckor eller gas producerad inom systemet t ex i den aktiva absorbatormassan (föroreningar eller gasinneslutningar).

Restgaser har stor inverkan på systemets effekt då de bromsar absorbantens diffusion, speciellt i det fina kanalsystemet, som finns i absorbatoren.

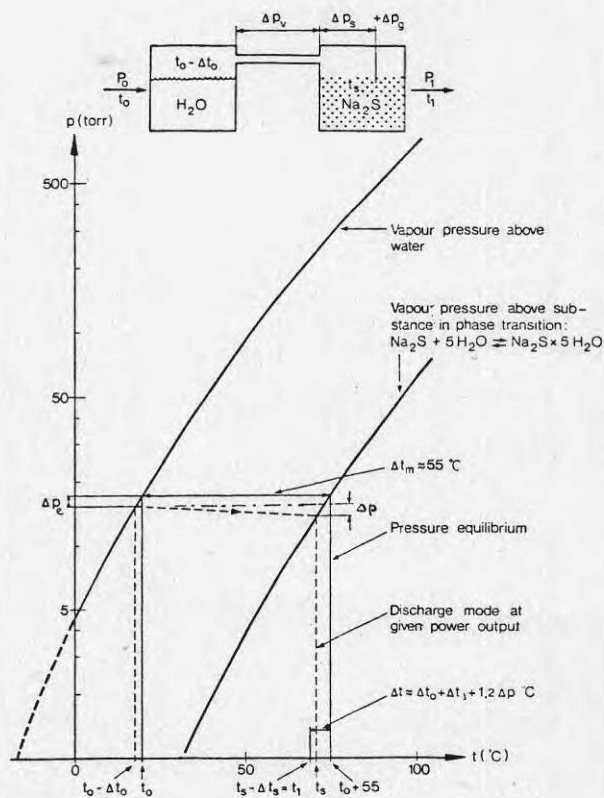
Praktiska försök med Na_2S -systemet har visat att vakuumpumpning av systemet måste ske regelbundet. Under de första cyklarna måste pumpning ske under storleksordningen 5% av ackumulatorns drifttid. Pumptiden sjunker därpå till $< 1\%$ av drifttiden. Orsaken är i detta fall den mängd NaHS (ett par %) som finns i substansen vid leverans från fabriken. Vid uppvärmning sönderfaller NaHS i Na_2S och H_2S . Det är huvudsakligen den senare "restgasen", som pumpas ut ur systemet via vakuumpumpen och som påvisats både "luktmätsigt" och genom analys.

Vid körning av stora ackumulatorer (Villan i Jakobsberg) är erfarenheten att effekten vid urladdning av systemet efter två kompletta cykler minskade långsamt under c:a 6 timmar med 10% om ingen vakuumpumpning skedde. Efter det att vakuumpumpning ägt rum under c:a 5 min steg effekten igen, för att efter c:a 20 min uppnå ursprungsvärdet. Dessa siffror beror självfallet på vakuumpumpens kapacitet.

Erfarenhetsmässigt bör partialtrycket av restgaser i systemet \ll vattenångans partialtryck. Samma förhållande torde gälla för alla kemiska värmepumpar med fast absorbator.

2.3.7 Totala tryck- och temperaturfall i en kemisk värmepump. Akkumulatorns arbetstemperatur

Ovan beskrivna tryck- och temperaturfall i en kemisk värmepump adderas med resultatet att akkumulatorns temperatur vid urladdning vid viss uttagen effekt är ett antal grader lägre än den jämviktstemperatur, som bestäms av summan av kalla källans temperatur t_0 och det kemiska systemets temperatursteg Δt_m . Vid uppladdning måste av samma skäl den till akkumulatorn tillförda värmeeffekten ligga på en temperaturnivå ett antal grader över jämviktstemperaturen $t_0 + \Delta t_m$. Förhållandena sammanfattas i följande fig avseende systemet $\text{Na}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$. Temperatursteget Δt_m har antagits vara 55°C .



I figuren anger heldragna linjer med utgångspunkt från t_0 i kalla källan (egentligen t_{0in} , vilket emellertid har antagits vara kalla källans temperatur) ackumulatorns temperatur utan effektuttag. Vid ett givet effektuttag gäller streckade linjer och ackumulatorns temperatur (dvs det utgående vattnets temperatur från värmväxlaren) är t_{ut} (t_1 i figuren):

$$t_{ut} = t_0 + \Delta t_m - \Delta t \quad (15)$$

$$\text{där } \Delta t = \Delta t_0 + \Delta t_s + \frac{dt}{dp} (\Delta p_v + \Delta p_s + \Delta p_g) \quad (16)$$

Av figuren framgår att ett visst tryckfall i systemet innebär ett motsvarande temperaturfall. Jämviktskurvan $p = f(t)$ i figuren och dess dt/dp ger temperaturfallet vid viss temperatur om tryckfallet är känt.

t_o	Δt_m	$t_u = t_o + \Delta t_m - \Delta t$	ΔH^t	W^t	t_u	ΔH^t	W^t	t_u	ΔH^t	W^t	t_u	ΔH^t	W^t
0	55.5	54.5	306.2	297.1	52.5	306.6	297.8	49.5	307.2	299.0	46.5	307.8	300.1
5	56.0	60.0	305.1	295.9	58.0	305.5	296.6	55.0	306.1	297.8	52.0	306.7	298.9
10	56.5	65.5	303.9	294.7	63.5	304.3	295.4	60.5	305.0	296.6	57.5	305.6	297.7
15	56.5	70.5	305.8	296.5	68.5	303.3	294.4	65.5	303.9	295.6	62.5	304.6	296.6
20	56.5	75.5	301.9	292.7	73.5	302.3	293.4	70.5	302.9	294.6	67.5	303.5	295.6
25	56.5	80.5	300.9	291.6	78.5	301.3	294.4	75.5	301.9	293.6	72.5	302.5	294.6
			$\Delta t = 1^\circ C$		$\Delta t = 3^\circ C$		$\Delta t = 6^\circ C$		$\Delta t = 9^\circ C$		$\Delta t = 12^\circ C$		

Tabell 2. ΔH^t (kJ/gmol) är totalt frigjord energi vid absorption av vattenånga i saltmassa vid ur-laddning, W^t (kJ/gmol) är uttagbar energi från ackumulatorn, båda såsom funktioner av t_o och Δt , där Δt innebär olika belastningsfall

t_o	Δt_m	t_u	ϵ_u	$\frac{kWh}{kg H_2O}$	t_u	ϵ_u	$\frac{kWh}{kg H_2O}$	t_u	ϵ_u	$\frac{kWh}{kg H_2O}$	t_u	ϵ_u	$\frac{kWh}{kg H_2O}$
0	55.5	54.5	3.23	0.917	52.5	3.24	0.919	49.5	3.25	0.923	46.5	3.26	0.926
5	56.0	60.0	3.22	0.913	58.0	3.23	0.916	55.0	3.24	0.919	52.0	3.25	0.922
10	56.5	65.5	3.20	0.910	63.5	3.21	0.912	60.5	3.23	0.915	57.5	3.24	0.919
15	56.5	70.5	3.19	0.906	68.5	3.20	0.909	65.5	3.21	0.912	62.5	3.22	0.916
20	56.5	75.5	3.18	0.903	73.5	3.19	0.906	70.5	3.20	0.909	67.5	3.21	0.912
25	56.5	80.5	3.17	0.900	78.5	3.17	0.902	75.5	3.19	0.906	72.5	3.20	0.909
			$\Delta t = 1^\circ C$		$\Delta t = 3^\circ C$		$\Delta t = 6^\circ C$		$\Delta t = 9^\circ C$				

Tabell 3. ϵ_u är förhållandet mellan uttagbar energi från saltmassan (W^t) och lagrad kemisk energi (ΔH_k^t). Urladdning kWh/kg H_2O avser uttagen energi från ackumulatorn per kg förångad vattenmängd i förångaren

t_o	Δt_m	t_ℓ	ΔH^t	ϵ_ℓ	$\frac{kWh}{kg H_2O}$	t_ℓ	ΔH^t	ϵ_ℓ	$\frac{kWh}{kg H_2O}$	t_ℓ	ΔH^t	ϵ_ℓ	$\frac{kWh}{kg H_2O}$	t_ℓ	ΔH^t	ϵ_ℓ	$\frac{kWh}{kg H_2O}$
0	55.5	56.5	305.8	3.32	0.944	58.5	305.4	3.32	0.942	61.5	304.8	3.31	0.939	64.5	304.1	3.31	0.939
5	56.0	62.0	304.7	3.31	0.940	64.0	304.2	3.31	0.939	67.0	303.6	3.30	0.937	70.0	303.0	3.29	0.935
10	56.5	67.5	303.5	3.30	0.937	69.5	303.1	3.29	0.935	72.5	302.5	3.29	0.934	75.5	301.9	3.28	0.932
15	"	72.5	302.5	3.29	0.934	74.5	302.1	3.28	0.932	77.6	301.5	3.27	0.931	80.5	300.9	3.27	0.929
20	"	77.5	301.5	3.27	0.930	79.5	301.1	3.27	0.929	82.5	300.5	3.26	0.927				
25	"	82.5	300.5	3.26	0.927												

$\Delta t = 1^\circ C$

t_o	Δt_m	t_ℓ	ΔH^t	ϵ_ℓ	$\frac{kWh}{kg H_2O}$	t_ℓ	ΔH^t	ϵ_ℓ	$\frac{kWh}{kg H_2O}$	t_ℓ	ΔH^t	ϵ_ℓ	$\frac{kWh}{kg H_2O}$
0	55.5	70.5	302.9	3.29	0.935	75.5	301.9	3.28	0.932	80.5	300.9	3.27	0.929
5	56.0	76.0	301.8	3.28	0.931	81.0	300.8	3.26	0.928				
10	56.5	81.5	300.7	3.26	0.928								
15	"												

$\Delta t = 15^\circ C$

$\Delta t = 6^\circ C$

$\Delta t = 9^\circ C$

$\Delta t = 12^\circ C$

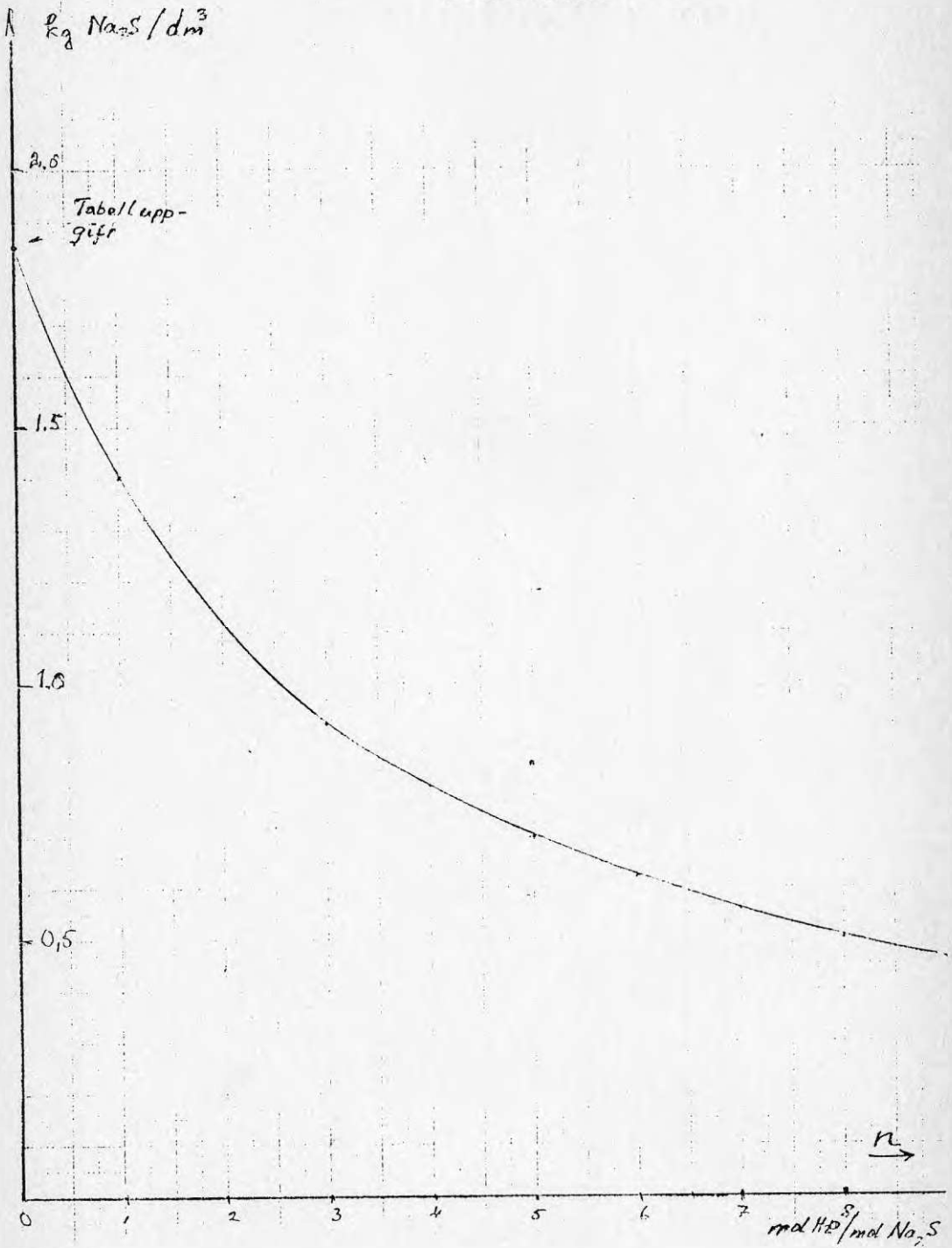
Tabell 4. ΔH^t (kJ/gmol) är den energi, som totalt tillföres saltmassan vid laddning

ϵ_ℓ är förhållandet mellan tillförd energi och i saltmassan lagrad kemisk energi (ekv. 11)

Olika Δt motsvarar olika effekter vid laddning

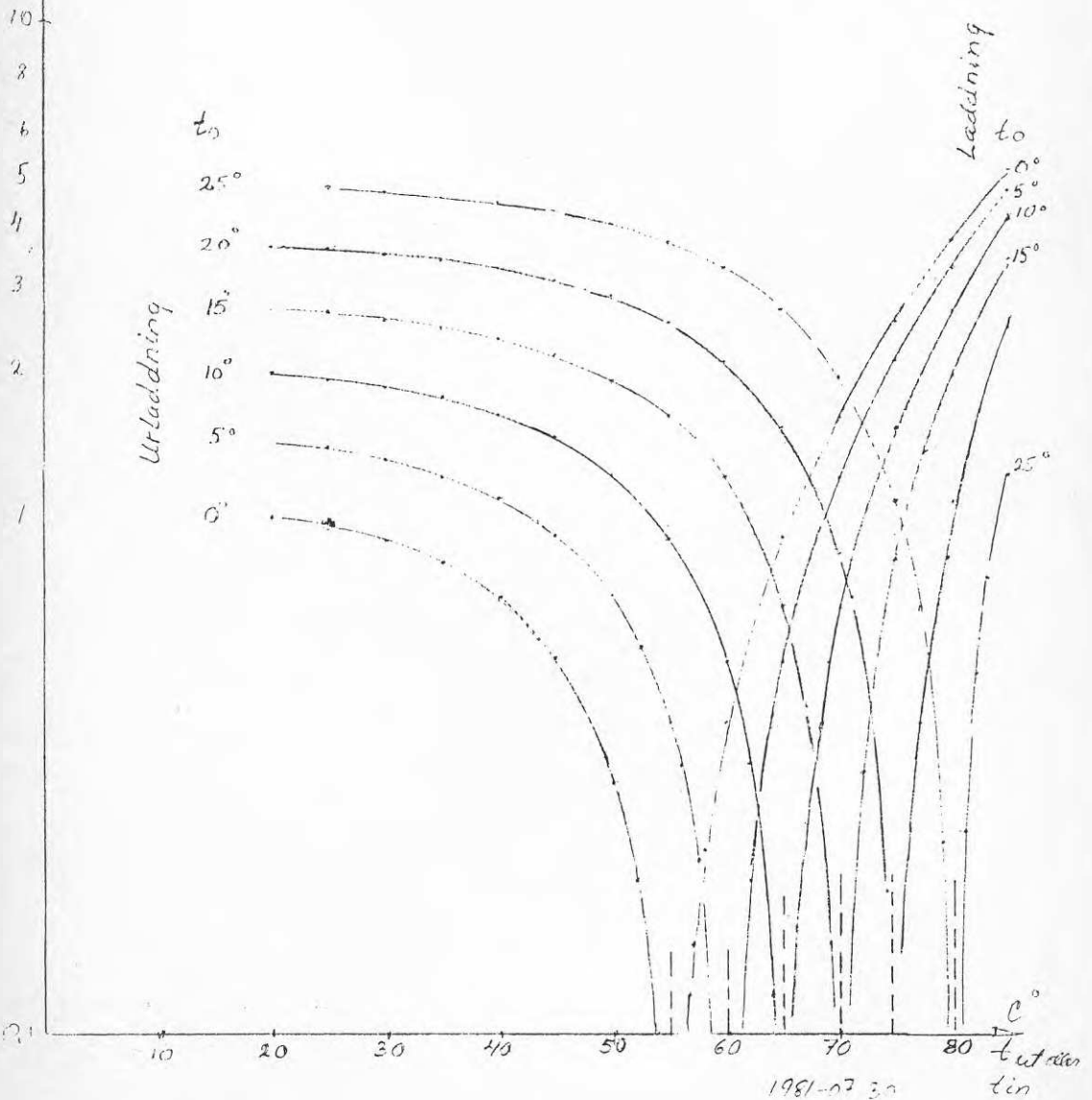
kWh/kg H_2O avser upptagen energi i saltet per kg kondenserad H_2O -ånga i kondensorn

Mängd Na_2S i kg per volymenhet av massan $\text{Na}_2\text{S} \times n \cdot \text{H}_2\text{O}$ utan porer eller kanaler



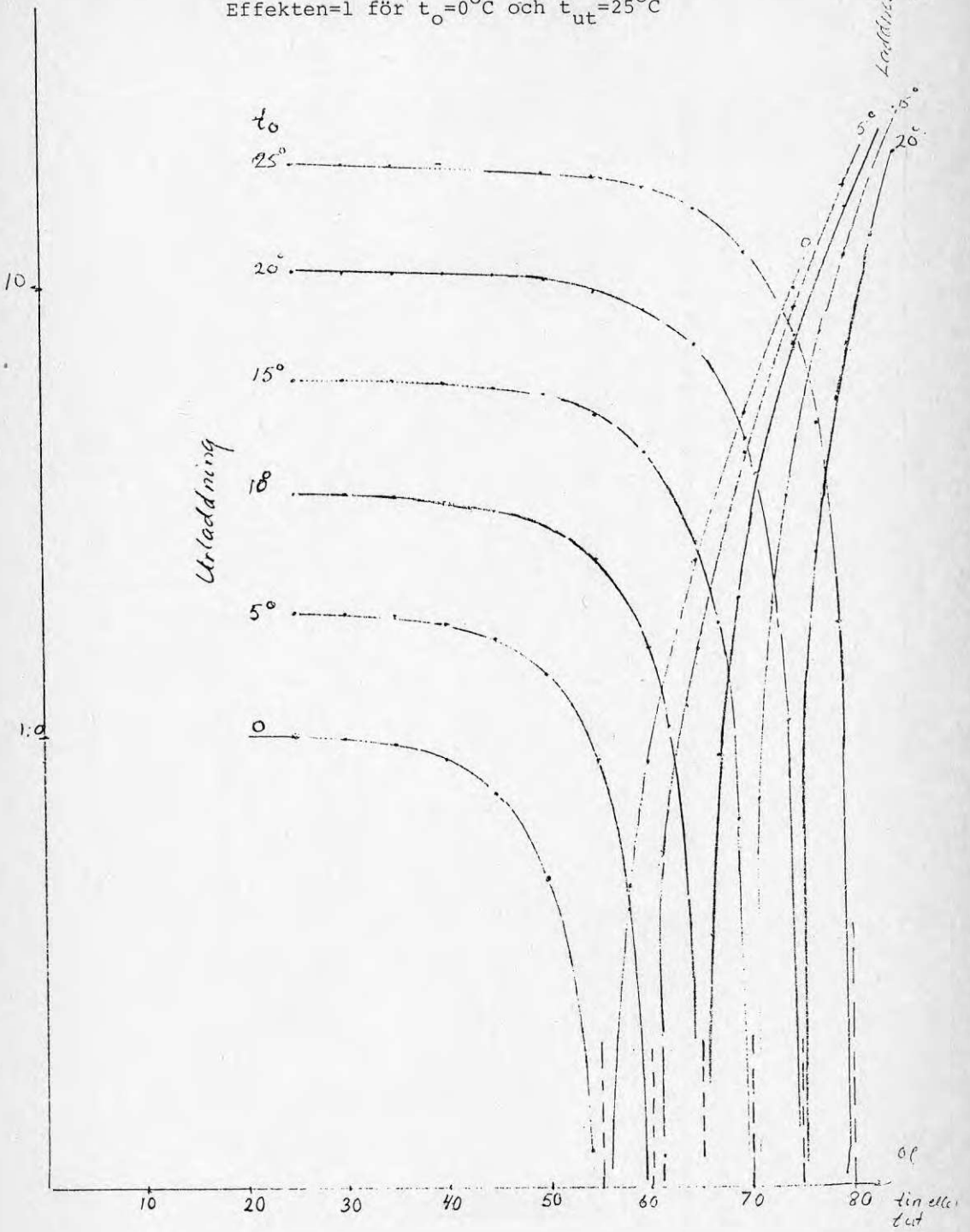
Relativ effekt vid molekylär strömning

Effekten=1 för $t_o=0^{\circ}\text{C}$ och $t_{ut}=25^{\circ}\text{C}$



Relativ effekt vid viskös strömning

Effekten=1 för $t_o=0^{\circ}\text{C}$ och $t_{ut}=25^{\circ}\text{C}$



3 FÖRSÖKSANLÄGGNINGENS UPPBYGGNAD

3.1 Inledning

Huvudsyftet med detta projekt är att utprova ett kemiskt lagringssystem i kombination med solfångare, ett system som med rimliga dimensioner kan försörja en enskild byggnad till 100% med värme och tappvarmvatten året om.

I det aktuella försökshuset har solfångaren och energilagret dimensionerats för c:a 70% försörjningsgrad. I det tilldelade försökshuset saknas utrymme för större energilagret om detta skall anordnas på ett rationellt vis. Solfångarna har placerats på taket till en angränsande fabriksbyggnad eftersom denna tidvis skuggar försökshuset. Försökshusets taklutning är dessutom orienterad i ost-västlig riktning, vilket är olämpligt för solfångarplacering.

De viktigaste komponenterna i solvärmesystemet framgår översiktligt av fig. 3.1. Energilagret är ett destillationslagringssystem som arbetar med en varm och en kall sida. I olika driftfall sker energiupplagring och energiavgivning på båda sidor. Till den varma sidan är solfångaren och husets värmedistributionssystem anslutna, till den kalla markslingor och i något driftfall solfångaren.

Huset tillförs värme via radiatorer samt okontrollerbar värme från energilagret, varmvattenberedarna, värmeväxlare m m. Försök visar att värmeförlusteffekten från energilagret är c:a 1000 W vid 80°C, men kan sannolikt minskas genom förbättrad värmeisolering.

3.2 Villan och värmedistributionssystemet

Huset är en f d vaktmästarbostad byggd 1953 med bostadsytan c:a 80 m² i ett plan samt en hel källarvåning om 5 rum och garage. Ägare till huset är Järfälla kommun. Inga närmare uppgifter finns att få om huset. Någon speciell undersökning av huset med avseende på material, dimensioner etc är inte planerad. Huset har tidigare försörjts med värme från den intilliggande fabriksbyggnaden via en värmekulvert. Ingen statistik finns över storleken på överförda värmemängder. Under ett normalår kan värmebehovet uppskattas till c:a 20 000 kWh. I figur 3.2 finns en enkel beskrivning av husets planlösning. Husets utseende utifrån framgår delvis av fig. 2.1.

Under den närmaste försöksperioden skall huset vara obett och användas som fältlaboratorium. Normala rumstemperaturer skall eftersträvas i huset under hela försökstiden.

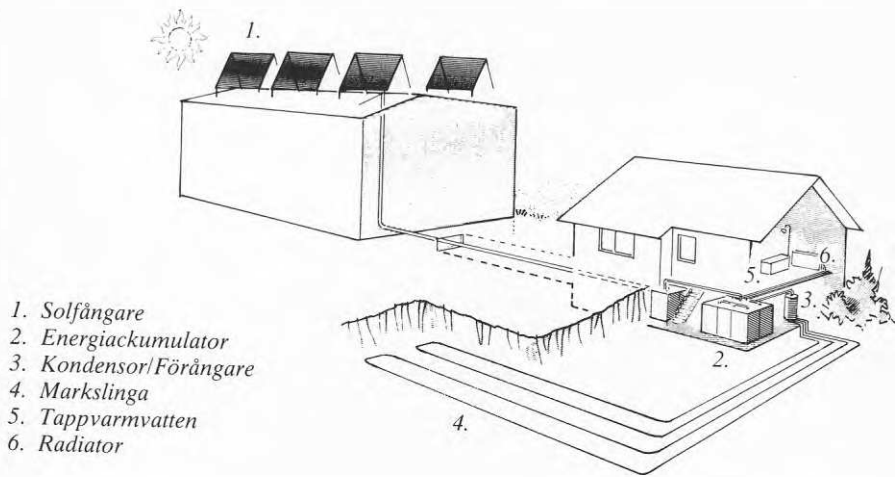


Fig. 3.1 Huvudbeståndsdelarna i solvärmesystemet

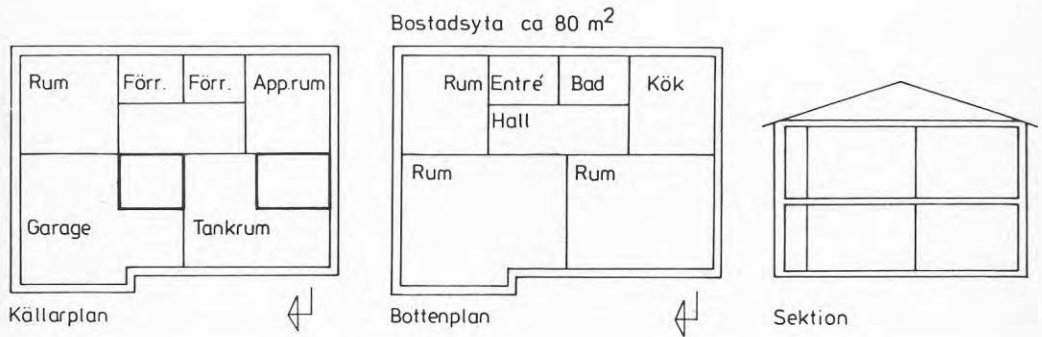


Fig. 3.2 Försökshusets planlösning

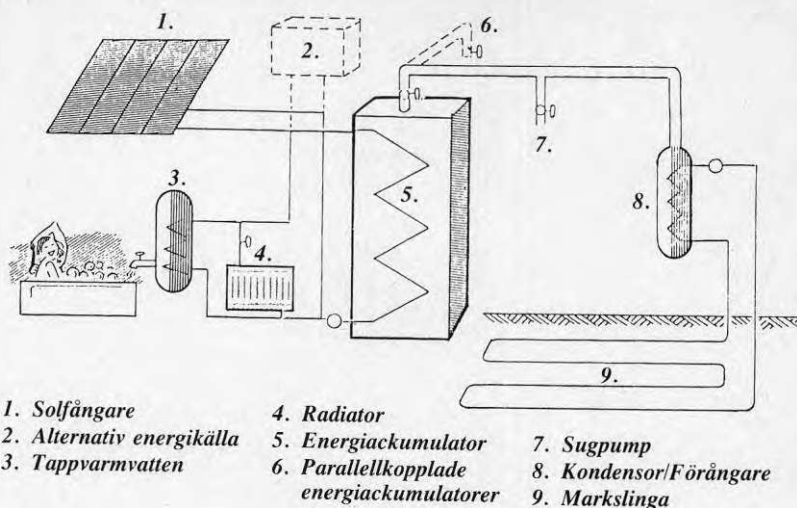


Fig. 3.3 Solvärmesystemets uppbyggnad

Uppbyggnaden av den aktuella typen av solvärmesystem framgår i stora drag av fig. 3.3. Huvudsaklig värmegenerator på högtemperatursidan (60–80°C) är solfångaren och på lågtemperatursidan (5–25°C) markslingorna. Värme kan avges till husets distributionssystem från solfångaren direkt eller från energilagrets högtemperaturdel. Tappvarmvattenberedaren (3) är försedd med en elpatron (18 kW), och kan således ladda systemet. (kompletterande energikälla).

Energilagringssystemet är ett tvåkammars destillationslagringssystem. I ackumulatordelen finns saltet Na_2S med varierande kristallvattenhalt och i kondensorn/förångardelen finns vatten. Mellan ackumulatorn (5) och kondensorn/förångaren (8) finns en lågtrycksledning för ånga. Vid laddning av ackumulatorn torkas saltet och ångan går till kondensorn där den kondenserar. Vid urladdning förångas vatten med lågtemperaturenergi från markslingorna och ångan går till ackumulatorn, där den absorberas varvid värme frigörs.

I själva saltet lagras 1/3 av tillförd energi (dehydrationsenergi) medan 2/3 avges till markslingorna. Omvänt tas vid energiuttag från saltet 2/3 av energin från markslingorna och temperaturen lyfts till användbar nivå (55°C över marktemperaturen) genom att saltet upptar ånga och den återstående 1/3 av energin frigörs som

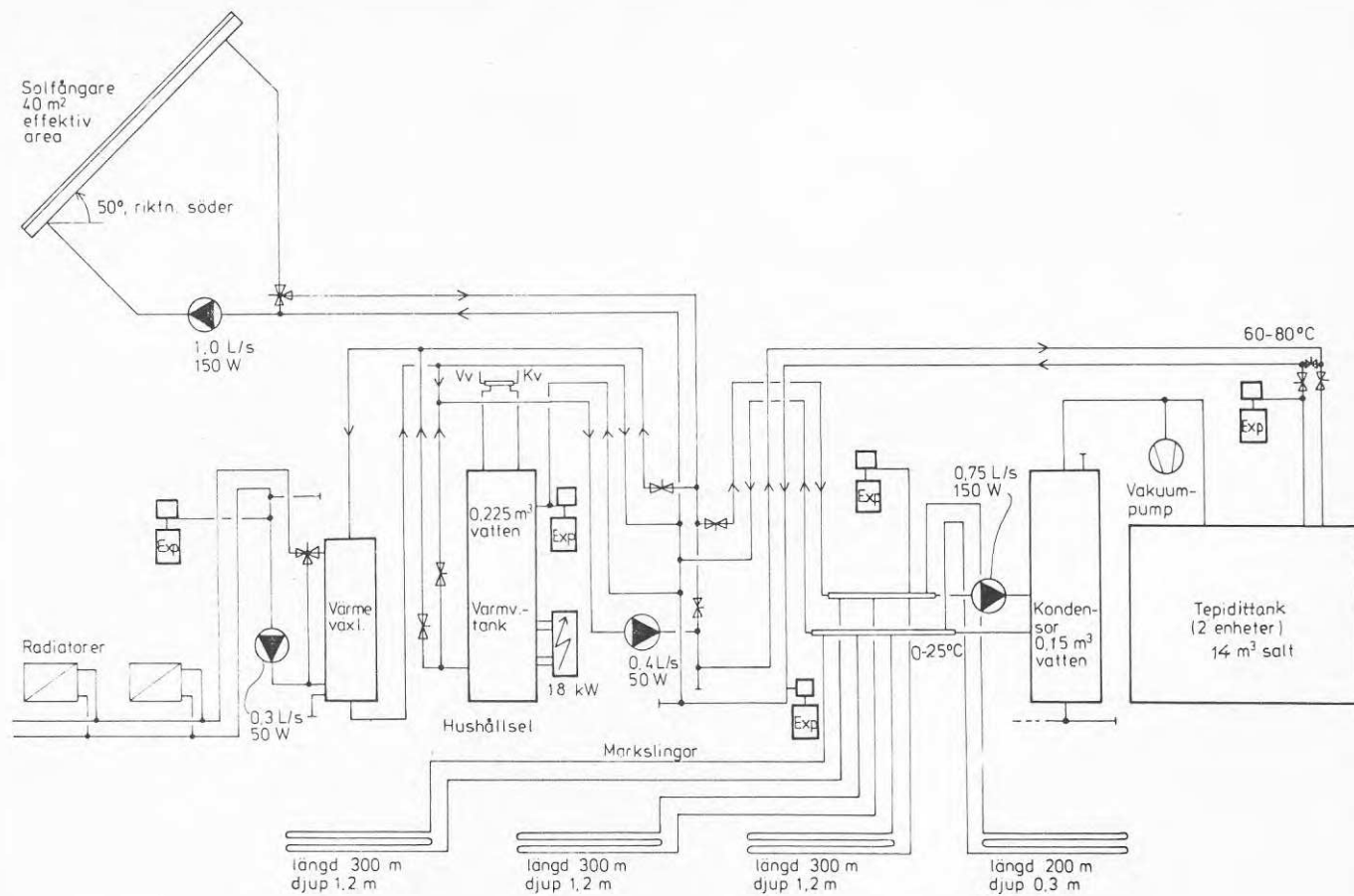


Fig. 3.4 Förenklad konstruktionsritning av det aktuella solvärmesystemet.

värme. Marken utgör här en obegränsad energireservoir. Markslingorna är dimensionerade så att temperaturändringar i marken i samband med lagring och energiuttag är försumbara. Lämplig laddningstemperatur är 70-85°C. Värme kan avges från lagret vid normalt 50-70°C.

Konstruktionen av solvärmesystemet framgår av Fig. 3.4. En värmeväxlare har installerats mellan solvärmesystemet och det 30 år gamla radiatorsystemet. Värmetransportmedium i solfångare och markslingor är en blandning av 25% etylenglykol och vatten.

3.3 Solfångaren

Solfångaren i ett solvärmesystem av den aktuella typen måste ha god verkningsgrad i temperaturområdet 60-80°C. Vid instrålningsvärden 800-1000 W/m² bör verkningsgraden inte understiga 50 ä 60%.

Bland olika solfångarkonstruktioner som övervägdes valdes en svensk, TTS HT-3, fig. 3.6. Denna solfångare har en plan absorbatör med selektivt svart yta. Framför finns ett lager med vakuumsrör av glas och därefter ett skyddsglas. Absorbatorns kanter och baksida är isolerade med polyuretancellplast och mineralull.

Varje solfångarmodul har effektiva arean 0,8 m² och bruttoarean 1,0 m². Modulerna har ordnats i sex grupper på tre rader. (Fig. 3.5). Den totala nettoarean är 40 m². Lutningen mot horisontalplanet är 50° och riktningen mot söder. Fabrikantens verkningsgradskurva är medtagen i fig. 3.6.

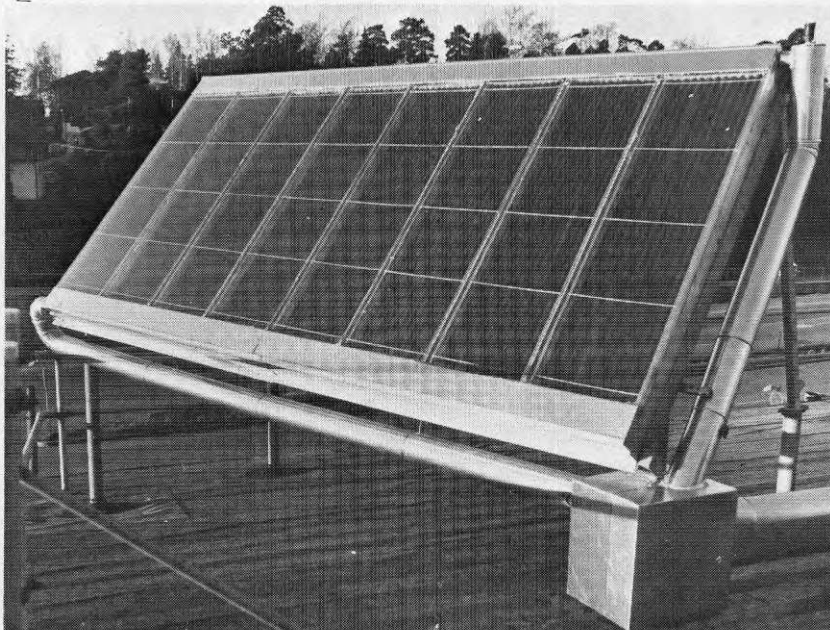
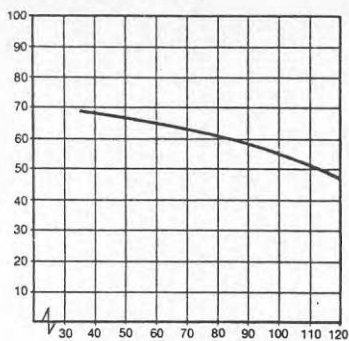


Fig. 3.5 Del av solfångarsystemet

Verkningsgrad, η %Solinstrålning (I_0) = 1,000 W/m²

Lufttemperatur = 20°C

Utloppstemperatur från solfångaren, °C

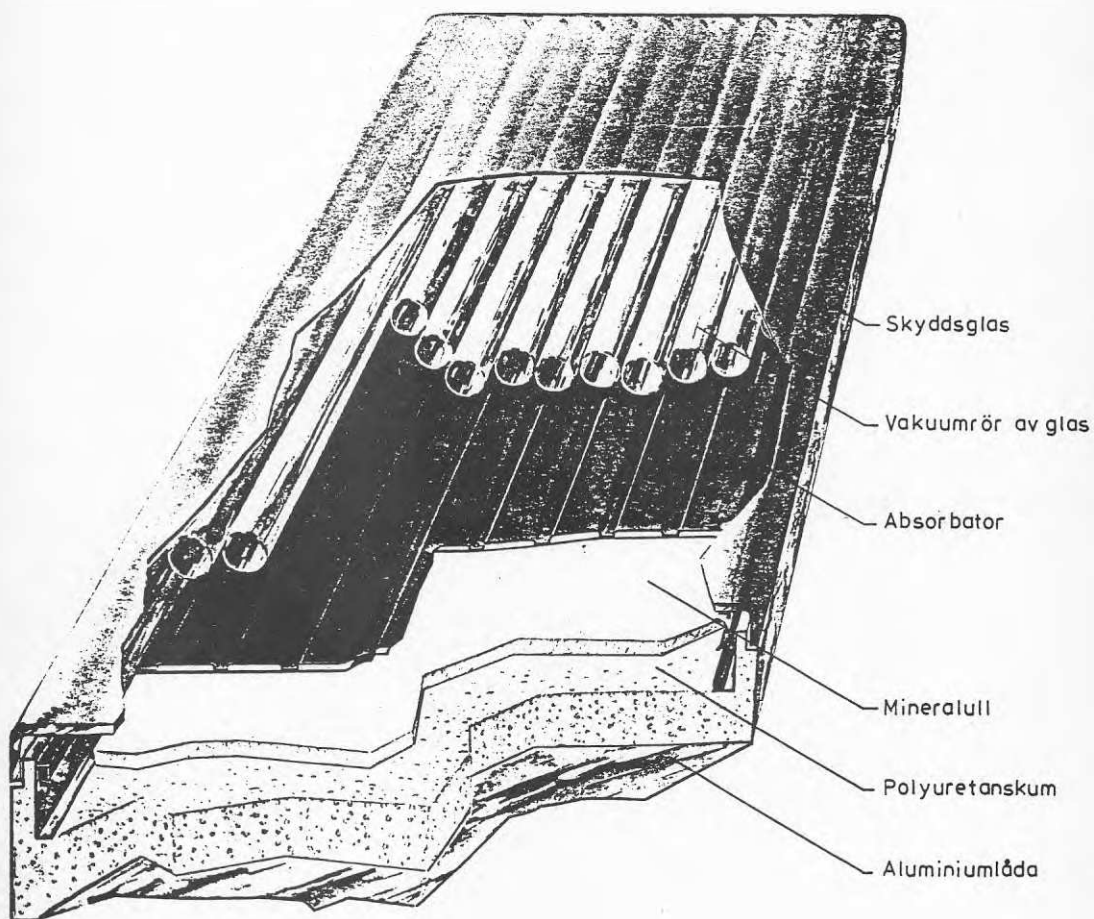


Fig. 3.6 Solfångare TTS HT-3. Konstruktion och verkningsgrad.
(Datablad från Tekno Term AB).

3.4 Energilagret

Det installerade lagret är av praktiska orsaker delat i 8 moduler, varav 2 är placerad i garaget och individuellt isolerade så att de kan fungera var för sig.

De övriga 6 modulerna är placerade i rummet intill garaget. Ackumulatorerna står intill varandra, med 120 mm polyuretanisolering på sidorna. Ackumulatorerna är placerade på träpallar, som också är isolerade.

Hela lagrets volym är c:a 15 m³. Fig. 3.7 visar en bild av de 2 enheterna i garaget.

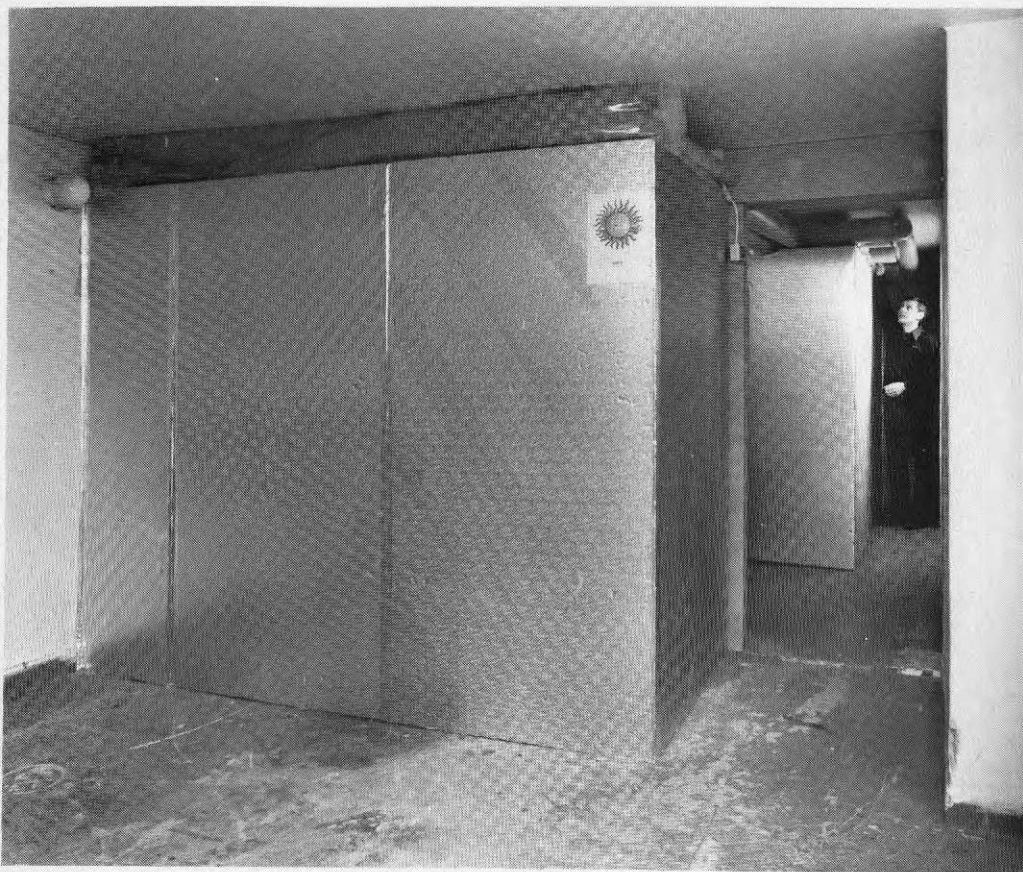


Fig. 3.7 De två isolerade ackumulatorerna i garaget

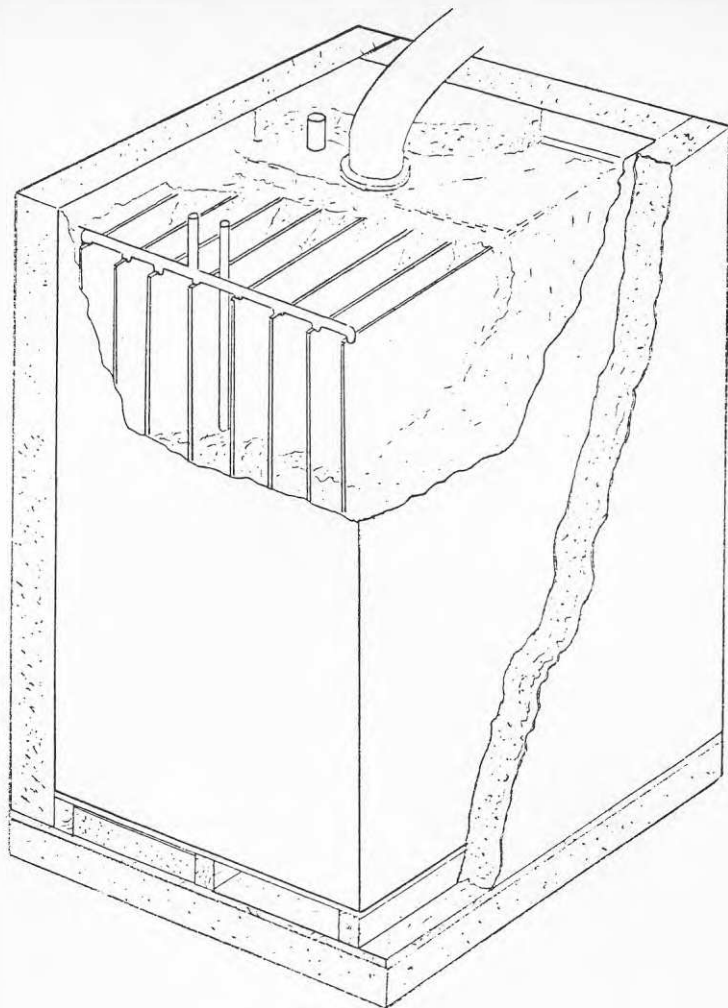


Fig. 3.8 Skiss av energiackumulator med isolering

Ackumulatorbehållarna är utförda i 1,5 mm stålplåt (SPD). Storleken är 1x1x1,75 m. Fogarna mellan plåtarna är migsvetsade. Ackumulatorn står på en träpall som är utförd så att man enkelt med truck skall kunna lyfta och förflytta den.

Ackumulatorns lock som påsättes efter fyllningen av saltet är fogsvetsat. På locket finns påsvetsat flänsar i olika dimensioner för anslutning av yttre rörsystem och mätledningar.

Huvudflänsen är en 65 mm:s öppning för vattenånga till och från ackumulatorn vid upp- resp urladdning. Dessutom

finns fläns för evakuering av ackumulatortank resp anslutning av mätkontakt för intern temperaturmätning samt flänsar för anslutning av cirkulationsvattnet till värmeväxlaren i ackumulatortanken. Denna värmeväxlare är en plattvärmeväxlare för överföring av värme till resp från saltet. Den består av 8 parallella värmeväxlare som bildar ett paket som i sin helhet fyller ut tankens innermått. Värmeväxlarna är utförda i vanligt kolstål och utan ytbehandling. Mellan värmeväxlarens plattor är saltet fyllt. I detta fall utgöres saltet av natriumsulfid i "flakes" som packats till lämplig täthet. För att gasen (vattenånga) lättare skall komma till saltets olika delar finns kanaler dragna genom saltet från toppen av ackumulatortanken. Ackumulatortanken rymmer ca 875 kg torrt salt med en produktions- och lagringskapacitet på ca 900 kWh.

För kontroll av temperaturen i olika delar av tanken finns 8 temperaturgivare utplacerade. 4 stycken på successivt ökande avstånd från botten till topp, och de övriga mellan 2 värmeväxlare mitt i tanken.

Varje ackumulatortank har en separat ventil vid huvudflänsen för avstängning av ångflödet. Dessutom separata ventiler för reglering av vattenflöde till värmeväxlarna och evakuering genom evakueringsflänsen.

Vid laddning av ackumulatortanksystemet tillföres värmeväxlaren varmvatten som i sin tur värmer saltet. När saltet blivit tillräckligt varmt avges vattenånga. Ångan transporteras via kanalerna i saltet ut genom huvudventilen och bort till kondensorn. När allt vatten i saltet avgått är substansen laddad (torr).

Vid uttag av värme ur ackumulatortankerna matas svalare vatten in i värmeväxlaren. Understiger temperaturen i saltet jämviktstemperaturen upptas vattenånga vilken strömmar från förångaren via huvudventilen till saltet.

Substansen i ackumulatortanken är hela tiden i fast form men ackumulatortankens vikt fördubblas vid upptagande av maximal mängd vatten. Värmeväxlare och gasdistributionssystem är utförda för att ta emot och leverera ca 2 kW värmeeffekt var vid några graders temperaturfall mellan värmeväxlare och salt. Se utförligare funktionsbeskrivning i del 2 och 7.

3.5 Kondensator/förångare

Denna enhet består av en 250 l rund behållare med diameter 500 mm och kupade gavlar. Material: 3 mm SPD-plåt. Den är isolerad utanpå med 12 mm diffusionstät material (armaflex).

Värmeväxlaren är 2 runda trummor placerade inuti varandra. Den effektiva värmeväxlarytan är ca 5 m².

Markslingorna är förbundna med värmeväxlarna genom slang-

anslutning på behållarens lock.

Ångan förs till och från kondensor/förångare genom en specialkonstruerad automatventil (genomlopp 100 mm) som är fäst på locket.

Saltet i ackumulatorerna tar under urladdningsfasen upp c:a 7000 liter vatten, och avger detsamma under laddningsfasen.

Under laddningsfasen fylls kondensorn intermittent med vatten från kommunalvattensystemet. Därefter avluftas det genom vakuumpump. Förångningen sker genom att vattnet med hjälp av en magnetkopplad centrifugalpump strillas över värmeväxlarna.

Vid laddning fylls kondensorbekållaren med vatten som destilleras över från lagringssubstansen. Bekållaren töms vid en viss nivå och vattnet släpps ut i avloppet. Denna procedur kan ske automatiskt via datorn, men är f n utförd manuellt.

Kondensorns maximala effekt vid kondensering skall vara c:a 15 kW, och vid förångning c:a 10 kW.

I kondensorn är placerad temperaturmätare i utrymmet över värmeväxlaren och på värmeväxlarnas mantelyta. Tryckmätning sker i toppen och i mitten av kondensorn.

3.6 Markslingor

I trädgården utanför villan har lagts ned c:a 800 meter polyetenslang med diametern 40 mm fördelad på 3 slingor. Djupet varierar mellan 0,5 till 1,5 meter. C:a 200 meter av slangen har en 15 cm "kärna" av järnslig. I två mätbrunnar kan marktemperaturen och fuktigheten mätas.

En extra slinga, c:a 200 m lång, har lagts ned på 30 cm djup. Marken runt denna slinga fryser under vinterhalvåret. Speciella prov med frysnedläggande medel i förångaren kan då genomföras.

2 av slingorna är försedda med en bevattningsslang ifall marken skulle bli torr under sommarens laddningsperiod. Marken består i huvudsak av sand och grus, och fuktigheten är hög varför värmeöverföringen till brinelösningen är god.

Brinelösningen (25% etylenglykol) pumpas runt i slingorna med en centrifugalpump, vilken kan ge max 3500 l/h. Temperaturskillnaden mellan t_{oin} och t_{out} från kondensorn blir då c:a 2,5°C kondensering eller förångning vid 10 kW.

Effektuttaget från markslingorna blir c:a 12 W/m vid nämnda belastning.

3.7 Mätgivare

För att registrera energiflöden har det installerats temperaturgivare av typ Cuprioswem K4661 där mätnoggrannhet på 0,10°C krävs (ex. vätskeflöde in och ut ur ackumulatorerna, och in och ut från kondensor/förångare. På övriga ställen har använts en temperaturtransducer AD590.

För flödesmätningar används dels svävkroppsmätare av fabrikat KROHNE, dels rotormätare med en elektronisk transmitter. De sist nämnda levereras av firma Sten Nylund.

Placering av mätgivarna beskrivs under punkt 4 och 6.

3.8 Styrenhet

För att styra alla ventiler och motorer i systemet har en liten dator installerats. Datorn är levererad av Tour & Andersson. Hårdvaran är densamma som i T & A:s värmepump 3200. Programvaran är delvis skräddarsydd för TEPIDUSSYSTEMET.

Datorn styr med ledning av rumstemperaturen (inställs på termostat) vilket driftsfall (se punkt 4) som skall gälla. Den sköter dessutom via temperaturmätningar och tidur solfångarnas funktion, såväl som automatisk fyllning av vatten vid urladdning av systemet, och tömning vid laddning. Den övervakar om felaktigt tryck eller temperatur uppstår, och ger larm.

4. SYSTEMETS ARBETSSÄTT

4.1 Systemets arbetssätt. Driftfall, kontrollvariabler och styrstrategier

Systemets uppgift är att avge värme till huset för rumsuppvärmning och varmvattenberedning samt ta sin energi från de tre energikällorna solen, marken och elnätet. Avsikten är att solenergin och markvärmen tillsammans ska normalt tillgodose praktiskt taget hela energibehovet, men för att påskynda utvärderingen används elenergi för laddning när så erfordras. En liten mängd elenergi åtgår för drift av cirkulationspumpar etc. Markslingans pump drar ca 150 W och solfångarpumpen detsamma. 2 extra cirkulationspumpar drar ca 50 W vardera. Motsvarande värmeeffekt kommer systemet tillgodo under urladdning.

Under i första hand sommarhalvåret laddas energilagret från solfångaren. I den processen förs samtidigt 2/3 av laddningsenergin vidare från energilagret till markslingorna. Då värmeenergi tas ur ackumulatorn till huset, i första hand under vinterhalvåret, utgör 2/3 av energin upptagen värme från markslingorna, d v s den omvända processen mot laddning. Värme kan tillföras huset även under laddning av energilagret. Vid behov av kompletterande elenergi kan denna enkelt kopplas in från varmvattenberedaren.

Driften av systemet har delats in i 8 olika driftsfall. Dessa särskiljer kombinationer i vilka ingår laddning av energilagret med solenergi eller elenergi, värmeavgivning till huset och värmeavgivning från energilagret. Målsättningen är att utnyttja solenergin på rationellaste vis. Försöken får utvisa vilka driftfall som fungerar väl, vilka som behöver förbättras och vilka som kan utgå.

De 8 driftfallen är sammanställda nedan och redovisas i systemritningar fig. 4.1a - 4.8 a och energiflödesdiagram fig. 4.1 b - 4.8 b. I systemritningarna är de ledningar kraftigare markerade som är inkopplade under respektive driftfall.

Elpannan som energikälla

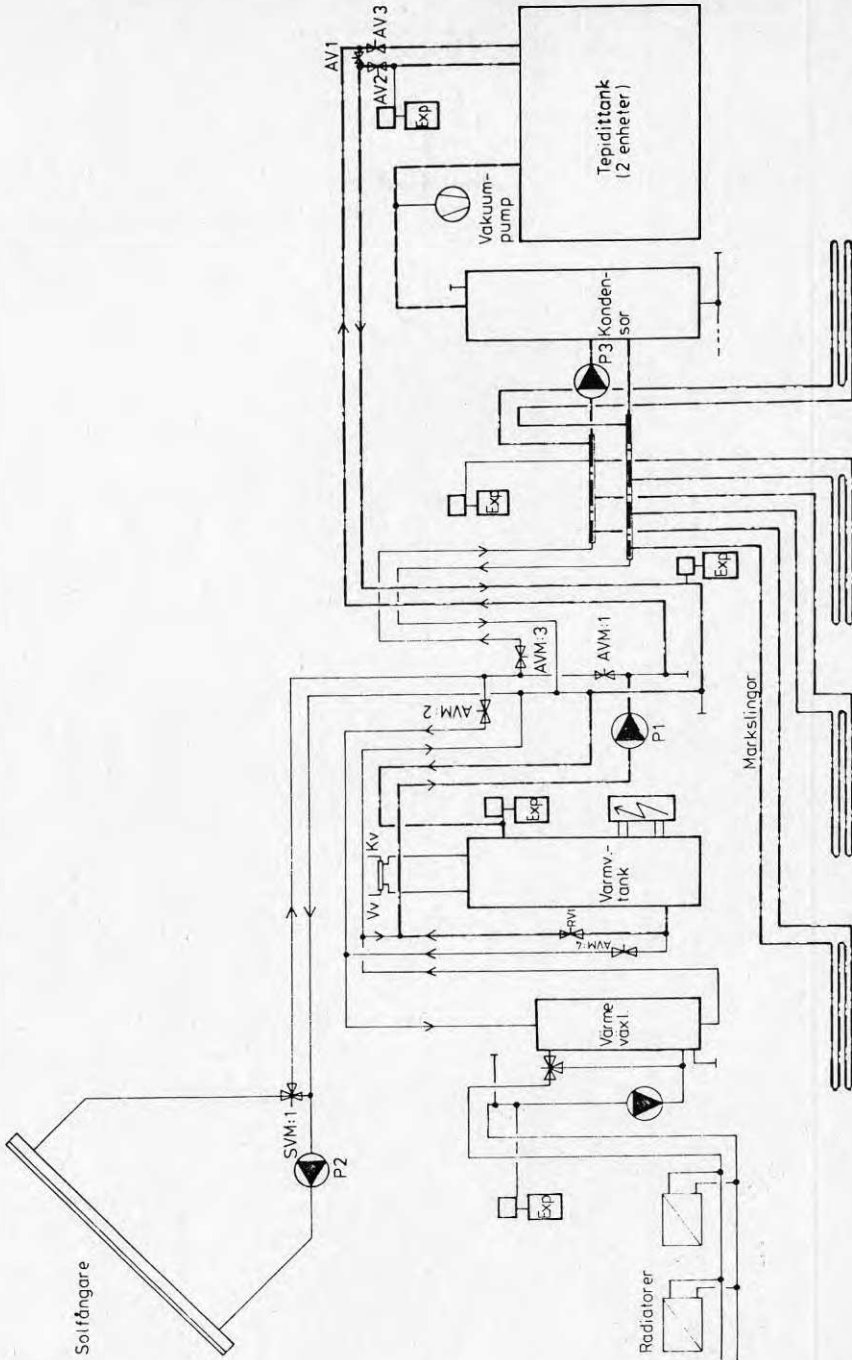
Driftfall 1	Elpannan laddar energilagret
Driftfall 2	Elpannan laddar energilagret och avger värme för varmvatten och till radiatorerna
Driftfall 3	Elpannan avger värme för varmvatten och till radiatorerna

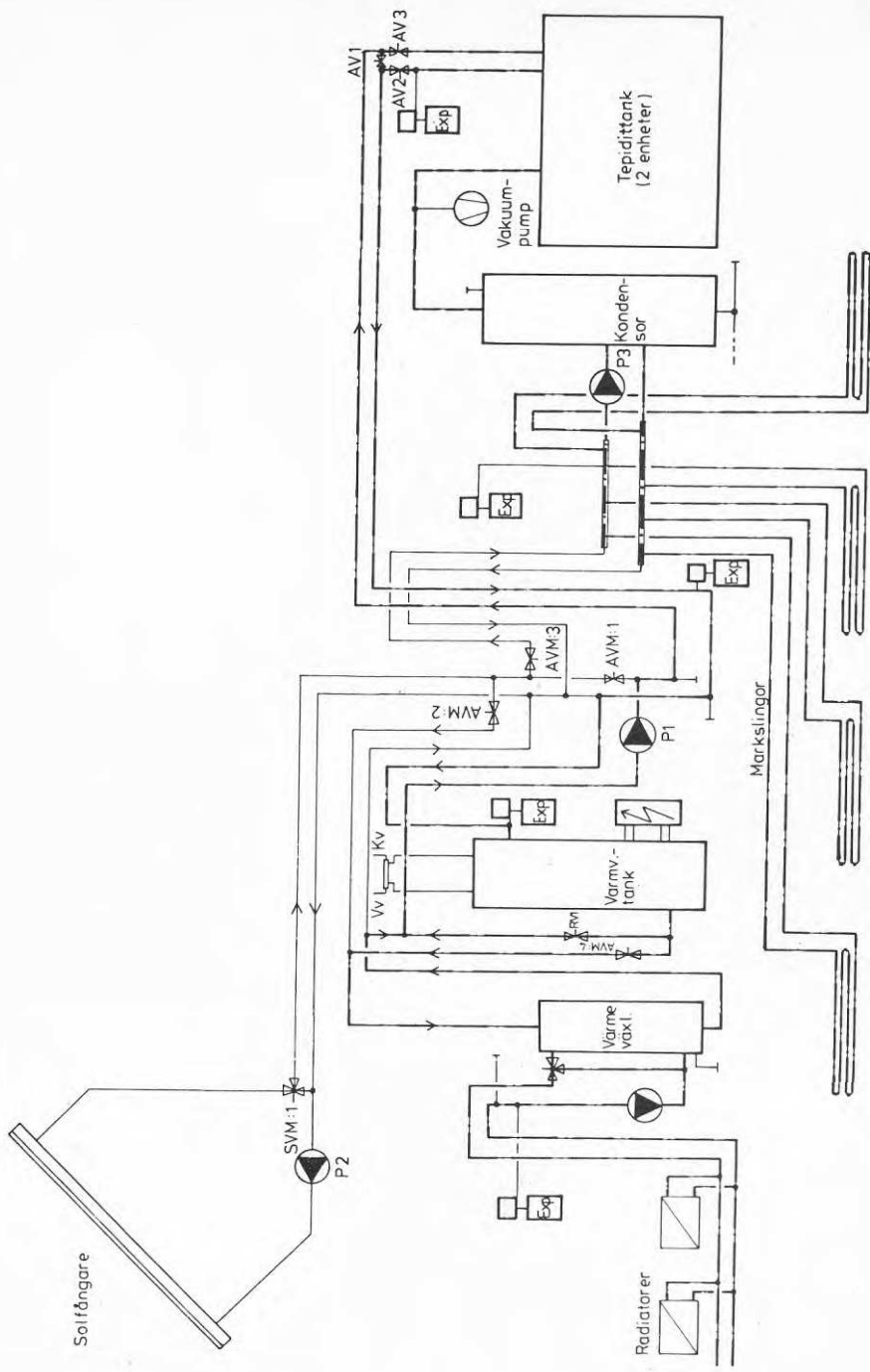
Solfångaren som energikälla

- Driftfall 4 Solfångaren laddar energilagret
- Driftfall 5 Solfångaren laddar energilagret och avger värme till varmvattenberedaren och radiatorerna
- Driftfall 6 Solfångaren avger värme till radiatorerna. Energilagret avger värme till varmvattenberedaren.

Energilagret som energikälla

- Driftfall 6 Se ovan
- Driftfall 7 Energilagret avger värme till varmvattenberedaren och radiatorerna
- Driftfall 8 Energilagret avger värme till varmvattenberedaren och radiatorerna. Förångaren tillförs energi vid låg temperatur från solfångaren.





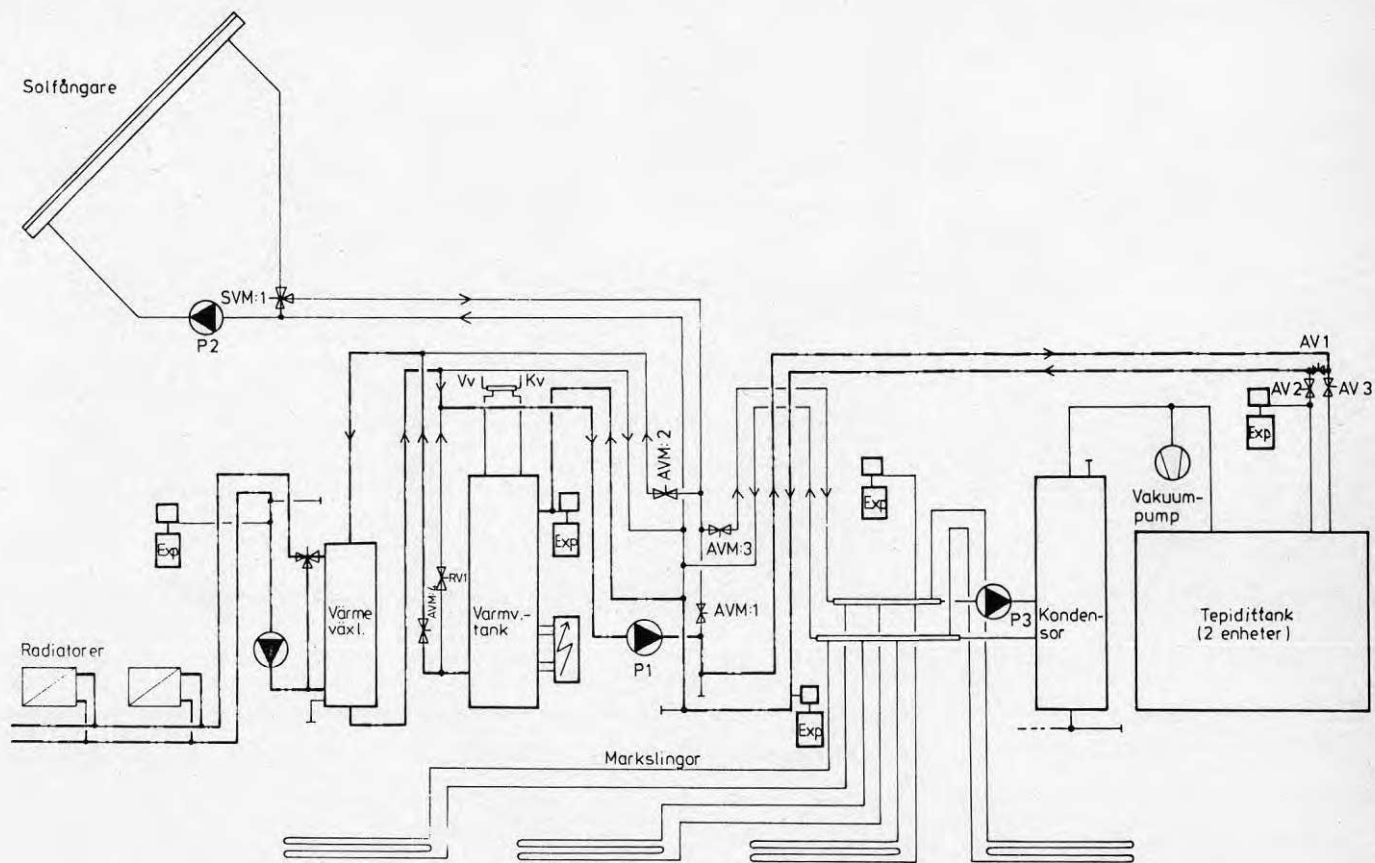
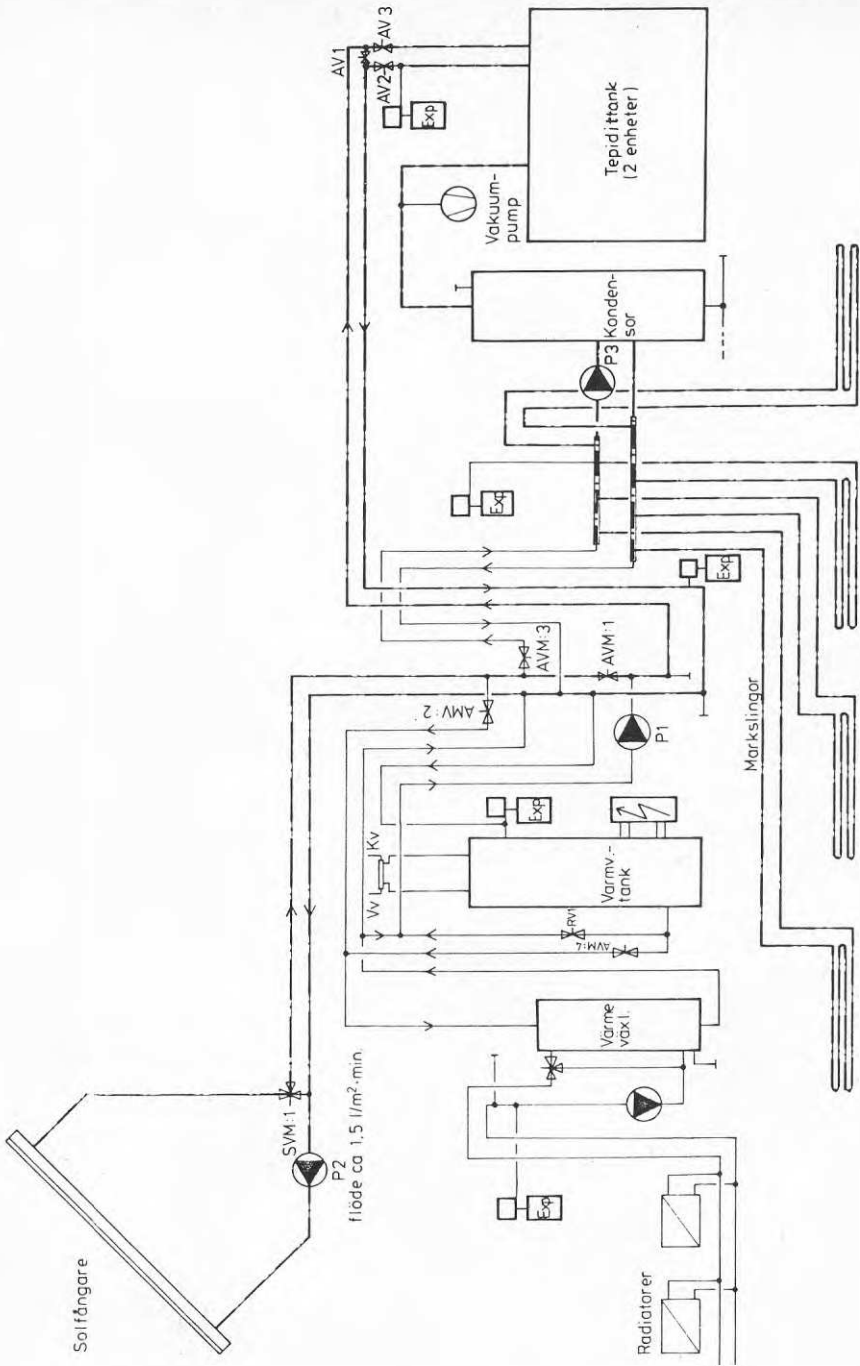
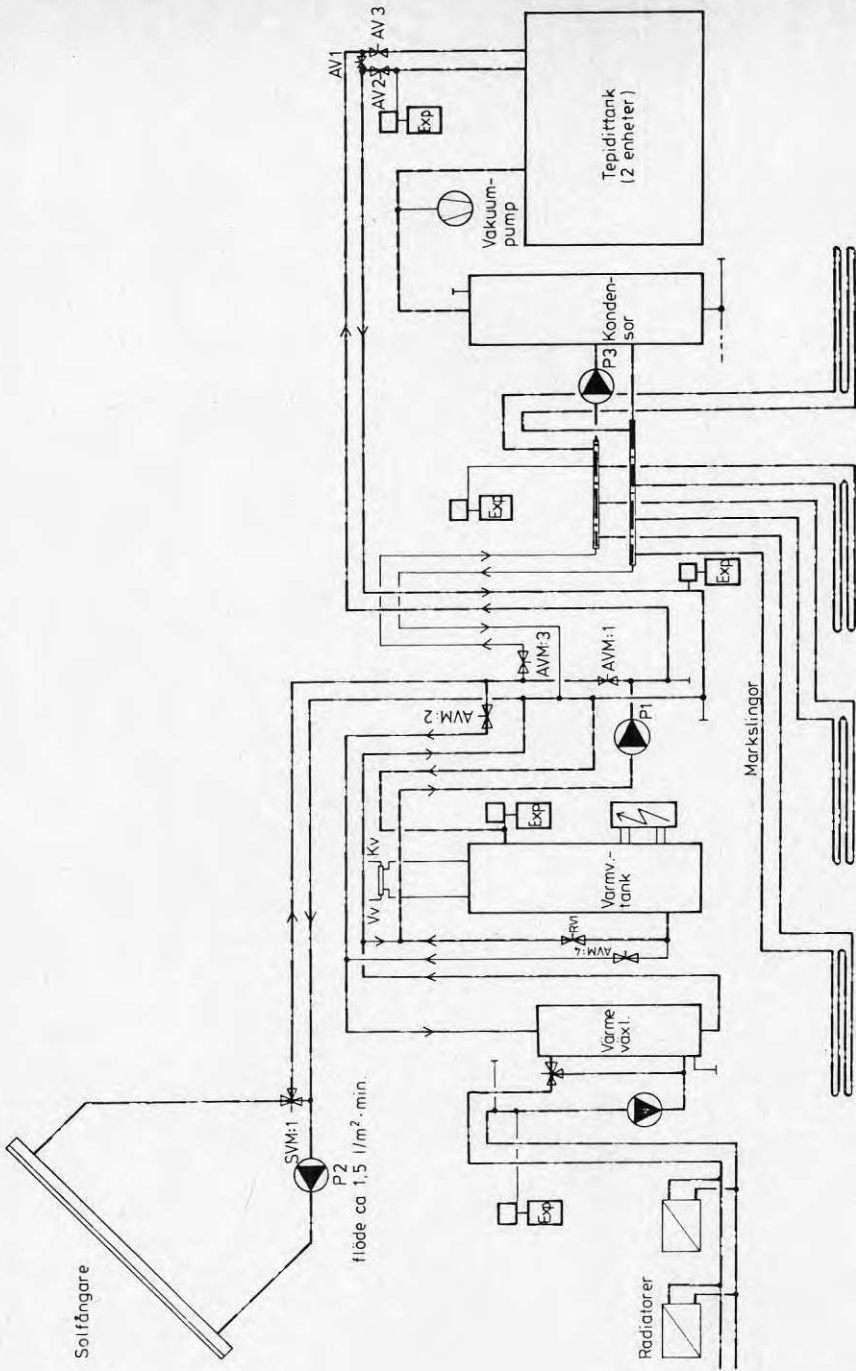


Fig. 4.3 a 55





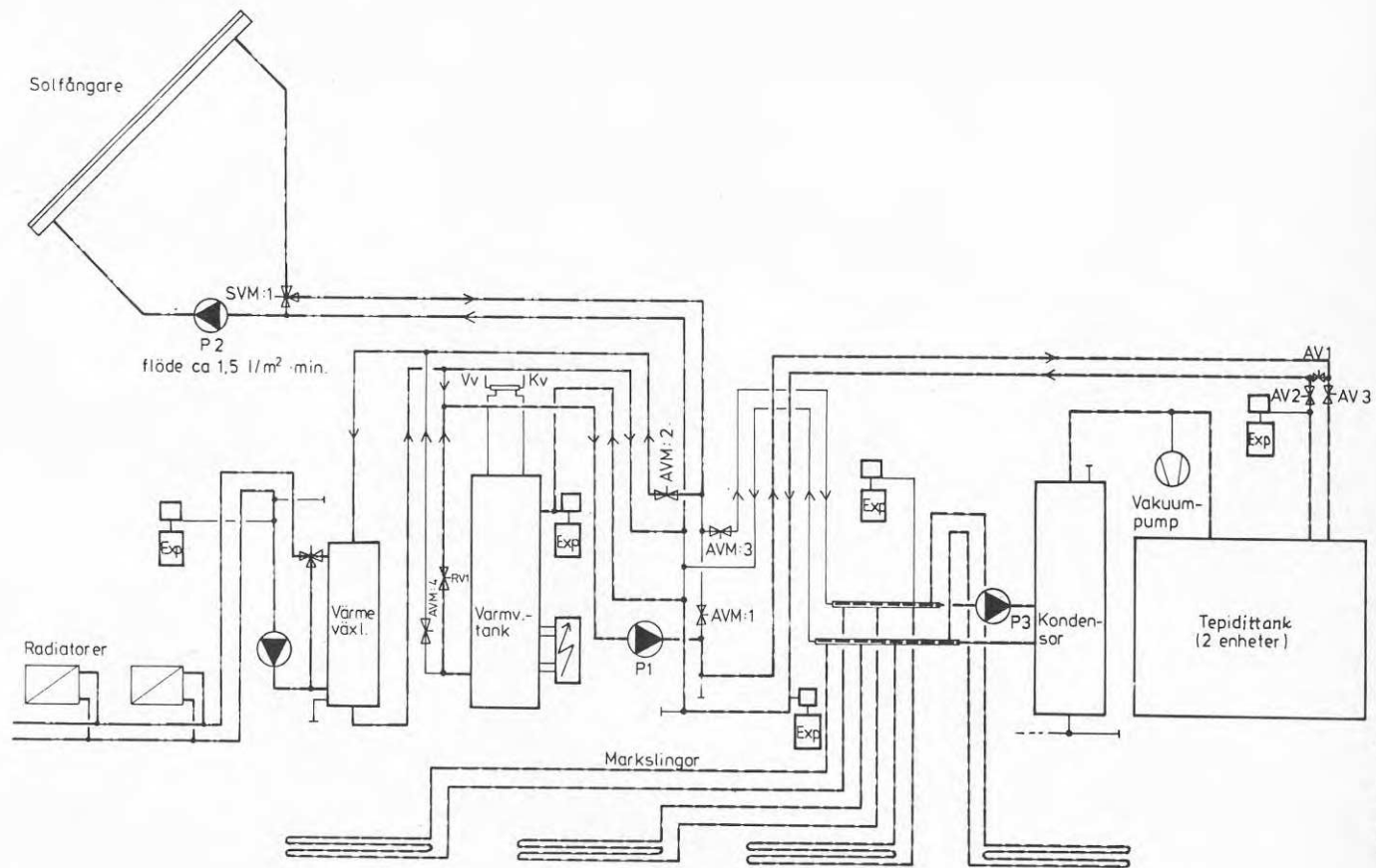


Fig. 4.6 a

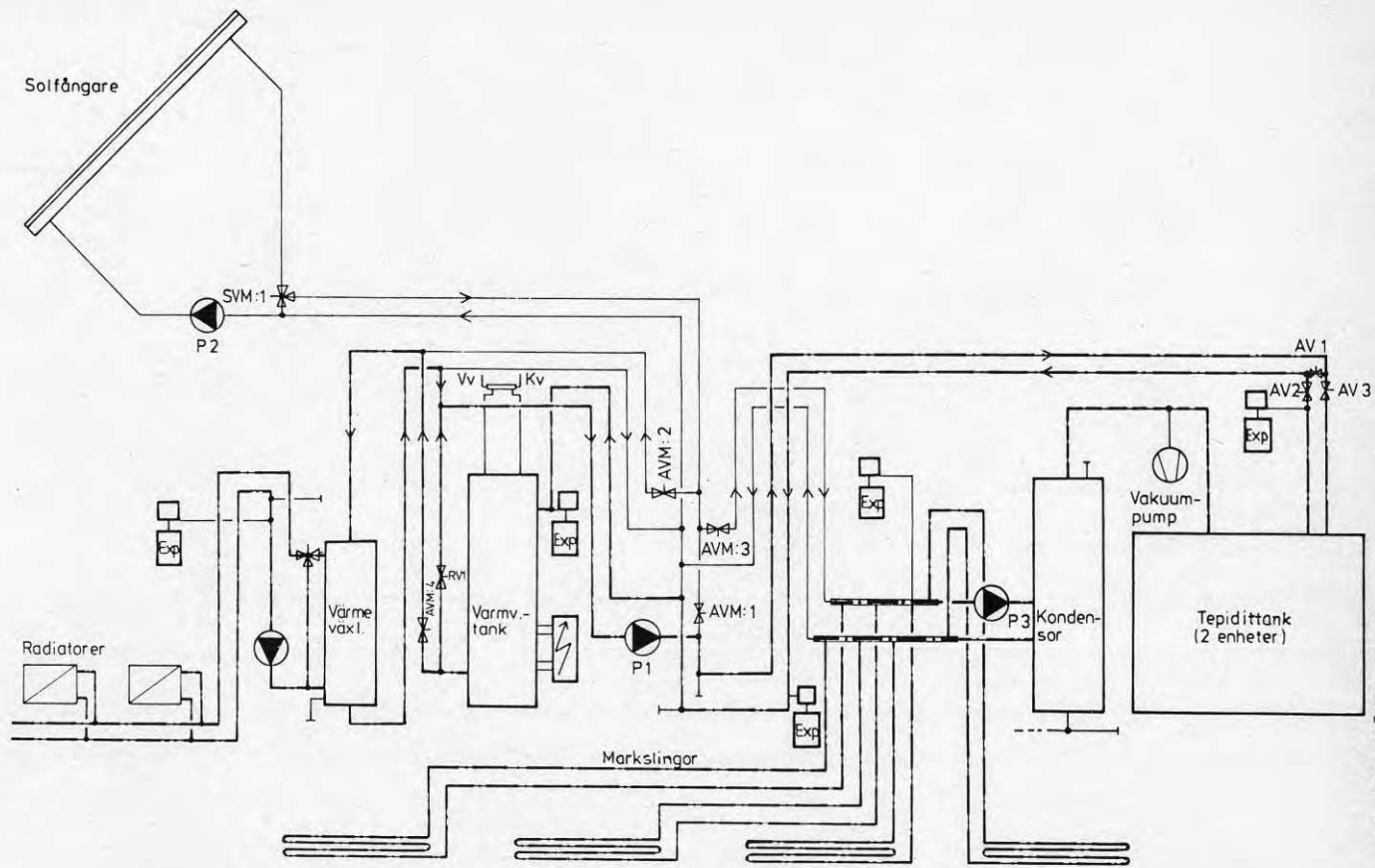



Fig. 4.7 a

ENERGIFLÖDE DRIFTFALL 1
ELPANNAN FÖR LADDNING AV
TEPIDUS

 FLÖDE MED HÖG
 TEMP NIVÅ, 60-80°C
 FLÖDE MED LÅG
 TEMP NIVÅ, 5-25°C

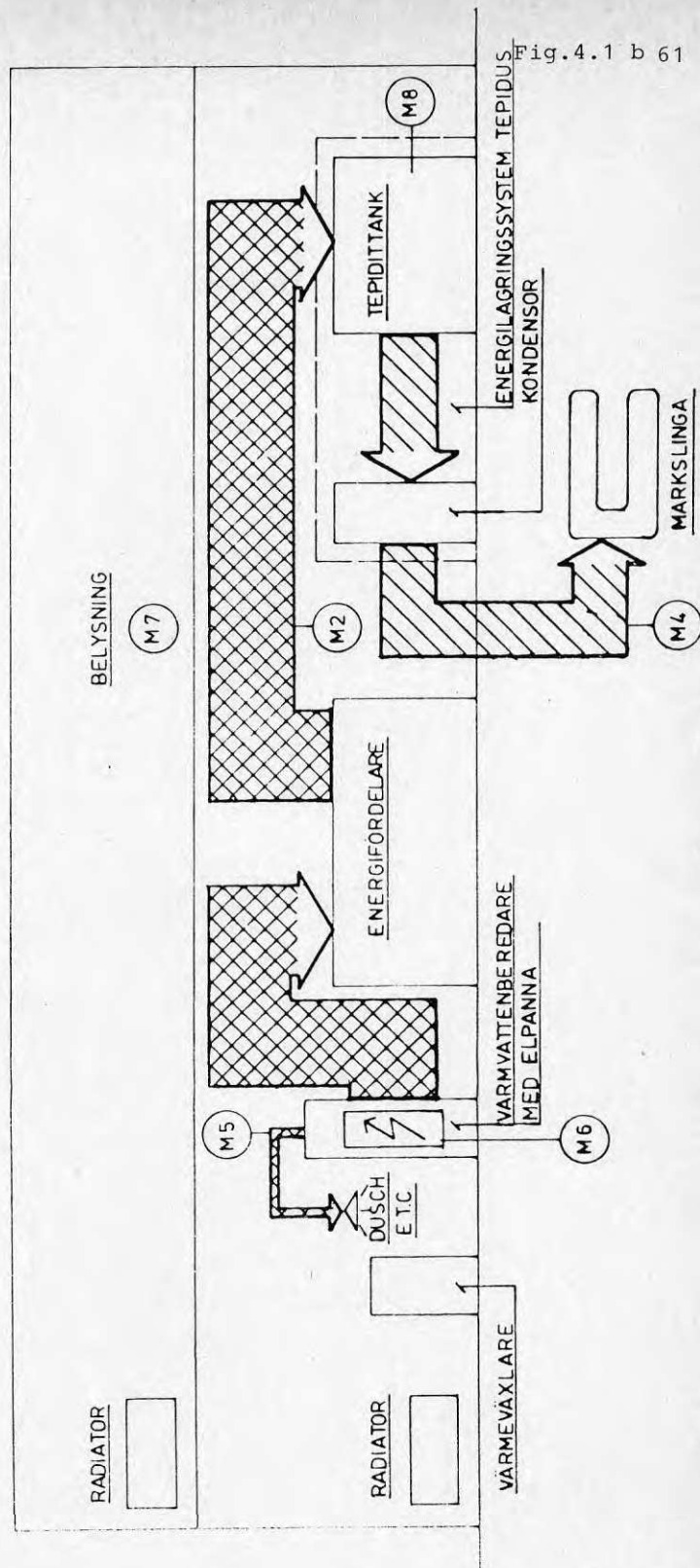





Fig.4.1 b 61

ENERGIFLÖDE, DRIFTFALL 2
 FÖR LADDNING AV
 TEPIDUS OCH UPPVÄRMNING

 FLÖDE MED HÖG
 TEMP NIVÅ, 60-80°C
 FLÖDE MED LÅG
 TEMP NIVÅ, 5-25°C
 M = ENERGMÄNGDSMÄTNING

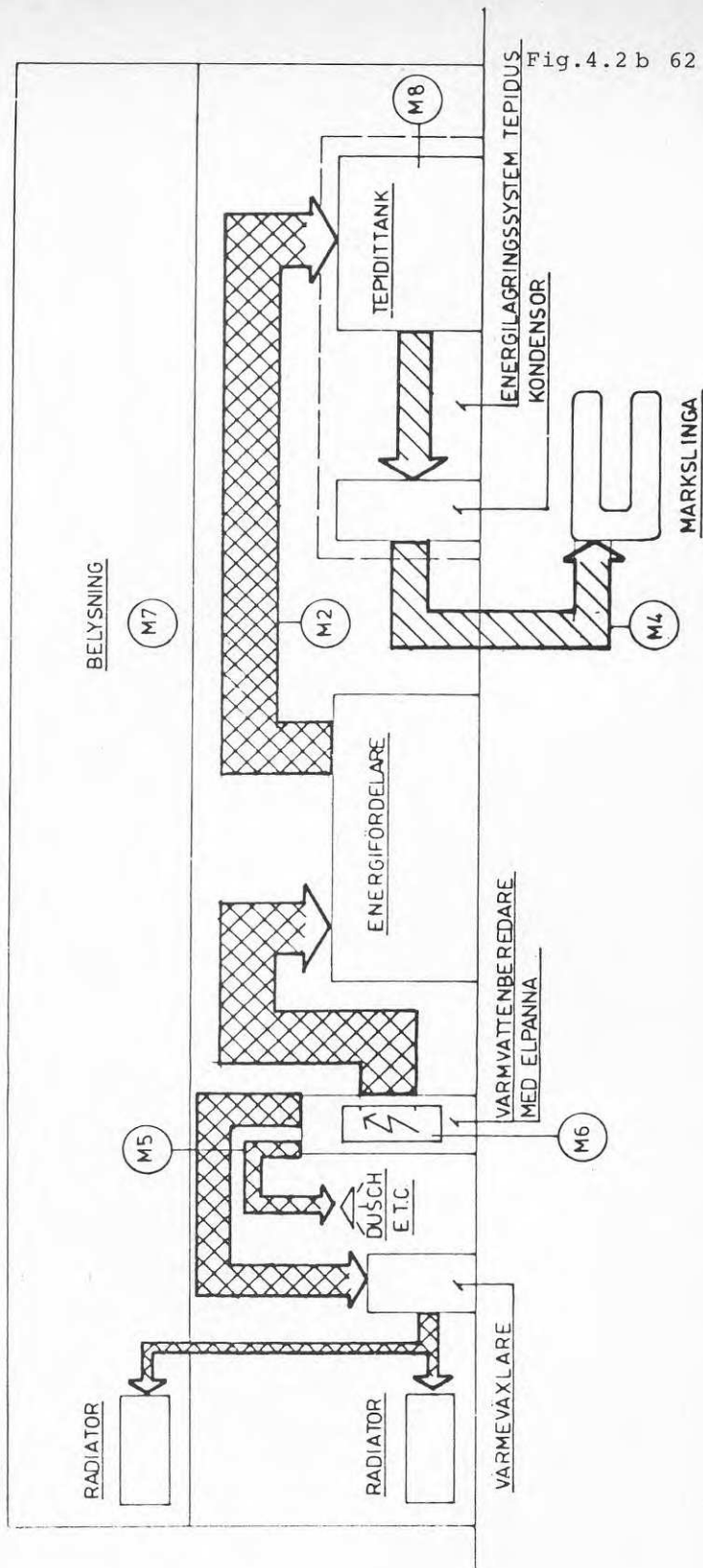




Fig. 4.2 b 62

ENERGIFLODE. DRIFTFALL 3
ELPANNAN FÖR
HUVUDUPPVÄRMNING

 FLÖDE MED HÖG TEMP. NIVÅ, 60-80°C
 FLÖDE MED LÅG TEMP. NIVÅ, 5-25°C
 M = ENERGIÄNGDSMÄTNING

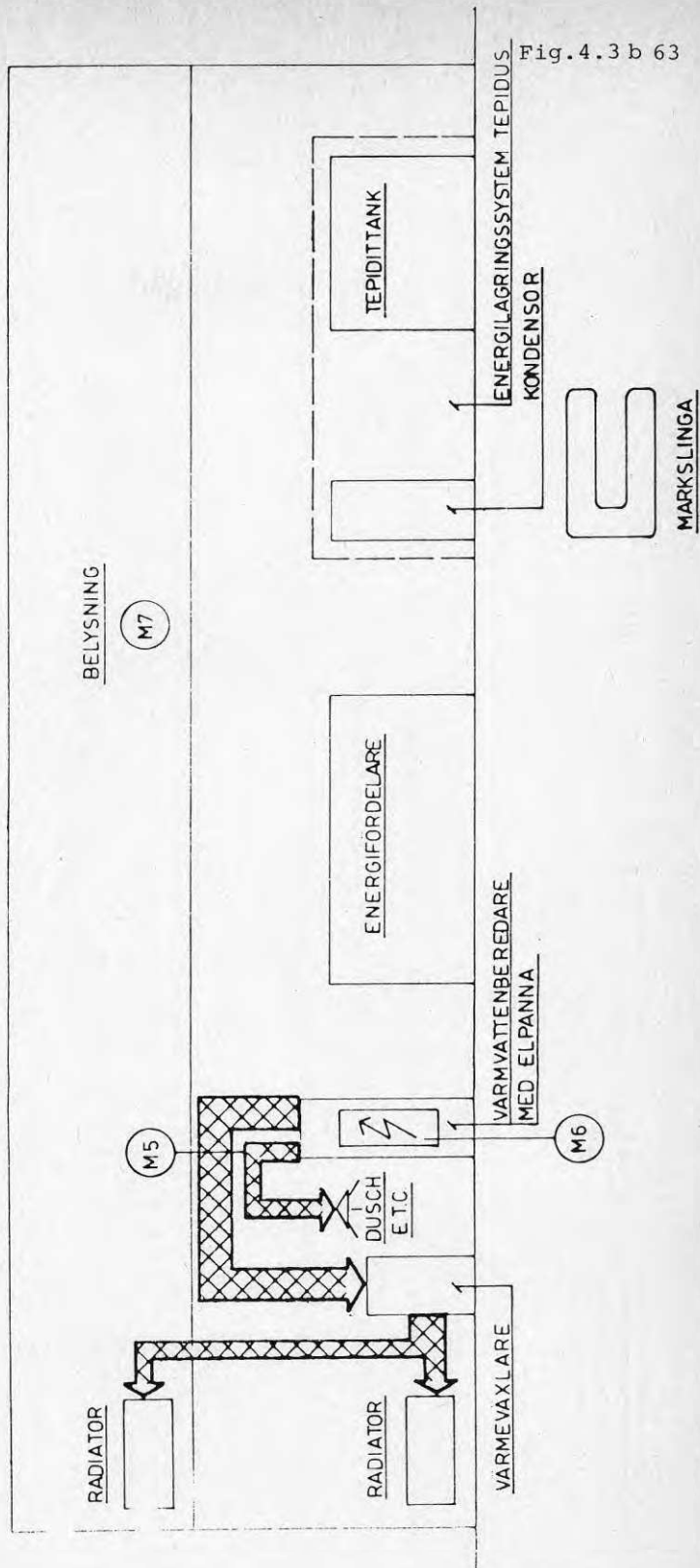

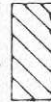


Fig.4.3 b 63

ENERGIFLÖDE DRIFTFALL 4
 SÖLFÄNGARE FÖR LADDNING
 AV TEPIDUS

 FLÖDE MED HÖG
 TEMP NIVÅ, 60-80°C
 FLÖDE MED LÅG
 TEMP NIVÅ, 5-25°C
 M = ENERGMÄNGDSMÄTNING

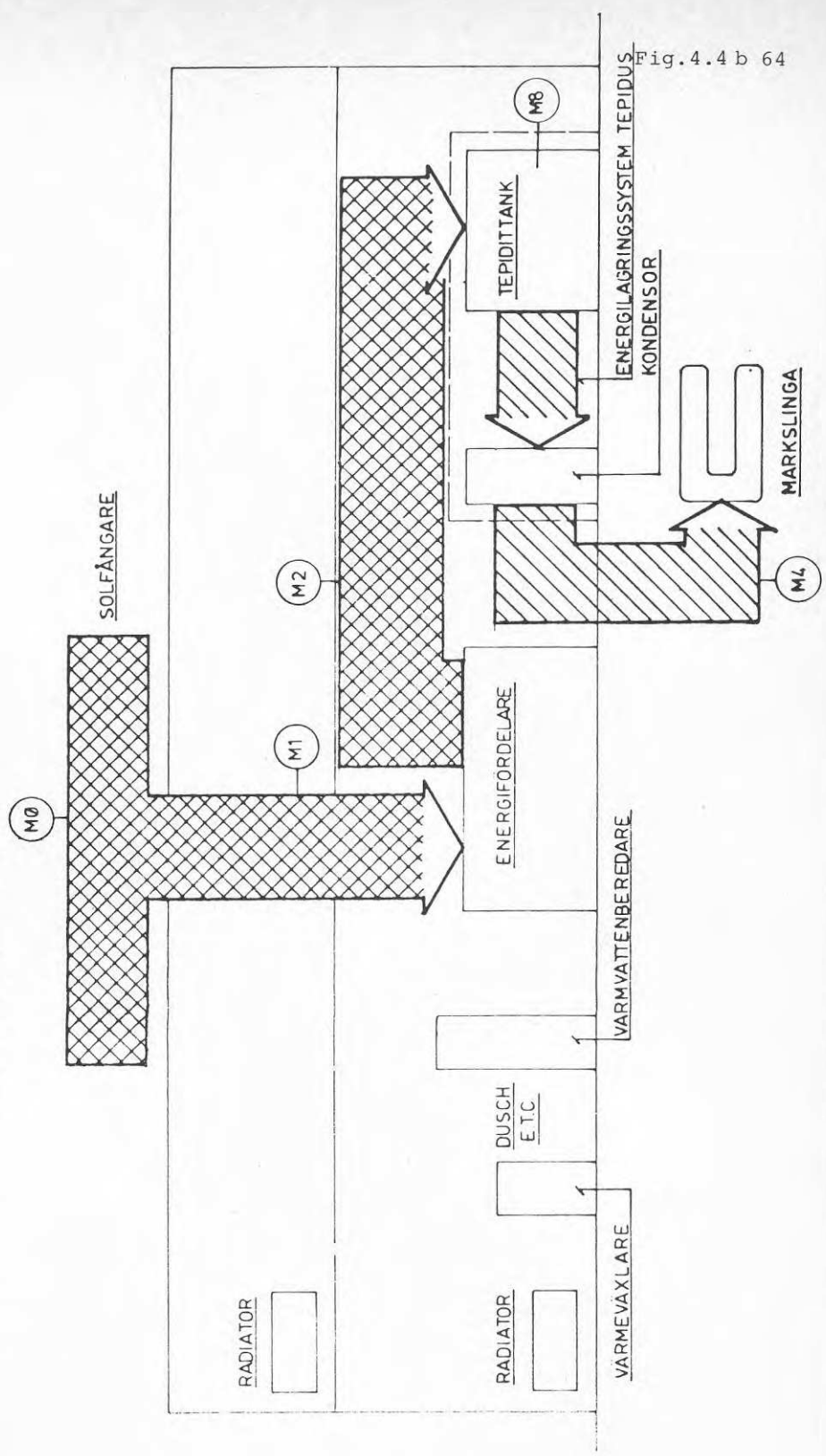




Fig.4.4 b 64

ENERGIFLÖDE DRIFTFALL 5
SOLFÄNGARE FÖR LADDNING
AV TEPIDUS OCH UPPVÄRMNING.

 FLÖDE MED HÖG
 TEMP NIVÅ, 60-80°C (M) = ENERGIMÄNGDSMÄTNING
 FLÖDE MED LÅG
 TEMP NIVÅ, 5-25°C

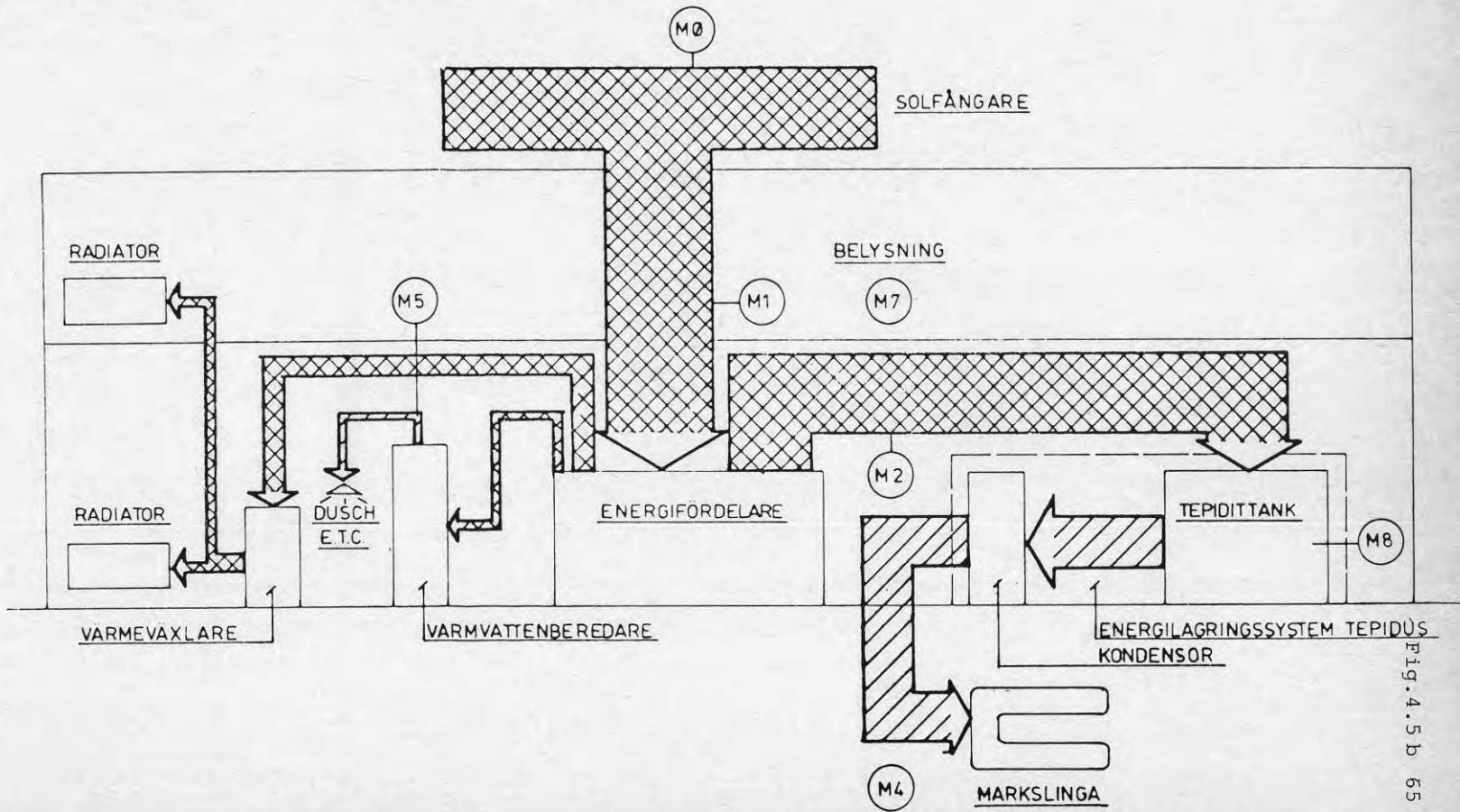



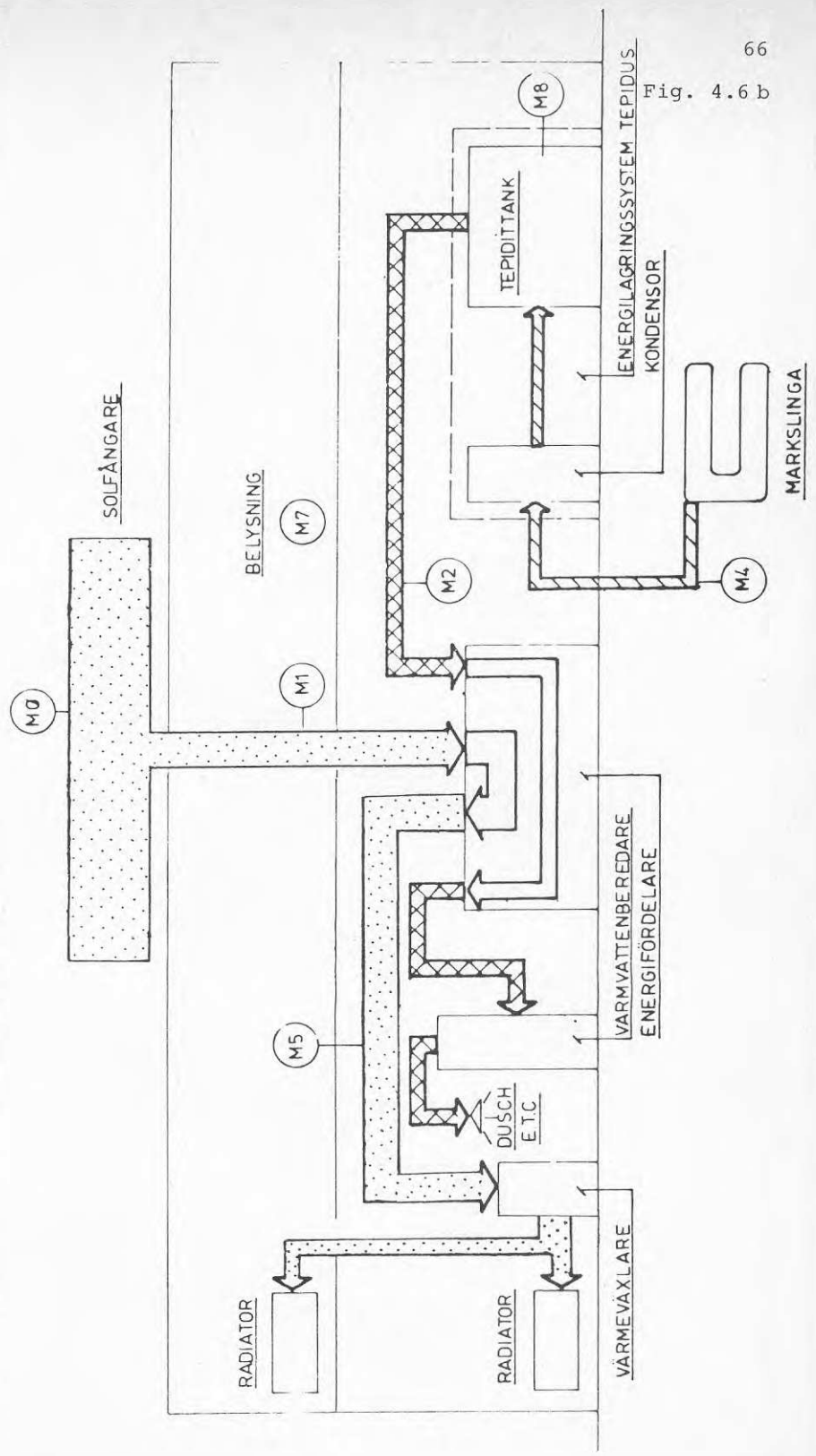


Fig. 4.5 b

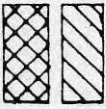
Fig. 4.6 b

-  FLÖDE MED HÖG
TEMP. NIVÅ, 60-80°C
 -  FLÖDE MED MEDEL
TEMP. NIVÅ, 40-60°C
 -  FLÖDE MED LÅG
TEMP. NIVÅ, 5-25°C
- M = ENERGIMÄNGDSMÄTNING

ENERGIFLÖDE DRIFTFALL 6
SOLFÄNGARE SOM
HUVUDUPPVÄRMNING



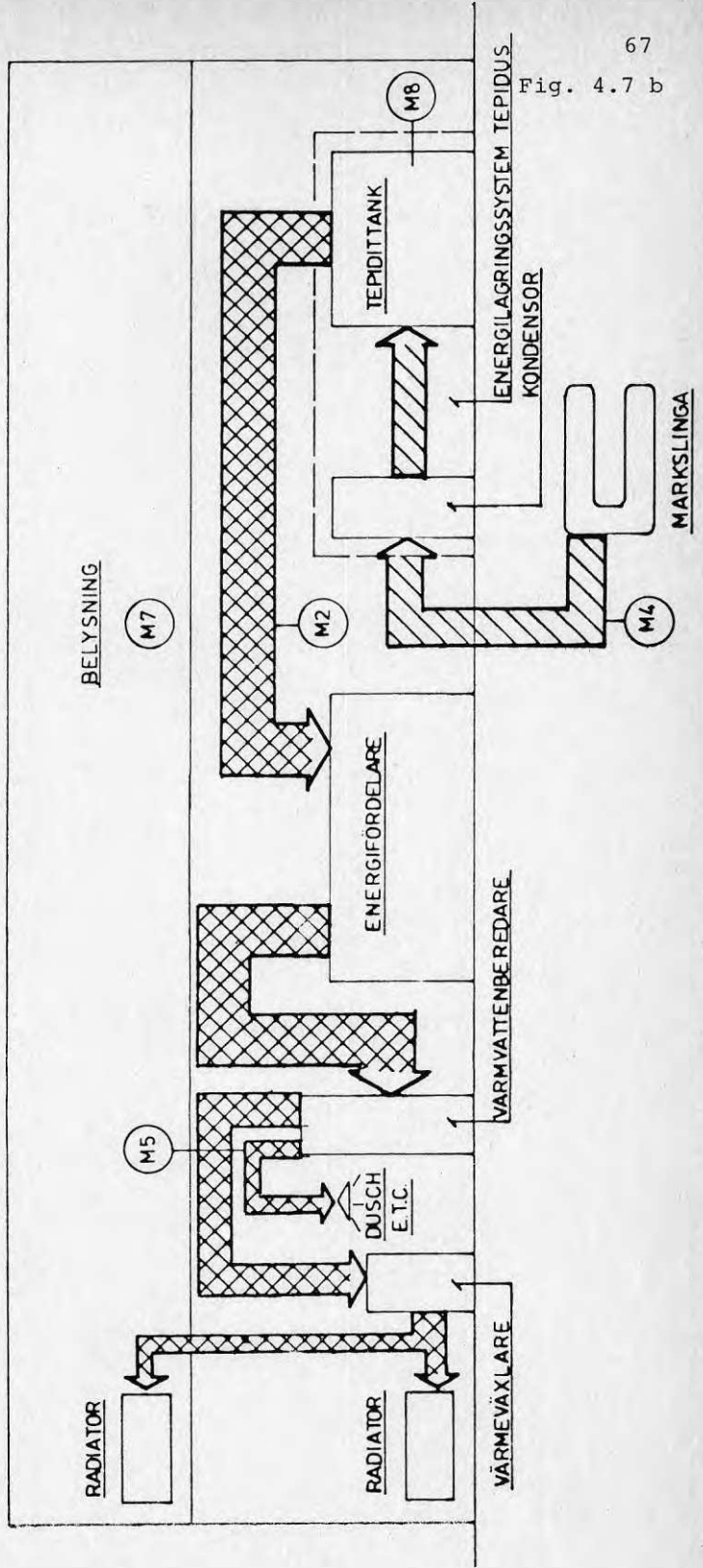
ENERGIFLÖDE DRIFTFALL 7
ENERGIACKUMULATOR TEPIDUS
 FÖR UPPVÄRMNING.



FLÖDE MED HÖG
 TEMP NIVÅ, 60-80°C
 FLÖDE MED LÅG
 TEMP NIVÅ, 5-25°C



ENERGIMÄNGDSMÄTNING



67
 Fig. 4.7 b

ENERGIFLÖDE DRIFTFALL 8




ENERGIACKUMULATOR TEPIDUS

FÖR UPPVÄRMNING SAMT

INFÖRANDE AV LÅGTEMPERERAD

SOLENERGI PÅ TEPIDUS-KONDENSORN

LÅGTEMP. SIDA.

-  FLÖDE MED HÖG TEMP. NIVÅ, 60-80°C
-  FLÖDE MED LÅG TEMP. NIVÅ, 5-25°C
-  M = ENERGIMÄNGDSMÄTNING

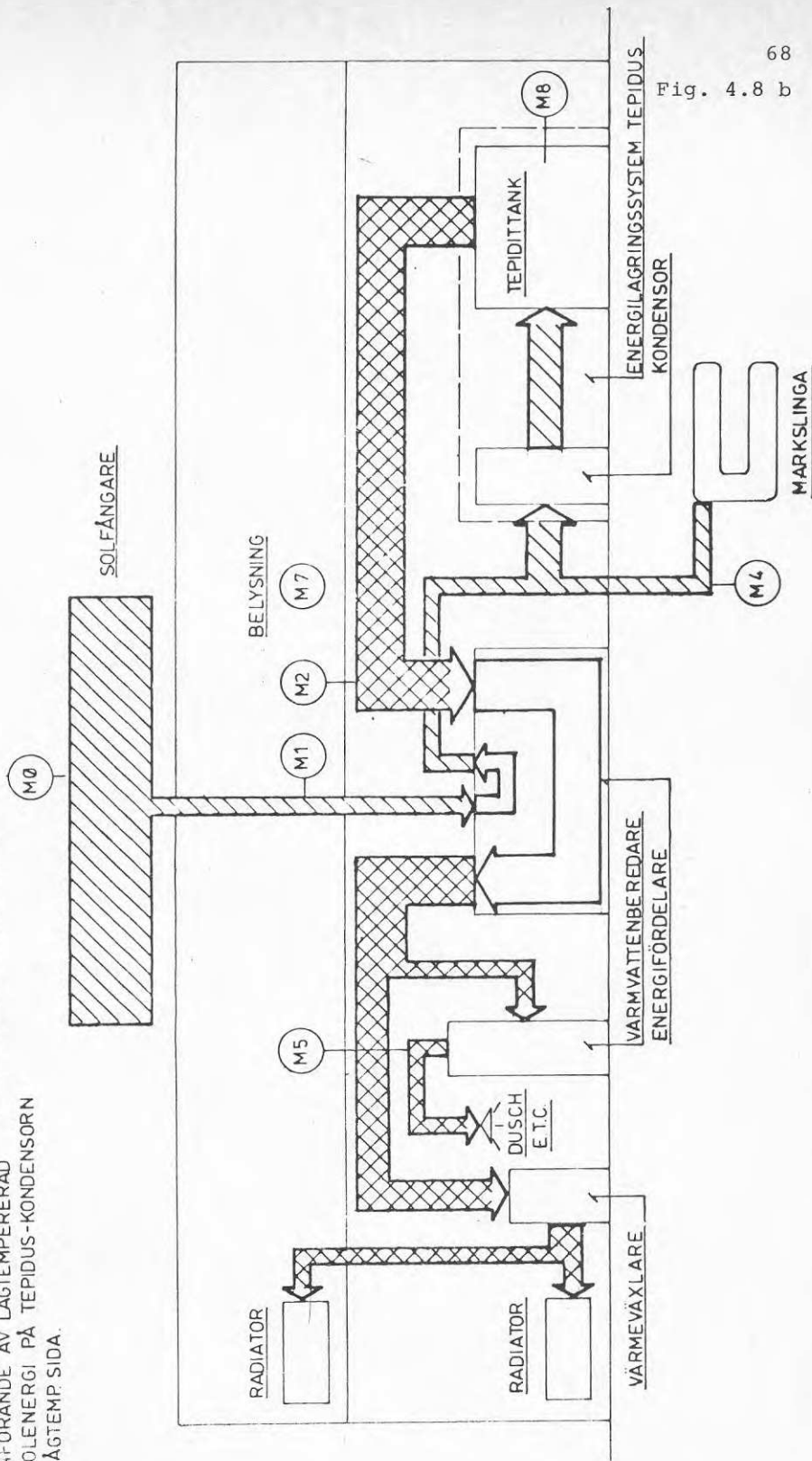


Fig. 4.8 b

4.2 Styrstrategi

Driftfallen 4-8 är att betrakta som ordinarie (energi från solfångaren eller energilagret) medan driftfallen 1-3 är avsedda för det läge då solvärmesystemet inte räcker till (elvärme).

Uppvärmningsbehov påkallas genom temperaturgivarna i rumsluften och i varmvattenberedaren. Temperaturen i varmvattenberedaren ska hållas mellan 45°C och 50°C men kan i driftfallen 1-3 och 7-8 nå högre värden, uppåt 95°C . Framledningstemperaturen till radiatorerna regleras utifrån önskad inställd rumstemperatur på en kontrollpanel samt aktuell rumstemperatur och utetemperatur.

Energi från solfångaren vid skilda drifttemperaturnivåer utnyttjas i de respektive driftfallen 4/5, 6 och 8. Tankegången är att under längsta möjliga tid utnyttja solenergin vid högsta möjliga temperaturnivå, som ju representerar den högsta energikvalitén. Om tröskelnivån på temperaturen i solfångaren underskrids för att positiv effekt ska avges, kopplas ett driftfall in som kräver lägre temperaturnivå i solfångaren i stället för att solfångardriften stoppas. Utvärderingen får visa huruvida det finns energimängder värda att utnyttjas under dessa driftfall. I tabellen 4.1 nedan framgår hur värmen från solfångaren utnyttjas i olika driftfall.

Tabell 4.1 Differentierat utnyttjande av solenergin i de olika driftfallen

Driftfall	Drifttemperatur	Utnyttjande
4/5	$60-80^{\circ}\text{C}$, max 85°C	Laddning av energilagrar och uppvärmning
6	$40-60^{\circ}\text{C}$	Värme till radiatorerna
8	$5-25^{\circ}\text{C}$, max 40°C	Värme till kondensorn

Systemritningarna i avsnitt 4.1 innehåller bl a de ventiler och pumpar som behöver manövreras vid övergång mellan de olika driftfallen. I tabell 4.2 har sammanställts lägen hos ventiler och pumpar i de olika driftfallen. Datorn styr alla dessa funktioner automatiskt.

Tabell 4.2 Lägen hos ventiler och pumphar. Tepidus Villa.

	Driftfall							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<u>Ventil</u>								
SVM:1	↓	↓	↓	↳	↳	↳	↓	↳
AVM:1	s	s	s	ö	ö	s	s	s
AVM:2	s	s	s	s	ö	ö	s	s
AVM:3	s	s	s	s	s	s	s	ö
AVM:4	s	ö	ö	s	s	s	ö	ö
AV 1	s	s	ö	s	s	s	s	s
AV 2	ö	ö	s	ö	ö	ö	ö	ö
AV 3	ö	ö	s	ö	ö	ö	ö	ö
RV 1	ö	ö	s	s	ö	ö	ö	ö
SVM:2	↖(s)	r	r	↖(s)	r	r	r	r

<u>Pump</u>								
P 1	till	regl.	regl.	regl.	regl.	regl.	till	till
P 2	från	från	från	till	till	till	regl.	till
P 3	till	till	från	till	till	regl.	till	från
P 4	från	regl.	regl.	från	regl.	regl.	regl.	regl.

Förklaringar

SVM:X	Shuntventil, motordriven
AVM:X	2-läges avstängningsventil, motordriven
AV	2-läges avstängningsventil, manuell
RV	Regler- och avstängningsventil, manuell

Ventil-
lägen: ö = öppen s = stängd r = regleras

5 UTVÄRDERING OCH DRIFT AV LAGRINGSSYSTEMET

5.1 Inledning

Mätningarna i villaprojektet är mycket omfattande, med tillgång till ca 100 temperaturmätpunkter, 5 flödesmät-punkter och ca 10 tryckmätpunkter.

Mätprogrammet är indelat i 2 skilda system.

Del 1 kallas TESTPROGRAM och omfattar de mätningar som direkt rör Tepidussystemet d v s alla temperaturer i energiackumulatorerna, in- och utgående vattentemperaturer i energiackumulatorernas och kondensator/förångarens värmeväxlare. Flödesmätningar som berör energiflöden till och från Tepidussystemet. Tryckmätningar etc.

Alla registreringar under TESTPROGRAMMET sker kontinuerligt på flerkanalskrivare.

Del 2 omfattar energiflöden i huset och vid solfångarna, solinstrålningen, utetemperaturer m m och denna del kallas MÄTPROGRAMMET. Mätningarna under denna del sker på kassett och beskrivs närmare under avsnitt 6.

Testprogrammet sköts helt av Tepidus AB medan mätprogrammet lagts upp i samråd med institutionen för byggnadsteknik (Valdis Girdo) och Mätcentralen (MCE) vid KTH, vilka också skall ansvara för insamlandet av mätvärden, sammanställning och utvärdering. I och med denna uppdelning kan TEPIDUSSYSTEMETS utvärdering fortgå oberoende av övriga mätningar.

Mätprogrammets utrustning har installerats i september 1981, och inkörning pågår.

Registreringar från testprogrammet finns från uppstart av anläggningen 1980, och redovisas under del 7.

5.2 Testparametrar

De storheter, som på ett praktiskt sätt karakteriserar ett lagringssystem av TEPIDUS-typ är systemets specifika effekt och dess urladdningskaraktäristika.

Spec effekten P_s definieras såsom den från ackumulatortorn uttagna effekten uttryckt i watt dividerat med antalet kg torr ackumulatormassa (i laddat tillstånd) och även dividerat med den temperaturskillnad som råder mellan å ena sidan ackumulatorns temperatur i helt obelastat tillstånd och å andra sidan temperaturen hos utgående vatten från värmeväxlarna i ackumulatorsystemen vid den aktuella belastningen. P_s har dimensionen $W/kg \cdot ^\circ C$.

Ett kg torr natriumsulfid har en potentiell värmeproduktionskapacitet på ungefär 1 kWh. Om den uttagna värmeeffekten antages vara 1 W/kg vid en temperaturavvikelse på $1^\circ C$ från jämvikt, är systemets spec effekt $1 W/kg \cdot ^\circ C$

och urladdningstiden är 1000 h, d v s ca 40 dygn. Om ett större temperaturfall kan godtagas, kan effekten hos systemet ökas i motsvarande grad. P_s som ju är direkt proportionellt mot effekten beror bl a av makro- och mikrokanalstrukturen i den aktiva natriumsulfidmassan och också av urladdningsgraden. P_s minskar med ökad urladdningsgrad.

Akkumulatorns effekt vid såväl laddning som urladdning kan beräknas på tre sätt:

1. Medeleffekt (P)

Erhålles ur kondenserad resp förångad vattenmängd per tidsenhet och är ett direkt mått på den energi som lagrats i eller avgivits från saltmassan.

2. Momentan effekt ur ($t_{in} - t_{ut}$)

Beräknas ur temperaturskillnad mellan in- och utgående värmeväxlarvatten i ackumulatort samt flödets storlek. Detta skall korrigeras för termiska förluster till omgivningen

3. Momentan effekt ur ($t_{oin} - t_{out}$)

Beräknas ur temperaturskillnad mellan in- och utgående värmeväxlarvatten i kondensor/förångare samt flödets storlek. Skall korrigeras för termiska förluster till omgivningen.

En ackumulators urladdningskurva beskriver hur ackumulatorns temperatur eller hellre temperaturen hos det utgående varmvattnet t_{ut} minskar med ökad urladdningsgrad vid konstant belastning. I praktiken innebär konstant uttagen effekt en komplikation vid mätningar. Det är enklare att t_{ex} använda en luft-vatten-värmeväxlare för bortförsel av den frigjorda värmeenergin, varvid temperaturen hos den kylande luften är i stort sett konstant. Eftersom ackumulatorns temperatur sjunker långsamt med ökad urladdningsgrad minskar därvid den uttagna värmeeffekten något under urladdningsförloppet. Samtidiga temperaturmätningar på valda ställen i några ackumulatorers massa är nödvändiga för att kunna studera ång- och värmetransport inom massorna samt därvid kunna observera eventuella förändringar i massan.

Övriga delar av anläggningen, vars funktioner bör följas upp, är förångaren/kondensorn och jordslingorna. Förångaren/kondensorns funktion kan vid förångning komma att påverkas av salter och föroreningar i kommunalvattnet. Avdunstning av 7 ton vatten ger ca 1,5 kg salter varav möjligen en del mer eller mindre olösliga substanser, vilka kan påverka förångaren/kondensorns funktion. Kontinuerlig mätning av ångtrycket i behållarens topp och därigenom bestämning av förångaren/kondensorns "fiktiva" temperatur, d v s ångans temperatur under driftförhållanden bör kunna ge indikation om ökat temperatur- och tryck-

fall p g a ytbeläggning. Med jämna mellanrum skall behållare och värmeväxlare sköljas med vatten och avtappning skall ske. Vattnet i behållaren, skall under urladdningsdelen av en cykel tömmas när 80 % av det tillförda vattnet avdunstat.

Sammanfattningsvis skall följande mätningar och registreringar genomföras, i första hand under en full laddningsurladdningscykel.

Akkumulatorerna

Kontinuerlig registrering av temperaturen hos in- och utgående värmeväxlarvatten (t_{in} och t_{ut}). Mätning av vattenflödet.

Kontinuerlig registrering av temperatur i ackumulatormassan i valda tankar. Mätning skall ske kontinuerligt på minst 2 tankar, belägna på olika ställen för att se eventuell inverkan av långa ångrör till långt ut belägna ackumulatorer, jämfört med nära belägna i förhållande till evaporator/kondensor. Utföra värmeflödesmätningar på isolation med värmekamera samt temperaturen i lokalen där ackumulatören är installerad.

Förångare/kondensor

Kontinuerlig registrering av temperaturen t_{0in} hos ingående värmeväxlarvatten samt skillnaden ($t_{0in} - t_{0out}$). Mätning av vattenflödet.

Provtagning av kondenserat vatten för analys samt även av återstående, saltanrikat vatten efter förångning efter visst antal påfyllningar.

Utfall av de preliminära mätningarna kan studeras i del 7 (driftsresultat).

6 MÄTPROGRAM FÖR UTVÄRDERING AV SYSTEMET INTEGRERAT I HUSET

6.1 Inledning

Mätprogrammet genomförs i samarbete med institutionen för byggnadsteknik och Mätcentralen (MCE) vid KTH i Stockholm. Mätutrustningen har konstruerats och installerats av MCE. Utrustningen installerades under augusti 1981.

6.2 Teoretiska beräkningar av prestanda hos solvärmesystemet

I samband med valet av huset i Jakobsberg till experimentobjekt gjordes vid institutionen för byggnadsteknik, KTH beräkningar av tillgodogjorda energimängder och försörjningsgrader samt erforderliga solfångarareor och energilagringsskapaciteter för några varierande förutsättningar. Syftet med dessa beräkningar var att undersöka vilka storleksordningar hos solfångare och energilager som var aktuella, hur resultaten skiljer sig för solfångare med olika effektivitetskaraktäristika och vilken inverkan en halvering av husets energibehov genom olika besparingsåtgärder har på solvärmesystemets dimensioner. Säkra uppgifter om husets energibehov i befintligt läge saknas och kan därför endast uppskattas till drygt 20 000 kWh under ett normalår.

Tabell 6.1 Beräknade prestanda hos olika solfångarkonstruktioner. Instrålad energi, årssumma = 1217 kWh/m²

Förklaringar

- A1 andel absorberad direkt strålning, nära vinkelrätt infall
 A2 andel absorberad diffus strålning
 k solfångarens förlustkoefficient, W/m²°C
 θ_{vi} temperatur hos vattnet vid absorbatorns inlopp, °C

Alt	Typ	A1	A2	k	θ_{vi}	kWh/m ²
1	Vakuumsör, glesa med reflektor	0,62	0,50	0,6	60	544
2	"-"	0,63	0,50	1,1	60	486
3	"-"	0,63	0,50	0,6	80	513
4	"-"	0,63	0,50	1,1	80	441
5	Konv. 2 glas, sel. sv. abs.	0,75	0,67	3,0	60	459
6	"-"	0,75	0,67	3,0	80	370
7	Konv. 2 glas, låg järnhalt, antireflex, sel. sv. abs.	0,87	0,80	3,0	60	579
8	"-"	0,87	0,80	3,0	80	483
9	Vakuumsör, tätt utan reflektor	0,79	0,70	1,8	60	598
10	"-"	0,79	0,70	1,8	80	530

Övriga förutsättningar

Klimatdata - lufttemperaturer normalvärden för Stockholm
 molnighet normalvärden för Stockholm
 strålningsgeometri för breddgrad 60°N

Solfångarlutning 45° mot horisontalplanet, vänd mot söder

Markreflektionsfaktor 0,20

Horisontavskärmning 10° över horisonten

Flödesfaktor för solfångare (F_R) 0,95

Beräkningar har gjorts för fem olika antagna solfångarkonstruktioner och två drifttemperaturer (representerade av vätsketemperaturen vid solfångarens inlopp). Alternativen framgår av tabell 6.1 i vilken även återfinns beräknade infångade energimängder under året.

För beräkning av tillgodogjorda energimängder och försörjningsgrader har antagits ett årligt energibehov för huset i befintligt utförande till 21 400 kWh samt efter vissa möjliga energibesparande åtgärder till 10 500 kWh. Beräkningar har gjorts för ett antal olika solfångarareor och energilagringsskapaciteter. För att nå försörjningsgraden 100 % erfordras i stort sett oberoende av vald solfångarkonstruktion och driftstemperatur energilagringsskapaciteten 12 000 kWh vid årsenergibehovet 21 400 kWh och 5 000 kWh vid årsenergibehovet 10 500 kWh. Helt naturligt minskar det relativa säsongslagringsbehovet vid en sänkning av årsenergibehovet eftersom en ökad andel av energibehovet infaller då under sommarhalvåret. Erforderliga solfångarareor för 100 % försörjningsgrad i de olika alternativen framgår av tabell 6.2.

Tabell 6.2 Beräknade solfångarareor för 100 % försörjningsgrad

Alt	Årsenergibehov, kWh	
	10 500 m ²	21 400 m ²
1	20	39
2	22	44
3	21	42
4	24	49
5	23	47
6	28	58
7	18	37
8	22	44
9	18	36
10	20	41

Den solfångarkonstruktion som man blev tvungen att välja motsvarar de beräknade alternativen 5 och 6. Inga energibesparande åtgärder har vidtagits i huset. Erforderlig solfångararea är ca 50-55 m² och energilagringsskapacitet ca 12 000 kWh motsvarande en lagringsvolym av ca 24 m³. På grund av platsbrist kunde inte dessa dimensioner uppnås. Solfångararean blev 40 m² och energilagringsskapaciteten ca 7 000 kWh. Enligt beräkningar skulle dessa dimensioner ge en försörjningsgrad av ca 70 %.

6.3 Experimentella undersökningar

Undersökningen avser följande moment.

0. Formulering av målsättning med den experimentella undersökningen för den del som institutionen deltar i. Noggrannhetskrav.
1. Plan över mätgivare. Ritningar, scheman, beskrivningar.
2. Plan över mätsignaler från mätgivare och överföringsfunktioner till sökta mätstorheter.
3. Bearbetning av primära mätvärden parallellt med avläsning av mätgivare med hjälp av lokal dator. Konstruktion av datorprogram för detta. Standardrutiner som framtagits av MCE (Mätcentralen) har utnyttjats.
4. Ackumulering av primära mätvärden, direkta och härledda. Normalt ackumuleringsintervall 1 timme.
5. Överföring av ackumulerade värden som summor eller medelvärden till MCE datorsystem för lagring och senare bearbetning. Beskrivningsfil enligt MCE-systemet.
6. Rimlighetskontroller av lagrade värden.
7. Direkt presentation av lagrade värden i diagramform med hjälp av standardplottningsprogram.
8. Sammanställningar av resultat, energibalansberäkningar, summor, medelvärden, varaktigheter m m med hjälp av speciellt för undersökningen utarbetat utvärderingsprogram.
9. Presentation av resultatet i koncentrerad form relaterat till klimatförhållanden m m. Detaljerade resultat i bilagor. Feluppskattningar.
10. Jämförelser av de experimentellt erhållna resultaten med teoretiska beräkningar med så lika förutsättningar som möjligt i kontrollsyfte.

Här följer en förkortad beskrivning av planeringsdelen i detta arbete. Målsättningen med undersökningen har beskrivits tidigare.

I en enkel schematisk systembeskrivning finns de viktigaste energiflödena inlagda och likaså till systemet anslutna energimätare (fig 6.1)

Mätpunkternas placering i systemet finns återgiven i en förenklad version av huvudkonstruktionsritningen (fig 6.2).

- M ϕ - M5 värmemängdsmätare för vätska
- M ϕ och M1 har gemensam vätskeflödesmätare
- M3 finns inte (har utgått). ersätts av M1 vid behov
- M6, M7 elenergimätare
- M8 värmeflödesmätare för värmetransmission

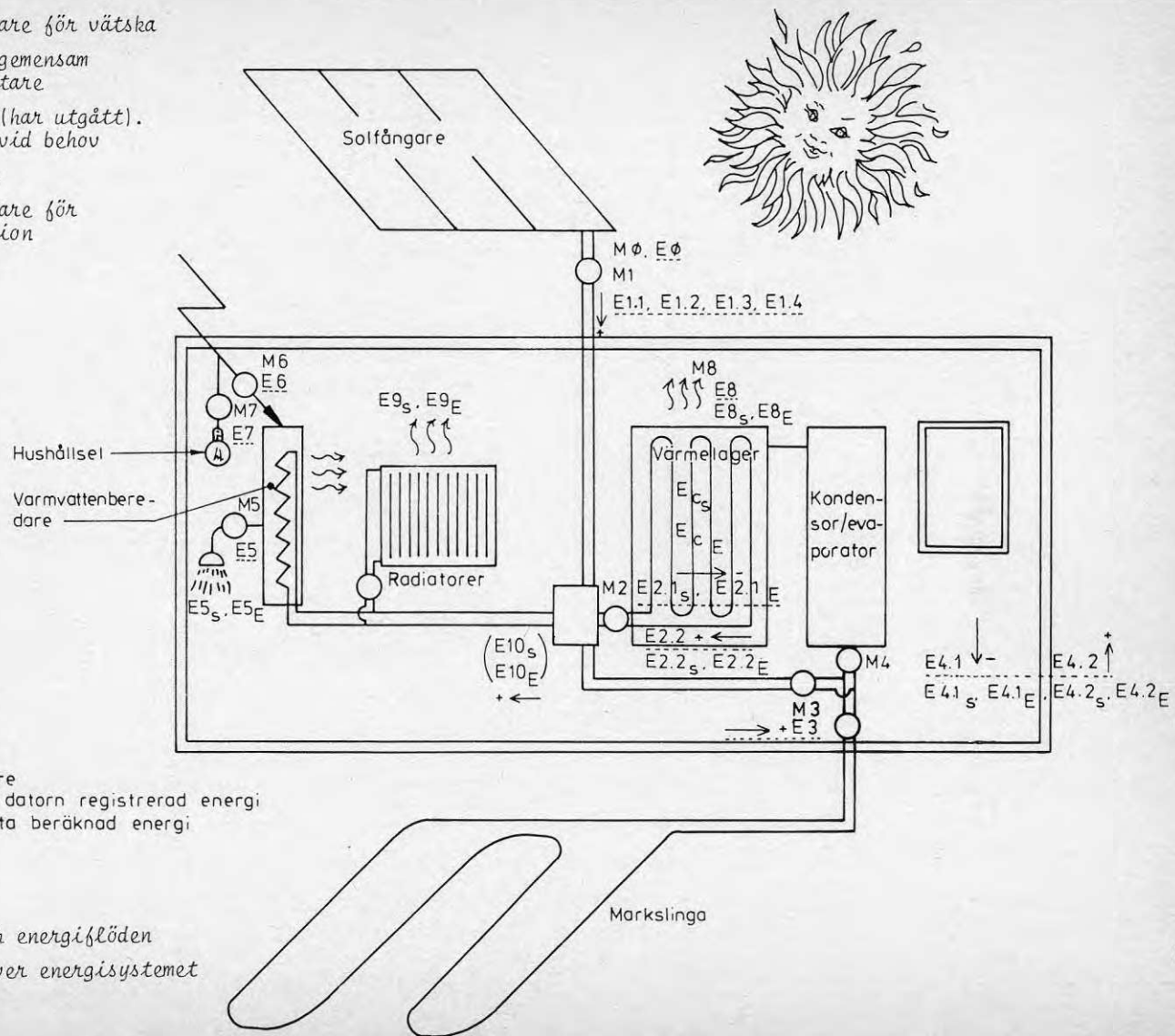


Fig. 6.1 Energimätare och energiflöden
Principschema över energisystemet

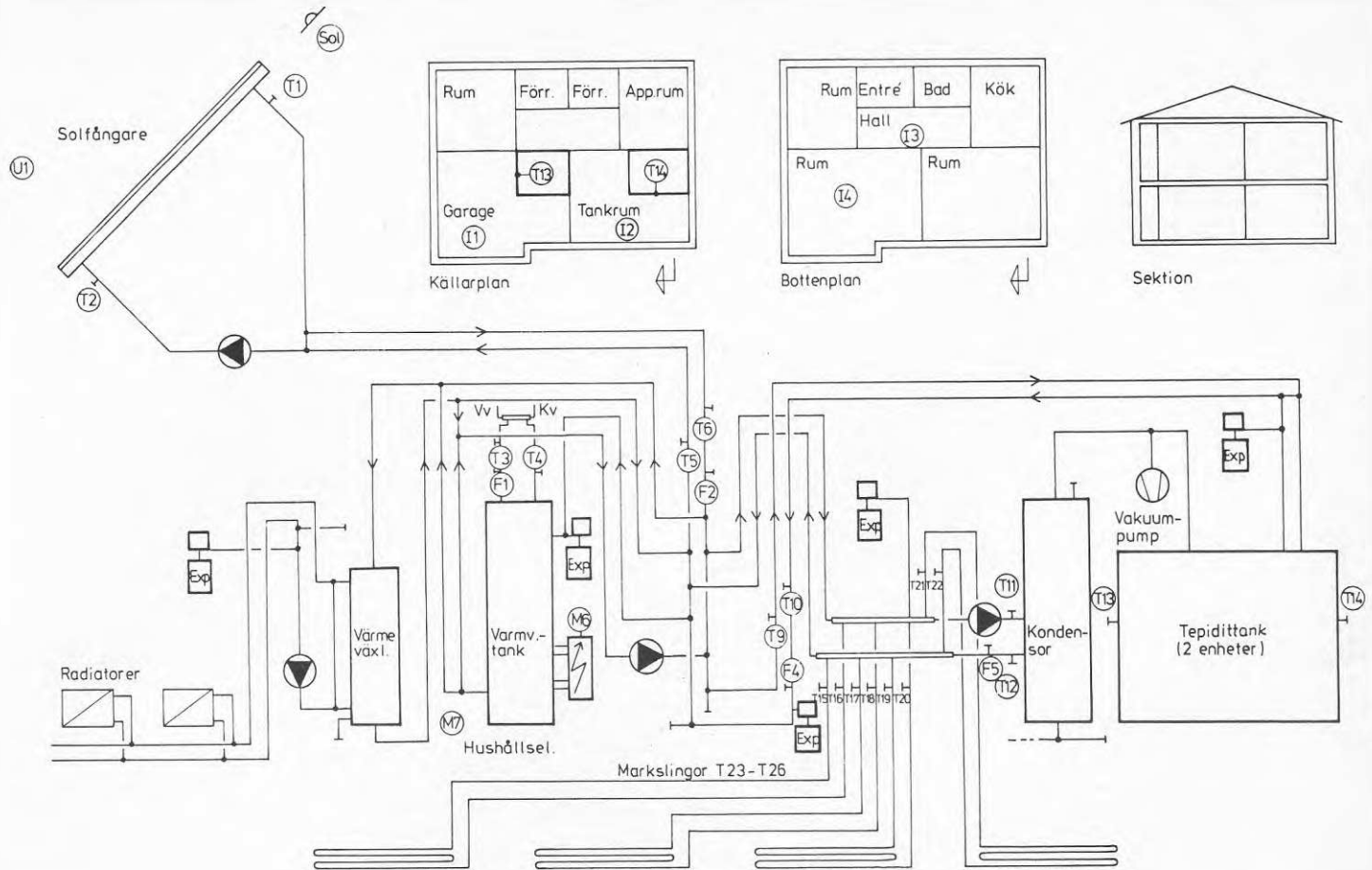


Fig. 6.2 Mätpunkter med beteckningar i försökshuset.

Mätningarna genomförs med ett avancerat mätsystem beskrivet i avsnitt 6.5.

Datorprogram för insamling av primära mätvärden och för primär databehandling har konstruerats vid MCE.

6.4 Utvärdering av lagrade mätvärden

Lagrade mätvärden kan presenteras dels direkt i form av kurvor (standardplottningsprogram finns på MCE) dels i form av bearbetade data från ett speciellt utvärderingsprogram.

Direkt presentation av mätvärden i kurvform

Avser: temperaturförlopp

vätskeflöden

energier

Syfte: kontroll av förlopp i tiden

upptäcka "oroliga" förlopp och felaktiga nivåer som tecken på driftstörningar i energisystemet eller mätsystemet.

Presentation av mätresultat efter bearbetning i utvärderingsprogram

Summor och medelvärden för valfritt långa tidsperioder från 1 timme. Energibalansberäkningar genomförs dock för kortaste tidsperioden 24 timmar.

Avser:

Syfte:

Förteckning över driftfallsändringar i tiden

Underlag för val av tidsperioder som utvärderingsberäkningar ska omfatta vid specialstudier av något driftfall

Redovisning av hur ofta, hur länge och i vilka situationer olika driftfall förekommer

Energimängder

Söka visa solvärmesystemets effektivitet och förmåga att ge hög årsförsörjningsgrad. Särskilja konsekvent energimängder med ursprung från solenergi resp elenergi. Särskilja uppmätta energimängder för olika driftfall för att från energisynpunkt kontrollera hur väl de olika driftfallen fungerar (reglering, komponenter m m).

Energibalanser^{x)} (baserade på 24 h-värden^{x)})

Drifttider för de olika driftfallen

x) Dygn och inte timme därför att varmvattenberedarens värmelagringskapacitet inte finns med i värmebalansen - timbalanser skulle kunna medföra orimligheter som att rumsluften värmer varmvattnet vid starkt varmvattenuttag.

Avser:

Temperaturer med varaktigheter (vissa baserade på momentana avläsningar, andra på timmedelvärden)

Syfte:

Kontroll av klimat- och driftförhållanden. Energisystemets prestanda ska redovisas mot bakgrund av aktuella yttre och inre genomsnittliga klimatförhållanden. (På platsen registreras temperaturer ute och inomhus samt solinstrålning. Andra data som vindhastighet m m tas från närmast belägna mätstationer). Speciellt studeras trögheten i värmelagret att nå upp till laddningstemperatur till följd av stor värmekapacitet.

Stora spridningar hos systemtemperaturer kan bero på att något inte fungerar så som avsett.

Vätskeflöden

Kontroll av vätskeflödens nivå och konstans. Variationer och glidningar kan bero på driftstörningar i energisystemet eller mätsystemet.

Koefficienter i ekvationen för solfångarens effektavgivning

Kontroll av solfångarens effektavgivningsförmåga för jämförelse med kalkylerad. Förändringar i tiden genom åldring m m kan iakttas.

Solfångarens drifttemperatur d v s inloppstemperaturen till solfångaren under verklig drifttid

Indata vid jämförande teoretisk beräkning av solvärmesystemets prestanda

6.5 Mätsystemet

Den mättekniska utrustning som erfordras tillsammans med de olika mätgivarna hör till Energimätcentralen (MCE) vid KTH. Vid MCE finns dessutom utrustning för bearbetning och utvärdering av mätvärden. Av fig 6.3 framgår den utrustning som utnyttjas i detta projekt.

Ledningar från mätgivarna ansluts till ett plintställ på ett systematiskt och överskådligt vis. Analoga mätsignaler registreras med en digitalvoltmeter och digitala mätsignaler med en pulsräknare. Voltmetern kopplas till olika analoga kanaler på plinten via en avsökningsenhet. Pulsräknaren har ett antal olika kanaler som är fast kopplade till digitala kanaler på plinten. Styrningen av avsökningsenheten och avläsningar av voltmeter och pulsräknaren sker med en bordsdator. I bordsdatoren sker även viss bearbetning av mätvärden, ackumulering av mätvärdesummor m m samt överföring av ackumulerade summor och me-

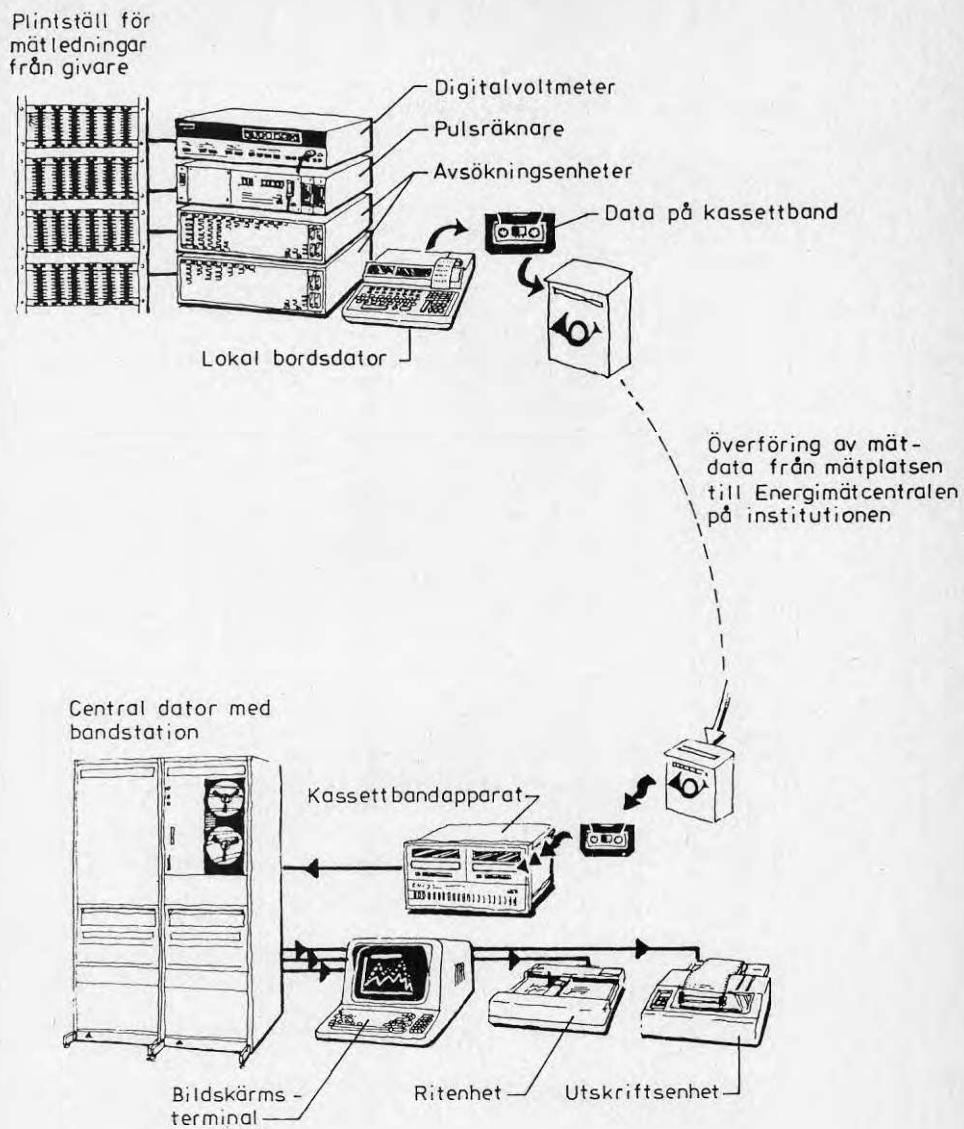


Fig. 6.3 Utrustning vid Energimätcentralen för insamling, bearbetning och utvärdering av mätvärden.

delvärden på kassetband. Kassetbanden byts med jämna mellanrum (ca var annan vecka) och transporteras till institutionen. Där läses mätvärdena in på den centrala datorn och lagras på stora magnetband. En rimlighetskontroll genomförs vid samma tillfälle med avseende på minimum- och maximumgränser.

Hela mätsystemet är uppbyggt efter en internationell standard (s k IEC-buss) som möjliggör att alla utrustningsenheter som följer denna standard kan anslutas till systemet utan speciella anpassningsmellandon. Hela systemet är på så vis mycket flexibelt.

För utvärderingen av de lagrade mätvärdena på institutionen finns att tillgå bildskärmsterminaler, en 4-färgs ritenheter och en snabb utskriftsenhet. Mätvärdena kan presenteras direkt i form av diagram och tabeller eller genomgå olika speciella beräkningar vars resultat på likartat sätt kan illustreras. Vissa standardprogram finns att tillgå för utvärderingen.

Den på mätplatsen uppställda bordsdatorns avsökning av mätpunkterna styrs av en tabell i datorns program. Tabellen benämns beskrivningsfil. För varje mätpunkt finns där viss bestämd information lagrad. Denna innehåller bl a kanalnummer, kanalbeskrivning, sort hos mätvärden, numeriska parametrar, rimliga min- resp. maxgränser m m.

Mätsystemet har inbyggt vissa automatiska kontroller av utrustningens funktion. Om någon kontrollenhet registrerar en onormal avvikelse aktiveras ett larm. Kontrollerna består i att mäta den kända resistansen hos ett stabilt motstånd och mäta en termoelementspänning som ska vara 0. Larm fås också om datorn eller dess program slutar fungera.

Om någon form av arbete med experimentanläggningen pågår som kan påverka mätningarna ges en signal om detta till bordsdatorn. Informationen lagras tillsammans med övriga mätvärden och är värdefull vid utvärderingen.

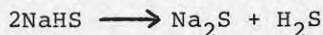
7. DRIFTSRESULTAT

7.1 Experiment och driftsresultat 1980-1981

När ackumulatorerna installerats i villan beslöts att som första åtgärd utföra en uppladdning av hela systemet. (kurvblad F). Denna uppladdning ägde rum från den 24/11 1979 - 31/1 1980. Som energikälla användes en elpanna. Syftet var att studera temperaturer i saltmassan samt effektens beroende av laddningstemperaturen och funktion hos kondensorn. Efter en kort tids körning konstaterades att effekten var för låg. Problem uppstod i kondensorn vilken inte kunde kondensera ånga i den takt som den producerades. För att öka laddningshastigheten stegrades då successivt pannans temperatur som mot slutet av laddningen var över 90°C.

I diagram F kan förloppet av denna laddning följas. Av diagrammet framgår hur effekten ökar när temperaturen ökar. Mot slutet av laddningen sjunker sedan effekten snabbt trots fortsatt hög temperatur. Specifika effekten är mycket låg under hela laddningen, vilket troligen har flera orsaker, såsom otillräcklig effekt hos kondensorn och restgaser i systemet.

I diagram G är temperaturen i kondensorn redovisad vid ett bestämt tillfälle med urladdningsgrad 3,1 mol och känd effekt. Man ser tydligt hur den fiktiva temperaturen ligger mycket högt. Denna temperatur är den från trycket i toppen på kondensorn uträknade totala medeltemperaturen av värmväxlaren, som den ingående ångan känner. Flera faktorer påverkar denna temperatur, såsom dålig funktion hos värmväxlaren samt icke önskad, ej kondenserbara gaser - restgaser - i systemet. Vid laddning drivs dessa gaser mot kondensorn av vattenångflödet. Då de ej kan kondensera, ansamlas de, speciellt vid värmväxlarens ytor dit vattenånga strömmar. En svag kontinuerlig eller starkare intermittert pumpning av dessa restgaser är därför nödvändig. Tekniken att pumpa restgaser är av väsentlig betydelse för god funktion hos kondensorn. Vid denna första laddning av systemet utgjorde svavelväte en del av restgaserna. Saltet i industriell kvalitet innehåller nämligen inte enbart natriumsulfid Na_2S utan även mindre mängder (2-3 %) natriumvätesulfid NaHS . Denna kemikalie spjälkas under de första laddningarna till natriumsulfid och svavelväte:



Efter några cyklingar är all natriumvätesulfid sönderdelad och produktionen av svavelväte upphör. Svavelvätet måste till stor del avlägsnas via restgaspumpning från kondensorn. En del av gasen kommer dock att på sin väg genom systemets ledningar och kondensor att reagera med metallerna (järn) i systemet och på detta sätt elimineras. Det svavelväte som pumpas ur kondensorn deponeras på baksidan av vattenlåset i avloppssystemet.

Förutom svavelväte läckte en del luft in i systemet huvudsakligen från några ventiler. Dessa läckor kunde endast provisoriskt åtgärdas under laddningen. Det var

därför svårt att under denna första laddning få klarhet i orsaken till den låga effekten. Speciella åtgärder måste vidtagas för tryck- och temperaturmätning i kondensorn samt läckande ventiler repareras så att kondensorns funktion bättre skulle kunna studeras. På ackumulatrorsidan under den första laddningen fanns inget påtagligt att anmärka på, förutom en alltför stor termisk förlust till omgivningen. Dessa förluster orsakades av bristfällig isolering på toppen av ackumulatorn. Värme läckte här ut genom konvektion då ytterhöljet inte var tätt. Vid en temperatur på saltmassan av ca 80°C förlo- rades ca 3kW. Denna isolering har senare förbättrats.

I diagram G1 syns temperaturfördelningen i saltmassan under olika förhållanden. Mätningarna är utförda i ackumulatortank III vid olika laddningsgrad. Man ser att givare 6 i saltet i toppen av ackumulatortank i samtliga fall är kallast emedan förångning av vatten här sker lättast. Mot slutet av laddningen divergerar temperaturerna då en del av saltmassan nu är torr och antar värmeväxlarens temperatur. I diagram G2 kan den vertikala fördelningen av temperaturerna, vid motsvarande laddningsgrader, studeras i ackumulatortank III samt några värden från ackumulatortank X.

Observera att temperaturprofilen lutar från botten på tanken mot dess topp. Denna lutning motsvarar tryckfallet genom saltet vid den aktuella effekten. Observera också att torkning börjar inträda vid en laddningsgrad av 3460 liter på 80 cm höjd i tanken.

Till den efterföljande urladdningen 24/5 1980 - 19/8 1980 åtgärdades läckorna på ventilerna i systemet. Dessa fick tas ner och demonteras, vilket var en tidsödande operation. Uppstarten av denna urladdning skedde ackumulatortank för ackumulatortank. I diagram H1 finns tre temperaturer från starten av ackumulatortank III i garaget uppritade. Detta kan sägas vara en bra start som inte visar något anmärkningsvärt.

Diagram H2 avspeglar sedan start av ackumulatortank X samt hur denna start påverkas när ytterligare ackumulatortank upstartas. Även denna start är bra, men avslöjar genom spridningen av temperaturerna de första 2 timmarna förekomsten av restgaser i systemet. Restgaserna hindrar ju vattenångans reaktion.

Urladdningens förlopp kan följas i diagram H. Lägg även här märke till den fiktiva temperaturens låga värde. Vid flera tillfällen uppstod problem med frysning i evaporatortank. Huvudsyftet med denna urladdning var att testa hur restgaspumpningen påverkade systemets effekt vid parallell körning av ackumulatortankerna. Pga problem med förångaren var det dock svårt att bestämma temperaturjämvikten i saltet. Detta gav till resultat att problemen med att upprätthålla saltmassans temperatur till största delen kom att skyllas på förångarens dåliga effektivitet.

I diagram H3 visas dock resultatet av ett prov med restgaspumpning. Bakgrunden till denna kurva är följande. Hela systemet har urladdats parallellt en längre tid

och har en medelfuktighetshalt på ca 4 mol. Restgaspumpning har skett då och då på hela systemet samtidigt men vid detta aktuella tillfälle koncentrerades restgaspumpningen på ackumulator III. Resultatet blev en anmärkningsvärd höjning av de temperaturer som visar förhållandena i denna ackumulator d v s givare 1, 2 och 3, övriga temperaturer härrör från ackumulator X.

Slutsatsen blir sålunda att den simultana restgaspumpningen på hela systemet inte fungerat tillfredsställande. Orsaken till detta har inte kunnat sökas förrän senare vid Televerkets anläggning där problem såsom dålig kondensor och läckor inte försvårar sådana mätningar.

I diagram H har dock specifika effekten beräknats med hänsyn tagen till reella data hos evaporatorn. Det vill säga specifika effekten anger ackumulatorernas medelprestanda. Från tidigare mätningar separat på ackumulator III känner vi dess specifika effekt under vissa driftsförhållanden, vilken var högre än vid den första urladdningen av hela villasystemet. Orsaken till detta har framkommit senare vid testkörningar på Televerkets anläggning. När urladdningen slutförts startades en ny uppladdning mellan den 15/9 1980 till den 19/11 1980.

Under augusti 1980 före själva laddningen värmdes ackumulatorerna enbart med värme från solfångarna, som sköttes manuellt för att få en första uppfattning om systemets funktion. På grund av fel på några solfångare var endast 5 av 6 grupper inkopplade den första tiden. Den effekt som uppmättes från solfångarna vid värmning av lagret har noterats vissa dagar och är redovisade i diagram H4. Vid de tillfällena då endast 5 grupper var i funktion har dessa värden omräknats, som om 6 grupper funnits.

Solfångarnas effekt sjunker som synes snabbt med ökad temperatur. Dessa höga temperaturer inträffar sent på hösten när yttertemperaturen är låg. Som exempel kan tas den 22/10 som var en helt klar dag med en instrålning större än 800 W/m^2 enligt Waldis Girdo vid KTH och en lufttemperatur på ca $+2^\circ\text{C}$ samt nästan ingen vind. Här erhöles 5 kW vid 88°C på ca 40 m^2 . Detta ger en verkningsgrad på endast 12 %. Experimenten med solfångarna avslutades i mitten på september och laddning med el vidtog.

Denna gång var syftet att under laddningen studera kondensorn och restgaspumpningen av denna. Speciella givare hade monterats på värmeväxlarna för temperaturmätning och trycket mättes i flera punkter.

I diagram I finns en sammanställning av laddningens förlopp. Man ser här t_{0in} , t_{0out} , t_{0fik} , P , P_{sa} samt t_{in} och den beräknade jämvikten $t_{0fik} + 56^\circ\text{C}$. Den fiktiva temperaturens stora avvikelse från t_{0in} och t_{0out} kan här avläsas.

Effekten vid denna laddning är betydligt högre än vid föregående laddning (diagram F), samt har ett helt annat förlopp trots nästan likartade yttre omständigheter. Specifika effekten antar här rimliga värden och är under en stor del av laddningen större än $0,1 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$.

I diagram K1 kan resultatet av mätningar i kondensorn avläsas. Förhållandena i kondensorn är i detta fall uppmätta vid en laddningseffekt på 8,2 kW svarande mot en kondensationseffekt på 5,5 kW. Markens temperatur är 11°C och ingående vatten till kondensorn 12°C . Returvattnet från densamma är $13,5^\circ\text{C}$. Yttermantel samt fiktiv temperatur sammanfaller vid 18°C . Innermantel och gas håller än högre värden. Motsvarande förhållanden i ackumulatorerna vid samma tillfälle kan avläsas i diagram K2. Lägg märke till att ackumulatorernas minimumtemperatur t_{\min} väl sammanfaller med jämviktstemperaturen beräknad från t_{ofik} (ur diagram K1) + 56°C . Minimumtemperaturer i saltet anger de delar av massan som ännu inte torkat och sålunda reagerar kraftigast. I diagrammet finns även t_{\max} och t_{med} inritade, där t_{\max} är den varmaste uppmätta temperaturen i saltet och t_{med} är ett medelvärde i ackumulatorn. t_{\max} har en temperatur nära t_{in} , vilket tyder på att detta område är torrt.

Mätningarna på kondensorn visar att problemet med effekten måste ligga i värmeöverföringen från vattensidan till plåten. Orsaken till denna slutsats är följande. Problemen är desamma vid laddning som vid urladdning varför man ej kan skylla på restgaser. Vidare har prov utförts där värmeväxlaren först fått anpassa sig till markslingornas temperatur och sedan har gasflödet startats. Under de första sekunderna kondenserar ångan med stor effekt varvid sensibel värme i plåten utnyttjas för kondensationen. När plåten blir varm minskar effekten.

Mätningarna i diagrammet är dessutom utförda vid väl restgaspumpad kondensor. Detta förklarar varför inga åtgärder som vidtagits med kondensorn har lett till ökad effektivitet. En bättre kondensor krävs. Vid denna laddning använde vi oss under längre tider av höga laddningstemperaturer, vilket i kombination med högre temperaturer i kondensorn tidvis ledde till smältrisker i saltet.

Under denna andra laddning testades även olika metoder av restgaspumpning samt effekten av dessa. Lättast har detta kunna ske genom att mäta effekten som avgår till jordslingan, representerad av temp $t_{0\text{in}}$ och $t_{0\text{out}}$ från kondensorn.

Om ingen pumpning sker avstannar kondenseringen snabbt. Helt noll blir den inte på flera timmar men en snabb sänkning av effekten sker inom några minuter. Pumpning har därför skett under hela laddningen med hjälp av en vanlig vakuumpump av roterande typ med olja. I början utfördes detta som en intermitterent pumpning var 5:e eller var 10:e minut under flera minuter. Laddningen fick

då ett sågtandat förlopp i det att effekten ökade och minskade till följd av pumpningen. Senare föredrogs metoden att med strypt ventil pumpa kontinuerligt. Därvid anpassades strypning och ballast på pumpen så att oljan inte skulle mättas med vatten. Vid den intermittenta pumpningen med ballast som praktiserades vid början av laddningen rensades pumpen från vatten då den inte pumpade kondensorn. Metoden att via en strypning pumpa kondensorn kontinuerligt har fungerat bra.

Genom dessa pumpförsök ökades effekten märkbart jämfört med under första laddningen. Maxeffekten denna gång blev ca 13 kW jämfört med ca 8 kW vid första laddningen. Bl.a testades restgaspumpning med strålpump, membranpump samt termisk fälla.

Diagram K3 till K5 anger förhållandena i ackumulatorerna och kondensorn under olika faser av laddningen samt vid tre olika laddningstemperaturer.

Diagram K3 visar sålunda förhållandena i systemet vid tre olika laddningsgrader 1500 liter, 4500 liter och 6500 liter kondenserat i kondensorn vid en laddningstemperatur på 85°C . Diagram K4 motsvarande för $t_{in} = 80^{\circ}\text{C}$ och diagram K5 för $t_{in} = 75^{\circ}\text{C}$. De olika stadierna av laddningen skall i de tre olika fallen 85, 80 och 75°C vara jämförbara med varandra. Lägg märke till den anmärkningsvärda skillnaden i fiktiv temperatur vid laddning vid 75°C . Se även på temperaturernas divergering i saltet i diagram K3 (6500 liter). Här börjar saltet att torka varvid de torra partierna närmar sig värmeväxlarens temperatur.

Vid den följande urladdningen, ur 2 som pågick mellan den 16/12 1980 till den 19/1 1981 uppstod nya problem. Temperaturen i saltet kunde ej upprätthållas och enligt diagram L blev specifika effekten låg vid denna urladdning. Fallet påminner om provkörning av ackumulator III vid Maskinverken, d v s utan gaskanaler i massan.

När systemet urladdades sjönk t_{ut} kontinuerligt och vid 1,4 mol bortkopplades lasten för att ge saltet en möjlighet att hämta sig. Saltet antog jämviktstemperatur och ett nytt försök att belasta gjordes. t_{ut} sjönk snabbt igen. Lasten kopplades bort ännu en gång. Denna gång rasade t_{ut} ändå snabbare vid pålagd belastning. Den 19/1 stängdes systemet av trots att bara en del av saltmassan var urladdad.

En stor arbetsinsats gjordes nu tillsammans med KTH för att försöka förstå hela orsaken till effektminskningen. En flera hundra sidor tjock intern rapport om dessa undersökningar finns. Resultatet i sammanfattning är att p g a antingen för hög temperatur vid laddning eller för långt driven urladdning vid för låg urladdningstemperatur vid första urladdningen, hade saltet expanderat något och täppt till gaskanalernas inlopp på toppen av ackumulatorerna.

Vidare hade delar av saltmassan sintrat kraftigt varvid makrokanalerna vuxit samman och ersatts av ett homogent salt med endast mikrokanaler, dock med i stort sett samma täthet. Åtgärden blev att undersöka en av ackumulatorerna (X) separat.

Mätningar gjordes vid uppstart av denna ackumulator, först utan att gaskanalerna åtgärdats och sedan efter det att ackumulatören öppnats och kanalerna rensats vid sina inlopp och åter svetsats ihop. Se diagram M och N. Skillnaden är som synes stor.

Den företagna åtgärden var tillräcklig för att återföra ackumulatören till acceptabel status. Men då ackumulatören ändå var öppen utfördes vissa förbättringar av kanalsystemet i saltmassan.

Sedan ackumulatören åter svetsats ihop, provkördes den med last, varvid det kunde konstateras en mycket märkbar förbättring. Därför beslöts att utföra samma åtgärder på samtliga ackumulatorer samt att byta de temperaturgivare som ej fungerade tillfredsställande. Dessutom skulle saltet i ackumulator III bytas och stöd läggas in mellan värmeväxlarna. Även saltet i ackumulator IV skulle bytas då denna ackumulator skadats under den stora undersökningen, genom att analysprover tagits långt ner i ackumulatören. Denna undersökning av ackumulator IV gav intressanta resultat. För det första kunde konstateras att alla metallytor inuti ackumulatören var obetydligt påverkade. Mätningarna av plåttjockleken vid väggar, stödplåtar och värmeväxlare visade inga tecken på korrosion. Stålets yta var täckt av en svart beläggning av FeS som satt hårt fast vid metallen.

Nämnda åtgärder är, när detta skrivs, inte slutförda men anläggningen beräknas vara i drift före mitten av december 1981. En ny kondensor/förångare skall då testas. Den har beräknats och byggts av en expert inom värmeväxlarområdet.

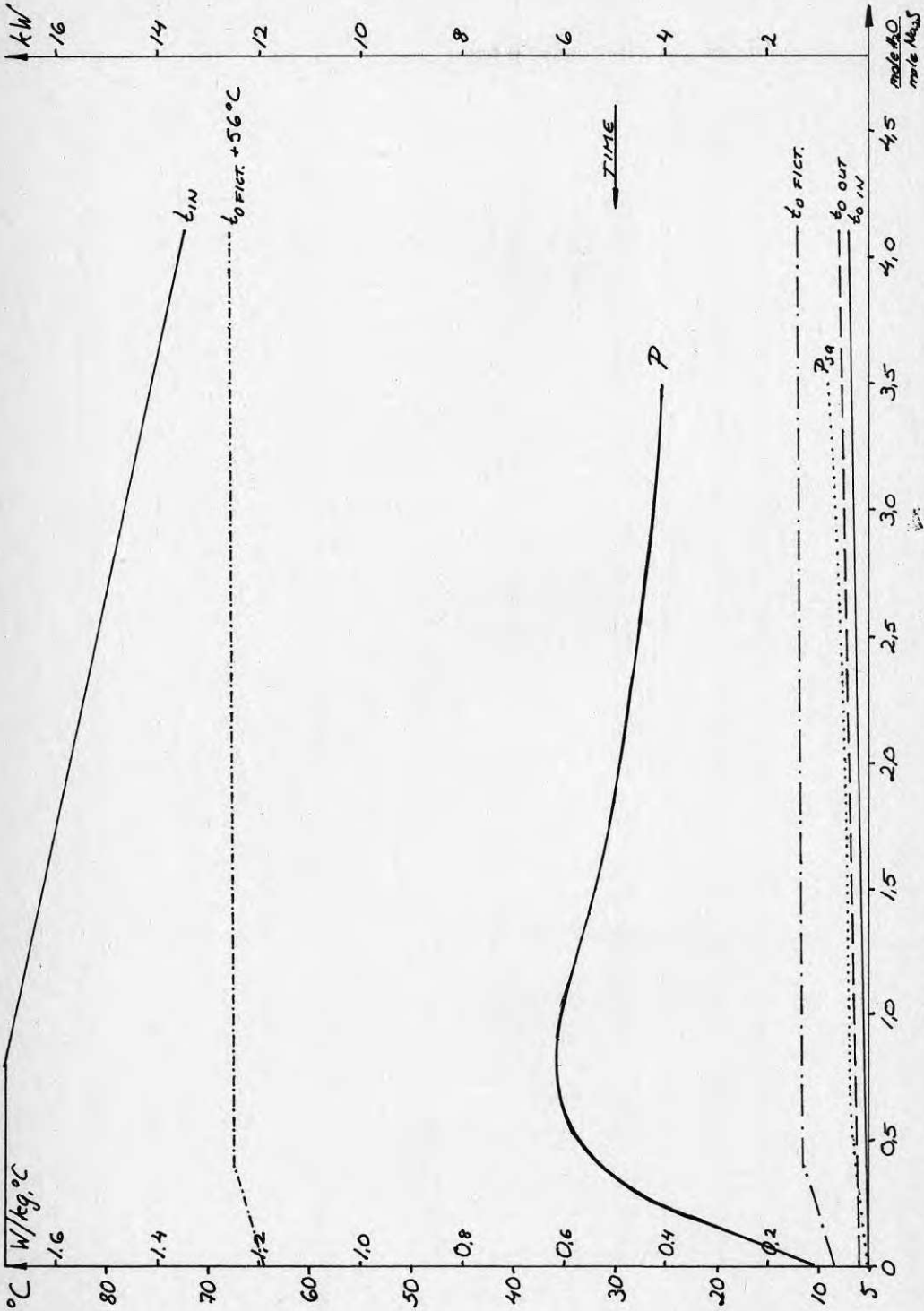
7.2 Kurvor och diagram

811020
H. Kärebring

Accumulator in the house
Charging 1

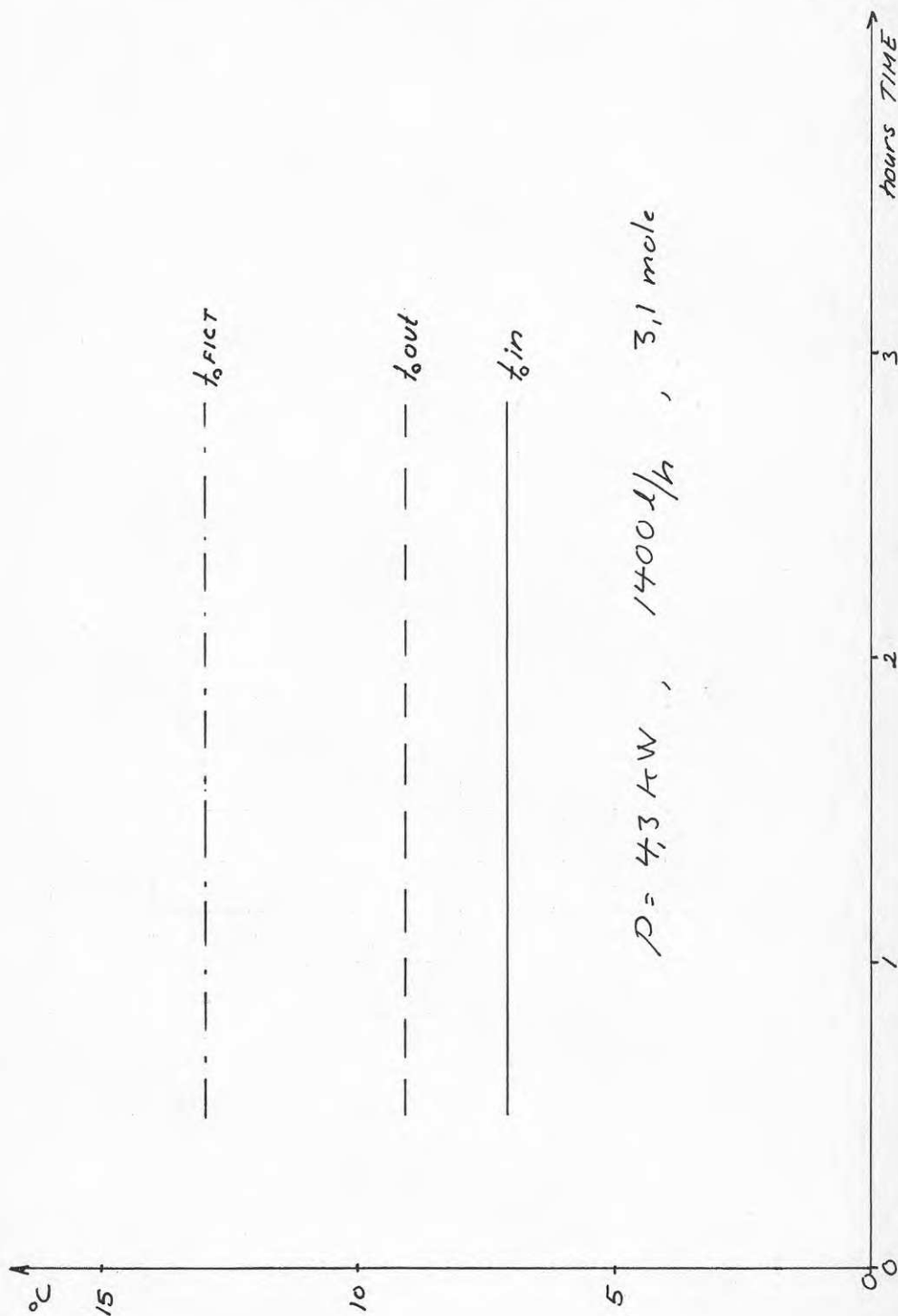
24/11-79 - 3/1-80

F



811022
R Olsson

Charging 1 (the house) 5/12 79
Temperatures in condenser G



811026

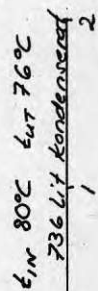
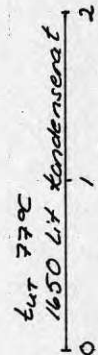
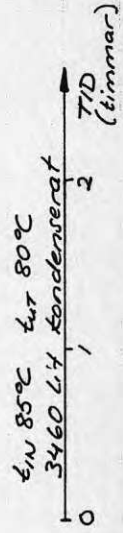
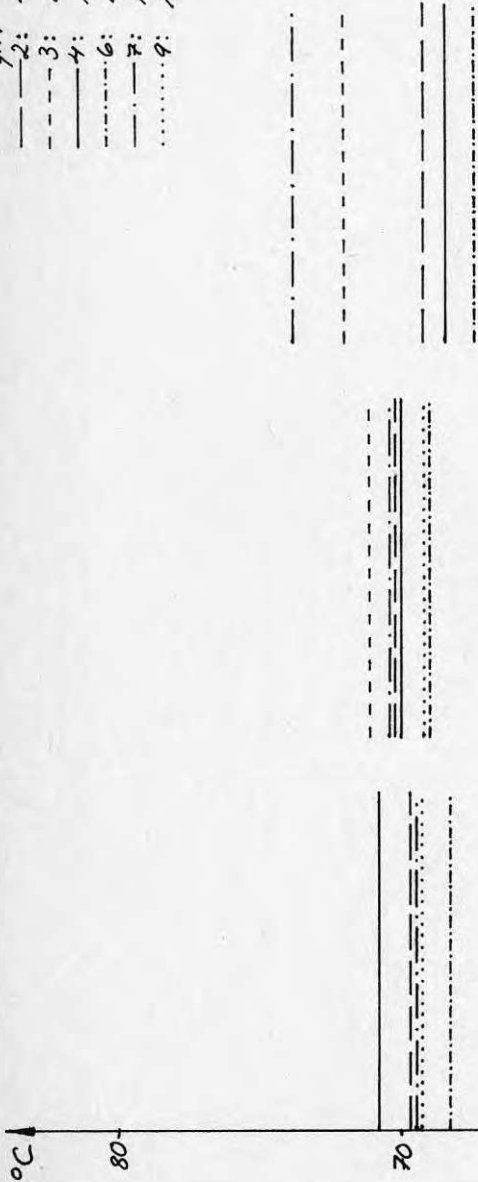
LADDNING 7 AV VILLAN

M. Kärebring
(samtliga qivare är placerade i tank III)

Tämförelse mellan inbördes
ordningen hos qivarna vid
olika laddningsgrad

G 1

- qiv. — 2: 40 cm från botten
- 3: 80 cm från botten
- 4: 120 cm från botten
- 6: 170 cm från botten
- 7: 120 cm från botten
- 9: 120 cm från botten

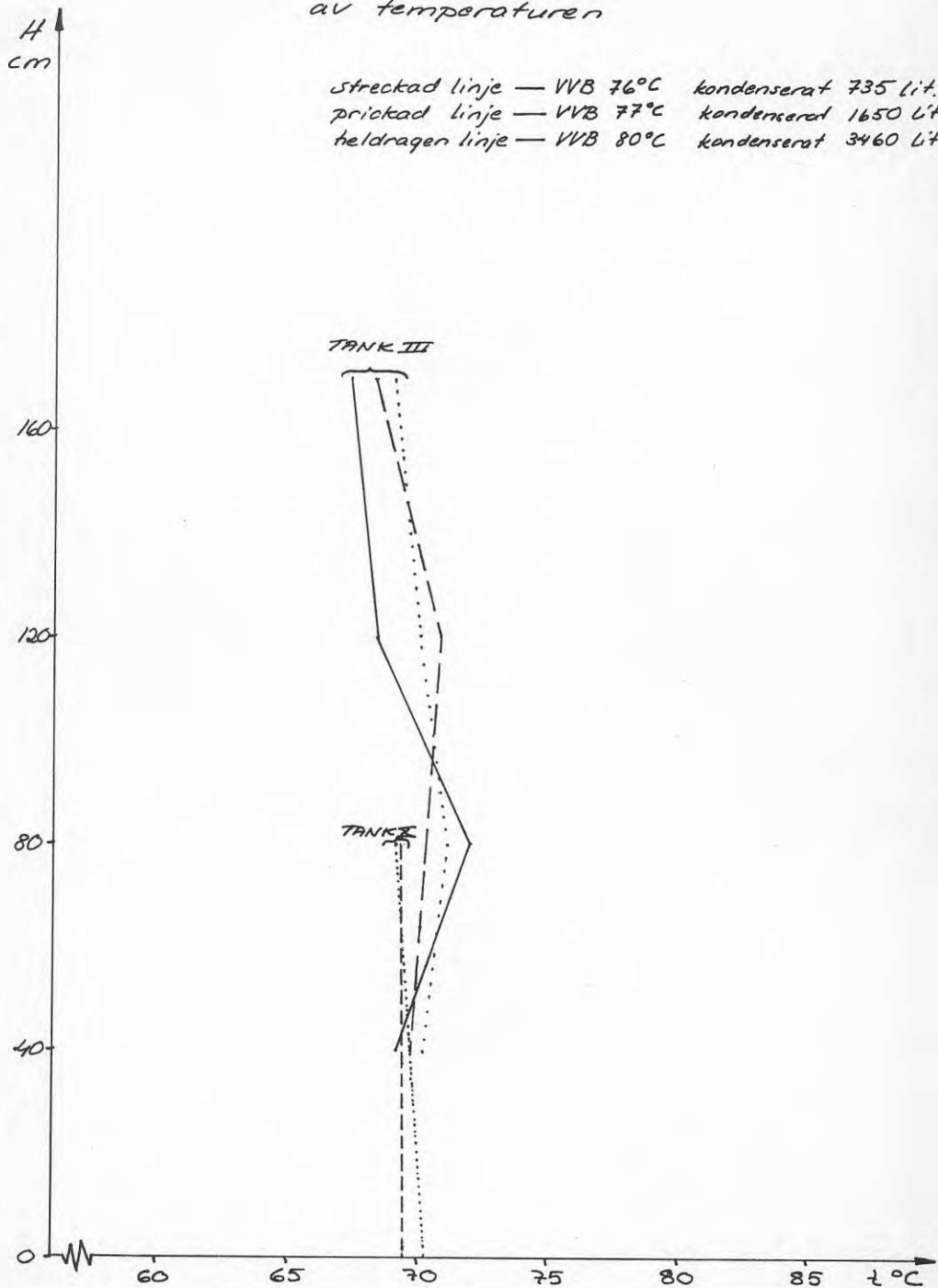


811026
M. Kärebring

Temperaturprofil
Laddning 1 Villan

G 2

höjd från botten i ackumulatorn som funktion
av temperaturen

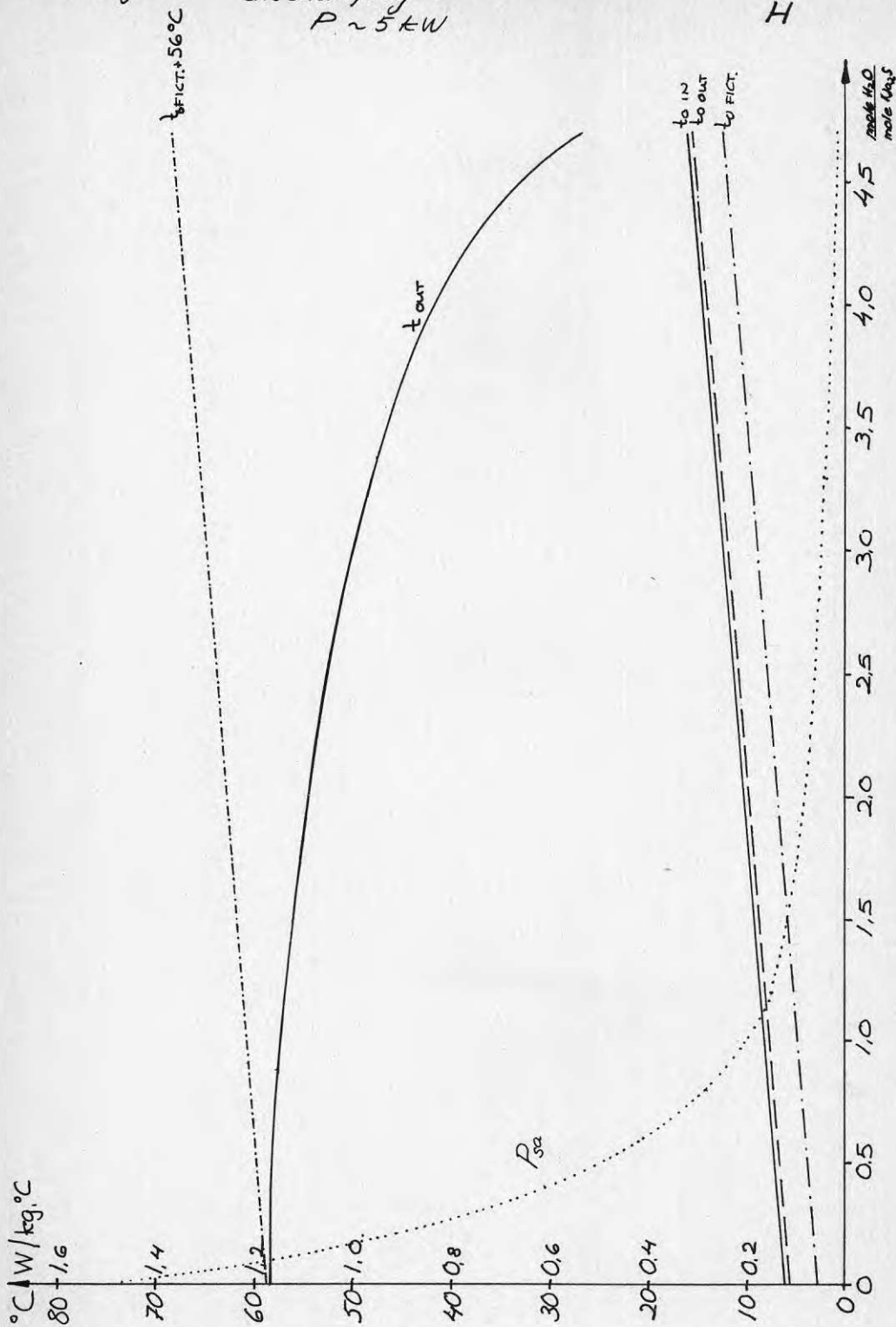


8/1021
M. Kärebring

Accumulators in the house
discharging 1
 $P \sim 5 \text{ kW}$

2/5 - 25/7 - 80

H

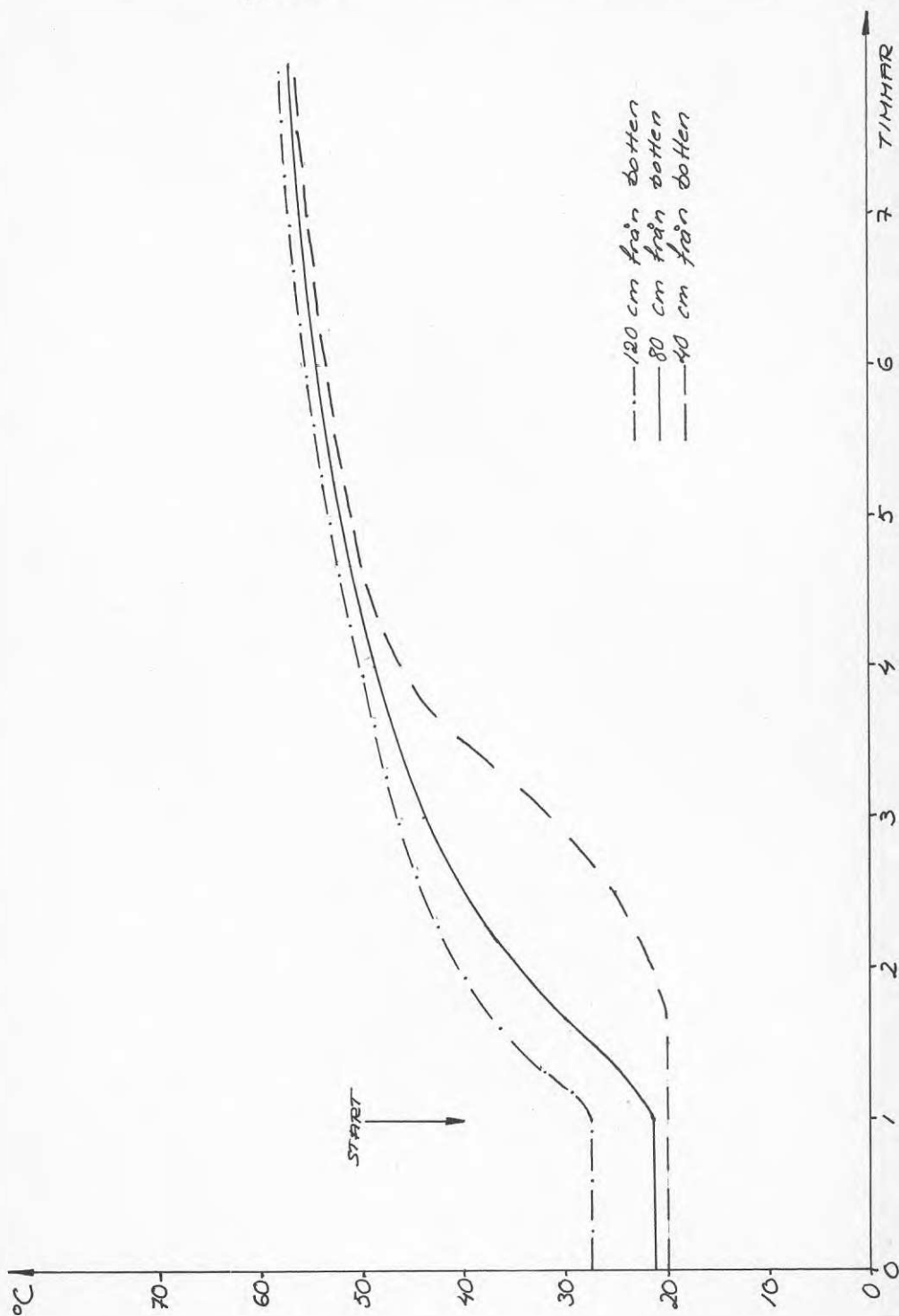


M. Kärebring

URLADDNING 1 AV VILLAN
Uppstart av ackumulator III
 $t_0 \sim 5^\circ\text{C}$

20/5-80

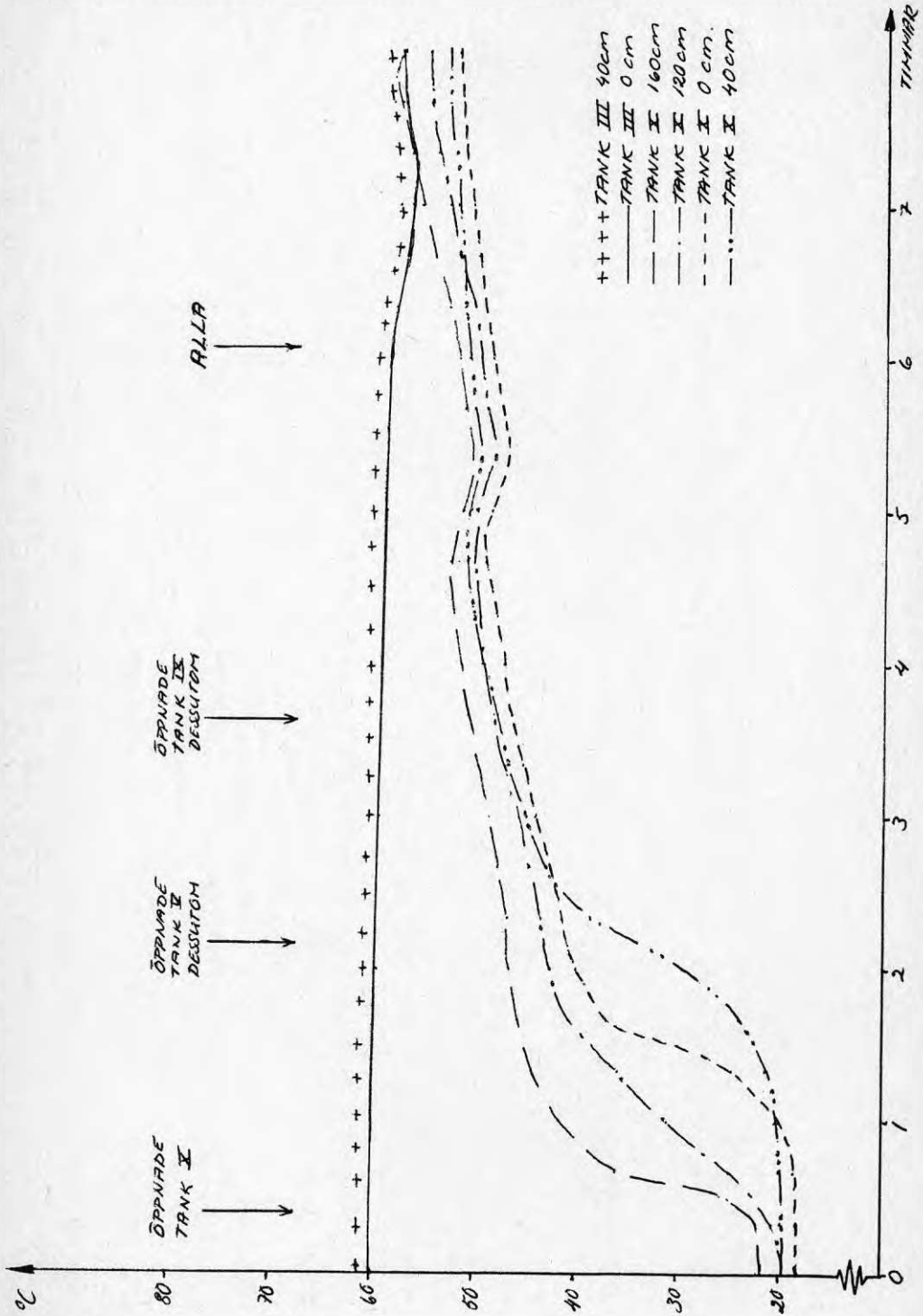
H1



800520
M. Kårebring

UPPSTART
URLADDNING I "VILLA"

H2



811027

M. Kårebring

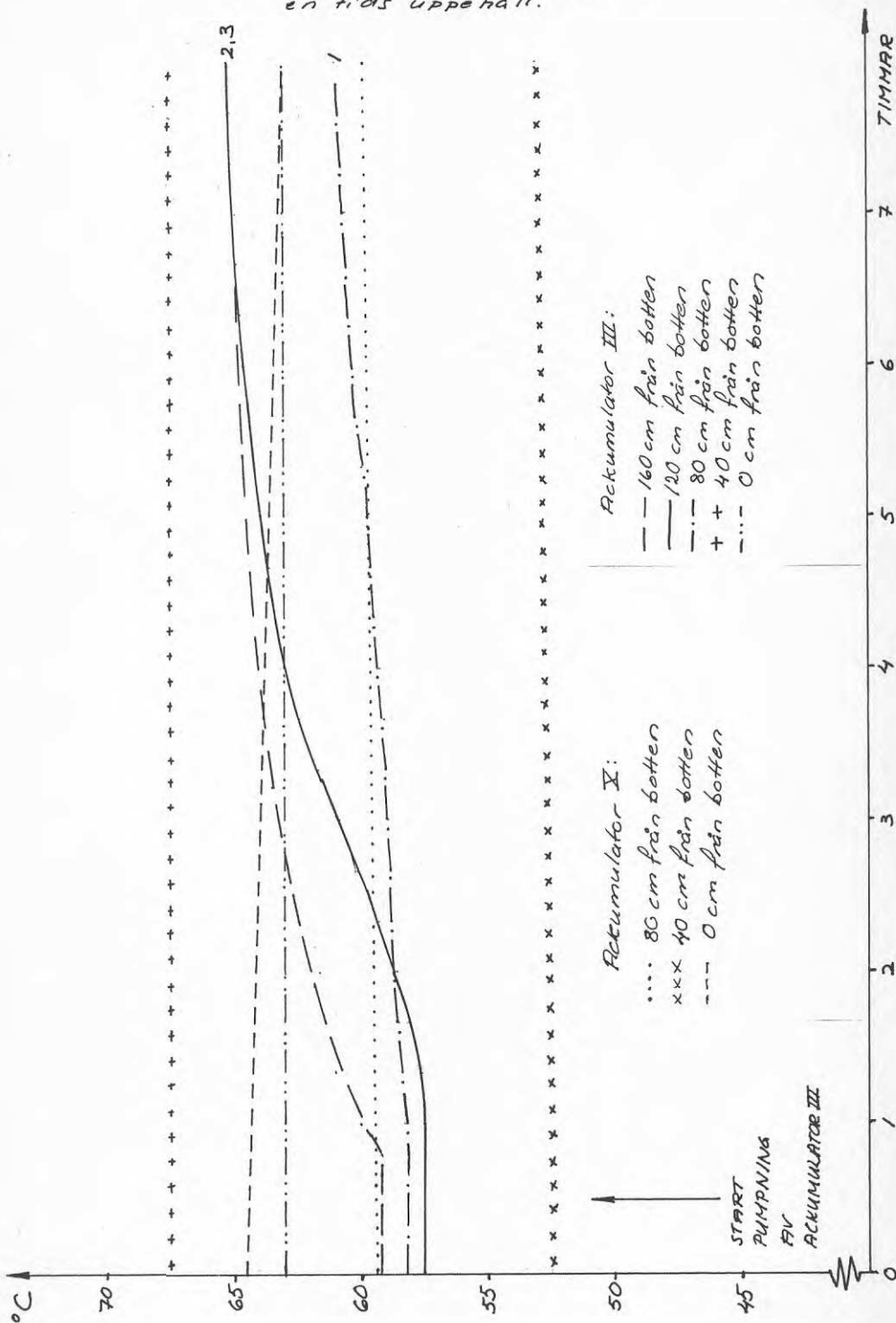
URLADDNING 7 AV VILLAN

7/7-80

Status: ~ 4 mol H₂O/mol Na₂S

Pumpning av en tank efter en tids uppehåll.

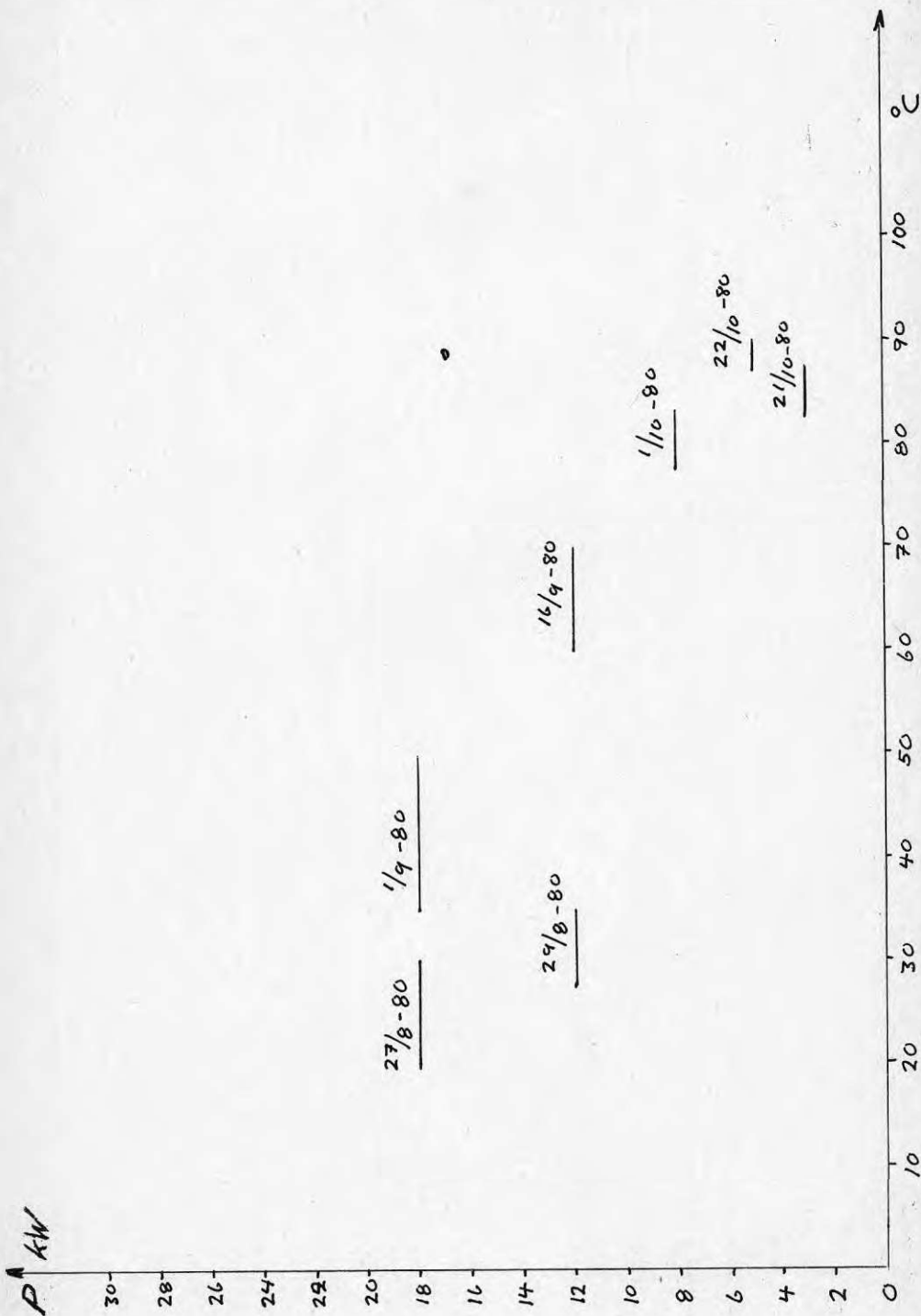
H3



811022
R Olsson

Test of solar collector

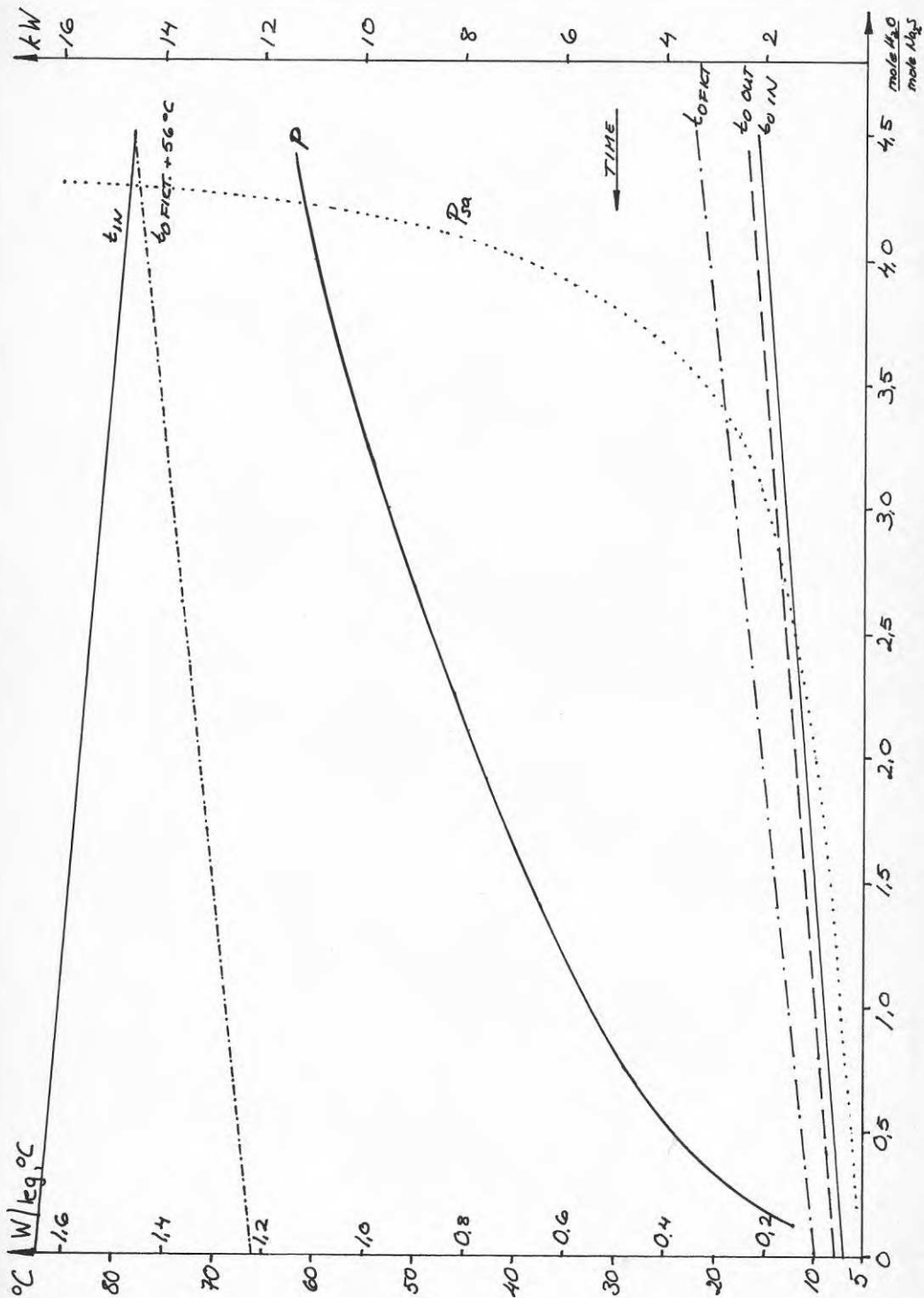
H4



811021
M. Kårebring

Accumulators in the house 15/9-19/11-80
Charging 2

I



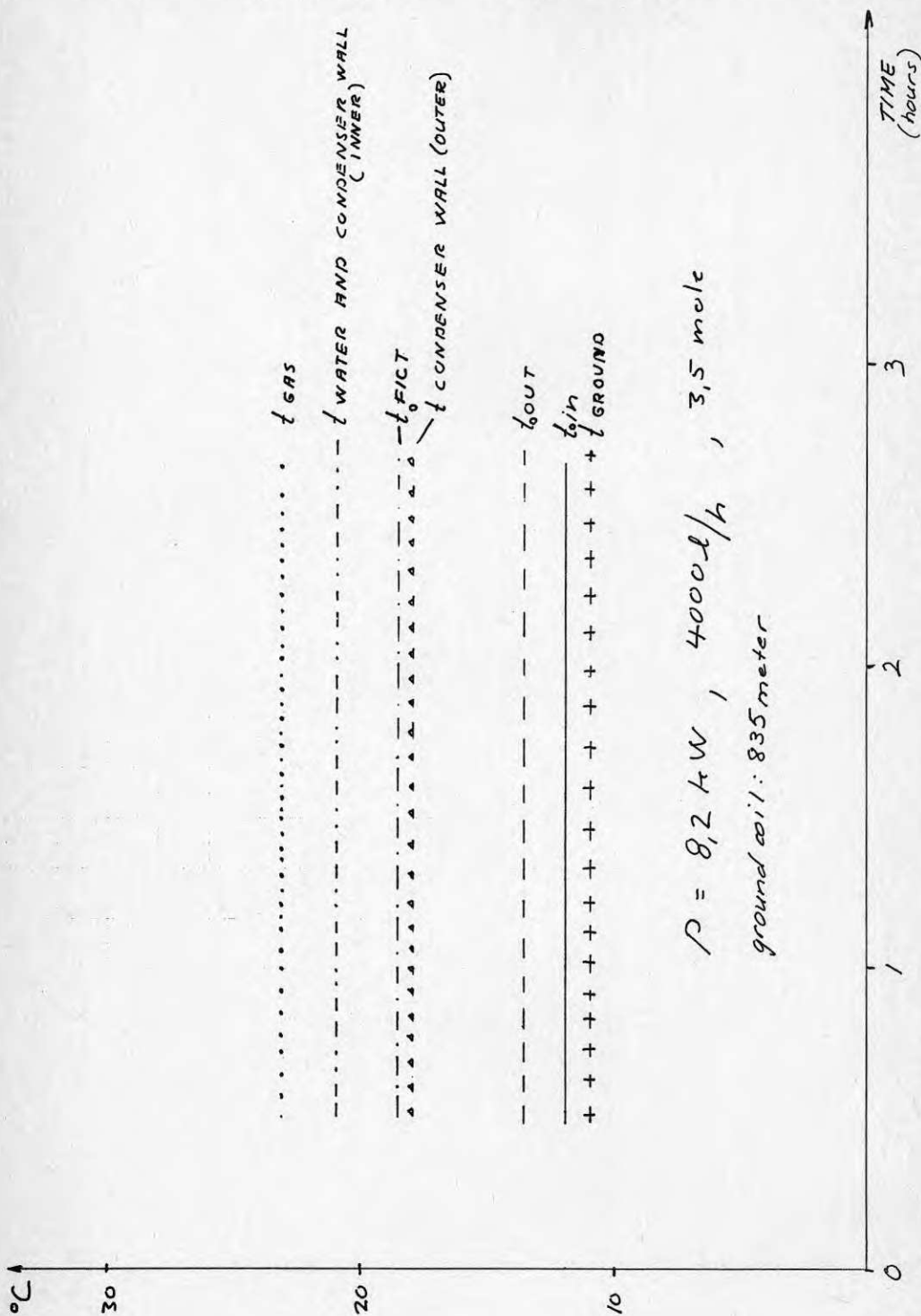
811022
R Olsson

Charging 2 (the house)

Temperatures in condenser

14/10-80

K1



$P = 8,2 \text{ kW}$, 4000 l/h , $3,5 \text{ m/s}$
ground oil: 835 meter

14/10

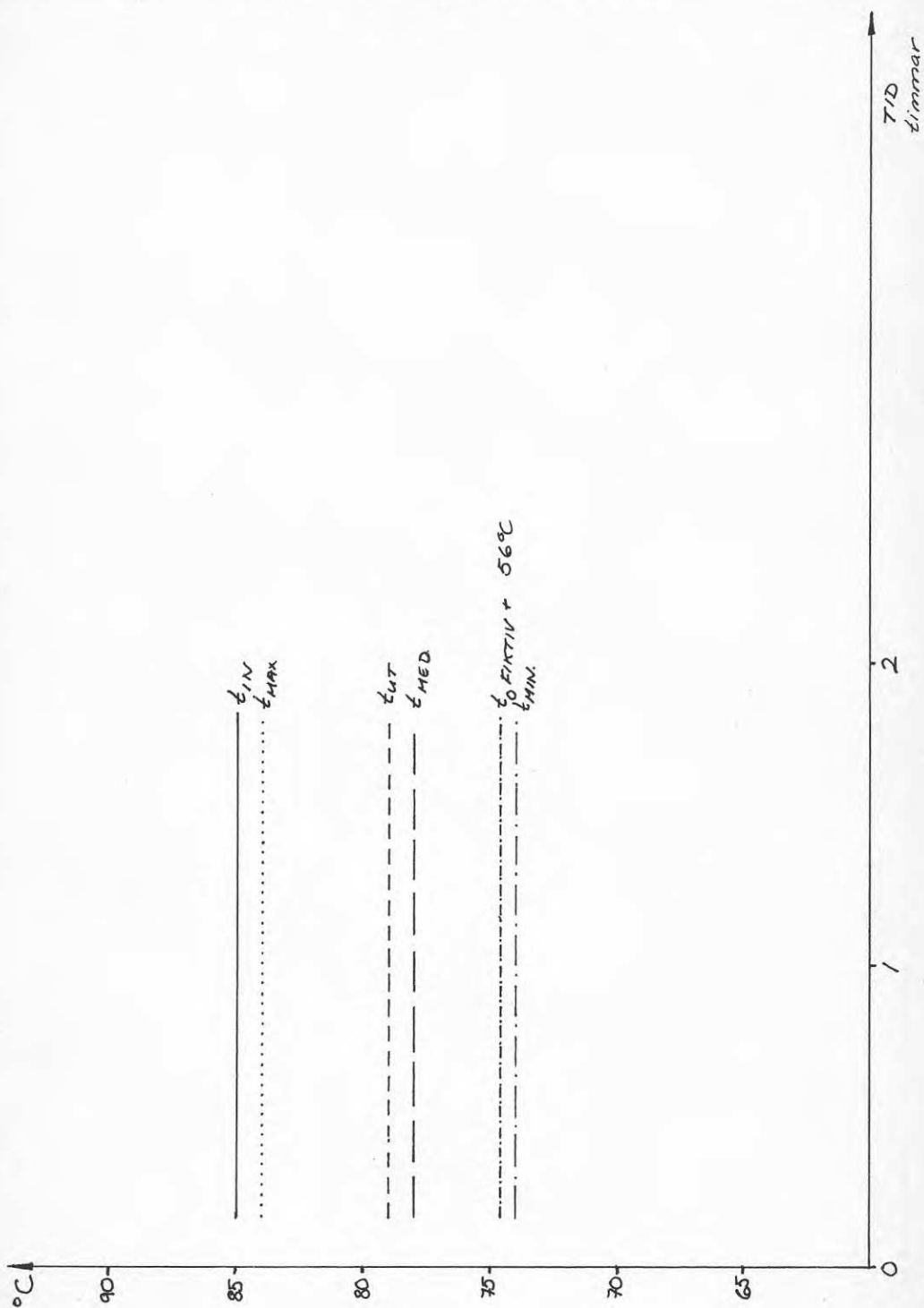
LADDNING 2 AV VILLAN

14/10-80

811026

Jämförelse mellan olika
temperaturer i ackumulatorn.

K2



811026

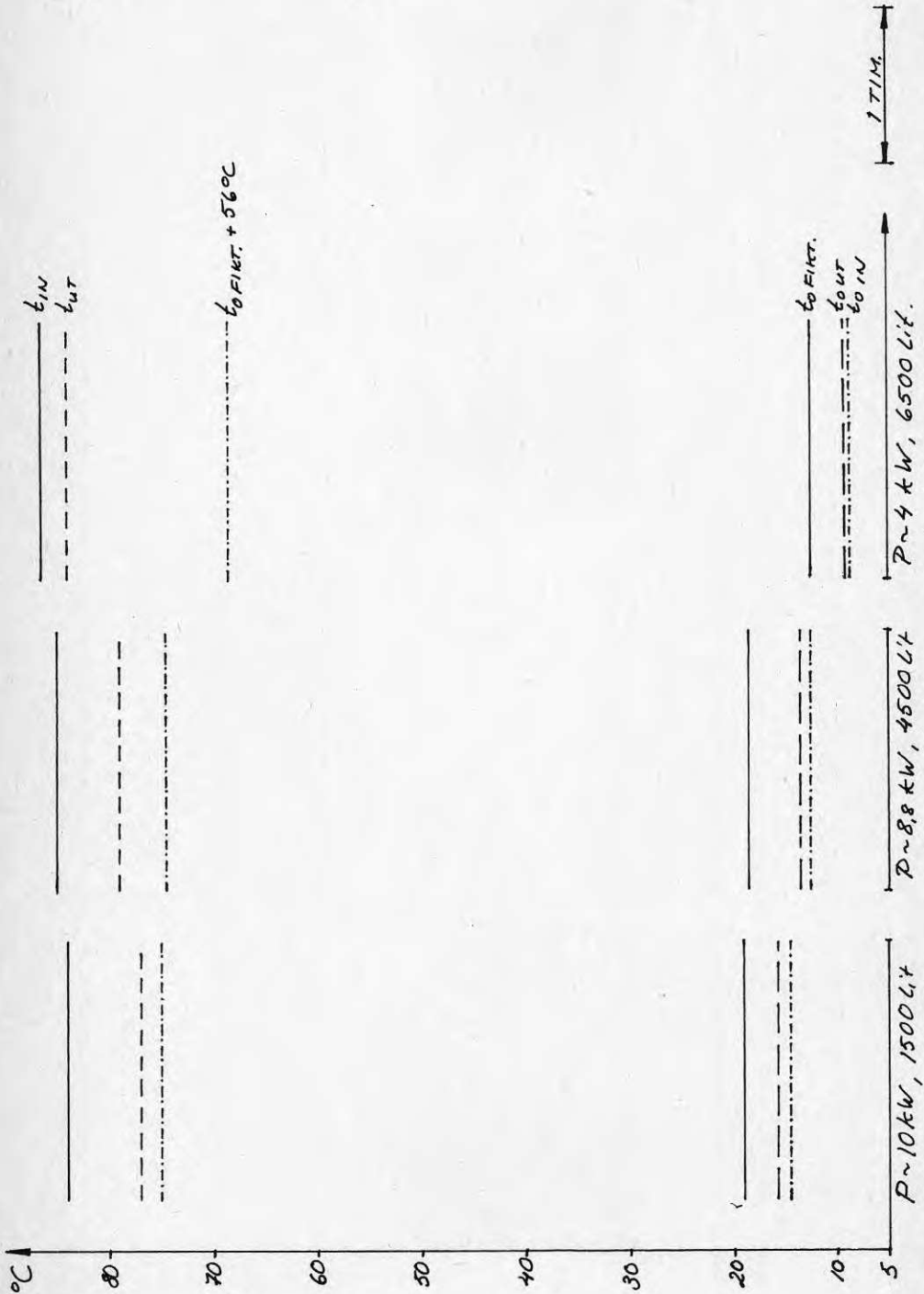
M. Kärrbring

ERAB special

LADDNING 2 AV VILLAN

Jämförelse mellan de olika temperaturerna i systemet.

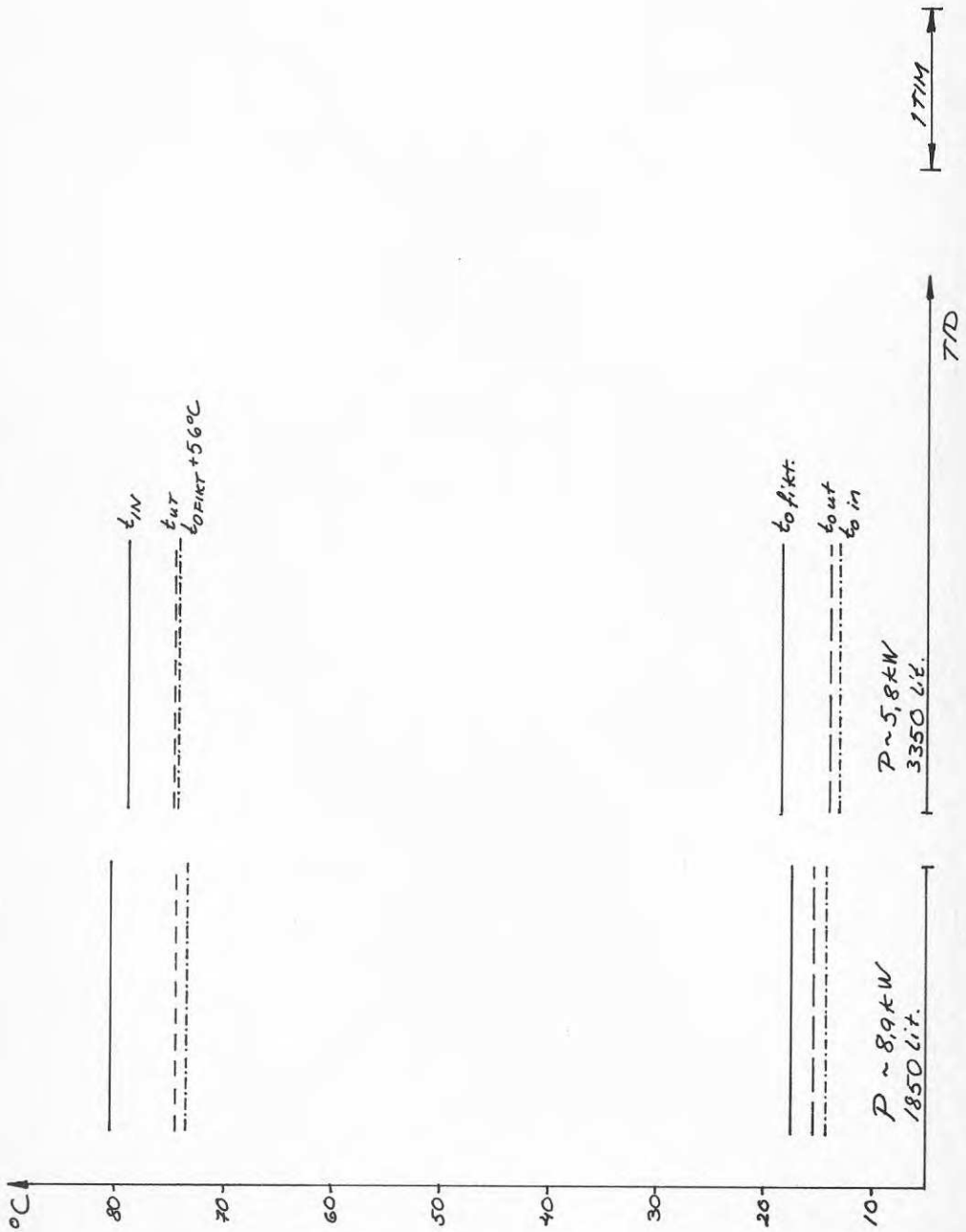
K3



811026
M. Kärebring
EÄB special

LADDNING 2 AV VILLAN
jämförelse mellan olika temperaturer i
systemet vid olika vattenhalter och
därav olika effekter

K 4



811026
M. Kärebring
EAB special

LADDNING 2 AV VILLAN
Temperatur mellan olika tempera-
turer i systemet vid olika
vattenhalt

K 5

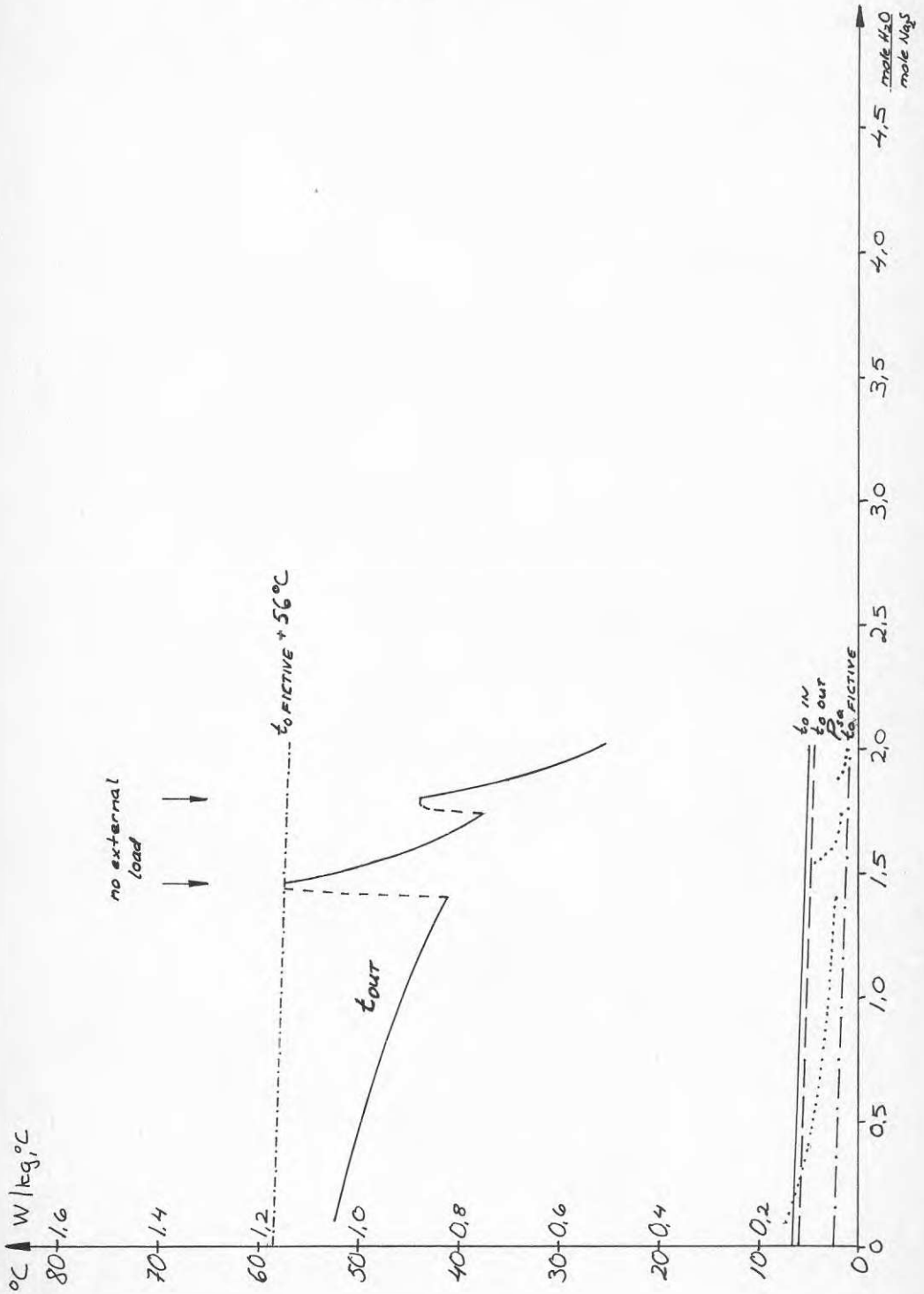


811021
M. Kärebring

Accumulators in the house
discharging 2
 $P \sim 5 \text{ kW}$

16/12-80 - 19/1-81

L



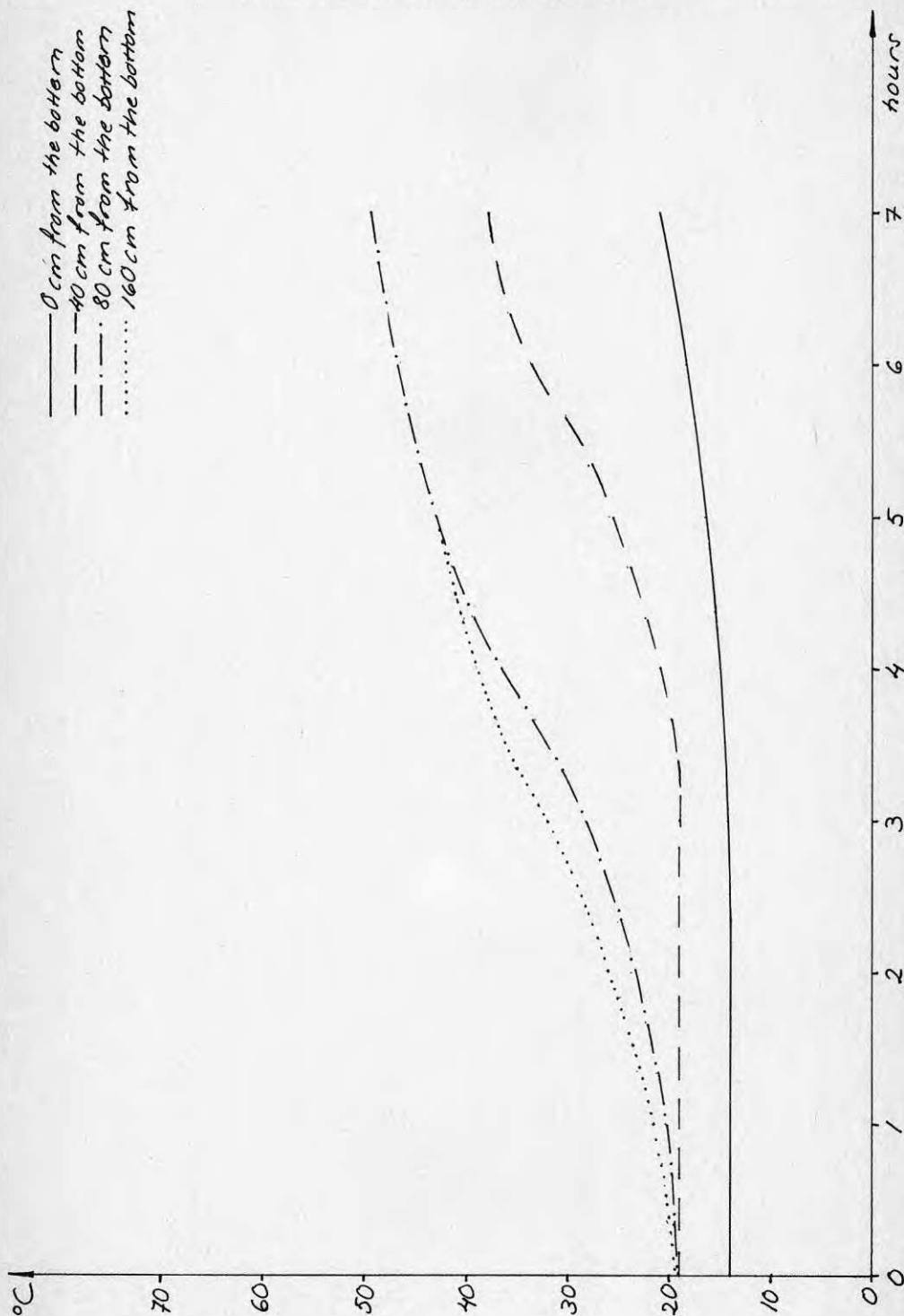
R. Olsson
810325

Accumulator in the house
Discharging 2
Before reopening gas channels

16/12-80

M

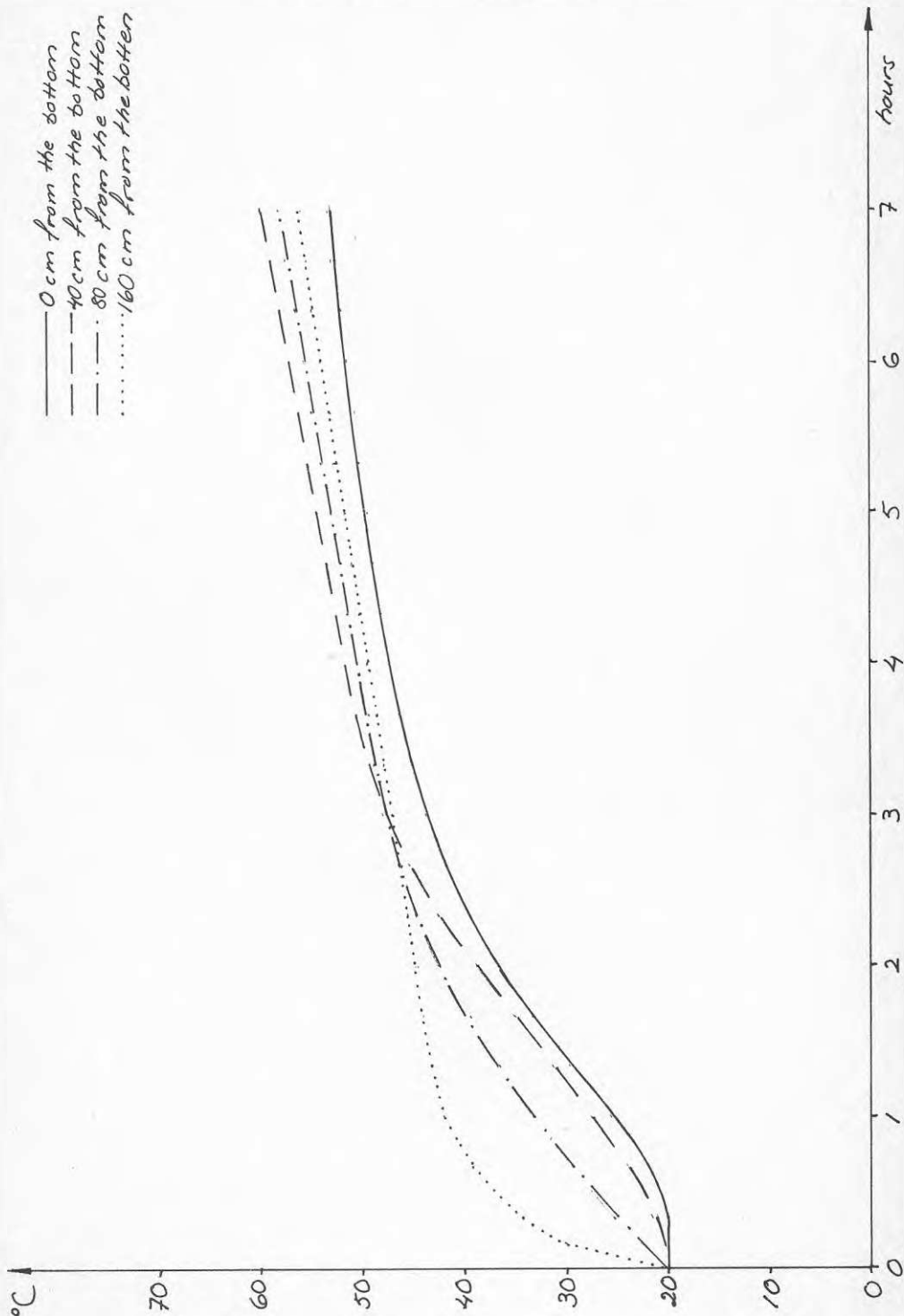
— 0 cm from the bottom
- - - 40 cm from the bottom
- · - · 80 cm from the bottom
· · · · · 160 cm from the bottom



R. Olsson

Accumulator in the house
Discharging 2
After reopening gas channels

N



8.1 Inledning

Eftersom natriumsulfid är klassad som vådlig substans enligt de internationella normerna för transporter och dessutom ej får transporteras torrare än med ca 40% vatten (vilket motsvarar ca 3 mol H_2O per mol NO_2S) hörjade 1979 diskussioner med berörda svenska myndigheter om vilka villkor, som måste ställas på ett allmänt användande av natriumsulfid i ackumulatorer av TEPIDUS typ. Ovan nämnda inskränkning beror på den helt torra natriumsulfidens större eldfarlighet jämfört med fuktigare substans.

Gränsvärdet 60% är troligen valt av det skälet att den fabrikstillverkade produkten har denna vattenhalt.

Risken att den giftiga gasen svavelväte utvecklas om natriumsulfid kommer i kontakt med större mängd starka syror måste också beaktas.

8.2 Kontakter med svenska myndigheter och vissa brandförsök

1979-06-01 Representanter för Arbetarskyddsstyrelsen, Statens Brandnämnd, Statens Naturvårdsverk och Statens Planverk informerades om Tepidus-systemet och problemen med natriumsulfid.

Redan 1979-06-06 kom omgivningshygieniska avdelningen (Oha) vid Statens Naturvårdsverk med sin bedömning av handhavandet av natriumsulfid. Sammanfattningsvis är naturvårdsverkets inställning positiv till användning av natriumsulfid på det sätt som förutsattes vid Tepidus-systemet. Man konstaterade att substansen bör kunna hållas under betryggande kontroll i de hopsvetsade ackumulatorerna. Brandförsök skulle emellertid utföras men man bedömde att förvaring av eldningsolja i en fastighetskällare innebar större olägenhet och risk än natriumsulfid i sina behållare.

(Oha:s uppgift är att granska problem vid lagring, service och transport av substanser såsom natriumsulfid. Yreksmässiga- och transportproblem handläggs av Arbetarskyddsstyrelsen och brandförsvaret. Installationen och avloppsfrågor handläggs av Planverket i samband med ev problem om natriumsulfid eller saneringsmedel skall spolats bort)

1979-10-18 utfördes destruktionsförsök med natriumsulfid i en havererad energiackumulator vid AB Svenska Maskinverken i Kallhäll. Följande personer var närvarande:

Från Tepidus: Kjell Bakken, Ray Olsson, Ernst-Åke Brunberg, Miro Babić, Åke Bresle;

från Svenska Maskinverken: Keusch;

från kommunala vattenverk: Göran Ring (Käppalaförbundet), Jan Hjort, Stockholm Kommuns Vatten-och Avloppsbyrå och Lennart Nilsson, Vatten & Avloppsavd, Järfälla Kommun;

från Statens Naturvårdsverk: Hans von Ubisch.

Den experimentbehållare vars innehåll skulle destrueras rymd ca 800 kg natriumsulfid. Vid destruktions skulle provas en metod där sulfiden efter upplösning i vatten får reagera med ferrosulfat varvid bildas svaveljárn (järnsulfid) enligt formeln:



Behållaren var placerad i en lokal i vars golv fanns en nersänkt ränna med dimensionerna 4,5 x 5,5 x 60 dm = 1,5 m³. Varmt vatten (ca 80 gr C) sprutades med hjälp av slang in i behållaren varvid innehållet delvis löstes, delvis suspenderades. Behållaren var placerad så att det varma vattnet med sulfiden rann ner i rännan i vilken i förväg var placerat ett lager fast ferrosulfat.

När den varma sulfidvätskan rann ner i rännan och träffade ferrosulfatet iakttogs följande. Ganska snabbt bildades en svart sörja av svaveljárn i finfördelad form som så småningom sjönk till botten i rännan. Någon klar ofärgad vätska erhöles dock inte. I början kändes en tydlig lukt av svavelväte, men när sulfidmängden var i överskott i förhållande till tillförd ferrosulfat försvann lukten.

När detta första skede var passerat märktes över huvud taget ingen svavelvätelukt.

Med hjälp av en dränkbar pump pumpades sedan den erhållna slurryn över till en avloppsbrunn från vilken blandningen sedan utan större missöden rann bort via det kommunala avloppsnätet. Vid en diskussion med vattenverksrepresentanterna framkom att utspädningsgraden för de produkter som via avloppsvattnet så småningom transporterats till Käppala borde vara så hög att någon järnsulfid, härrörande från natriumsulfiden, knappast skulle kunna påvisas. Man framhöll också att de utspädningar och transporttider det normalt gäller borde inte heller en teknik innefattande enbart upplösning av natriumsulfid i avloppsvatten orsaka några problem.

Dock har senare påpekats att Käppalaverkets principiella inställning till utsläpp av tungmetaller, vådliga ämnen o s v fr att dessa skall minimeras och man har understrukit de stora problem som kan tänkas uppkomma då ett litet avloppsverk tar emot 800 kg natriumsulfid under kort tidrymd.

Slutsatser av destruktionsförsöket

Det är fullt möjligt att destruera natriumsulfid enligt den provade metoden. Det är emellertid viktigt att man inte under något skede har ett överskott av i vatten upplöst ferrosulfat, eftersom en sådan upplösning har ett pH värde på ca 4. Detta medför att vissa mängder svavelväte i så fall kan utvecklas innan ett större överskott av natriumsulfid har fått möjlighet att reglera pH mot värden över ca 9.

Destruktion av natriumsulfid vid Grönwalls Läderfabrik AB i Ängelholm

Årsförbrukningen av Na_2S är ca 50 ton, och substansen används för avhåring av hudar. Efter processen destrueras kemikalien och pumpas ut i det kommunala avloppet.

Destruktionen tillgår på följande sätt:

De förbrukade vätskorna tappas i en stor cistern på ca 100 m^3 där vätskan behandlas med luft och mangan-sulfat som katalysator för uppoxidationen av sulfiden till elementärt svavel, tiosulfat och sulfat. Denna process tar ca ett halvt dygn. På detta sätt kan man ta bort ca 90% av den sulfidmängd som finns i de förbrukade vätskorna. Man har tillstånd från kommunen att släppa ut ett visst antal kilogram sulfid per dygn. Innan vattnet släpps ut i det kommunala nätet gör man en sulfidanalys för att se att halten ligger under ett visst gränsvärde.

Denna destruktionsmetod är sedan många år välprövad i industriell skala.

1981-10-13 I samarbete med Ragnells destruerades 1600 kg Na_2S vid deras anläggningar i Högbytorp i Upplands Bro.

Energitankarna (2 stycken) placerades i en betongbas-säng som kan rymma ca 1000 m^3 . Ånga från en 100 kW ång-generator spölades in i tankarna. Vid detta tillfälle var natriumsulfiden nästan torr, och varje tank innehöll således en energimängd motsvarande ca 800 kWh.

Denna energi tillsammans med vattenångans energi resulterade i att all natriumsulfid smälte på ca 1 timme.

Tankarna tömdes ut i bassängen tillsammans med ca 10 m^3 vatten.

Denna lösning sögs senare upp i en tankbil, och söreds ut över soptippen. I reaktionen mellan natriumsulfiden och luften oxideras sulfiden i första hand till sulfit.

Nedanför tippen ligger en laksjö dit regnvattnet rin-ner. Laksjön är svagt basisk.

Natriumsulfid som inte kan tas tillvara på annat sätt kan med denna metod enkelt och billigt destrueras.

8.3 Brandprov

1980-11-25 utfördes ett första brandförsök med natriumsulfid i närvaro av följande personer:

Hans Lagerhorn, Sveriges Brandskyddsförening
 Mats Bergman, Statens Brandnämnd
 Erik Ekefahl, - " -
 Olli Michal, - " -
 Lars Schalin, Produktkontrollbyrån
 Anders Laverskog, - " -
 Ingemar Grenthe, oorg.kemi, KTH
 Willy Andersen, elektronfysik, KTH
 Kjell Nilver, Institutionen för byggnadsmateriallära, KTH
 Valdis Girdo, Institutionen för byggnadsteknik, KTH

Brandprovets utförande

Vid proven användes natriumsulfid som torkats på vårt laboratorium vid KTH. Saltet analyserades den 28 november 1980 av Åke Bresle och visade sig ha följande sammansättning:

99% Na_2S , 0,8% NaHS samt 0,1% H_2O

Referensprov

Under hela provtiden (ca 30 min) låg ca 1 kg Na_2S öppet på en plåt. Provet utsattes inte för någon annan påverkan än omgivande luftens.

Vädret var klart. Det rådde låg luftfuktighet, svag vind och temperaturen var -5°C . Inget hände med referensprovet under försöket.

Gallerprov

1 kg Na_2S lades i en hög på ett galler. Gallret befann sig i m^0 över marken. Luften har således tillträde till saltet på båda sidorna. Inget hände.

Träflis stacks ner i saltet. Inget hände. Antändning försöktes med tändstickor. Det fräste en kort sekund, sedan slocknade tändstickan och saltet.

Saltet tillfördes varm luft med en värmepistol. Saltet förblev dött.

En bit av en plastsäck lades på natriumsulfiden. Plastbiten antändes med en tändsticka. Det började då att glöda i det intilliggande området av saltet. Varmluft från värmepistolen gjorde att glöden tilltog, men den dog ut snabbt då plastbiten slutade brinna och varmlufttillförseln togs bort.

Lågan från en gasolbrännare användes sedan för att "få fart på saltet". Just där lågan tillsattes fick vi en kraftig glödgning.

När värmefläkten sattes på igen ökade glöden ännu mer. Värmet från reaktionen gjorde att angränsande områden också började glöda och reaktionen spred sig.

När saltmassan pyrt ett tag hade en kaka bildats ovanpå. Den bestod till stor del av Na_2SO_3 och Na_2SO_4 . Denna kaka kom att skydda underliggande salt genom att den blockerade syretillförseln. Inget speciellt dramatiskt hände dock. Vatten hölls på glöden. Det pyste till, men inget mer skedde.

Oljeförsök

Na_2S uthölls på ytterligare en plåt. Olja (Tereso 100) tillsattes. Inget hände. Detta förmodligen beroende på att oljan dränker in saltet och förhindrar syretillförsel. Vatten hölls på det hela. Det rök lite då.

Tankförsök

I ett annat försök användes en plåtdunk (3-4 liter) med urladdad natriumsulfid i botten och torrt salt i toppen. Dunken värmdes utanpå med gaslåga koncentrerad på ett ställe. Natriumsulfiden glödde och gulfärgades. När gaslågan togs bort rök saltet sakta och fortsatte att göra så ända tills nästa dag.

Slutsatser av brandprovet

Det var uppenbart att om man inte gör något drastiskt med Na_2S så är den harmlös ur brandsäkerhetssynpunkt. Möjligt kan en varm sommardag med hög luftfuktighet saltet börja glöda långsamt på vissa ställen. Saltet kunde dock inte antända trä eller plastmaterial som låg i direkt anslutning.

Viskösa organiska substanser, såsom olja, har visat sig vara ofarliga tillsammans med Na_2S . Saltet kan tänkas antändas av lättflyktiga vätskor såsom bensin eller fotogen. Detta undersöks i separat prov vid senare tillfälle.

En omgivande brand till en öppen salttank kan medföra att saltet börjar glöda relativt långsamt.

I samtliga fall gäller att för att saltet skall ha en chans till glödning erfordras god syretillförsel och konstant hög temperatur.

Självantändningstemperaturen är ej känd och bör därför undersökas.

När kolsyresnö sprutades på brandprovet reducerades glöden något samtidigt som svavelväte utvecklades. En brun hög bildades i toppen av saltet vid släckningen, troligen natriumkarbonat.

1980-12-12 utfördes ett kompletterande brandprov med torr natriumsulfid i kontakt med lättantändliga ämnen såsom bensin och fotogen i närvaro av:

Hans Lagerhorn, Svenska Brandskydds Förening.

Vädret vid provtillfället

Mulet. Svag vind. Temperaturen var 0° och luftfuktigheten 97%.

Utförande

Ca 1/2 kg torr natriumsulfid lades ut på en plåt. Ungefär hälften av saltet indränktes med bensin. Blandningen fick sedan stå några minuter. Ingen synbar reaktion inträffade.

Därpå antändes bensinen med en tändsticka. Eldflammar uppstod men det brann inte livligare än om enbart bensin antänts. Det är snarare så att det är en fördel att ha natriumsulfid närvarande, då den kan suga upp bensin och samtidigt hindra syretillförseln. Na₂S förhöll sig passivt medan bensinen brann. Detta befor på att bensinen "tar hand om allt syre". Saltet kan inte oxideras då. När det nästan slutat birnna började natriumsulfiden att glöda. Den glödde sedan svagt. Det hela var relativt odramatiskt.

Provet upprepades men denna gång hälldes fotogen på istället för bensin. Skillnaden var att när fotogenet hade antänts så började natriumsulfiden glöda nästan med en gång. Fotogenet brann inte lika häftigt som bensinen och saltet hade därför bättre tillgång till syre.

Saltet fortsatte att glöda efter det att elden slocknat. Inget äventyrligt hände under detta prov. Saltet spreds ut och glöden tilltog eftersom syretillförseln ökade.

Därefter prövades att släcka saltet med kolsyresnö. Först kvävdes glöden, men sedan började det ryka ordentligt och man kände en tydlig svavelvätelukt. Natriumsulfiden hade reagerat med H₂CO₃ som är en syra.

Vid brandsläckningsarbete på Na₂S bör därför aldrig kolsyresnösläckare användas

Försök med pulversläckare bör göras.

Slutsatser

Bensin respektive fotogen är inte mer brandfarligt tillsammans med Na₂S än vad vätskorna är ensamma. Natriumsulfiden kan istället ha motsatt effekt då den absorberar ämnena.

Vid brandsläckningsarbete bör inte kolsyresnösläckare användas eftersom svavelväte utvecklas.

1981-06-12 utfördes säkerhetsprov med natriumsulfid vid Hageby sontipp.

Närvarande: Hans von Ubisch, konsult Naturvårdsverket
Åke Bresle
Ernst-Åke Brunberg
Bengt Nilsson
Peter Åkerman

I protokollet noterades följande:

Bakgrund:

För att natriumsulfid som energilagringssubstans skall få ett vidsträckt användningsområde måste alla tänkbara säkerhetsaspekter noga vara undersökta. För att utröna saltets brandfarlighet har redan två prover utförts, dels försök till antändning med torrt salt enbart, och dels tillsammans med lättantändliga ämnen såsom bensin och fotogen. Dessa två prover gav lugnande besked om brandrisken och finns närmare beskrivna i två separata rapporter ("Brandprov vid stugan I & II).

Då det ansågs nödvändigt med kompletterande prov togs kontakt med tekn dr Hans von Uebisch, konsult åt Naturvårdsverket, för att få nya synpunkter på utförandet. För att simulera en realistisk händelse föreslogs försök med acetylgassvets på Tepidittank. Vidare skulle natriumsulfiden utsättas för ett kraftigt oxidationsmedel t ex klorex. Klorex är ett vanligt ogräsbekämpningsmedel och innehåller natriumklorat och natriumklorid.

Utförande

Försöken utfördes på Hageby söptipp. Vädret var regnigt och blåsigt. Temperaturen ca +10 °C.

En 1 liters plåtburk fylldes med $\text{Na}_2\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ och lock påsattes. Acetylgassvetsens låga fördes mot burkens mantelyta. Den tunna plåtväggen gav snabbt vika och lågan nådde saltet. Detta började smälta och glöda av lågans värme och några glödande korn blåstes iväg 2 - 3 decimeter av gasströmmen.

Acetylgasen stängdes av och enbart syrgas tillfördes. Någon speciell skillnad kunde ej märkas utan saltet i ytskiktet var fortfarande en glödande smälta. Denna svalnar och stelnar direkt när svetsen/syrgasen tas bort. Underliggande saltmassa föreföll vara helt opåverkad.

Nästa försök utfördes i ett järnrör, \varnothing 40 mm, 3 mm godstjocklek, och ca 200 mm långt. Röret fylldes med $\text{Na}_2\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ och förslöts med ett gängat lock försett med en säkerhetsventil. Efter en stunds svetsangrepp åstadkoms ett centimeterstort hål på röret. Ingen antändning av saltet skedde, ej heller då enbart syrgas tillfördes. Detta är också vad man kan vänta eftersom inga brännbara gaser produceras vid upphettning av $\text{Na}_2\text{S} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Försöket upprepades sedan med ett rör fyllt med vattenfri Na_2S . Händelseförloppet blev lika odramatiskt som i det föregående försöket, d v s saltet närmast det uppsvetsade hålet smälte och började glöda. Smältans färg var mörkt röd, den typiska färg som smält Na_2S har.

Därefter gjordes två försök med iblandning av klorex i saltet. I det första blandades några gram klorex med en liten mängd $\text{Na}_2\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ direkt på marken. Med en tändsticka antändes blandningen och en följd av små

miniexplosioner uppfattades som ett knattrande ljud. Detta var dock betydligt lindrigare än smällan av "1-öres"-smällare.

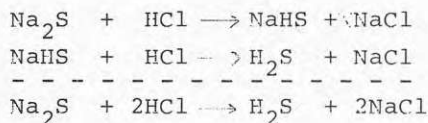
Som slutförsök blandades i en ny plåtburk 1/2 kg vattenfri Na_2S med några 10-tal gr klorex. Locket sattes endast löst på och burken placerades mellan några stenblock. Acetylensvetslågan fick värma burken och efter en kort stund startade reaktionen. Tack vare att locket lätt lossnade skedde ingen explosion, men reaktionsförloppet gick mycket snabbt och under kraftig rökutveckling.

Slutsatser:

Inte ens ett slarvigt hanterande av en acetylengassvets vid arbeten på ett Tepidussystem kan orsaka någon allvarligare olyckshändelse. Iblandning av ett kraftigt oxidationsmedel t ex klorex ger självklart ett kraftigt reaktionsförlopp, som dock inte på något speciellt sätt skiljer sig från vad som är att vänta vid reaktion med ämnen som relativt lätt oxideras.

8.4 Svavelväteproblemet

Svavelväte är en giftig och i luft explosiv gas, som utvecklas om natriumsulfid blandas med ungefär lika mängd av en stark syra. Om saltsyra används sker reaktionen:



Reaktionen går i två steg och inte i ett, vilket är fallet vid produktion av en annan giftig gas HCN:



I natriumsulfidfallet måste alltså inom ett område i saltmassan all natriumsulfid först ha omvandlats till NaHS innan ytterligare tillförd syra förmår producera svavelväte.

Den praktiska konsekvensen av att svavelvätebildning sker i två steg är att när begränsade kvantiteter av starka syror blandas med stora kvantiteter natriumsulfid, produktionen av svavelväte inte är så dramatisk som man skulle tro ifall inte reaktionen i två steg via NaHS beaktas.

Praktiska försök har bekräftat detta. I laboratorieexperimentet har stark syra droppvis tillförts natriumsulfid varvid endast ca 10% av den mängd svavelväte bildats, som den fullständiga reaktionen skulle ge.

Transport av natriumsulfid

Hos svenska myndigheter finns ingen helt klar uppfattning om huruvida det är tillåtet transportera torr natriumsulfid inom Sverige (av två skäl, som framgår av

inledningen 8.1). Däremot tillåter inte de internationella reglerna (ADR) sådana transporter mellan olika länder. För att ändra de internationella reglerna krävs insats från Statens Industriverk (SIND). Vid kontakt med dess expert på dessa frågor meddelades att SIND gärna hjälper till härmed och att för transport av torr natriumsulfid inom Sverige någon typ av tillstånd kanske behövdes. SIND hänvisade emellertid till Produktkontrollbyrån som först skall yttra sig.

Planverket, som skall godkänna värmeinstallationer i byggnader hänvisade till Produktkontrollbyrån för yttrande.

Under november 1981 kommer ett brandförsök med en energiackumulator innehållande ca 800 kg natriumsulfid att utföras. I detta kommer representanter för bl a Produktkontrollnämnden, Statens Planverk, Naturvårdsverket, Arbetarskyddsstyrelsen och Statens Brandnämnd att delta.

Enligt Produktkontrollbyråns representanter måste sannolikt ett prov på behållarnas hållfasthet göras innan tillstånd eller dispens kan ges för transport av torr Na_2S .

9. EKONOMI

Energikostnaden per kWh från ett lagringssystem är direkt avhängig av laddningsenergens kostnad och systemets utnyttjandegrad. I ett säsonglagringssystem, där lagret omsätts endast en gång per år, blir kapitalkostnaderna så höga att även om primärenergien är mycket billig (spillvärme) blir kostnaderna per producerad kWh hos konsumenten högre än dagens energikostnad med konventionell oljeeldning.

Det är därför viktigt att använda energiackumulatören optimalt med ett stort antal ur- och uppladdningar per år och om möjligt utnyttja systemets egenskap att kunna kyla samtidigt som det avger värme.

Denna rapport omfattar inga detaljerade kostnadsberäkningar för olika tillämpningsområden. Uppskattad kostnad för några tillämpningar belyses.

Produktionskostnaden för en energiackumulator med en kapacitet på 1 MWh kan med nuvarande erfarenhet uppskattas till 7-8000 kr. Görs enheterna större minskar kostnaden per MWh något. Förutsättningen för denna kostnad är stor serieproduktion.

Med denna utgångspunkt får man välja vilken tillämpning som skall kostnadsberäknas. Kringutrustningens kostnad (kondensator, markslingor, styrenhet, rör etc) kommer att starkt variera med tillämpningen. För en installation med en effekt av ca 15 kW uppskattas kostnaden till ca 15.000 kr.

Laddning med spillvärme

Med en kostnad för energiackumulatören enligt ovan och tidigare beräkningar för transport av energin från en spillvärmeproducent beräknas kostnaden för avnämaren bli 25-30 öre. Detta under förutsättning av storskalighet (över 5 MW effekt spillvärme) och välordnad transport med specialbilar. Avståndet maximalt 30 km mellan spillvärmekälla och avnämare. Lageromsättning minimum 20 gånger/år. Ytterligare underlag för kostnadsberäkning av spillvärmetransport kommer fram i Nackaprojektet som behandlas kort under punkt 10.

Mottagaren av energin i detta exempel är en industri (eller ett bostadshus) där en grundinstallation av förångare med styrutrustning har gjorts. Avskrivningstiden är satt till 20 år och räntan har antagits vara 4 % (realränta).

Laddning med nattelektricitet.

Korttidslagring (dygns-, ev veckolagring med billig nattel som laddningsenergi är i flera länder en attraktiv tillämpning. Omsättningen på lagret överstiger här 300 gånger per år och med en elkostnad som under "peak time" kan vara 50-60 öre och under "off peak time"

kan vara 15-25 öre finns det åtskilligt att vinna med ett lagringssystem.

Om TEPIDUSSYSTEMET med möjlighet att kyla utnyttjas i rätt kombination kan följande räkneexempel ställas upp för en byggnad.

Beräknat:	värmebehov	300 MWh	varav dagtid	150
	kylbehov	100 MWh	"	" 75

Kostnad för el utan lagring blir om 50 resp 15 öre används:

värme + tappvarmvatten	97.000 kr
kyla	41.000 "
summa/år	<u>138.000 "</u>

Kostnad för el med lagring (kemisk värmepump)

värme + tappvarmvatten	45.000 kr
kyla (25 MWh under natt)	3.700 "
	<u>48.700 "</u>

Med denna besparingspotential kan investeringar på flera hundra tusen kronor göras i ett lagrings-system av TEPIDUS-typ.

LITTERATUR

Nedan anges en del litteratur som behandlar samma ämne som denna rapport.

- 1) "Kemisk energilagring", STU projekt 79-6927
Ernst Åke Brunberg
- 2) Uppvärmning, kylning och energilagring med hjälp av absorptionsprocessen.
H. Bjurström, W. Raldow. Information nr 200-1980 STU.
- 3) Kemiska värmepumpar, BFR rapport R4:1982
Hans Stymne
- 4) Storage of heat. Survey of efforts and possibilities.
Wettermark, Carlsson, Stymne. Document D2:1979.
Swedish Council for Building Research.
- 5) International Seminar on Thermochemical energy storage.
Gunnar Wettermark. Document D25:1980. Swedish Council
for Building Research.
- 6) Thermochemical heat storage. State of the art report.
Gerhard Oelert et al. Document D2:1982. Swedish
Council for Building Research.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
771436-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till Tepidus AB, Stockholm.**

R49: 1982

ISBN 91-540-3685-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700549

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 35 kr exkl moms