



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

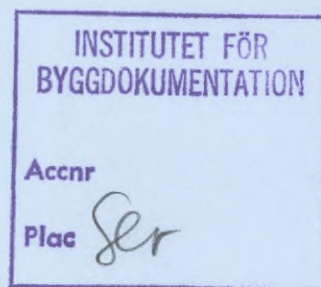
**R80:1987**

# **Borrhålsvärmelager i Luleå**

**Värmeteknisk utvärdering**

**Peter Dimle**

**Mats Wilhelmsson**



**Byggeforskningsrådet**

R80:1987

BORRHÅLSVÄRMELAGER I LULEÅ

Värmeteknisk utvärdering

Peter Dimle  
Mats Wilhelmsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
840053-1 från Statens råd för byggnadsforskning  
till AIB - Allmänna Ingenjörbyrå AB, Solna

## REFERAT

Under de senaste tre åren har ett borrhålsvärmelager varit i drift intill högskolan i Luleå. Syftet med projektet är att prova denna typ av energilagringssystem i en anläggning vars skala är 1/10 av full skala. Anläggningen har blivit föremål för omfattande utvärderingsarbeten.

Anläggningen består, förutom av lagret, av en värmepumpinstallation samt ett styrsystem som i olika driftfall styr urladdningen av lagret. Denna rapport avser utvärdering av det system som knyter samman lagret med värmekonsumenten.

Under utvärderingsarbetet har olika mätningar utförts, dels av Allmänna Ingenjörskyrån AB, dels av Luleå Högskola och Luleå Energiverk. Dessa mätningar ligger till grund för själva utvärderingen.

Den tekniska utrustningen har i stort sett fungerat bra. Ett fåtal driftstörningar har registrerats, främst orsakade av cirkulationspumparna och värmepumparna. Momentana mätningar i början av tredje mätperioden visar att värmepumparna ger fullt godtagbara värden på både värmeeffekt och värmefaktor.

Omkopplingsmöjligheterna styrda av de olika driftfallen har visat sig väl motiverade och regleringen har fungerat bra. Besparingen i form av minskat värmeuttag vintertid för andra året till följd av lagret har beräknats till ca 150.000 kr.

Anläggningen har inte svarat för så stort energibidrag till förbrukaren, som man hade beräknat, men det beror främst på att man av olika anledningar inte laddat upp lagret till den nivå man tänkt sig. Byggnadens onormalt höga temperaturkrav på värmevattnet har begränsat värmeöverföringen.

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

R80:1987

ISBN 91-540-4776-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		<u>Sid</u>
Sammanfattning		1
1.	Projektbeskrivning	2
2.	Systembeskrivning	3
2.1	Driftfall	3
2.2	Reglering	5
3.	Mätning och datainsamling	6
3.1	Mätutrustning	6
3.2	Driftjournaler	6
3.3	Mätning vid lagret	8
3.4	Intensiva mätperioder	9
3.5	Värmemängdsmätningens tillförlitlighet	10
3.6	Övrig mätnoggrannhet	11
4.	Data om uttagsperioderna de första två åren	12
5.	Täckningsgrad	13
6.	Laddning och uttag ur lagret	15
6.1	Energimängd	15
6.2	Flöde och temperatur	15
6.3	Cirkulationsvattnet i lagret	17
7.	Värmepumparnas funktion	18
7.1	Värmefaktor	18
7.2	Värmeeffekt	19
7.3	Effektmätning momentant på anläggningen	19
8.	Undersökning av fördelarna med drift fall 2 jämfört med driftfall 3	21
9.	Värmeväxlaren	23
10.	Besparing år 2	24
11.	Slutsatser	25
Bilaga 1	Litteraturreferenser	
Bilaga 2	Qlager + EM18 avvikelser från VM17	
Bilaga 3	Graddagar och temperatur Luleå fl pl	
Bilaga 4	Kapacitetsdata värmepump	
Bilaga 5	Jämförelse mellan fram-, retur- och cirkulationsvattnets returtemperatur	
Bilaga 6	Mätningar momentant på anläggningen	

## SAMMANFATTNING

Under de senaste tre åren har ett borrhålsvärmelager varit i drift intill högskolan i Luleå. Syftet med projektet är att prova denna typ av energilagringssystem i en anläggning vars skala är 1/10 av full skala. Anläggningen har blivit föremål för omfattande utvärderingsarbeten.

Anläggningen består förutom lagret av en värmepumpinstallation samt ett styrsystem som i olika driftfall styr urladdningen av lagret.

Denna rapport avser utvärdering av det system som knyter samman lagret med värmekonsumenten.

Under utvärderingsarbetet har olika mätningar utförts, dels av Allmänna Ingenjörbyrån AB och dels av Luleå högskola och Luleå energiverk. Dessa mätningar ligger till grund för själva utvärderingen.

Den tekniska utrustningen har i stort sett fungerat bra. Ett fåtal driftstörningar har registrerats främst orsakade av cirkulationspumparna och värmepumparna. Momentana mätningar i början av tredje mätperioden visar att värmepumparna ger fullt godtagbara värden på både värmeeffekt och värmefaktor.

Omkopplingsmöjligheterna styrda av de olika driftfallen har visat sig väl motiverade och regleringen har fungerat bra. Besparingen i form av minskat värmeuttag vintertid för andra året till följd av lagret har beräknats till ca 150.000 kr.

Anläggningen har inte svarat för så stort energibidrag till förbrukaren som man hade beräknat men det beror främst på att man av olika anledningar inte laddat upp lagret till den nivå man tänkt sig. Byggnadens onormalt höga temperaturkrav på värmevattnet har begränsat värmeöverföringen.



## 1. PROJEKTBEKRIVNING

Projektet "Lulevärme" är ett projekt som innebär byggande, igångkörning, drift och utvärdering av ett sk borrhålslager. Lagret är avsett att säsongslagra värme från sommar till vinter och är beläget intill Högskolan i Luleå.

Följande intressenter ingår i projektet:

Luleå Energiverk AB, LEAB Luleå	Byggherre, drift- ansvar o ägare av anläggningen
Svenska Energi System AB, SES, Luleå	Totalentreprenör
AIB - Allmänna Ingenjör- byrå AB, Solna	Projektering
Byggforskningsrådet, BFR, Stockholm	Finansiering
Avdelningen för vattenteknik, Högskolan i Luleå	Forskning

Utvärdering av projektet har genomförts under de tre första driftåren och innefattar geologi, geohydrologi, vattenkemi, bergmekanik samt värme- och energiteknisk utvärdering.

För de första fyra punkterna sker utvärderingen främst genom Luleå högskola. Luleå energiverk svarar för viss uppföljning av driften för anläggningen.

Detta är en värme- och energiteknisk utvärdering av framför allt systemet som knyter samman lagret med värmeförbrukaren, dvs Luleå Högskola, som värmer upp en av sina byggnader med hjälp av lagret.

Systemet innehåller bl a en värmepumpinstallation avsedd att höja temperaturen på vattnet när lagrets temperatur ej är hög nog för förbrukarens krav.

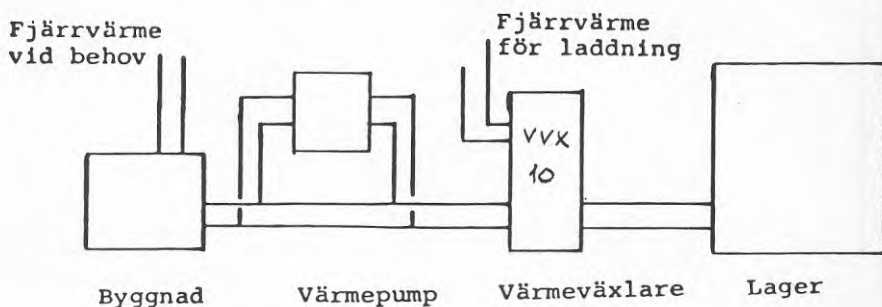
Under sommarhalvåret laddas lagret genom att varmt vatten cirkuleras i hålen. Värmen kommer från stadens fjärrvärmenät, som sommartid har ett stort överskott från förbränning av gas från SSAB.

Borrhålslagret består av en bergvolym på ca 120 000 m<sup>3</sup>. I denna volym är 120 st 65 m djupa, vertikala hål borrarade med diametern 150 mm. Lagret är borrarat inom ett rektangulärt område med sidorna 36 x 44 m.

Energitillförseln till lagret har beräknats till ca 2,8 GWh och energiuttaget till ca 1,6 GWh, dvs värmeförlusten till omgivningen ligger på runt 40 %. Lagret är ett öppet system, dvs värmeväxling sker direkt mellan bergets väggar och det cirkulerande vattnet.

## 2. SYSTEMBESKRIVNING

Systemet är i princip uppbyggt enligt figur 2-1.



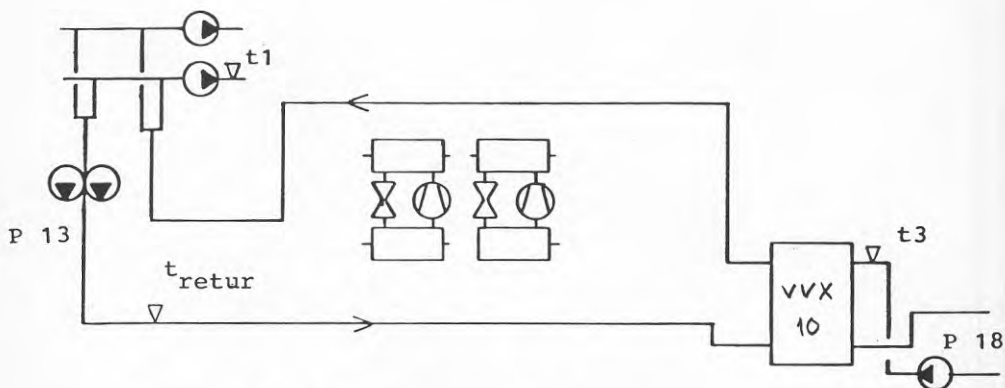
Figur 2-1 Principskiss

Under sommaren, då lagret laddas, värmes vattnet i lagret mot det varma fjärrvärmevattnet. Det så uppvärmda vattnet cirkuleras sedan i borrhålen och värmer successivt upp bergmassan med ett ca 70°C varmt vatten.

### 2.1 Driftfall

Under urladdningstiden (uppvärmningssäsongen) är systemets koppling uppdelad i tre olika driftfall, betecknade driftfall 1 - 3.

Driftfall 1 kännetecknas av att temperaturen på vattnet från lagret är högre än temperaturbehovet i framledningen.

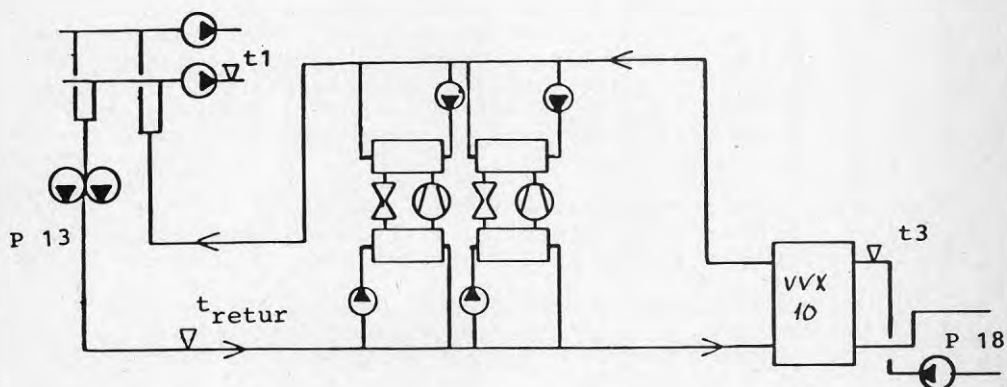


Figur 2-2 Driftfall 1,  $t_3 > t_1$



I driftfall 1 är inte värmepumpen inkopplad utan värmeväxling sker endast mellan lagrets vatten och radiatorvattnet.

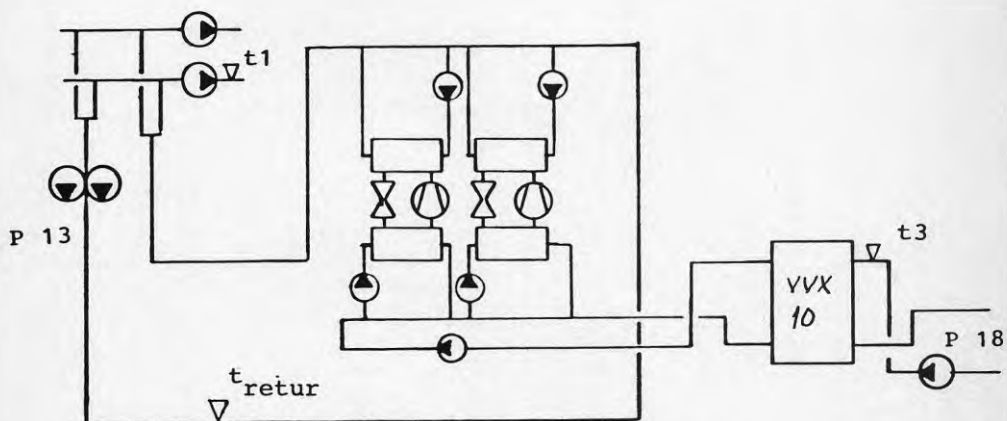
Driftfall 2 kännetecknas av att temperaturen på vattnet från lagret är lägre än temperaturbehovet på framledningen men högre än temperaturen på returledningen.



Figur 2-3 Driftfall 2,  $t_3 < t_1$ ,  $t_3 > t_{\text{retur}}$

Vattnet passerar först förångarsidan på värmepumparna, värms sedan i värmeväxlaren och värms sedan ytterligare då det passerar kondensorererna innan det leds ut i radiator- och ventilationskretsen.

I driftfall 3 är temperaturen från lagret lägre än returtemperaturen.



Figur 2-4 Driftfall 3,  $t_3 < t_{\text{retur}}$

I detta fall låter man radiatorvattnet endast passera kondensorsidan på värmepumparna. En separat krets går sedan mellan värmeväxlaren och förångarsidan på värmepumparna.

## 2.2 Reglering

Cirkulationspumpen för lagrets vatten (P 18) varvtalsregleras via en frekvensomformare. Denna får signal från temperaturgivare som mäter temperaturdifferensen mellan lagrets vatten och radiatorvattnet vid värmeväxlare 10. Temperaturdifferensen hålls konstant vid 2°C genom att flödet i lagerkretsen varieras. På detta sätt kommer flödet att vara lika i de båda kretsarna.

Köldbärartemperaturen från förångarna tillåts inte gå över 25°C. Vid varmare köldbärartemperatur cirkuleras köldbäraren i kretsen runt förångarna.

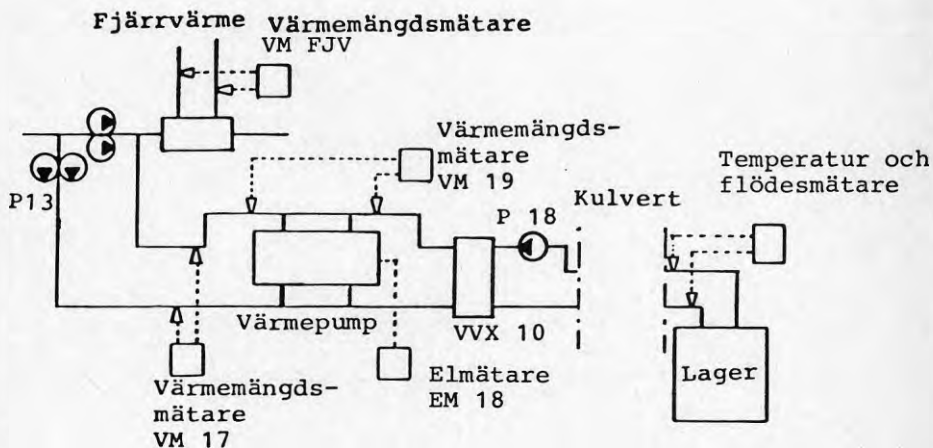
Framledningstemperaturen till förbrukarna styrs med hjälp av utetemperaturen. När temperaturen från anläggningen är för låg går fjärrvärme in och kompletterar efter behov.

Mellan de tre driftfallen skiftas helt automatiskt via regulator som får signal från temperaturgivare på olika ställen i anläggningen.

### 3 MÄTNING OCH DATAINSAMLING

#### 3.1 Mätutrustning

För att kontinuerligt kunna kontrollera att anläggningen fungerar finns en del fast mätutrustning inkopplad, se figur 3-1.



Figur 3-1 Fast mätutrustning

På fjärrvärmeanslutningen samt runt värmepumpen sitter värmemängdsmätare. Till värmepumpen levererad elenergi registreras med elmätare.

På lagersidan sitter temperatur- och flödesmätare anslutna till dator. Flöde och temperatur registreras en gång i timmen.

#### 3.2 Driftjournaler

Varje dag under driftens gång har driftjournaler förts över anläggningen. I denna har bl a värmemängdsmätarnas värden och vissa temperaturer, som fram- och returledningstemperatur till lager och undercentral, skrivits ner. Även vilket driftfall som varit igång samt drifttid för pump P18 som cirkulerar vattnet i lagret har antecknats.

Hur driftjournalerna kan se ut visas i figur 3-2.



LULEVÄRME DRIFTJOURNAL VÄRMEUTTAG

Dat	VÄRMELAGER				MASKINRUM												
	Tryck R stam	Tryck T stam	Drift-Fall ?	Drift-Tid P18	Tryck P18	Temp från	Temp Till	Temp UC Till	Temp Fr	HP 1 LT	HP 1 ET	HP 1 OT	HP 2 LT	HP 2 HT	HP 2 OT	TM	Event Larm+övr
-6	14.1	13	52	3	12411	150	42	31	48	44	11	11	07	04	07	27	L. FLOD ÖVERSKOTT P. 8
-9	15.1	20	40	3	12430	92	43	33	53	48	11	11	07	04	07	36	
+1	16.1	10	100	2	12455	7150	42	34	46	34	11	11	07	04	07	40	
-12	17.1	5	95	2	12480	7150	41	33	45	34	11	11	07	04	07	35	
-11	18.1	21	35	3	12508	100	42	32	49	44	11	11	07	04	07	39	
-20	17.1	4	100	3	12503	7150	43	34	48	43	11	11	07	04	07	26	L. FLOD ÖVERSKOTT P. 8
-22	20.1	20	40	3	12534	95	43	32	51	47	11	11	07	04	07	41	
-30	21.1	20	40	3	12558	90	42	33	57	52	11	11	07	04	07	39	
-30	21.1	20	37	3	12582	87	42	32	58	52	11	11	07	04	07	39	
-25	23.1	18	40	3	12609	94	42	32	52	47	11	11	07	04	07	38	
		30	85	3	12628	85	42	32	56	51	11	11	07	04	07		
-28	27.1	18	35	3	12651												
-20	26.1	11															



LULEVÄRME DRIFTJOURNAL

"VÄRMEUTTAG"

BL II

1985

Dat	MASKINRUM MÄTARST				UNDERCENTRAL					
	W M17 Lev Mät	VM 19 HP1+HP2	EM 18 HP1+HP2	EM 20 Övrigt	Fjärrvärme Mätarst	P13 Mät	Temp ΔP	Temp Vent Fl	Temp Rad Fl	Övrigt
14.1	06727	13927	060921	152540	3807.3	2.1	57	51	51	
15.1	06744	139110.3	069319	152854	3813.9	2.0	61	54	51	
16.1	06753	139472	070250	153339	3821.7	2.3	43	40	50	
17.1	06762	13936	071071	153806	3825.0	2.2	42	40	51	
18.1	06771	13941	072155	154309	3833.4	1.9	57	52	51	
19.1	06773	13942	072941	154666	3845.6	2.0	49	49	51	
20.1	06781	13950	074026	155043	3847.9	1.9	51	52	51	
21.1	06789	13958	077055	155429	3871.0	2.0	67	69	51	
22.1	06797	13966	079288	155814	3893.4	1.9				
23.1	06806	13975	081571	158258						
24.1	06812	13981	083058	158711						
25.1	06821	13990								
26.1	06830									

Figur 3-2 Exempel på driftjournaler

## 3.3 Mätning vid lagret

Mätningen vid lagret består av att tillopps- och returledningstemperatur samt flöde som automatiskt registreras en gång i timmen på en datalogger. Dessutom registreras temperaturen på 36 olika ställen i lagret men i denna utvärdering har endast de förstnämnda temperaturerna och flödet använts. Dessa har överförts från Luleå högskolas dator till AIB's med hjälp av magnetband. Datafilerna visas i figur 3-3.

840125	0	1	1	80.620	3	66.450	5	0.089
840125	100	1	1	78.890	3	67.720	5	0.090
840125	200	1	1	76.620	3	66.740	5	0.089
840125	300	1	1	74.360	3	65.580	5	0.090
840125	400	1	1	72.360	3	64.420	5	0.089
840125	500	1	1	70.690	3	62.950	5	0.090
840125	600	1	1	67.560	3	61.410	5	0.089
840125	700	1	1	65.760	3	60.500	5	0.089
840125	800	1	1	64.260	3	58.840	5	0.090
840125	900	1	1	63.390	3	63.420	5	0.089
840125	1000	1	1	61.790	3	66.080	5	0.089
840125	1100	1	1	61.670	3	64.210	5	0.089
840125	1200	1	1	70.280	3	53.560	5	11.936
840125	1300	1	1	70.110	3	55.570	5	11.955
840125	1400	1	1	72.130	3	56.770	5	12.020
840125	1500	1	1	71.760	3	57.590	5	12.057
840125	1600	1	1	71.290	3	58.530	5	12.090
840125	1700	1	1	72.920	3	58.620	5	12.077
840125	1800	1	1	74.240	3	58.940	5	12.123
840125	1900	1	1	75.120	3	59.210	5	12.085
840125	2000	1	1	75.540	3	59.550	5	12.092
840125	2100	1	1	75.650	3	59.960	5	12.092

Figur 3-3 Utskriftsexempel av datafil

För att kunna använda dessa data har viss behandling gjorts med hjälp av ett dataprogram. Bland annat har dygnsmedelvärden av temperaturer och flöden tagits fram samt energimängder räknats ut. Exempel på dessa behandlade mätdata visas i figur 3-4.

## MATPERIOD 4 : 841106-850520 (UTTAGSPERIOD)

DATUM	TEMP IN (°C)			TEMP UT (°C)			FLODE (l/s)			EFFEKT(kw) (Minustecken =uttag)
	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	
841220	38.0	41.1	35.5	45.3	46.9	44.4	5.8	12.4	1.3	-175.02
841221	37.4	39.3	35.7	44.6	45.2	44.1	7.0	11.6	4.0	-210.39
841222	37.6	37.7	37.4	44.6	44.8	44.2	6.6	6.9	6.3	-191.51
841223	37.1	37.8	35.4	44.3	44.7	43.9	6.8	8.3	4.8	-206.09
841224	37.9	43.6	33.0	44.6	45.6	43.6	5.3	7.8	1.3	-149.77
841225	37.7	43.3	33.6	45.0	46.1	44.0	4.5	6.9	1.3	-137.04
841226	37.1	39.2	35.4	44.1	44.8	43.5	6.8	11.8	3.1	-199.58
841227	37.9	41.2	34.9	44.2	44.7	43.6	5.6	10.7	.1	-149.67
841228	37.5	41.7	32.9	44.2	45.1	43.7	6.0	11.7	1.3	-166.92
841229	37.0	39.5	35.0	43.9	44.4	43.4	6.4	7.7	3.8	-185.62
841230	39.0	41.0	35.4	44.2	44.8	43.8	5.2	8.0	2.2	-113.42
841231	39.1	53.7	33.6	45.2	45.9	44.2	2.9	7.4	1.2	-74.05
850101	36.7	41.3	32.6	44.5	45.5	43.6				
850102	36.5	40.5	32.5	44.5	45.5	43.6				

## MATPERIOD 4 (UTTAGE)

DATUM	ENERGI (kWh)	DRIFT- TIMMAR	DATUM	ENERGI (kWh)	DRIFT- TIMMAR
841106	-5598.	15	841230	-2817.	24
841107	-8288.	24	841231	-1939.	24
841108	-6988.	24	850101	-3514.	24
841109	-5770.	24	850102	-3619.	24
841110	-5182.	24	850103	-1306.	24
841111	-4938.	24	850104	-1138.	24
841112	-6790.	24	850105	-1072.	24
841113	-6039.	23	850106	-823.	24
841114	-5635.	24	850107	-1166.	24
841115	-3978.	24	850108	-1135.	24
841116	-4809.	24	850109	-1150.	24
841117	-5111.	24	850110	-1664.	24
841118	-5915.	24	850111	-2531.	24
841119	-2303.	24	850112	-4170.	24
841120	-497.	16	850113	-4524.	24
841121	-2548.	15	850114	-2511.	23
841122	-1637.	13	850115	-3965.	24
841126	-2720.	13	850116	-5604.	23
841127	-3384.	24	850117	-3434.	14
841128	-4628.	24	850121	-875.	7
841129	-5857.	24	850122	-3052.	24
841130	-3543.	24	850123	-3052.	24
841201	-2724.	13			

Figur 3-4 Exempel på behandlade mätdata

## 3.4 Intensiva mätperioder

Under kortare perioder (2 - 3 veckor) har kontinuerliga mätningar utförts av Allmänna Ingenjörbyrå AB.

Vid dessa tillfällen har mätgivare kopplade till datalagrare placerats ut på ett stort antal ställen i anläggningen, mätningar har då skett var 60:e minut.

Dessa värden har databehandlats på AIB och utskriftsexempel kan se ut som exempel i figur 3-5.



↔ 2305:4 \*\*

\* Luleå värmelager \*  
returledningstemperatur WX 10 värmesida

Temperatur i Gr.C.

S T A T I S T I K					
DAG	DATUM	MEDEL	ST.AVV	MAX	MIN
TOR	24/01	29.64	.33	30.40	29.20
FRE	25/01	29.86	.78	32.00	28.80
LÖR	26/01	29.17	1.54	36.40	28.40
SÖN	27/01	30.10	2.68	36.80	27.60
MAN	28/01	31.34	3.92	41.20	28.40
TIS	29/01	27.25	12.14	40.00	4.00
ONS	30/01	22.00	12.37	43.20	5.20
TOR	31/01	30.80	3.23	41.20	28.80
FRE	01/02	28.11	2.36	35.60	25.60
LÖR	02/02	26.59	2.09	34.40	25.60
SÖN	03/02	28.27	2.83	34.00	24.80
MAN	04/02	26.22	1.66	34.00	25.20
TIS	05/02	27.90	5.88	43.60	25.20
ONS	06/02	26.30	2.38	34.00	24.80
TOR	07/02	27.49	5.36	44.40	24.80
FRE	08/02	26.30	2.63	39.60	24.40
LÖR	09/02	24.70	.24	25.20	24.40
SÖN	10/02	25.01	1.05	29.20	24.00
MAN	11/02	25.25	1.78	33.00	24.40
TIS	12/02	25.58	2.41	33.20	24.40
ONS	13/02	25.68	2.42	33.20	24.40
TOR	14/02	26.96	6.66	46.90	24.40
HELA PER:		27.28	5.11	46.90	4.00
Första värdet: 85.01.24		Sista värdet: 85.02.14			
Klockan: 13.59.00.		Klockan: 09.59.00.			
Ett mätvärde var 60:e M:nut					

Figur 3-5 Exempel på behandlade data från intensiva mätperioder

### 3.5 Värmemängdsmätningens tillförlitlighet

Vid jämförelse mellan de olika värmemängdsmätningarna kan betydande avvikelser konstateras. Dessa visar sig bestå främst i att den elektromagnetiska flödesmätaren vid lagret visar stora fel vid de låga flöden som förekommer vid uttag ur lagret.

För att undersöka avvikelserna har följande jämförelser gjorts:

Mätperioder för att undersöka hur mycket VM16\* avviker från  $Q_{\text{lager}}$ \*\* under laddningsperioder.

Period	Flöde (kg/s)	VM16 (MWh)	$Q_{\text{lager}}$ (MWh)	Avvikelse från VM16
830901-840126	11,2	2911	2785	4 %
840917-841005	11,9	278	283	2 %

\* VM16 har samma placering som VM17 men mäter laddningsenergi, se fig 3-1, sid 6

\*\*  $Q_{\text{lager}}$  Energin uppmätt vid lagret av Luleå högskola

Mätperioder för att undersöka hur mycket  $Q_{\text{lager}}$  + EM18 avviker från VM17 vid varierande flöde i cirkulationskretsen vid uttag:

Period	Flöde (kg/s)	VM17 (MWh)	$Q_{\text{lager}}$ + EM18 (MWh)	Avvikelse från VM17 %
840401-840430	4,61	142	109	23 %
840525-840606	2,54	22	10,9	50 %
841211-841230	6,01	129	88,1	17 %
840428-840511	3,82	50	29,6	41 %

Mätningarna visar att vid stora flöden, som i laddningsperioderna, är mätningarna tillförlitliga. Där-  
emot är avvikelserna stora då flödet är lågt, som  
under uttagsperioderna.

Avvikelsen som funktion av flödet framgår i diagram-  
form i bil 2.

### 3.6 Övrig mätnoggrannhet

Värmemängdsmätarna av fabrikat SVM består av meka-  
niska vattenmätare (SVMV-2) motståndstermometrar  
samt integreringsverk (SVME-62).

Integreringsverken är godkända av det västtyska kon-  
trollorganet PTB. Mätnoggrannheten är då som sämst  
 $\pm 4$  % (vid 10 - 25 % av märktemperaturdifferensen).

Vattenmätarens noggrannhet är  $\pm 2$  % från flödet  
 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Under de intensiva mätperioderna användes termistor-  
er kopplade till datalagrare. Noggrannheten är  $\pm 0,6$   
-  $\pm 1,0^\circ\text{C}$  beroende på vilket mätområde man använt.

## 4 DATA OM UTTAGSPERIODERNA DE FÖRSTA TVÅ ÅREN

År 1 - Anläggningen körs 840207 -- 840606

Från anläggningen erhållen värmeenergi	515 MWh
varav el till värme- pumpar	31,6 MWh
Komplettering med fjärrvärme	418,7 MWh
Totalt behov	933,7 MWh
Drifftid Pl8	2 697 h

Anläggningen svarar för 55 % av totala behovet.  
Temperaturen på vattnet från lagret varierar från  
52°C, då anläggningen körs igång, till 37°C, då ut-  
tagsperioden stoppas.

År 2 - Anläggningen körs 841106 -- 850521

Från anläggningen erhållen värmeenergi	1 185 MWh
varav el till värme- pumpar	172 MWh
Komplettering med fjärrvärme	1 446 MWh
Totalt behov	2 631 MWh
Drifftid Pl8	4 435 h

Anläggningen svarar för 45 % av totala behovet.  
Temperaturen på vattnet från lagret varierar från  
52°C till 32°C.

År 3 - Anläggningen körs 851129 -- 860616

Från anläggningen erhållen värmeenergi	1 028 MWh
varav el till värme- pumpar	61,1 MWh
Komplettering med fjärrvärme	1 208 MWh
Totalt behov	2 236 MWh
Drifftid P18	4 691 h

Anläggningen svarar för 46 % av totala behovet.  
Temperaturen på vattnet från lagret varierar från  
56°C till 36°C.

## 5 TÄCKNINGSGRAD

Intressant ur funktionssynpunkt är hur mycket anläggningen täcker av det totala behovet för byggnaden. Täckningsgraden beror främst på två faktorer:

- uteluftens temperatur, presenterad som graddagar
- temperaturer på vattnet från lagret.

Här presenteras månad för månad hur stor del av energibehovet som anläggningen täcker och samtidigt antal graddagar (korrigerade för driftavbrott) och temperaturen på lagrets vatten in till anläggningen. Statistik över graddagar och medeltemperatur under perioden återfinns i bilaga 3. De presenterade temperaturerna avser månadsmedelvärden.

		Ute- temp (°C)	Grad- dagar	Medel- effekt- behov (kW)	Anlägg- medel- effekt (kW)	Täckn grad (%)	Temp från lager (°C)
1984	Feb	-5,0	461	538	156	29	48
	Mar	-8,3	676	533	290	54	43
	Apr	1,5	410	294	222	75	40
	Maj	10,5	151	166	135	81	38
	Nov	-4,0	463	618	371	60	51
	Dec	-4,0	621	532	286	54	46
1985	Jan	-18,1	1048	873	270	31	43
	Feb	-21,2	901	693	286	41	39
	Mar	-6,3	580	451	230	51	37
	Apr	-1,5	529	340	191	56	34
	Maj	5,2	210	221	155	70	32
	Nov	-5,1	664				56
	Dec	-15,7	1018	750	226	30	53
1986	Jan	-15,2	1000	723	290	40	50
	Feb	-11,6	804	610	257	42	46
	Mar	-2,0	589	388	227	58	41
	Apr	-0,3	521	397	238	60	38
	Maj	6,0	333	138	108	78	36

Som man ser av utetemperaturerna var vintrarna 1985 och 1986 väldigt kalla. Det måste man tänka på då man bedömer dessa siffror.

Under februari 1984, då anläggningen kördes igång, är täckningsgraden mycket låg men anläggningen kördes mycket ojämt så resultatet är inte förvånande. Under övriga månader kan man tydligare se hur anläggningen går. När det är mycket kallt och behovet är stort går täckningsgraden ner. Anläggningens medeleffekt är dock ganska konstant. När behovet blir mindre, mot slutet av uppvärmningssäsongerna, följer anläggningen med och har en bra täckningsgrad trots att temperaturen från lagret är ganska låg. Av uppgifterna för november 1984 kan man se att anläggningens medeleffekt kan bli betydligt högre med ett varmare vatten från lagret. Man skulle med en högre temperatur från lagret då kunna få en betydligt bättre täckningsgrad även de kallaste månaderna.

Värmesystemet i byggnaden som anläggningen försörjer är av lite äldre typ och därför krävs betydligt högre framledningstemperatur än i ett nybyggt hus. Det inverkar naturligtvis också på täckningsgraden.



## 6 LADDNING OCH UTTAG UR LAGRET

## 6.1 Energimängd

Värmelagrets termiska funktion har simulerats med en datormodell framtagen vid institutionen för matematisk fysik vid Lunds tekniska högskola. Ur denna modell har driftförhållanden i lagret beräknats.

Dessa beräknade värden jämförs med uppmätta data från lagret de första två åren.

	<u>Beräknade data</u>	<u>Uppmätta</u>
Laddning år 1 (Mätperiod 1)	3591 MWh	4192 MWh
Uttag år 1 (Mätperiod 2)	1402 MWh	483 MWh
Laddning år 2 (Mätperiod 3)	3962 MWh	2018 MWh
Uttag år 2 (Mätperiod 4)	2012 MWh	1013 MWh

Jämförelsen visar att man inte kommit i närheten av de värden som antogs i datormodellen utom under laddningsperiod år 1. Kommentarer ges i kap 11.

## 6.2 Flöde och temperatur

Flödet genom lagret och tilloppstemperaturen på vattnet in i lagret under laddningsperioden har tagits fram månadsvis (medelvärde av dygnsmedelvärde) och jämförs med antagna värden.

Mätperiod 1 (Laddning)

Antagna driftförhållanden:

Flöde 18 kg/s  
Tilloppstemp 72 - 73°C

Uppmätta värden:

	<u>Flöde (kg/s)</u>	<u>Temp in (°C)</u>
Jul	13,7	45
Aug	12,3	63,7
Sep	10,3	69,1
Okt	12,0	71,3
Nov	10,3	70,4
Dec	11,8	69,2
Jan	11,8	70,5

Mätperiod 2 (Uttag)

	<u>Flöde (kg/s)</u>		<u>Antaget flöde (kg/s)</u>
Jan	3,0	Nov	4,8
Feb	2,9	Dec	3,8
Mar	4,2	Jan	2,8
Apr	4,6	Feb	3,3
Maj	3,2	Mar	2,9
Jun	2,2	Apr	3,2

Att man i denna period inte jämför månaderna kalendervis beror på att uttaget startade först i slutet av januari. Januari stämmer därför bäst överens med första månaden i beräkningsmodellens uttagsperiod.

Mätperiod 3 (Laddning)

Antagna driftförhållanden:

Flöde 18 kg/s  
Tilloppstemp 72 - 77°C

Uppmätta värden:

	<u>Flöde (kg/s)</u>	<u>Temp in (°C)</u>
Jun	10,5	66,2
Jul	8,9	58,1
Aug	8,6	63,7
Sep	11,9	68,9
Okt	11,5	71,2

Mätperiod 4 (Uttag)

	<u>Flöde (kg/s)</u>	<u>Antaget flöde (kg/s)</u>
Nov	6,0	5,2
Dec	5,9	5,2
Jan	3,5	4,5
Feb	3,8	4,4
Mar	4,3	3,8
Apr	4,1	3,2
Maj	4,3	

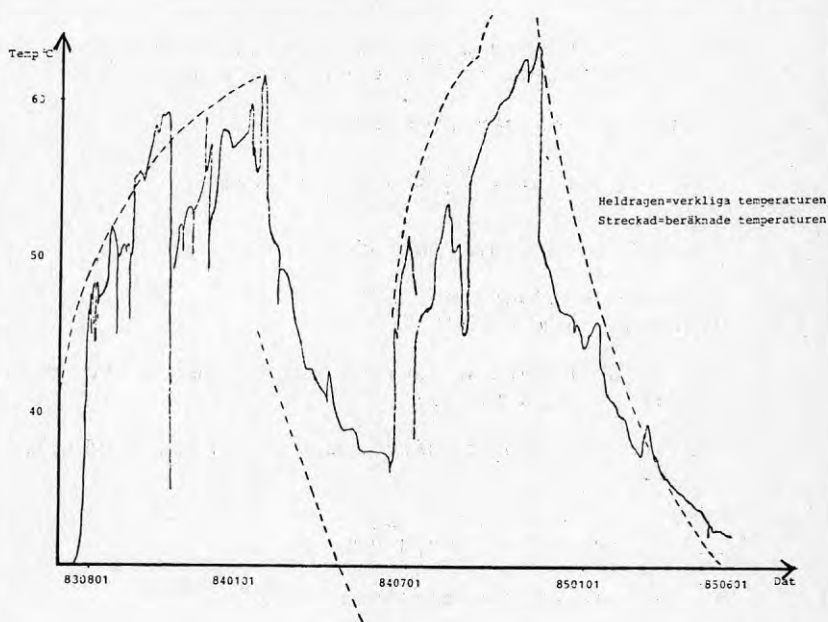
Under laddningsperioderna har flödet varit lägre än antaget och under mätperiod 3 var även laddningstemperaturen låg. Det gör att laddningsenergin är för låg i mätperiod 3. I mätperiod 1 är laddningsenergin t o m högre än vad som antagits i modellen. Detta beror på att laddningsperioden blev betydligt längre än beräknat.

Under uttagsperioderna var flödena genom lagret ungefär de antagna.

### 6.3 Cirkulationsvattnet i lagret

Även cirkulationsvattnets returtemperatur i lagret har beräknats med datormodellen. Den verkliga temperaturen, baserad på dygnsmedelvärden, har ritats ut i diagram och jämförts med den beräknade, se figur 6-1.

Till följd av avbrott och driftstörningar på bl a cirkulationspumpen är returtemperaturen ojämn och under laddningsperioderna ca 5 - 8°C för låg.



Figur 6-1 Cirkulationsvattnets returtemperatur jämfört med den beräknade

## 7 VÄRMEPUMPARNAS FUNKTION

## 7.1 Värmefaktor

De viktigaste komponenterna i installationen mellan värmeförbrukaren och lagret är värmepumparna. Därför är det betydelsefullt att dessa fungerar som man förväntar sig. Installationen består av två värmepumpar av fabrikat STAL Refrigeration, typ VMP 108. Kurvor för överslagsberäkningar finns i bilaga 4.

De större driftstörningar som uppstått är reparation av en förångare under 1985 och byte av kompressor och elmotor på en värmepumpen under 1986.

Följande värden har uppmätts under perioden 850204 -- 850208:

VM19	34 MWh
EM18	8,0 MWh

VM19 = Från värmepumparna uppmätt värmemängd  
EM18 = Elenergi till värmepumparna (se fig 3-1)

vilket ger en värmefaktor:

$$\phi = \frac{Q_l}{E_k} = \frac{VM19}{EM18} = \frac{34}{8,0} = 4,25$$

Förhållanden under perioden är:

Utgående köldbärare 25°C  
Utgående värmebärare 50°C

Enligt STAL Refrigerations kurvor ger detta en värmefaktor på ca 4,7.

Följande värden uppmättes under perioden 850205 -- 850521:

VM19	419 MWh
EM18	99,3 MWh

vilket ger en värmefaktor:

$$\phi = \frac{418}{99,3} = 4,21$$

Perioden är ganska lång, vilket betyder att värmepumpen har gått vid varierande förhållanden, tro- ligen med utgående köldbärare 20-25°C och utgående värmebärare 50-55°C.

STAL Refrigerations kurvor visar att värmefaktorn under dessa förhållanden borde variera mellan 4,2 och 4,7.

Båda perioderna pekar på att värmepumparna givit något i underkant mot vad man skulle kunna förvänta sig. Mätningarna är dock något osäkra och det vore därför fel att generellt påstå att värmepumparna ej givit förväntad värmefaktor.

## 7.2 Värmeeffekten

Utöver värmefaktorn är det även viktigt att värmepumparna ger så mycket värmeeffekt som förhållandena tillåter.

Under perioden 850208 -- 850222, då enligt databladet (bil 4) en värmepump skulle ge en medeleffekt på ca 225 kW vid utgående värmebärare ca 50°C och utgående köldbärare 20-25°C, uppmättes följande:

VM19	125 MWh
Drifftid värmepump I	327 h
värmepump II	311 h

Detta ger en medelvärmeeffekt per aggregat:

$$\dot{Q}_1 = \frac{125 \cdot 10^3}{327+311} = 193,2 \text{ kW}$$

Värmepumparna gav alltså under denna period ca 14 % mindre än tillverkarens kurvor visar. Jämförelsen är relevant eftersom värmepumparna alltid arbetar på full kapacitet när de är i drift.

Vid val av mätperioder har tillgången på mätdata fått avgöra. Det förklarar varför det inte är samma perioder som använts i avsnitt 7.1 och 7.2.

## 7.3 Effektmätning momentant på anläggningen

För att ta reda på dels vad värmepumparna ger momentant och dels effekten från anläggningen vid olika driftfall har mätningar utförts under början av tredje uttagsperioden varvid de tre driftfallen simulerats. Temperaturen på vattnet från lagret är då strax över 50°C. Mätningarna är sammanställda punktvis i bilaga 6.

I driftfall 1 (utan värmepumpar) uppgår den uttagna effekten till mellan 350 och 375 kW. Det motsvarar 8,4 - 9,0 MWh per dygn.

Mätningarna i driftfall 2 (med värmepumpar) visar att effekten ut från anläggningen är av samma storleksordning som i driftfall 1. En något mindre del tas här ur själva lagret.

Endast en värmepump var användbar under mätningen. Temperaturen ut från anläggningen är ändå ca 5°C högre än i driftfall 1.

I denna mätning har även strömmen kunnat mätas. Elektriska effekten och värmefaktorn har då kunnat beräknas.

Mätningen gav följande resultat på fyra mätpunkter.

	Effekt genom värmväxlaren (kW)	Värmeeffekt värmepump (kW)	Effekt ut från anläggning (kW)
1	376	219	439
2	320	234	380
3	260	239	318
4	304	237	342

Både värmeeffekten och värmefaktorn är väl så höga som tillverkarens kurvor visar.

Under mätningen går värmebehovet ner hos förbrukaren. Returen kommer då tillbaka något varmare, varvid effekten genom värmväxlaren sjunker.

För att simulera driftfall 3 kortslöts lagerkretsen strax bortom pump P18. På detta sätt kyls kalla sidan successivt ner och värmepumpen (kompressorn) reglerar ner sin effekt kraftigt. Efter en stund är köldbäraren så kall att värmepumpens regulator slår ifrån kompressorn.

Dessa mätningar visar att värmepumpen ger den värmeeffekt den skall. Nedregleringen av effekten vid kallare köldbärare går bra. Vidare får anläggningen signal att gå i det driftfall temperaturerna visar att den skall.



8           UNDERSÖKNING AV FÖRDELARNA MED DRIFTFALL 2  
JÄMFÖRT MED DRIFTFALL 3

Eftersom omkopplingsmöjligheter ofta drar på sig stora kostnader i form av reglerutrustning, ventiler m m finns det intresse av att undersöka vad man skulle förlora på att slopa det relativt komplicerade driftfallet 2 till förmån för driftfall 3.

Antag därför ett typiskt temperaturfall för driftfall 2, dvs  $t_3 < t_1$  och  $t_3 > t_{\text{retur}}$ .

$$\begin{aligned}t_3 &= 46^\circ\text{C} \\ \Delta t_{\text{berg}} &= 8^\circ\text{C} \\ \Delta t_{\text{mvvx}} &= 2^\circ\text{C} \\ \Delta t_{\text{värme}} &= 8^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Flödesregleringen gör att flödet är lika på båda sidor om värmeväxlaren.

$$\begin{aligned}\dot{m} &= 5 \text{ kg/s} \quad (\dot{v} = 18 \text{ m}^3/\text{h}) \\ P_{\text{vvx}} &= \dot{m} * C_p * \Delta t_{\text{värme}} = 5 * 4180 * 8 = 167,2 \text{ kW} \\ t_{\text{retur}} &= 40^\circ\text{C} \\ t_1 &= 47^\circ\text{C} \\ \Delta t_2 &= 4^\circ\text{C} \\ C_p &= \text{specifik värmekapacitet} \quad (= 4180 \text{ Ws/kg,}^\circ\text{C})\end{aligned}$$

$\Delta t_{\text{mvvx}}$  = värmeväxlarens medeltemperaturdifferens  
 $P_{\text{vvx}}$  = överförd effekt i värmeväxlaren  
 $\Delta t_2$  = temperaturdifferens över förångarsidan på värmepumparna

Undersöker först förhållandet med koppling enligt driftfall 2.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_2 &= \dot{m} * C_p * \Delta t_2 = 5 * 4180 * 4 = 83,6 \text{ kW} \\ \text{Utgående köldbärare är ca } 25^\circ\text{C} \\ \Rightarrow \phi &= 4,20 \Rightarrow \epsilon = 3,20 \Rightarrow \dot{E}_k = 83,6/3,20 = 26,1 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi &= \text{värmefaktorn} \\ \epsilon &= \text{köldfaktorn} \\ \dot{Q}_1 &= 83,6 + 26,1 = 109,7 \text{ kW}\end{aligned}$$

Total värmeeffekt ur anläggningen blir då

$$\dot{E}_k + \dot{P}_{\text{vvx}} = 26,1 + 167,2 = 193,3 \text{ kW}$$

$$\text{Total värmeeffekt/kompressoreffekt} = 193,3/26,1 = 7,4$$

Antag samma temperaturfall men koppling enligt driftfall 3

$$\begin{array}{l} P_{v\dot{v}x} = \dot{Q}_2 = 167,2 \text{ kW} \\ c = 3,20 \end{array} \quad ) \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} \dot{E}_k = 167,2 / 3,20 = 52,2 \text{ kW} \\ ) \end{array}$$

Total värmeeffekt ur anläggningen blir nu

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{E}_k = 167,2 + 52,2 = 219,4 \text{ kW}$$

$$\text{Total värmeeffekt / kompressoreffekt} = 219,4 / 52,2 = 4,20$$

Beräkningen visar att man skulle erhålla betydligt mindre värmeeffekt i förhållande till kompressoreffekt om man under dessa förhållanden använde driftfall 3.

Det är viktigt att ett speciellt driftfall används under en någorlunda stor del av uppvärmningssäsongen. Det visar sig att driftfall 2 har använts en betydande del (42%) av senaste urladdningsperioden.

I diagrammet för cirkulationsvattnets returtemperatur ( $t_3$ ) i bilaga 5 har framlednings- och returledningstemperaturerna inlagts. (Punkterna avser månadsmedelvärden.) När  $t_3$ -kurvan är mellan  $t_{\text{fram}}$  och  $t_{\text{retur}}$  skall driftfall 2 användas. Under första säsongen har driftfall 2 används väldigt lite. Under andra säsongen har däremot driftfall 2 används en betydande del.

Av hela urladdningsperiodens 4 435 timmar har driftfall 2 använts ca 1 870 timmar, vilket är 42 % av perioden. Resultatet hade varit i stort sett det samma om  $t_3$  följt den beräknade (streckade) kurvan. Driftfall 1 har använts ca 850 timmar (19 %) och driftfall 3 ca 1 760 timmar (39 %).

## 9. VÄRMEVÄXLAREN

En annan viktig komponent i anläggningen är värmeväxlaren mellan lagrets och värmekretsens vatten (VVX 10). Man kan säga att en felaktigt dimensionerad eller vald värmeväxlare kan stjälpa totalekonomin för en hel värmeanläggning. I denna anläggning går det inte utan vidare att slopa växlaren eftersom kopplingsfallen kräver att värmekrets och lagerkrets är separerade.

Det är ändå intressant att se vad man skulle tänkas vinna genom att slippa den temperaturdifferens som värmeväxlaren ger upphov till (2°C). Eftersom driftfall 3 kan utformas så att man slipper värmeväxlaren.

Utan värmeväxlaren skulle köldbäraren vara 2°C varmare i snitt. Det ger en förbättring av värmefaktorn med ca 0,1. Vid en medelvärmeeffekt av ca 300 kW ger detta en ökning på 8 - 10 kW. Det är en ökning på ca 3 %. Det visar att man i en större anläggning skulle kunna göra en besparing om en värmeväxling i kretsen kan slopas. Detta får i så fall ske till risken av flera ventiler och risk för läckage mellan medierna.

## 10.      BESPARING ÅR 2

För att få en uppfattning om vad ett lager kan betyda i besparing görs en kalkyl av besparingen år 2 i förhållande till om anläggningen inte byggts. Observera att beräkningen inte inbegriper kapitalkostnad för investeringen.

Värmebehovet 2631 MWh fördelar sig enligt följande:

	Före installation (MWh)	Efter installation (MWh)
Fjärrvärme	2631	1446
El till värmepumpar		172
El till övr utrustning		73
Värme ur anläggningen (exkl el till värmepumparna)		1013

Energipriser i Luleå:

Fjärrvärme	ca 160 kr/MWh
el	ca 202 kr/MWh

I beräkningen antas att abonnemangsavgifterna (effektkostnaden) är oförändrad före och efter installationen.

Kostnaden för energin:

	Före	Efter
Fjärrvärme	421 000	231 000
El		<u>49 500</u>
	421 000	280 500

Beräkningen visar att installationen ger en energibesparing på motsvarande 140 500 kr/år.

## 11. SLUTSATSER

Vad gäller den tekniska utrustningen har den i stort motsvarat förväntningarna.

Värmepumparna verkar under de första två åren givit något för låg värmeeffekt mot vad tillverkarens kurvor visar. Det har dock varit en del mindre fel som leverantören reparerat. Momentana mätningar i början på tredje uttagsperioden visar att värmepumpen ger fullt godtagbara värden på både värmeeffekt och värmefaktor. Se kapitel 7.

Medeltemperaturdifferensen över värmeväxlaren har hållits ganska konstant under de första två säsongerna varför det inte finns anledning att tro att någon betydande försmutsning skett på ytorna vilket skulle ha inneburit en sänkning av värmegenomgångstalet (k).

Enligt kapitel 6 har täckningsgraden varit låg, speciellt under de kallare perioderna. Detta kan dels hänföras till att lagret inte laddats upp till tillräckligt hög temperaturnivå och dels till en del driftstörningar som påverkat urladdningen av lagret. När lagret laddats upp med de energimängder som beräknats fram i simuleringsmodellen kommer täckningsgraden att bli bättre. Men naturligtvis kommer man med de nämnda begränsningarna av effektkapaciteten på ett borrhållslager att få kortare perioder då tillsatsenergin svarar för en stor del av försörjningen. Orsaken till den begränsade kapaciteten är att det avsedda flödet i lagerkretsen endast kunnat uppnås om cirkulationspumpen drivs av en spänning med högre frekvens än 50 Hz. Tryckfallet i plaströrskulverten till lagret överstiger det planerade. Orsaken har inte kunnat fastställas.

Eftersom ventilationen stängs av nattetid och nattsänkning tillämpas blir värmelastens varaktighet osedvanligt kort. Under morgontimmarna förbrukas en stor del av dygnets energibehov. Den begränsade effektkapaciteten hos lagersystemet leder till ett stort behov av tillskottsvärme under denna period.

Täckningsgraden kommer naturligtvis även att påverkas av om värmepumparna kan ge något högre effekt i framtiden. Urladdningen av lagret med de tre olika driftfallen och dess styrutrustning har fungerat som det var tänkt. Alla driftfallen kommer säkerligen att användas en avsevärd del av kommande uttagsperioder. Se kapitel 8 och bilaga 5.

Flödesregleringen med differensstemperaturmätning över värmeväxlare 10 finns det anledning att fortsätta utreda eftersom det under vissa perioder verkar vara skillnad i flödet på lagersidan och flödet på värmesidan.

## LITTERATURREFERENSER

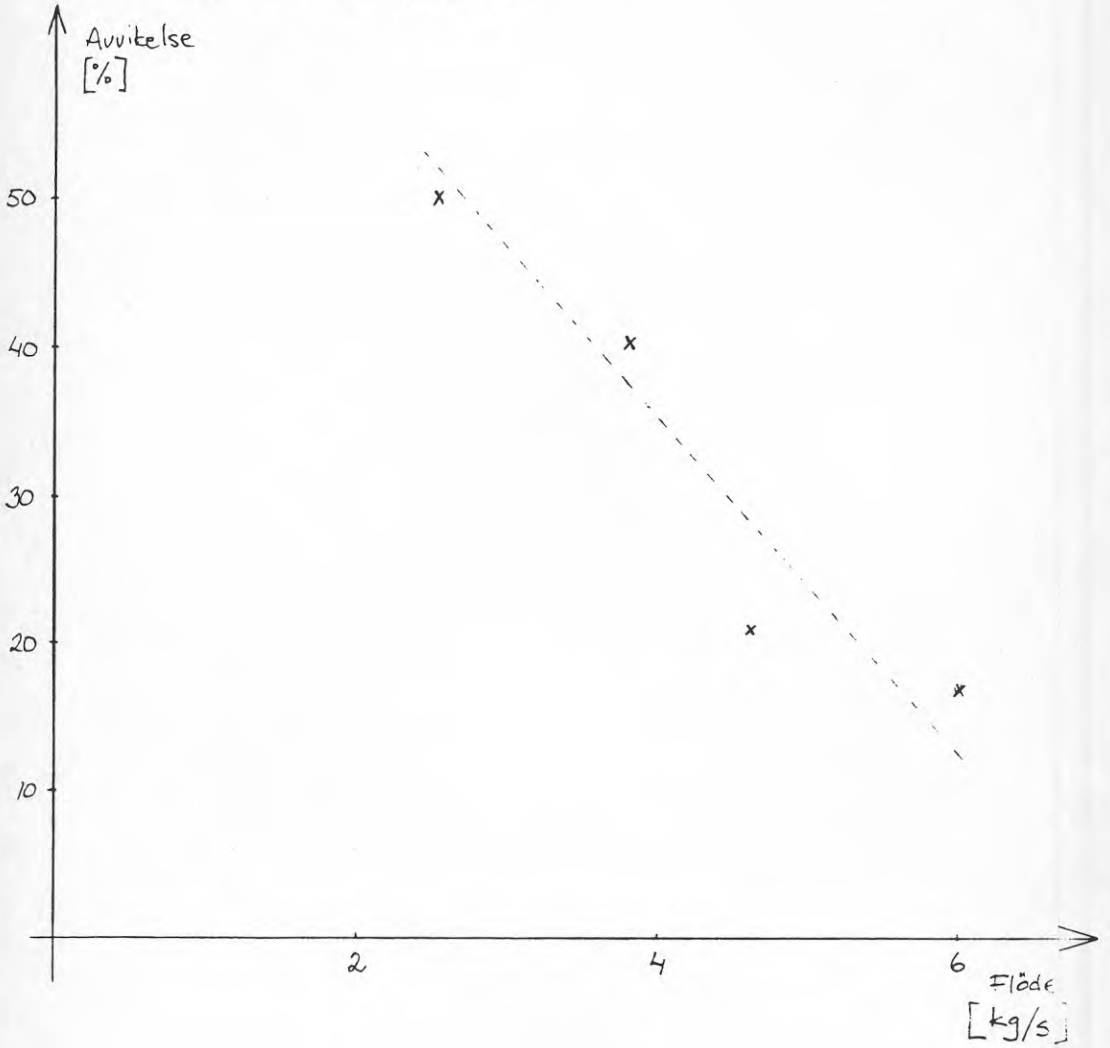
Bokstavsbeteckningarna avser rapporter inom samma volym.

- 1 BFR-seminarium 1-2 dec 1982  
Högtemperaturlagring under mark  
BFR R104:1983
- 1a Gunnar Gustavsson;  
Tekniska aspekter på högtemperaturlagring  
under mark
- 1b Sören Andersson;  
Borrhålslager
- 1c Peter Margen;  
Borrhålslager
- 2 Sören Andersson, Anders Eriksson, Sam Johans-  
son, Lars Ljung;  
Borrhålslager i berg, Studium av värmelag-  
ringssystem inom Södertuna solvärme.  
BFR R46:1983
- 3 Underground Energy Storage Program 1982  
Annual report. Pacific Northwest Laboratory,  
Operated for the US Dept of Energy
- 4 Subsurface heat storage, in theory and  
practice. International conference, 6-8 juni  
1983, Stockholm. Organized by the Swedish  
Council for building Research in co-operation  
with the Dep of Energy, USA, and the National  
Research Council, Canada
- 4a Thore Berntsson;  
General overviews
- 4b Sten Bjurström;  
Heat storage in rock cavern in Sweden
- 5 Gunnar Nilsson;  
Lagring av spillvärme i berggrum och borrhåls-  
lager i Göteborg  
BFR R27:1985
- 6 Borrhålsvärmelager  
Rapport från temadag vid högskolan i Luleå,  
21 nov 1984, Avd för Vattenteknik, serie A  
nr 133, Högskolan i Luleå
- 7 BFR-seminarium, december 1982  
Lagring av värme vid låg temperatur;  
BFR R105:1983
- 7a Göran Hultmark;  
Energilagring i lera



- 8 Monica Söderlund;  
Dokumentation av mätbearbetningen för projekt  
Lulevärme  
Internrapport nr 85:01, Avd för Vattenteknik,  
Högskolan i Luleå 1985-03-04
- 9 Seasonal thermal energy storage  
Mechanical Engineering, no 3, March 1983, p  
28-34

$Q_{lager} + EM18$  avvikelse från VM17  
vid olika flöden



Graddagar och medeltemperaturer (Luleå flygplats)

	Graddagar	Medeltemp (°C)
1983 Nov	722	-7,1
Dec	828	-9,5
1984 Jan	926	-12,8
Feb	641	-5,0
Mar	785	-8,3
Apr	462	1,5
Maj	177	10,1
Nov	635	-4,0
Dec	665	-4,0
1985 Jan	1092	-18,1
Feb	1074	-21,2
Mar	722	-6,3
Apr	556	-1,5
Maj	351	5,2

KAPACITETSDATA VMP 108

14.14

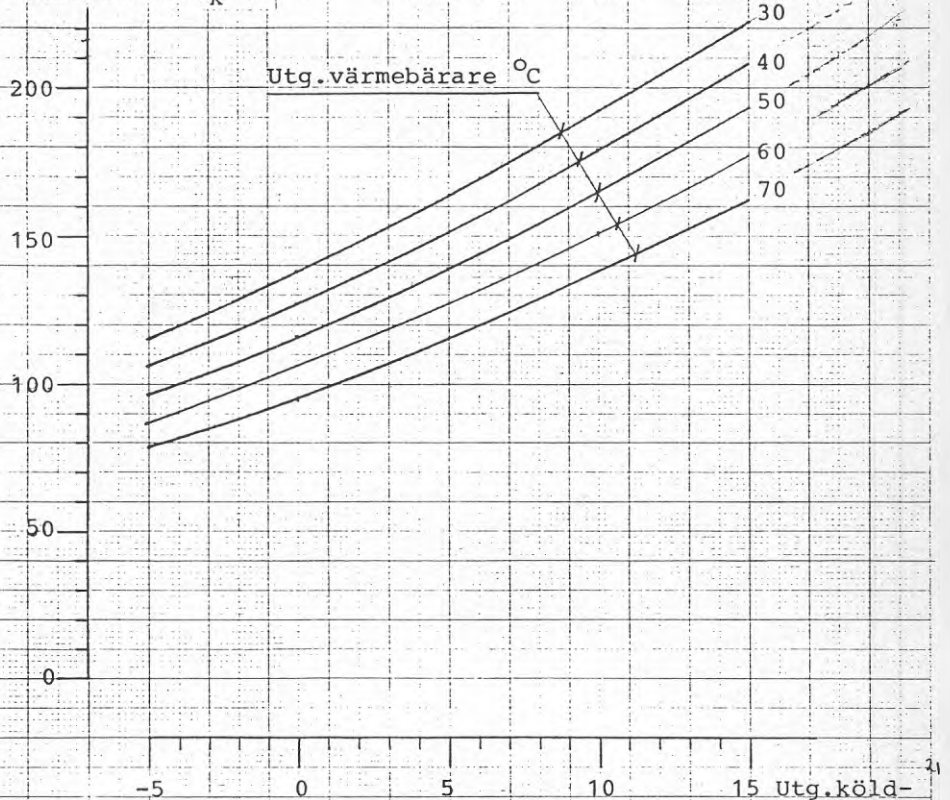
84-07-27

Köldmedium: R12

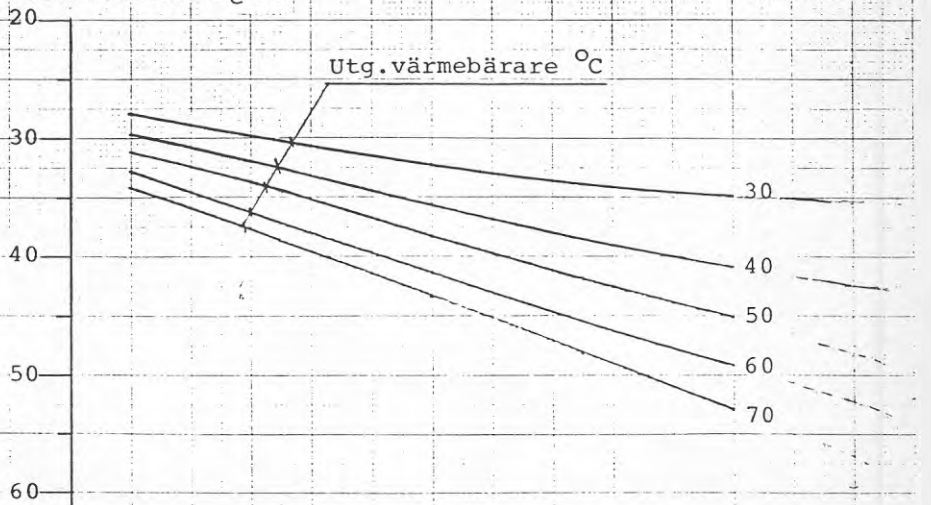
Cv/NS

Köldbärare: Etylenglykol 30%

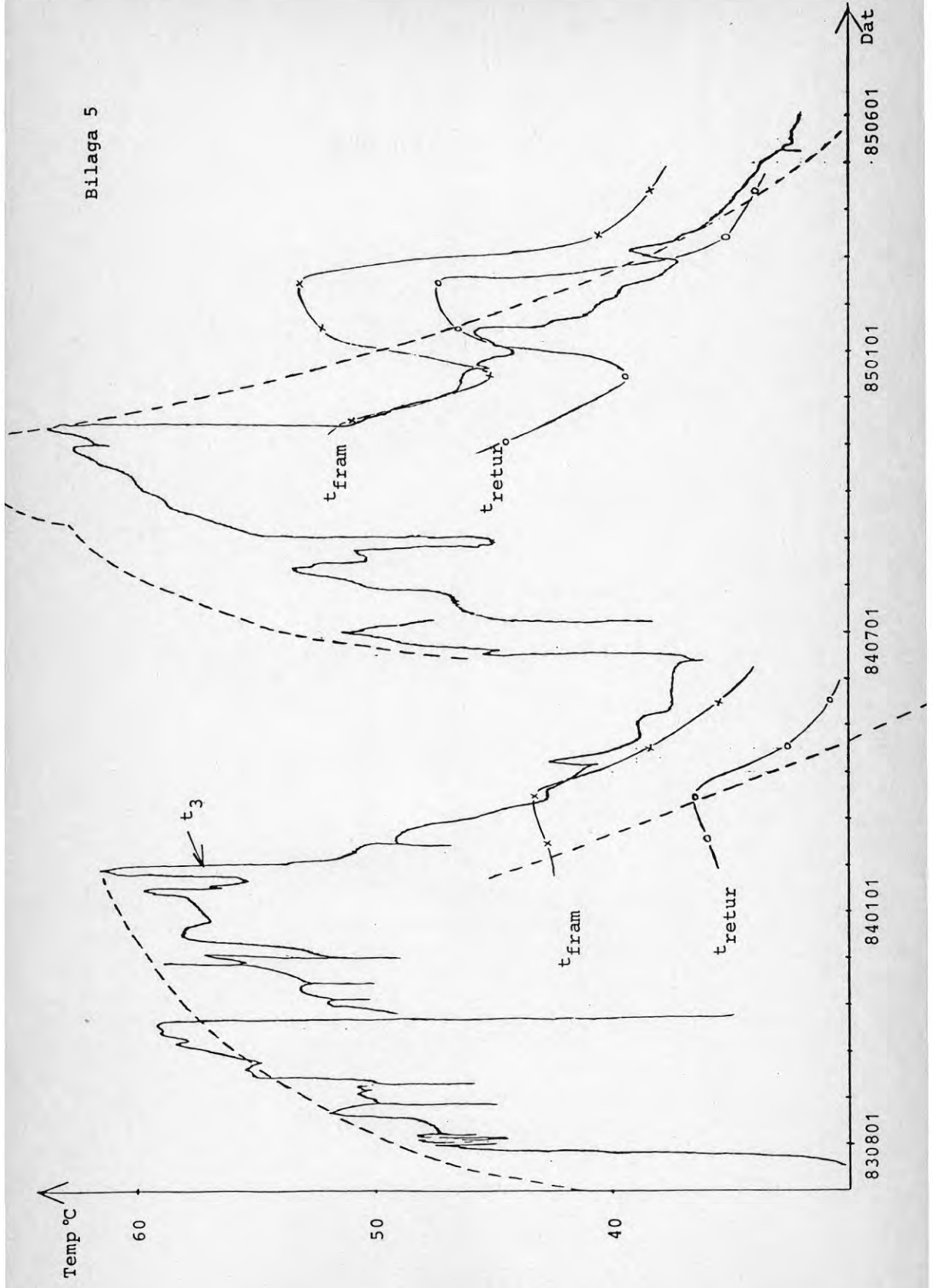
Värmeeffekt  $P_k$  kW



Tillf.effekt  $P_e$  kW

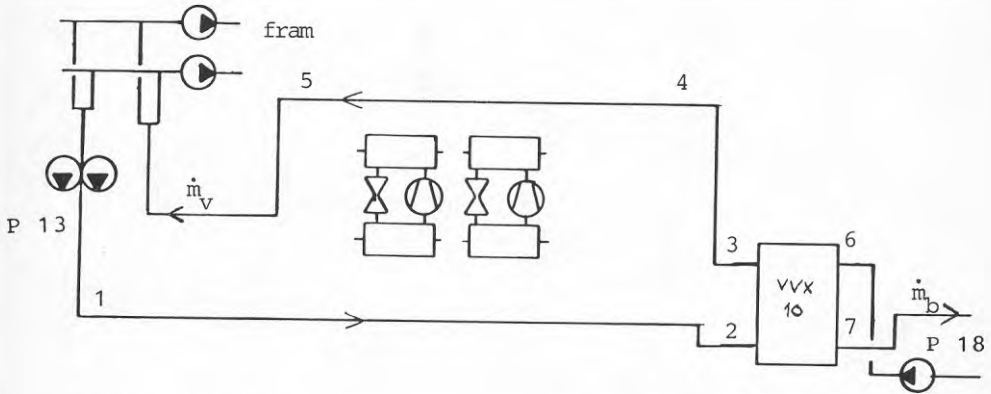


Bilaga 5



## Mätningar momentant på anläggningen

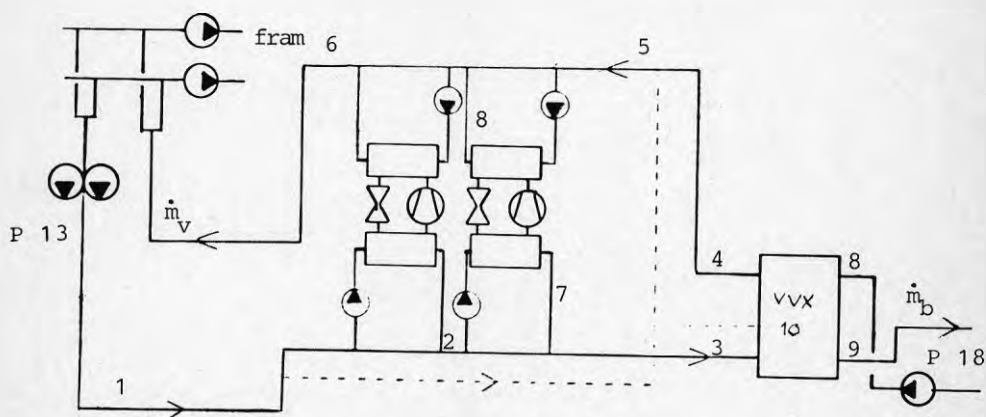
## Driftfall 1



	Temperaturer (°C)							Flöde (kg/s)		P <sub>VVX</sub> (kW)	
	1	2	3	4	5	6	7	fram	$\dot{m}_v$		$\dot{m}_b$
1.	39,5	39,5	46	46	46	50,5	42,5	50	12	10,5	351
2.	37	37	45	46	46	51,5	41	47	12	8,5	373

$$P_{VVX} = \dot{m}_b * C_p (t_6 - t_7) \quad (\text{I värmeväxlaren överförd effekt})$$

## Driftfall 2



	Temperaturer (°C)									Flöde (kg/s)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	fram	$\dot{m}_v$	$\dot{m}_b$
1.	42	42	36,5	45,5	45,5	49	26	51	42	58	15	10
2.	44	45	39,5	46	46,5	50,5	25	52	43	62	14	8,5
3.	45	46	40	46,5	46,5	51	20	51	44	62	12,7	8,9
4.	45	46,5	40,5	46,5	47	51,5	25	51	43	57	12,6	9,1

$$P_{v vx} = \dot{m}_b \cdot C_p \cdot (t_8 - t_9) \quad (\text{I värmexlaren överförd effekt})$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_v \cdot C_p \cdot (t_6 - t_7) \quad (\text{Värmeeffekt från värmepumpen})$$

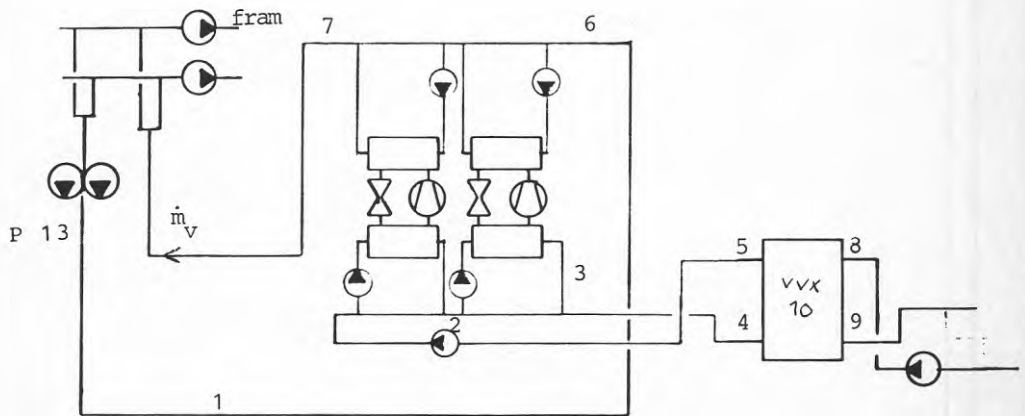
$$\dot{Q}_{Anl} = \dot{m}_v \cdot C_p \cdot (t_6 - t_1) \quad (\text{Från anläggningen uttagen effekt})$$

$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{Elektrisk effekt})$$

	$P_{v vx}$ (kW)	$\dot{Q}_1$ (kW)	$\dot{Q}_{Anl}$ (kW)	$P_{el}$ (kW)	$\varphi$
1.	376	219	439		
2.	320	234	380		
3.	260	239	318	55	4,34
4.	304	237	342	52	4,55



## Driftfall 3



	Temperaturer (°C)									Flöde (kg/s)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	fram	$\dot{m}_v$
1.	45,5	34	24	41	44	44	47	51	40	57	10
2.	46	17	10		10	44,5	47	16	15	58	10
3.	46		7	5		7	46	47	17	52	10
4.	44	16	5		10	44	45	15,5	16,5	65	10





Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840053-1  
från Statens råd för byggnadsforskning till  
AIB — Allmänna Ingenjörbyrå AB, Solna.

R80: 1987

ISBN 91-540-4776-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707080

Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirkapris: 33 kr exkl moms