



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

R20:1990

Värmelagring i grusås

**Utvärdering av Hälsingårdsskolan
i Falun**

**Gunnar Gustafson
Lennart Lorick
Per-Arne Rytter**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135425

Byggforskningsrådet

R20:1990

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTORINEN FOR VYK- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

VÄRMELAGRING I GRUSAS

Utvärdering av Hälsingårdsskolan
i Falun

Gunnar Gustafson
Lennart Lorick
Per-Arne Rytter

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 890981-9
från Statens råd för bygnadsforskning till VIAK AB,
Grundvattenavdelningen, Falun.

REFERAT

För Hälsinggårdsskolans energiförsörjning har ett värmepumpssystem baserat på ett akviferlager i en mindre isälvsavlagring (Faluåsen) anlagts under vintern 1985. Akviferlagret laddas sommartid genom inducerad infiltration från den intilliggande grunda viken av Runn.

Den intilliggande Hälsinggårdsskolan har haft en oljeförbrukning på ca 320 m³ Eol/år. En värmepump-installation på ca 450 kW avgiven värmeeffekt, som utnyttjar inlagrat vatten från Faluåsen som värmekälla, beräknas ge en oljereduktion med ca 230 m³/år.

Den totala investeringen har uppgått till 3.6 Mkr inkl moms.

Inlagring och uttag ur akviferen sker genom ett system av tre grundvattenbrunnar. Under inlagringsperioden utnyttjas samtliga brunnar för att avsänka grundvattennivån i åsmagasinet och därigenom inducera infiltration från det varma ytvattnet i Runn. Vintertid sker uttag av grundvatten ur den mellersta brunnen. Grundvattnet återförs efter avkylning i värmepumpen till de två periferibrunnarna.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R20:1990

ISBN 91-540-5170-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1990

INNEHÅLL

	SAMMANFATTNING.....	
1.	INLEDNING.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Projektidé.....	1
2.	SYSTEMUTFORMNING.....	3
2.1	Allmänt.....	3
2.2	Inlagringsskede.....	3
2.3	Uttagsskede.....	5
3.	GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN.....	7
3.1	Allmänt.....	7
3.2	Borrningar.....	8
4.	GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN.....	9
4.1	Ytvatten.....	9
4.2	Grundvatten.....	9
4.3	Korttidspumpning.....	9
4.4	Grundvattenmagasinets hydrauliska egenskaper.....	10
5.	DIMENSIONERING AV AKVIFER- VÄRMELAGRET.....	13
5.1	Allmänt.....	13
5.2	Termisk transporthastighet.....	13
5.3	Inlagring.....	13
5.4	Avklingningsförlopp.....	14
6.	VÄRMELAGRINGSSYSTEMETS KOMPONENTER.....	17
6.1	Allmänt.....	17
6.2	Grundvattenbrunnar.....	18
6.3	Pumpar.....	18
6.4	Installationer och yttre ledningssystem.....	18
7.	UPPFÖLJNING AV AKVIFER- VÄRMELAGRET.....	20
7.1	Allmänt.....	20
7.2	Insamling av mätdata.....	20
7.2.1	Manuella mätningar.....	20
7.2.2	Mätdatainsamling med datalagrare.....	21
7.3	Grundvattenflöden.....	22
7.3.1	Provdrift.....	22
7.3.2	Arscykel 1, 1985 - 1986.....	22
7.3.3	Arscykel 2, 1986 - 1987.....	23
7.4	Temperaturer.....	25
7.4.1	Lufttemperatur.....	25
7.4.2	Ytvattentemperatur.....	26
7.4.3	Grundvattentemperatur.....	26
7.4.3.1	Uppmätta ostörda grundvatten- temperaturer.....	26
7.4.3.2	Grundvattentemperaturer under drift.....	28

8.	GEOHYDROLOGISK UTVÄRDERING AV VÄRMELAGRET.....	29
8.1	Grundvattentemperaturens naturliga variation.....	29
8.2	Inlagrade värmemängder.....	30
8.3	Temperatur på uttaget grundvatten.....	30
8.4	Kommentarer till temperatur- mätningar i grundvattenmagasin...31	
8.5	Hydrauliskt samband mellan sjö och grundvattenmagasin.....	34
9.	VATTENKEMI.....	38
9.1	Allmänt.....	38
9.2	Igensättningsproblem.....	40
9.2.1	Orientering.....	40
9.2.2	Drift.....	40
10.	HÄLSINGGÅRDSSKOLAN.....	42
10.1	Värmeanläggningar.....	42
10.2	Värmebehov.....	43
10.3	Värmepumpinstallation.....	43
10.4	Energiproduktion, kalkyler och utfall.....	44
10.5	Drifterfarenheter.....	46
11.	PROJEKTETS EKONOMI.....	48
11.1	Investeringar.....	48
11.2	Driftskostnadsbesparingar.....	48
11.3	Service- och underhållskostnader.....	49
11.4	Ekonomiskt utfall.....	49
12.	FÖRSLAG TILL FRAMTIDA DRIFT.....	50
12.1	Driftstrategi.....	50
12.2	Uppföljning.....	50
12.3	Ändringar av värmelagrings systemet.....	51
13.	REFERENSER.....	53

BILAGOR

Bilaga	1	Sammanställning av borrningsresultat
	2	Siktanalyser Rb 8203
	3 a-c	Ytvattennivå Runn 1985-87
	4	Längdsektion av åsmagasinet, mätprofiler
	5	Ytvattentemperaturer
	6 a-f	Grundvattentemperaturer 1985-87
	7 a-h	Driftdata värmepumpar
	8	Utomhustemperatur, energi- produktion, värmefaktor

SAMMANFATTNING

För Hälsinggårdsskolans energiförsörjning har ett värmepumpsystem baserat på ett akviferlager i en mindre isälvslagring - Faluåsen - anlagts under vintern 1985. Akviferlagret laddas sommartid genom inducerad infiltration från den intilliggande sjön Runn.

Inlagring och uttag ur akviferen sker genom ett system av tre grundvattenbrunnar. Under inlagringsperioden utnyttjas samtliga brunnar för att avsänka grundvattennivån i åsmagasinet och därigenom inducera infiltration av det varma ytvattnet i Runn. Vintertid sker uttag av grundvatten ur den mellersta brunnen. Grundvattnet återförs efter avkylning i värmepumpen till de två periferibrunnarna. Akvifervärmelagrets volym är ca 500 000 m³.

Anläggningen togs i drift i april 1985 och intrimning av denna och av mätutrustning pågick till i början av juni 1985. Uppföljning av anläggningen har skett under två årscykler, 1985-86 och 1986-87.

Hälsinggårdsskolan har haft en oljeförbrukning på ca 340 m³ Eo1/år. Värmepumpinstallationen med drygt 400 kW avgiven värmeeffekt, som utnyttjar inlagrat vatten från Faluåsen som värmekälla, har gett en oljereduktion av ca 230 m³/år.

Den totala investeringen har uppgått till 3.45 Mkr inkl moms. Experimentbyggnadslån har beviljats till Falu kommun, som är huvudman för anläggningen.

Förstudie och uppföljning av projektet har skett via medel från BFR i forskningsanslag 811645-8 och 841229-6 till VIAK AB.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Under sommarhalvåret sker en omfattande inlagring av solenergi i våra sjöar och ytliga jord- och berglager. Denna energi går till mycket stor del förlorad under vinterhalvåret under det att en del bevaras i grundvattnet och medför att grundvattentemperaturen ner till 10-15 m djup uppvisar små temperaturvariationer under året.

I en grund sjö eller havsvik där inte språngskikt utbildas i profilen, blir temperaturdifferensen mellan ytan och botten genomsnittligt liten när vattenvolymen nått sitt temperaturmaximum under sommaren. Om en del av vattenvolymen i denna situation skulle kunna lagras in i ett grundvattenmagasin i anslutning till sjön eller havsviken, kan förutsättas att väsentlig höjning av grundvattnets temperatur uppnås. Detta är i många fall möjligt genom att grundvattnets trycknivå sänks, varvid ett läckage från ytvatten till grundvatten uppstår. I grundvattentechniken kallas detta "inducerad infiltration".

Från hydrologisk och geohydrologisk synvinkel är vattennivån i de flesta av våra sjöar och havsvikar en noll-nivå för ett större eller mindre avrinningsområde. Det finns då ett hydrologiskt samspel mellan ytvatten och grundvatten genom förekommande hydrauliska, geologiskt betingade förbindelser.

Det hydrauliska sambandet mellan yt- och grundvatten varierar kapacitetsmässigt inom vida gränser. De kvartärgeologiska förhållandena bestämmer oftast kapaciteten med låga värden för finsediment eller morän och höga värden för grovsediment eller svallningsbearbetade grovkorniga jordlager. Av stor vikt i detta sammanhang är dock det faktiska förhållandet att inga helt täta jordlager förekommer i vår kvartärgeologiska miljö.

1.2 Projektidé

Genom ett stort grundvattenuttag sommartid ur ett strandnära grundvattenmagasin lagras sommarvarmt sjövattnet in i grundvattenmagasinet genom inducerad infiltration.

Den inlagrade energin tillgodogörs genom utnyttjandet av värmepumpsteknik.

För att systemet skall fungera är bl a följande förhållanden av intresse:

- det hydrauliska sambandet mellan yt- och grundvatten.
- det naturliga grundvattenflödets storlek och riktning.
- grundvattenmagasinets volym och geometri.

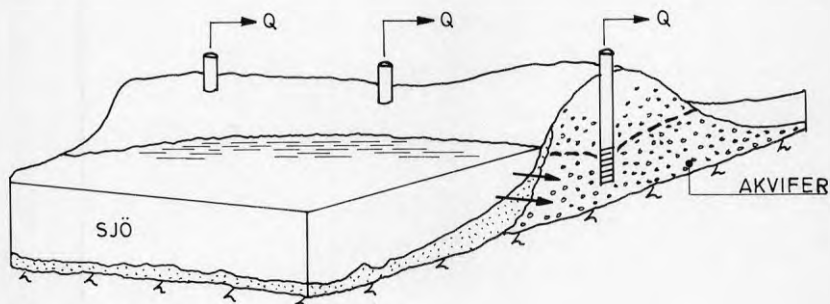
2. SYSTEMUTFORMNING

2.1 Allmänt

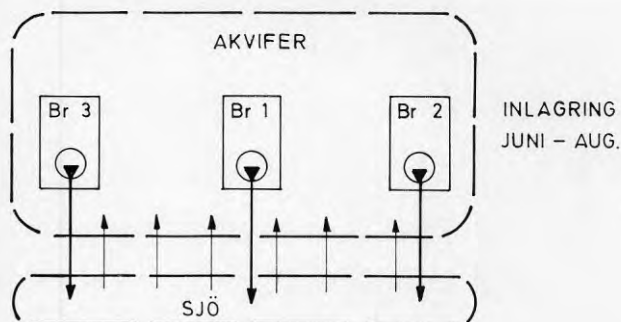
Hälsingårdsskolans energiförsörjning baseras på värmepump med grundvatten från Faluåsen som värme-källa. För att möjliggöra ett grundvattenuttag vintertid samt en termisk uppladdning av grundvattenmagasinet sommartid, används ett system med 3 st brunnar.

2.2 Inlagringsskede

Genom ett stort grundvattenuttag, ca 3 x 20 l/s, sänks grundvattennivån i åsmagasinet. På grund av den tryckskillnad som uppstår mot den angränsande sjön induceras ett läckage av sommarvarmt sjövatten, se fig 2.1 och 2.2. Inläckaget är direkt proportionellt mot avsänkningen i åsen och är vid stationära förhållanden lika stort som uttaget.

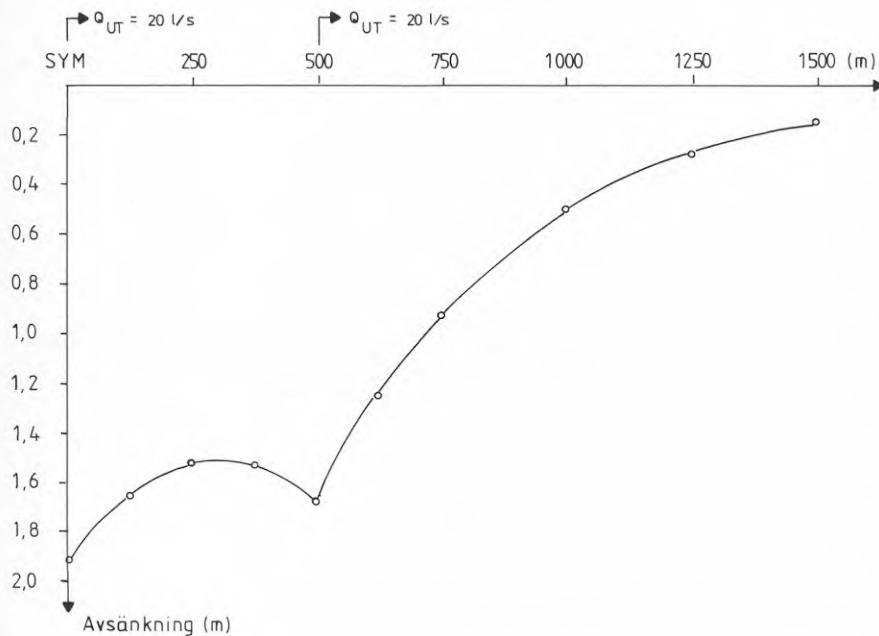


Figur 2.1 Värmelagring genom inducerad infiltration.



Figur 2.2 Systemskiss inlagring.

I figur 2.3 visas den beräknade avsänkning, vid stationära förhållanden, i ett snitt i åsens längsled.

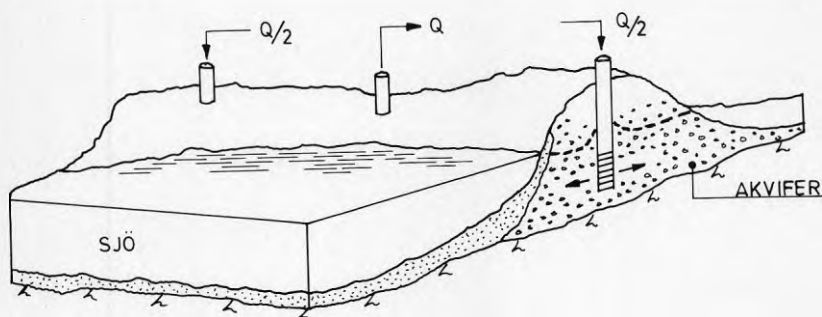


Figur 2.3 Beräknad avsänkning av grundvattenytan under inlagringsperiod.

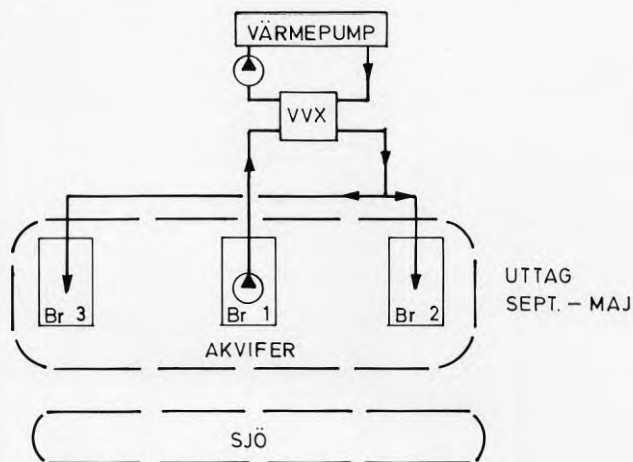
Inlagringsskedet fortgår under den tid av året som sjövattnet är varmare än akviferen, d v s så länge som ett positivt värmeutbyte sker.

2.3 Uttagsskede

Under uttagsperioden uttas ca 18 l/s ur den mellersta brunnen. Efter avkylning i värmväxlare återförs vattnet till åsmagasinet via de yttre brunnarna, se figur 2.4 resp 2.5. Avsikten med återföringen av det avkylda vattnet är att hålla uppe grundvattnets trycknivå. På så sätt reduceras inläckaget av kallt sjövattnen vintertid.

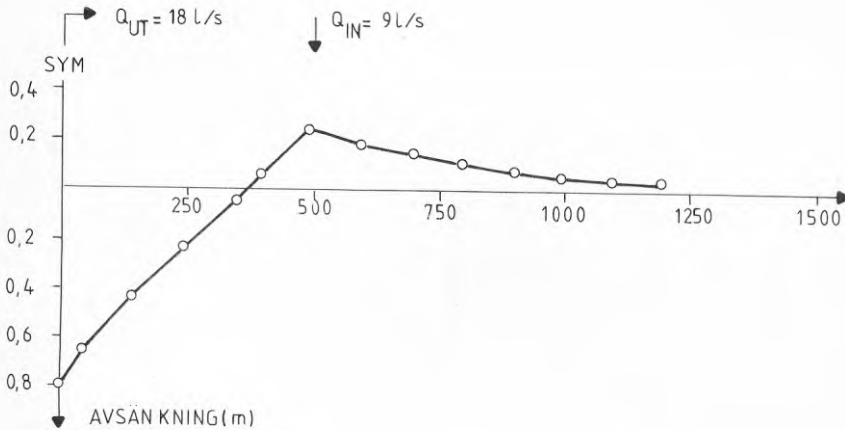


Figur 2.4 Värmeuttag ur akviferen vintertid.



Figur 2.5 Systemskiss uttag.

I figur 2.6 visas den beräknade störningen av åsens grundvattenyta vid ett uttag av 18 l/s ur centrumbrunnen samt en återinjektering av 9 l/s i vardera av de perifera brunnarna.



Figur 2.6 Avsänkning av grundvattenytan under uttagsperiod. Stationärt tillstånd.

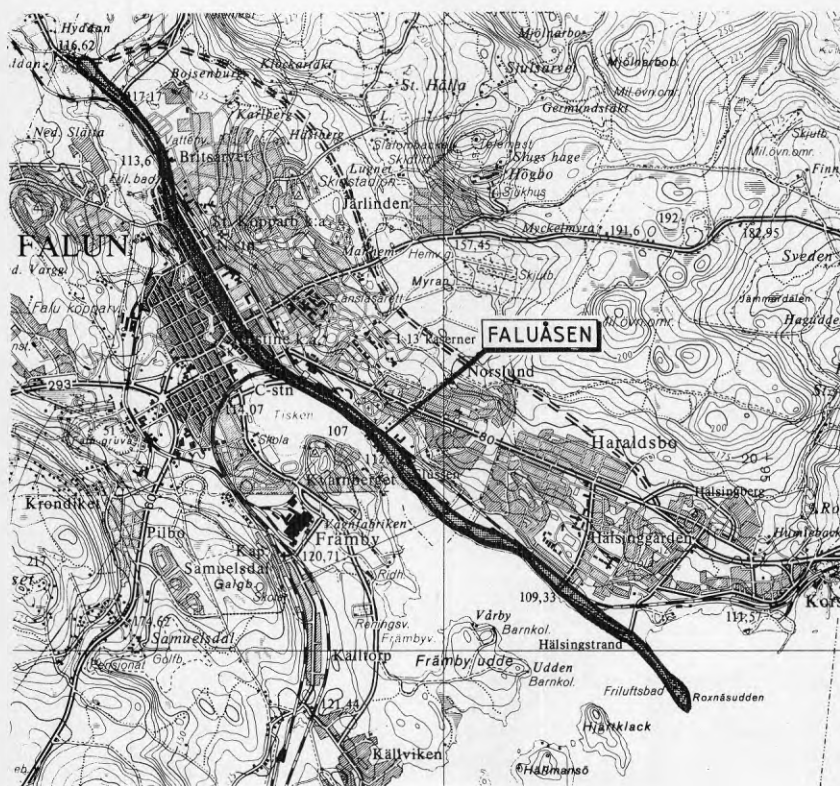
Systemutformningen är vald för att skapa ett stort inläckage av varmt sjövattnen sommartid, samt för att minimera inläckaget av kallt sjövattnen vintertid.

3. GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

3.1 Allmänt

Faluåsen är kontinuerligt avlagrad från sjön Varpan ner till Roxnäsudden där åsen dyker ner under Runns vattenyta. Norr om Varpan finns spridda isälvsavlagringar som sannolikt bildats i samma dräneringsstråk som Faluåsen. Se figur 3.1.

Faluåsen är avsatt under högsta kustlinjen. Åsen är en biås till Svärdsjöåsen som löper längs Runns östra strand.



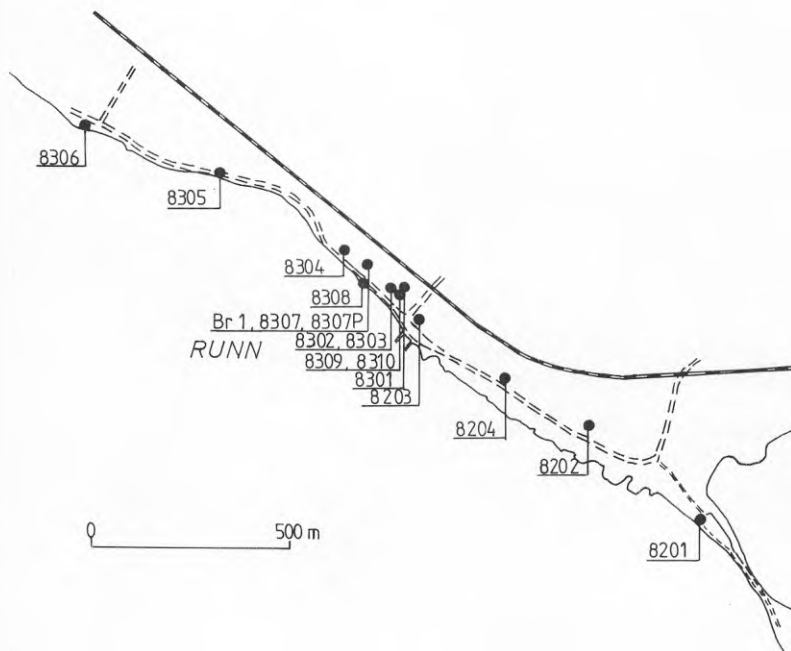
Figur 3.1. Faluåsen.

Finsediment, huvudsakligen silt, omger och överlagrar åsens randområden. Delvis överfyllda torvbildningar förekommer nordost om åsen vid Norrslund.

Spår av grustäktsverksamhet märks inom området och vid roten av Roxnäsudden har förekommit utfyllnader och omfördelningar av åsmaterialet.

3.2 Borrningar

För att möjliggöra grundvattennivåmätningar och vattenprovtagning samt för att bestämma lagerföljd och vattengenomtränglighet utfördes under 1982 och 1983 totalt 15 rörborrningar. Borrningarnas läge framgår av fig 3.2 och en sammanställning över borrhingsresultaten redovisas i bilaga 1. Temperaturmättningsprofiler har dessutom installerats genom att 5 st rotationsborrningar utförts, betecknade MP1-MP5.



Figur 3.2. Rörborrningar.

Av borrningarna framgår att åsens mäktighet under grundvattenytan varierar mellan 7 - 13 m.

Borrningarna visar att åsen är uppbyggd av sand- och gruslager med god genomsläpplighet. Till en viss del är dessa grovkorniga jordlager överlagrade av finkorniga material som lera och silt. De grövre lagren är blockrika.

Siktanalys från Rb 8203 visar ett väl sorterat sand- och grusmaterial, se bilaga 2. Utifrån siktanalyserna har grusmaterialiets porositet beräknats till ca 20%.

4. GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

4.1 Ytvatten

Runn är reglerad, varför nivåfluktuationerna under större delen av året är relativt små (+106.9 --+ 107.1). Under senvintern tappas regleringsmagasinet i avvaktan på vårfloden. Undre dämningssgräns är +105.4 men vid extrema tillfällen kan nivån sjunka ner mot +105.1. Nivåvariationerna under perioden 1985-1987 redovisas i bilaga 3 a-c.

Den vik av Runn som ansluter till Faluåsen är relativt grund med ett största djup av ca 6 m.

4.2 Grundvatten

Grundvattennivån i Faluåsen styrs av ytvattennivåerna i Runn och Tisken. Grundvattenytan i åsen är horisontell och i nivå med Runn inom området från Slussen och mot sydost. Detta innebär att ingen grundvattenströmning sker i åsens längdriktning inom detta parti. Nivåskillnaden mellan Runn och Tisken uppgår till några decimeter, vilket märks genom en högre grundvattennivå i åsen vid Slussen. I åspartiet längs Åsgatan i centrala Falun förekommer en gradient i åsens längdriktning mot sydost.

Ett visst grundvattentillskott till åsen sker från moränsluttningarna i nordost. Nederbördsområdet uppgår till ca 5 km² varav en stor del är tätbebyggt område med hårdgjorda ytor och andra ingrepp som stör den naturliga vattenbalansen.

4.3 Korttidspumpning

För att klargöra grundvattenmagasinets hydrauliska egenskaper utfördes en korttidspumpning i Br 1 från den 26 augusti kl 12.00 till den 11 oktober 1983 kl 09.15 den uttagna vattenmängden uppgick till 0.0235 m³/sek. Vattnet avleddes till Runn. Efter pumpstopp mättes magasinets återhämtning fram till den 2 november 1983.

Uttagsbrunnen är en formationsfilterbrunn med ett djup av 8.6 m. Silröret består av ett \varnothing 160 mm Johnssonfilter med kontinuerlig slits. Silrörets längd är 4.0 m och slitsvidden 1.5 mm.

Då grundvattennivåerna inom åsmagasinet styrs av nivån i Runn, har de under avsänkings- respektive återhämtningsförloppet uppmätta grundvattennivåerna korrigerats med hänsyn till Runns fluktuationer under mätperioden.

Under korttidspumpningen mättes grundvattennivån i ett antal rörborrningar samt brunnar inom åsmagasinet enligt figur 3.2.

En sammanställning över data för använda observationsrör och uppmätta avsänkningar redovisas i tabell 4.1.

Tabell 4.1. Data för observationspunkter, avsänkningar.

Obspunkt	Nivå markyta (m ö h)	Avstånd från ut- tagsbrunn (m)	Uppmätt av- sänkning före pumpstopp (m)
Br1	108,3	0	2,15
8202	108,8	700	0,15
8203	108,4	183	0,13
8204	109,6	455	0,30
8301	108,3	103	1,33
8302	107,6	79	1,30
8303	107,8	80	1,33
8304	108,5	60	1,30
8305	108,0	450	0,28
8306	108,4	800	0,12
8307	108,1	2	1,55
8307P	107,9	2	1,59
8308	107,4	29	1,40
8309	107,7	109	1,02
8310	107,6	107	1,06
Strand- vägen 15	110	1500	-
Strand- vägen 19	110	1400	-

4.4 Grundvattenmagasinets hydrauliska egenskaper

Vid utvärderingen har åsen betraktats som ett endimensionellt system (kanal) med läckage. Transmissiviteten, T , och magasinskoefficienten, S , samt läckagekoefficienten, P'/m' , har utvärderats med hänsyn till avsänkningsfunktionen för ett sådant system (kanalmodell).

Då kanalens bredd, B , är okänd kan endast transmissiviteten multiplicerad med bredden, TB = åsens hydrauliska kapacitet, och magasinskoefficienten multiplicerad med bredden, SB = åsens magasin-kapacitet, beräknas. På samma sätt fås läckagekoefficienten BP'/m' .

Resultatet av utvärderingen finns sammanställt i tabell 4.2.

Tabell 4.2 Hydrauliska parametrar

Obs punkt	Avstånd från uttagsbrunnen	Hydraulisk kapacitet TB (m ³ /s)	Magasinskapacitet SB (m)	Läckagekoefficient BP'/m' (m/s) x10 ⁻⁵	Transmissivitet T (m ² /s)	Magasinskoeff. S (-)
Br1	0				0,05	0,05
8202	700	2,9	3,9	3,7		
8204	455	3,9	4,9	4,3		
8301	103	2,6	10,8	2,2		
8302	79	4,1	2,6	2,6		
8303	80	4,5	2,1	2,8		
8304	50	9,2	1,6	2,4		
8305	450	(13,0)	(24,6)	(11,0)		
8306	800	3,7	4,1	5,2		
8307	2				0,057	0,19
8308	29	4,8	2,7	3,7	0,069	0,02
8309	109	4,7	3,6	3,1	0,051	0,02
8310	107	4,1	4,1	3,2		

Avstånd - avsänkning (kanalmodell)

620 min	3,7	3,6
17100 min	3,7	50,4
65900 min	3,7	95,6

Stationärt tillstånd (kanalmodell)

3,0	1,9
-----	-----

Avstånd - avsänkning

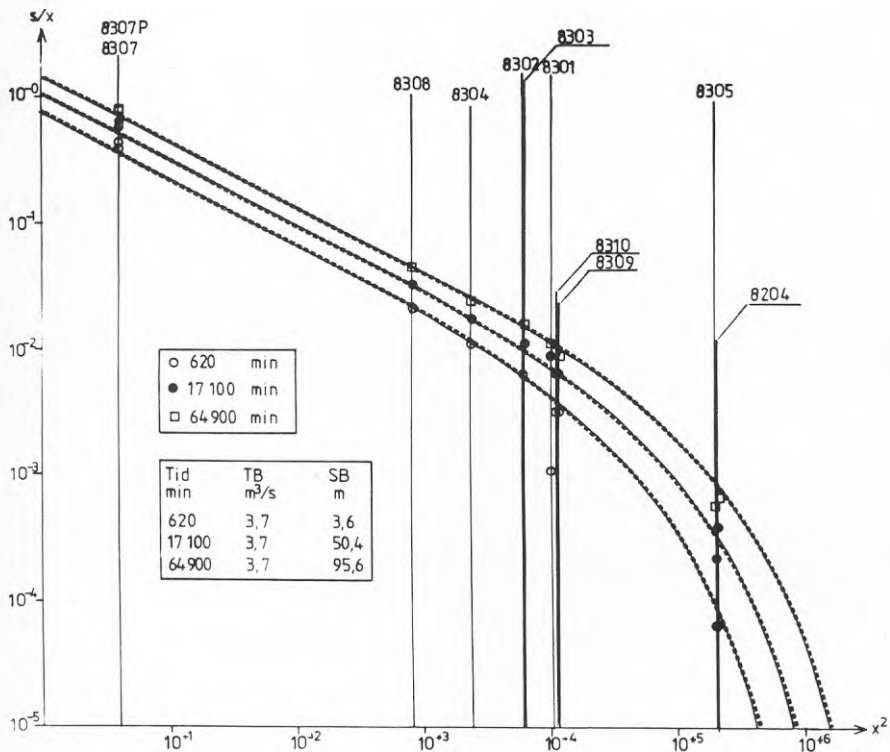
0,05

Som framgår av tabell 4.2 är spridningen i tolkningsresultatet av de hydrauliska parametrarna liten. Grundvattenmagasinet kan därför betraktas som homogent.

Transmissiviteten har utvärderats explicit för de inledande skeendena vid avsänkning i uttagsbrunnen samt i ett antal observationsrör. Den hydrauliska kanalbredden kan därmed beräknas som $TB/T = B = 60-90$ m.

Läckagekoefficienten är hög vilket visar att åsmagasinet har god hydraulisk kontakt med den angränsande sjön.

Vid avstånds-avsänkingsanalysen fås en med tiden ökande magasinskapacitet. Denna effekt är skenbar och beror på inläckage till åsen. Se figur 4.1.



Figur 4.1 Avstånd - avsänkingsanalys för kanalmodell.

Som modellparametrar för åsmagasinet har valts $TB = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$, $SB = 3,5 \text{ m}$ samt $BP'/m' = 2 \times 10^{-5} \text{ m/sek}$. Den valda hydrauliska kapaciteten motsvarar en hydraulisk åsbredd av ca 70 m, vilket överensstämmer väl med borrningsresultaten.

5 DIMENSIONERING AV VÄRMELAGRET

5.1 Allmänt

I avsnitt 5.2 - 5.4 redovisas kortfattat de överslagsberäkningar som användes som stöd vid utformningen av akvifervärmelagret. I kapitel 8 förs en diskussion om uppmätta temperaturnivåer, beräknade energimängder samt de mekanismer som styr akvifervärmelagrets funktion.

5.2 Termisk transporthastighet

Uttrycket för termisk transporthastighet kan skrivas som i ekv. 5.1.

$$5. (1) V_T = \frac{C_w}{C_A} \cdot q_w = \frac{C_w}{C_A} \cdot \frac{T}{H} \cdot i$$

där C_w = värmekapacitet för vatten ($J/m^3 K$)
 C_A = värmekapacitet för akvifer ($J/m^3 K$)
 q_w = hydraulisk bruttostastighet (m/s)
 T = transmissivitet (m^2/s)
 H = akvifermäktighet (m)
 i = hydraulisk gradient (-)

Under uttagsperioden utbildas en gradient mellan uttagsbrunnen och återföringsbrunnarna. Då uttaget är 18 l/sek blir gradienten $2,1 \times 10^{-3}$.

För $C_w = 4,18 \times 10^6 J/m^3 K$, $C_A = 2,2 \times 10^6 J/m^3 K$, $T = 0,05 m^2/s$ och $H = 7 m$ har den termiska transporthastigheten beräknats till 2,4 m/dygn eller ca 650 m under 270 dygn, vilket ungefär motsvarar uttagsperiodens längd.

Med beaktande av att det först återinjekterade vattnet har en relativt hög temperatur har brunnarna placerats med ett inbördes avstånd av 500 m.

5.3 Inlagring

Vid beräkning av en inlagringscykel har följande antaganden och förenklingar gjorts:

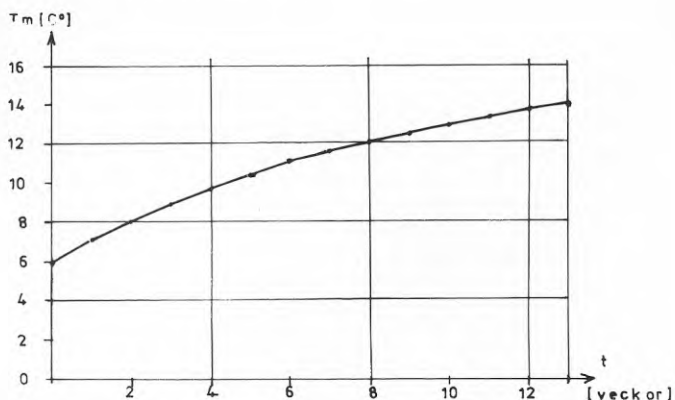
- * stationära hydrauliska förhållanden råder
- * det inducerade läckaget uppgår till $3,2 \times 10^{-5} m^3/s$ per breddmeter inom åspartiet mellan brunnarna
- * akviferen har starttemperaturen $+6^\circ C$
- * inläckande vatten har medeltemperaturen $+17^\circ C$
- * hela magasinet medverkar hydrauliskt och termiskt
- * energiutbyte mellan akvifer och omgivning sker endast via inläckande resp uttagna vattenmängder

För systemet akvifer inläckande vatten kan en energibalans ställas upp, ekv. 5.2.

$$5.(2) \quad V_w \times C_w \times T' = V_A \times C_A \times T''$$

där V_w = volym inläckande vatten
 V_A = akviferens volym
 T', T'' = temperaturer

Via en stegvis beräkning fås temperaturutvecklingen i akviferen enligt figur 5.1



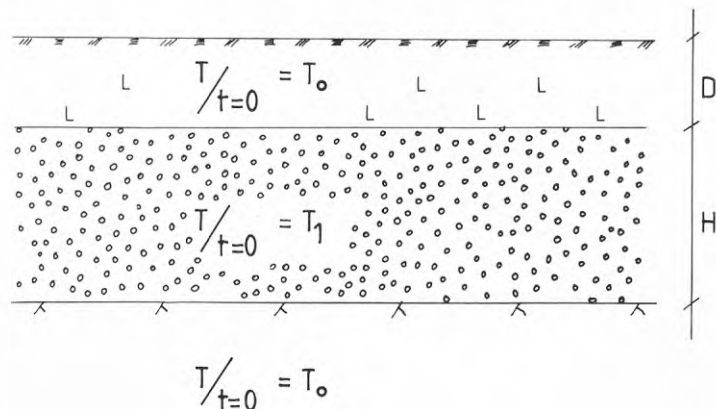
Figur 5.1 Beräknad temperatur i akvifer under inlagring

Temperaturen vid inlagringscykelns slut efter 13 veckor blir ca +14°C.

5.4 Avklingningsförlopp

Den termiska beräkningen har utförts enligt teorier beskrivna i referens 1.

Eftersom åsens sidoytor är små i relation till över- och underytorna har ett fall med endimensionell temperaturavklingning enligt figur 5.2 studerats.



Figur 5.2. Beräkningsmodell, endimensionell temperaturavklingning.

Vid lagringsperiodens början har lagret temperaturen T_1 . Ler- och siltskiktet liksom undergrunden har då ingen övertemperatur, d v s $T/t=0 = T_0$. Enligt referens 1 kan medeltemperaturen i lagret beskrivas genom ekv. 5.3.

$$5.(3) \quad T_m(t) = T_0 + (T_1 - T_0) \times f_m \left(\frac{D}{H} \times \frac{4at}{H^2} \right)$$

där t = tid (s)

D = täckskiktets tjocklek (m)

H = lagrets mäktighet (m)

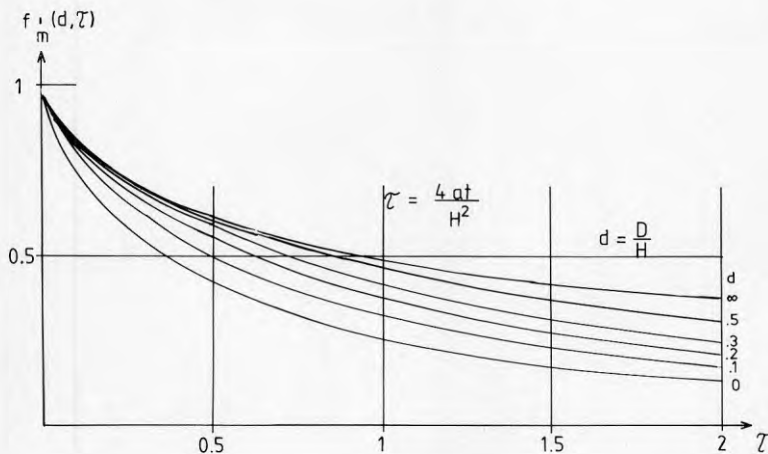
a = värmediffusivitet = $\frac{\lambda}{C}$ (m^2/s)

T_1 = lagrets begynnelsestemperatur

T_0 = ostörd temperatur

Om $d = \frac{D}{H}$ och dimensionslösa tiden $\tau = \frac{4at}{H^2}$

löses ekvation 3 ur figur 5.3.



Figur 5.3 $f_m(d, \tau)$ enligt referens 1.

Vid beräkning har följande ingångsdata använts:

$D = 2$ m

$H = 7$ m

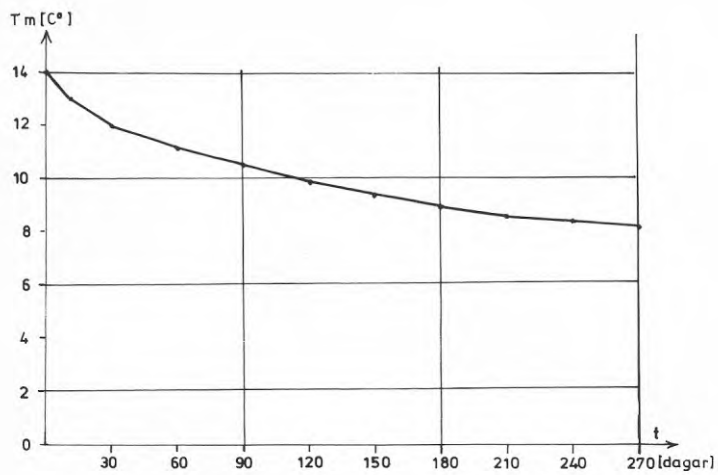
$\lambda = 1,5$ W/m °K

$C = 1,7 \cdot 10^6$ Ws/m³ °K

$T_1 = +14$ °C

$T_0 = +6$ °C

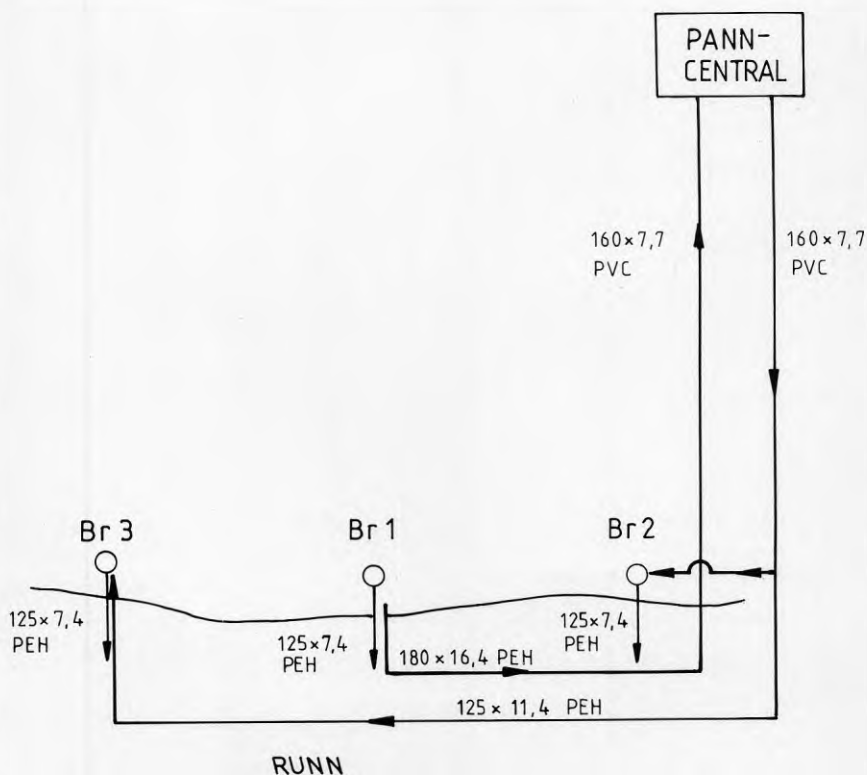
Ingångsdata enligt ovan ger lagrets medeltemperatur som den visas i figur 5.4.



Figur 5.4 Beräknad medeltemperatur i åsmagasinet

6.1 Allmänt

Akvifervärmelagret har en längd av ca 1 000 m. Mäktigheten under grundvattenytan är i medeltal ca 7 m och akviferens bredd kan uppskattas till ca 70 m. Den totala lagervolymen är ca 500 000 m³. I figur 6.1 ges en principskiss av värmelagringssystemets komponenter.



Figur 6.1. Värmelagringssystemet

6.2 Grundvattenbrunnar

I akviferen har nedförts tre st grundvattenbrunnar. Brunnarna är placerade med 500 m inbördes avstånd i Faluåsens längdriktning. Brunnarna har borrats med ODEX-borrning och är utförda med förlorat filter, d v s foderröret som använts vid borrningen kvarstår som förlängningsrör. Filterrören är av typ Johnson Well Screen med kontinuerlig slits.

Tabell 6.1 Grundvattenbrunnar

	Br 1	Br 2	Br 3
Plushöjd ursprunglig markyta möh	+107.9	+109.3	+107.8
Djup under my (m)	8.6	10.2	14.1
Silrörets nivå under my (m)	4.6-8.6	6.1-10.2	10.0-14.1
Foderrörets diameter (mm)	180	180	180
Silrörets diameter (mm)	160	140	168
Slitsvidd (mm)	1.5	3.7	1.5

6.3 Pumpar

I de perifera brunnarna har monterats undervattenspumpar av fabrikat Garvens typ SG 6-58/1. Kapaciteten är ca 72 m³/h vid 5 m uppfodringshöjd.

Under uppvärmningsperioden står pumparna i Br 2 och Br 3 stilla, då brunnarna fungerar som återföringsbrunnar. En nivåvakt i vardera brunnen sätter igång pumparna vid för hög vattennivå.

Produktionsbrunnen, Br 1, har en torrt uppställd centrifugalpump av fabrikat Vogel typ 52 LF 20E 1502. Nominell kapacitet vid 47 m lyfthöjd är ca 65 m³/h.

6.4 Installationer och yttre ledningssystem

Alla installationer i brunnar och panncentral är utförda i rostfritt stål.

Från var och en av grundvattenbrunnarna går en 125 x 7.4 mm PEH utloppsledning till Runn. Ledningarna används under inlagringsperioden.

Ledningarna mellan Hälsinggårdsskolan och akviferlagret utgörs av två st markförlagda 160 x 7.7 PVC-ledningar, för till- respektive returvatten från värmepumpcentralen. Avståndet mellan akviferlagret och Hälsinggårdsskolan är ca 690 m.

Markledningarna ansluter till akviferlagrets södra ände vid Br 2. Mellan Br 2 och Br 3 samt Br 1 har använts sjöledningar. Ledningen från uttagsbrunnen Br 1 utgörs av 180 x 16.4 PEH, längd totalt 700 m. För returvattnet till Br 3 utnyttjas 125 x 11.4 PEH, längd 1 150 m.

Fördelningen av returflödet mellan Br 2 och Br 3 sker genom en markventil, samt genom ventiler i respektive brunnsöverbyggnad.

7 UPPFÖLJNING AV AKVIFERVÄRMELAGRET

7.1 Allmänt

Målet med mätningar och utvärdering har varit att klarlägga värmelagrets hydrauliska och termiska funktion samt ge underlag för eventuell modifierad driftsstrategi.

För att underlätta utvärdering av erhållna mätdata är konstanta driftförhållanden önskvärda under längre tidsperioder. Detta gäller speciellt grundvattenflöden och vattennivåer i sjön. Störningar och avbrott orsakade av igångkörningsproblem och en översvämning efter långvariga regn under september 1985 har försvårat utvärderingen.

7.2 Insamling av mätdata

Insamlingen av mätdata kan uppdelas i dels manuella mätningar och avläsningar dels i automatiska mätningar med hjälp av datalagrare. Samtliga mätpunkter vid akvifervärmelagret har sammanställts i tabell 7.1.

Tabell 7.1. Antal mätpunkter i akvifervärmelagret.

Typ	Datalagrare	Manuell mätning/ avläsning
Grundvattentemp	23	7
Ytvattentemp	3	
Grundvattennivå	3	22
Elförbrukning		3
Grundvattenuttag	6	6

Meteorologiska uppgifter har inhämtats från SMHI:s mätstation i Falun. Uppgifter om ytvattennivåer i Runn har erhållits från Dalälvens regleringsföretag.

7.2.1 Manuella mätningar

Manuella mätningar av grundvatten-nivåer och -temperaturer har skett ca en gång per månad.

Temperaturmätningarna har utförts vid sju punkter. Vid varje mätning har vatten pumpats ur observationsröret under en stund, varför mätvärdet representerar temperaturen i en volym runt den perforerade delen av observationsröret.

Temperaturmätningarna har huvudsakligen utförts med sprittermometer och nivåmätningarna har gjorts med ljuslod och klucklod.

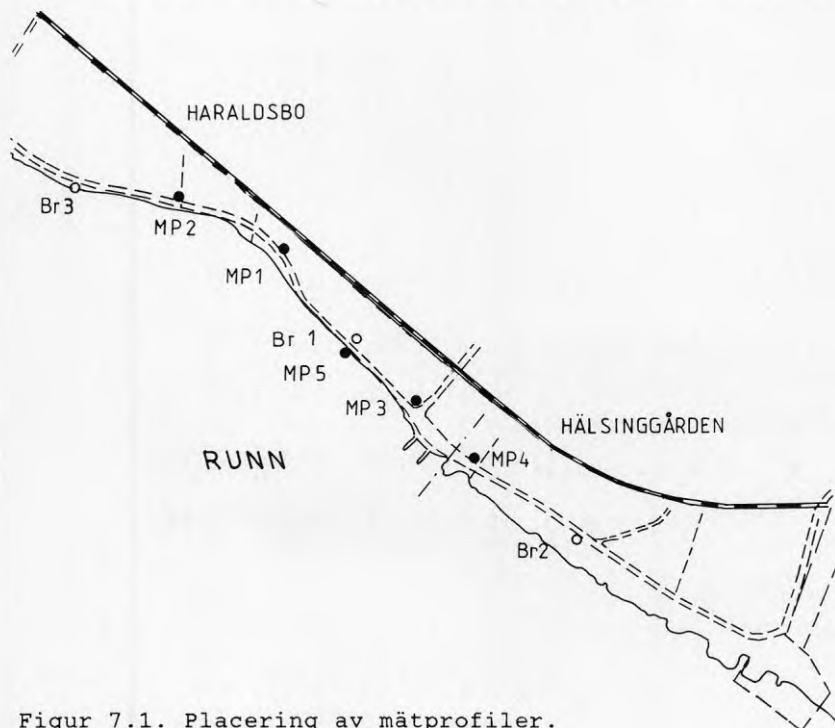
I samband med tömning av datalagrarna har vattenmätare och elmätare avlästs.

7.2.2 Mätdatainsamling med datalagrare

Den automatiserade datainsamlingen har baserats på 9 st datalagrare typ Grants Squirrel. Datalagrarna har fyra ingångar och kan lagra 500 mätvärden per kanal. All datainsamling har skett med 90 minuters intervall, d v s 16 ggr/dygn. De mätvärden som redovisas är genomgående beräknade dygnsmedelvärden. Luckor i mätserierna har förorsakats av felaktiga styrkort, glappkontakter samt kortslutning av givare vid låga utomhustemperaturer.

Vid var och en av mätprofilerna har temperaturen mätts på 4 nivåer i grundvattenmagasinet. Vid grundvattenbrunnarna har registrerats flöden, grundvattennivåer samt temperatur på uttaget respektive återfört grundvatten. En datalagrare har varit placerad på en brygga i Runn där temperaturen mätts på 0.5, 2.5 respektive 6.0 m djup. I bilaga 4 ges en längdsektion med mätprofilerna.

Figur 7.1 visar en plan över mätprofilernas placering.



Figur 7.1. Placering av mätprofiler.

Temperaturmätningen har skett med termistorgivare vilka ger en upplösning av 0.1° C och en noggrannhet av 0.1° C. Datalagrarna har dock en upplösning på 0.12° C. Som tryckgivare har använts Druck LTD typ PDCR 10/D som kalibrerats för 0 - 4.4 mvp. Datalagrarna delar upp mätintervallet i 250 "bitar" vilket ger en upplösning <0.02 m.

7.3 Grundvattenflöden

7.3.1 Provdrift

Produktionsbrunnen, Br 1, byggdes och testpumpades sensommaren 1983.

Under 1984 färdigställdes de två övriga brunnarna, Br 2 och Br 3. I samband med provpumpning av Br 2 och Br 3 under augusti - september kördes även produktionsbrunnen. Totalt uttogs ca 280 000 m³ grundvatten ur akviferen under 1984. I april 1985 togs värmepumpar och brunnar i provdrift.

7.3.2 Arscykel 1, 1985 - 1986

Inlagringsperioden påbörjades 1985-06-03 och pågick fram till 1985-09-26. På grund av översvämningssituationen i september stod pumparna stilla under ca 14 dygn. Totalt uttogs ca 414 000 m³ grundvatten enligt tabell 7.2.

Tabell 7.2. Grundvattenuttag inlagringssäsongen 1985.

Brunn	Totalt uttag m ³	Genomsnittsflöde m ³ /s
Br 1	Till Runn 110292 Till VP 44096	0.0155
Br 2	140720	0.0142
Br 3	118856	0.0120
Summa	413964	0.0417

Det lägre flödet från Br 3 beror på att returvattnet från värmepumpen sommartid belastar samma utloppsledning som utnyttjas för uttaget ur Br 3. Nettoflödet från Br 2 var förhållandevis lågt eftersom en del av returvattnet från värmepumpen tidvis återfördes i brunnen. Omställning till driftfall för uttagsperiod, utfördes 85-09-26. Fram till uttagsperiodens slut 86-05-27 levererades ca 270 000 m³ grundvatten till värmepumparna, motsvarande 0.0128 m³/s. I tabell 7.3 visas fördelningen av uttagna respektive återförda vattenmängder.

Tabell 7.3. Uttag respektive återföring av grundvatten uttagsperioden 1985/86.

Brunn	Totalt uttag m ³	Genomsnittsflöde m ³ /s
Br 1	271014	0.0128
Br 2	-91223	-0.0043
Br 3	-179791	-0.0085

Grundvattenflödet till värmepumparna var vid uttagsperiodens början ca 0.0158 m³/s. Sensommarens översvämning visade att den torrt uppställda pumpen i Br 1 ej var betryggande högt placerad varför pumpen monterades på ett högre fundament i slutet av november. I samband med pumpmontaget ändrades inställningen av ventilerna vid återföringsbrunnarna. På grund av en kraftig strypning vid Br 2 återfördes huvuddelen av flödet i Br 3, som ligger ca 1000 m bortom Br 2.

Tabell 7.4. Uttag respektive återföring av grundvatten uttagsperioden 1985/1986.

Brunn	26/9 - 27/11		30/11 - 27/5		26/9 - 27/5	
	uttag m ³	flöde m ³ /s	uttag m ³	flöde m ³ /s	uttag m ³	flöde m ³ /s
Br 1	84600	0.0158	182465	0.0119	268184	0.0128
Br 2	-43700	-0.0082	-45934	-0.0030	-90270	-0.0043
Br 3	-40900	-0.0076	-136531	-0.0089	-177914	-0.0085

Förutom snedfördelning av återföringen minskade även det totala flödet p g a ökat strömningsmotstånd i systemet. Snedfördelningen av returvattnet fick bestå under resterande del av driftsperioden.

Under januari till maj minskade flödet från uttagsbrunnen successivt, troligen p g a ökande igensättning i ledningar och värmeväxlare.

7.3.3 Arscykkel 2, 1986 - 87.

Inlagringen startade 1986-05-27 och avslutades 1986-09-16. Nettouttaget ur brunnarna reducerades redan 1986-09-04 då returvattnet från värmepumparna började återföras och ledningen från Br 1 mot Runn stängdes. Under inlagringen uttogs totalt ca 410 000 m³ grundvatten ur akvifervärmelagret. Se tabell 7.5.

Tabell 7.5. Grundvattenuttag inlagringssäsongen 1986.

Brunn	Totalt uttag m ³	Medelflöde m ³ /s
Br 1	Till Runn 105944 Till VP 53527	0.0165
Br 2	139412	0.0144
Br 3	114713	0.0119
Summa	413596	0.0428

När ytvattentemperaturen i Runn sjunker till samma nivå som grundvattentemperaturen i Br 1 ställs systemet om från inlagrings- till uttagsskede.

Den 16/9 -86 påbörjades uttagsperioden som varade fram till 87-06-02. Totalt pumpades ca 290 000 m³ grundvatten till värmepumparna vilket motsvarar ett medelflöde av 46.3 m³/h, 0.0129 m³/s. I tabell 7.6 redovisas uttagna respektive återförda vattenmängder.

Tabell 7.6. Uttag respektive återföring av grundvatten uttagsperioden 1986/87.

Brunn	Uttag m ³	Flöde m ³ /s
Br 1	287900	0.0129
Br 2	-155941	-0.0070
Br 3	-131959	-0.0059

Uttaget ur Br 1 var något högre under 1986/87 än under slutet av föregående uttagsperiod, p g a att återföringsflödena omfördelades för att sänka strömningsförlusterna i ledningssystemet. Grundvattenuttaget har varit konstant under perioden. Vid några tillfällen har pumpen i Br 2 startat p g a för hög vattennivå i brunnen. Utgående ledning från Br 2 fungerar dessutom som en hävert varför totalt ca 9 500 m³ grundvatten har gått ut i Runn under urladdningsperioden. Nettoåterföringen av vatten till Br 2 uppgår således till ca 23.6 m³/h, 0.0065 m³/s.

Elförbrukningen under årscykel 2 redovisas i tabell 7.7.

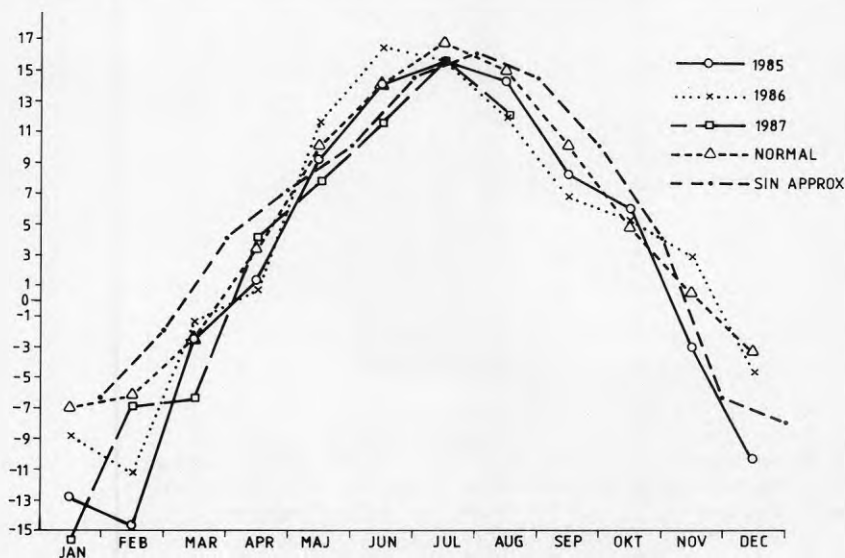
Tabell 7.7. Elförbrukning uttagsperioden 1986 - 87.

Brunn	Uttagsperiod kWh
Br 1	73395
Br 2	2194
Br 3	2797
Summa	78386

7.4 Temperaturer

7.4.1 Lufttemperatur

Luftens årsmedeltemperatur i Falun är ca $+4,6^{\circ}\text{C}$. Under perioden 8506-8706 har lufttemperaturen i stort varit lägre än under normalår. I figur 7.2 visas månadsmedeltemperaturer under uppföljningsperioden tillsammans med normalårsvärden. Uppgifterna om lufttemperatur kommer från SMHI.



Figur 7.2. Lufttemperatur i Falun. Månadsmedelvärden.

Som figur 7.2 visar har vintermånaderna varit ovanligt kalla.

7.4.2 Ytvattentemperatur

Vattentemperaturen i sjön Runn har mätts på tre nivåer - 0.5, 2.5 resp 6.0 m djup. Temperaturen i Runn under uppföljningsperioden visas i figur 7.3. Temperaturmätningarna finns även redovisade i bilaga 5.

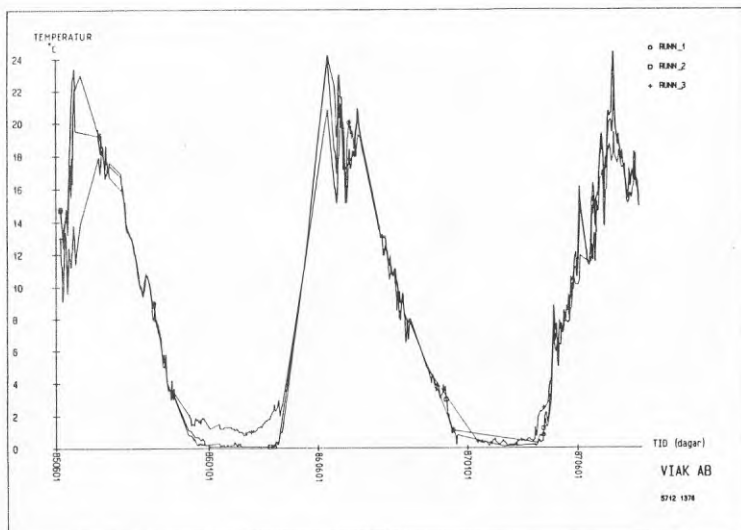


Fig. 7.3. Ytvattentemperatur i Runn

Temperaturdifferensen mellan givarna på olika nivåer är liten. Horisontell skiktning i vattenmassan uppstår vid två tillfällen:

- Varma somardagar med pålandsvind ger kortvariga temperaturhöjningar för de övre givarna.
- Vintertid sjunker temperaturen för de övre givarna ned mot 0°C. Tidvis kan den översta givaren vara infrusen i isen. Den understa givaren är placerad strax ovan botten och sjunker vintertid ej under +1.0°C.

7.4.3 Grundvattentemperatur

7.4.3.1 Uppmätta ostörda grundvattentemperaturer

Mätvärden som kan betraktas som ostörda finns från sommaren 1982 och 1983 samt i viss mån från hösten/vintern 1983-84.

I fig 7.4 visas temperaturer från borrning Rb 8204. Mätvärdena representerar temperaturen på 7.2 m djup.

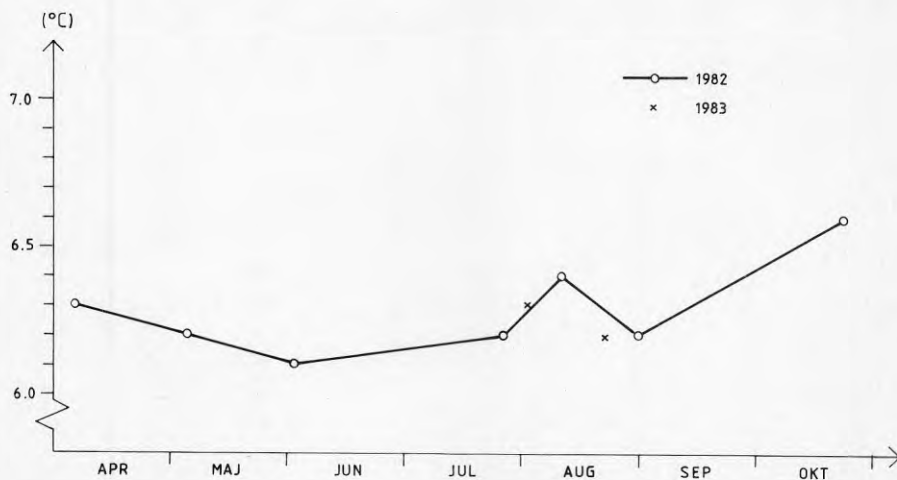


Fig 7.4. Ostörd grundvattentemperatur Rb 8204.

I fig 7.5 och 7.6 har plottats temperaturen för olika rör som funktion av djup under markytan.

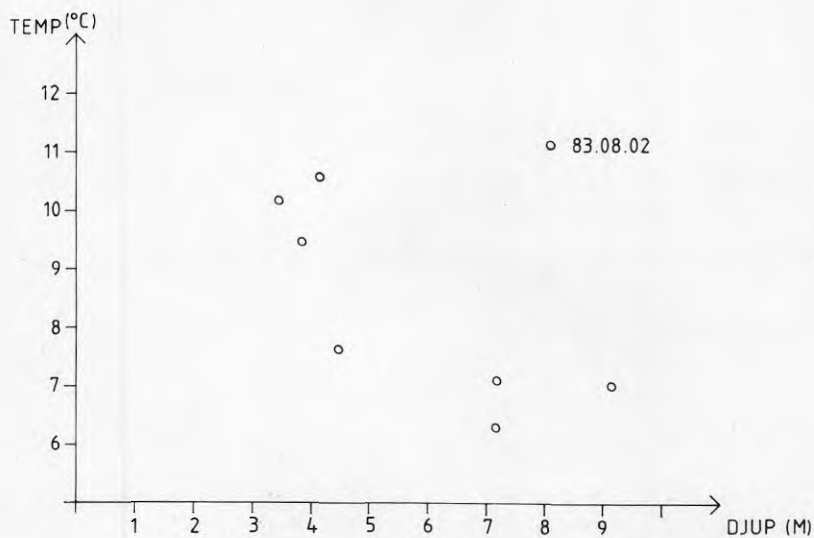


Fig 7.5. Ostörd grundvattentemperatur som funktion av djupet 830802.

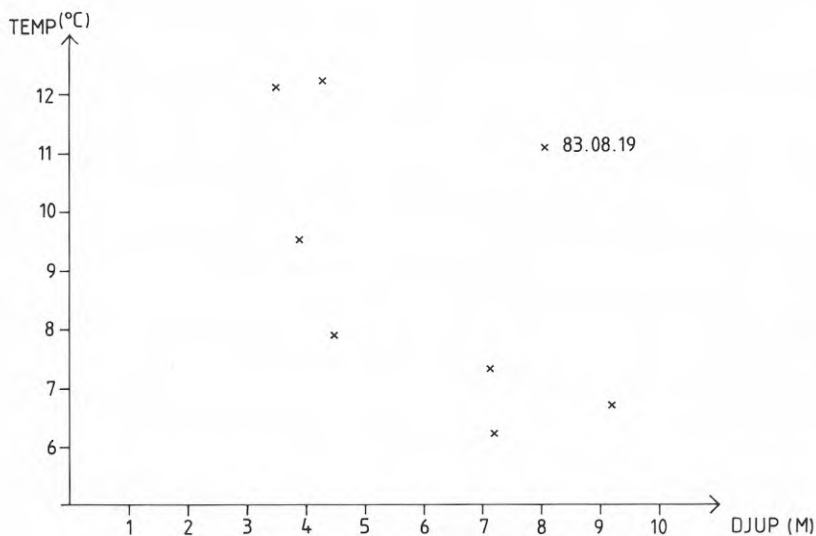


Fig 7.6. Ostörd grundvattentemperatur som funktion av djupet 830819.

Med hänsyn till grundvattentemperaturens variation i djup och i tid är det svårt att bestämma ett representativt medelvärde för akviferen. I utförda beräkningar har dock årsmedeltemperaturen ansatts till +6,0°C.

7.4.3.2 Grundvattentemperaturer under drift

Temperaturmätningar från samtliga mätprofiler och grundvattenbrunnar redovisas i bilaga 6 a-f.

Temperaturförhöjningen i akviferen är ojämnt fördelad över lagervolymen. Storleken på temperaturökningen varierar dels med djup och dels med läget i förhållande till grundvattenbrunnarna.

8.1 Grundvattentemperaturens naturliga variation

För att kunna bedöma effekterna av inlagringen är det nödvändigt att beräkna de naturliga temperaturvariationerna i akviferlagret.

Den ostörda temperaturen i de övre marklagren varierar över året. Temperaturvariationen beror på de årstidsmässiga skillnaderna i solinstrålning och lufttemperatur. Vidare påverkas marktemperaturen av nederbörd och snösmältning.

De ytliga marklagrens årsmedeltemperatur motsvarar luftens årsmedeltemperatur. Till följd av att marken är snötäckt under den kallare årstiden är dock markens medeltemperatur i norra Sverige någon grad högre än luftens medeltemperatur. Av betydelse är också att grundvattenbildning ej kan ske vid lägre temperaturer än 0°C.

Vid beräkning av lufttemperaturens påverkan av marktemperaturen ansätts som regel att lufttemperaturens variation över året kan beskrivas som en sinusfunktion. Sinusapproximationen ger tillräcklig noggrannhet vid matematisk behandling av problemet.

Om lufttemperaturen vid markytan ansätts till:

$$T_l = T_0 + T_p \cdot \sin \left(\frac{2\pi t}{t_0} + \varphi_0 \right)$$

ges enligt ref 1 marktemperaturen i ett endimensionellt, halvoändligt fall som:

$$T_m(z, t) = T_0 + T_p \cdot e^{-z/d_0} \cdot \sin \left(\frac{2\pi t}{t_0} + \varphi_0 - \frac{z}{d_0} \right)$$

där t_0 = periodtid (s)
 z = djup under markytan (m)
 $d_0 = (a \cdot t_0 / \pi)^{1/2}$ (m)
 a = temperaturlledningstal /C (m²/s)

När temperatursvängningen vid markytan utbreder sig ned i jordlagren kommer den att dämpas och fäsförskjutas. Dämpningen och fäsförskjutningen styrs av temperaturlledningstalet, λ/C .

Vid beräkning av ostörd marktemperatur har dels utförts handberäkningar enligt ovan, dels har simuleringar gjorts med ett program från Lunds Tekniska Högskola. Programmet bygger på finit differensmetod och medger användande av varierande randvillkor för att simulera snötäcke.

8.2 Inlagrade värmemängder

Temperaturökningen i akviferen under inlagringsperioden beror, som tidigare påpekats, dels på naturliga årstidsmässiga variationer, dels på inducerad infiltration av "varmt" sjövattnet.

Vid beräkning av inlagrade energimängder har korrigering gjorts för naturlig temperaturvariation. I beräkningarna har varje temperaturgivare antagits representera en volym av akviferen. För var och en av uttagsbrunnarna har temperaturen på det utpumpade vattnet betraktats som ett medelvärde för en relativt stor del av den intilliggande akviferen.

Inlagrad energimängd har således beräknats utgående från temperaturen vid inlagringsperiodens början respektive slut minus naturlig temperaturutveckling.

I tabell 8.1 redovisas beräknad inlagrad energimängd under 1985 och 1986, samt motsvarande medeltemperaturhöjning i akviferen.

Tabell 8.1 Beräknade inlagrade energimängder

	E	δT	Korr	Korr
	MWh	°C	E	δT
			MWh	°C
1985	1308	3.8	1022	3.0
1986	1095	3.2	819	2.4

Temperaturen i akviferen når ej upp till de nivåer som indikeras av överslagsberäkningarna i kapitel 5.

8.3 Temperatur på uttaget grundvatten

Temperaturen på utpumpat grundvatten från produktionsbrunnen, Br 1, visas i figur 8.1 samt i bilaga 6 a.

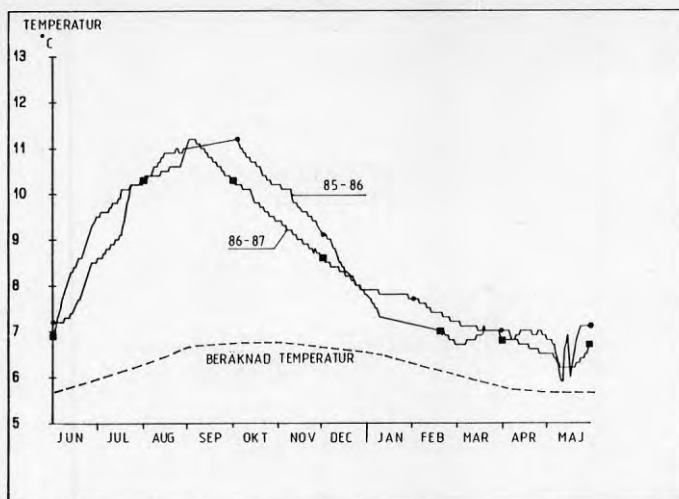


Fig.8.1 Grundvattentemperatur, Br 1.

Till skillnad mot mätställena ute i akviferen, som representerar temperaturen i en punkt, så representerar temperaturen i uttagsbrunnen ett medelvärde för en volym av den centrala akviferen. Den streckade linjen i figuren motsvarar den beräknade naturliga temperaturvariationen på intagssilens nivå.

Den uppmätta temperaturen har under de två uppföljningsåren alltid överskridit den "naturliga" nivån. Mot slutet av uppvärmningssäsongen är övertemperaturen liten. Viktigt att notera är dock att utan den "värmebuffert" som skapas under sommarens inlagring och utan återföring av vatten till akviferen vore troligen uttagstemperaturen avsevärt lägre än den naturliga.

8.4 Kommentarer till temperaturmätningar i grundvattenmagasinet

Temperaturmätningar från mätprofil 1-5 redovisas i bilaga 6 b-f.

I den nordvästra delen av akviferen är de grovkorniga jordlagren överlagrade av finkorniga sediment. Delvis är det täckande marklagret ovan grundvattenytan relativt mäktigt (ca 5 m) i detta område.

Initiellt var marktemperaturen högst i denna del av lagret. Akviferen uppvisar också här ett trögare termiskt uppförande: temperaturpåverkan p g a översvämnningar och snösmältning är avsevärt mindre än i lagrets sydöstra del. Akviferlagrets nordvästra del representeras av mätningar i Br 3, mätprofil 1 och 2 samt rörborrningarna Rb 8304 - 8306.

Akviferens sydöstra del har följts upp med mätningar i Br 2, mätpunkt 3 och 4 samt i rörborrningarna Rb 8202, Rb 8204 och Rb 8302.

Den sydöstra halvan av lagret karakteriseras av att grundvattenytan ligger nära markytan. Täckande markskikt är i regel 1-2 m mäktigt. Själva åsryggen i området runt uttagsbrunnen är bortschaktad p g a täktverksamhet. Finsediment finns i viss utsträckning på sidorna av åsen, men i det centrala åspartiet råder öppna förhållanden.

I den sydöstra halvan av värmelagret är temperaturdifferensen mellan sommar och vinter störst.

Beroende på ett grävt dike i närheten av mätpunkt 4 reagerar akviferen här snabbt på infiltration av smältvatten samt på översvämningar sommartid.

Figur 8.2 visar de två övre temperaturgivarna i mätprofil 4. I figuren kan tydligt utläsas vårens snösmältning samt översvämningarna under sept 85 och maj 86.

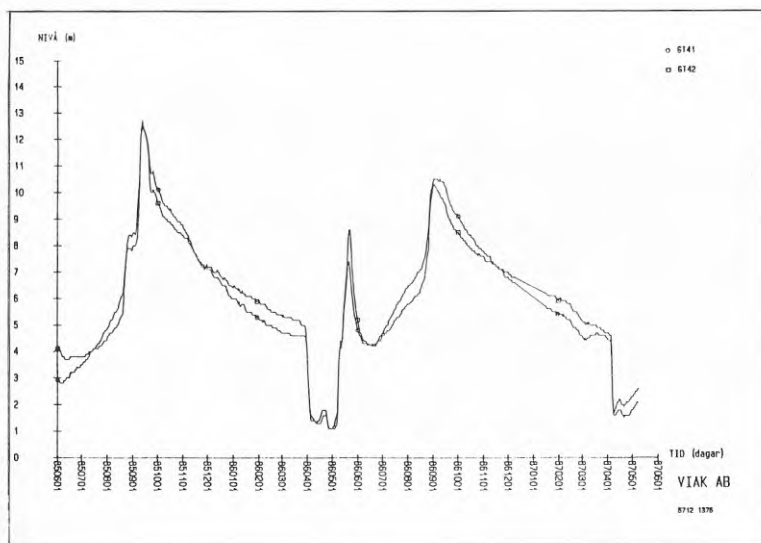
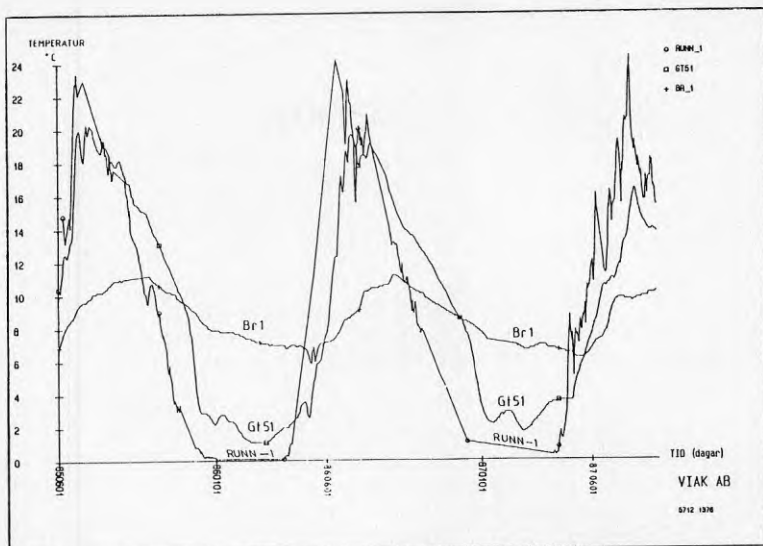


Fig 8.2 Temperatur mätprofil 4

Översvämningen under september 1985 hade stor inverkan på temperaturutvecklingen i akvifervärmelagret.

Temperaturökningen under en inlagringsperiod varierar kraftigt mellan olika delar av akviferen. Vid uttagsbrunnarna fås "termisk kortslutning" mellan sjö och uttagspunkt. Lokalt mellan uttagsbrunn och sjö kan temperaturen i grundvattenmagasinet stiga till över +20°C. Det kraftigt uppvärmda området blir dock begränsat.

I figur 8.3 visas temperaturen i Runn och produktionsbrunnen, samt i den övre delen av mätprofil 5 som är placerad mellan uttagsbrunnen och sjön.



Figur 8.3. Temperatur i Runn, Br 1 och mätprofil 5.

Som synes följer givaren i mätprofil 5 sjötemperaturen mycket väl. Avståndet från sjökanten till mätprofil 5 är ca 2 m och till brunnen ca 25 m.

I områdena mitt mellan uttagsbrunnarna är temperaturpåverkan mer begränsad. Maximalt uppmätt temperatur utanför brunnarnas omedelbara närhet är $+10,5 - +11,5^{\circ}\text{C}$.

Den nordvästra delen av akviferlagret, mellan Br 1 och Br 3, hade under första inlagringssäsongen högre temperaturnivåer än under inlagringscykel nr 2. Se fig 8.4.

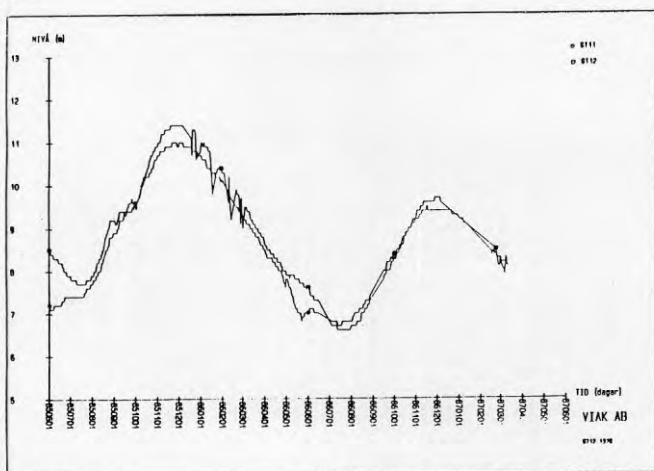


Fig. 8.4. Mätprofil 1. Termistorgivare GT11 och GT12 på nivån $+104,8$ resp $+102,8$ möh.

Att temperaturnivån är lägre det andra året kan ha flera förklaringar. Ingångstemperaturen vid första säsongen kan sägas representera en slutna del av akviferen med relativt stagnanta grundvattenförhållanden. När grundvattnet börjar omsättas förändras villkoren i så hög grad att en jämförelse mellan säsongerna är svår att utföra. Temperatursänkningen kan delvis förklaras med att vintrarna 85/86 och 86/87 var mycket kalla, varför trenden kan vara ett utslag av allmänt lägre temperaturer i marken.

Den sannolikaste förklaringen är dock att återladdningen av lagret har varit för svag. Till den norra brunnen Br 3, har återförts mer avkyllt vatten från värmepumpen vintertid än vad som kunnat uttas under sommaren.

För att inte kyla ned lagret på sikt och för att påverka större delar av akviferen än vad som nu sker bör grundvattenuttaget ur akviferen ökas under sommaren. Ett ökat grundvattenuttag sommartid görs lämpligen genom att utöka antalet brunnar.

Termisk skiktning av akviferen uppstår under delar av året. Under sommarens inlagringsperiod fås en stabil skiktning med varmare vatten i akviferens övre del. Temperaturen blir högst överst i akviferen på grund av att den naturliga temperaturamplituden är störst närmast markytan. Under sommaren bör dessutom infiltrationen av varmt sjövattnet övervägande ske i en yttlig strandnära zon.

Vintertid skapas en skiktning med kallare vatten överst i värmelagret. I en instabil skiktning kan egenkonvektion uppstå på grund av densitetsskillnaden mellan varma och kalla skikt. Beräkningar enligt ref 1 visar dock att den drivande temperaturgradienten är för låg i förhållande till konduktiviteten för att egenkonvektion av praktisk betydelse skall ske.

8.5 Hydrauliskt samband mellan sjö och grundvattenmagasin

Den bärande idén bakom akvifervärmelagret är att utnyttja det hydrauliska sambandet mellan sjö och grundvattenmagasin. Följaktligen är det avgörande för lagrets funktion hur noggrant läckagesambandet sjö - akvifer har kunnat kvantifieras vid projekteringen. Om läckaget är lägre än förväntat kommer inlagringen av värme sommartid att ske långsammare och temperaturnivåerna bli lägre än beräknat. Å andra sidan sett kommer systemet att vara trögare även vintertid, varför risken för ett genomslag av kallt sjövattnet minskar. Katastrofalt för akviferlagrets funktion vore däremot om läckagesambandet i närheten av uttagsbrunnen är alltför stort. Termiskt genomslag vintertid kan sänka temperaturen i akviferen till ekonomiskt mindre intressanta nivåer. I figur 8.5 tecknas en principbild av läckagets betydelse för det utpumpade grundvattnets temperatur.

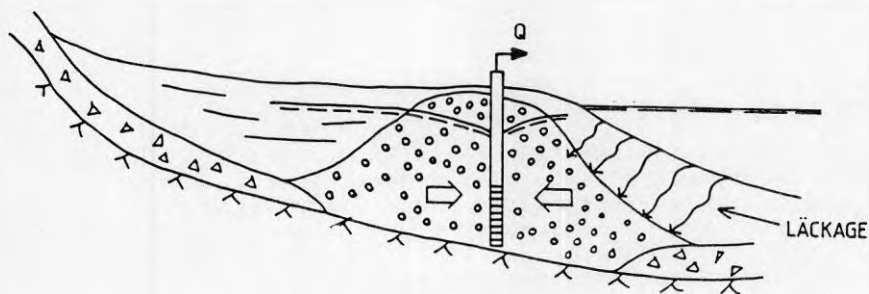
$$\begin{array}{c}
 \text{Sjö } T = +1^{\circ}\text{C} \\
 Q_{s\text{jö}} \\
 \Downarrow \\
 T = +6^{\circ}\text{C} \quad \Rightarrow \quad T_{ut} \quad \Leftarrow \quad Q_{akv} \quad T = +6^{\circ}\text{C} \\
 Q_{akv}
 \end{array}$$

$$T_{ut\text{RES}} = \frac{2 \times Q_{akv} \times T_{akv} + Q_{s\text{jö}} \times T_{s\text{jö}}}{2 \times Q_{akv} + Q_{s\text{jö}}}$$

$Q_{s\text{jö}}$ %	Q_{akv} %	Q_{akv} %	Resulterande temperatur $^{\circ}\text{C}$
0	50	50	6.00
25	37.5	37.5	4.75
50	25	25	4.00
70	15	15	2.50

Fig. 8.5. Läckagets påverkan på uttagstemperaturen.

Inläckaget från sjön till åsmagasinet styrs primärt av den hydrauliska konduktiviteten i de jordlager som täcker åsen. Se figur 8.6.



Figur 8.6. Läckage till grusås.

Läckaget är proportionellt mot tryckdifferensen mellan akvifer och sjö och kan skrivas som:

$$\text{läckage} = K'/b' \times h \times A$$

där K' = täckande jordlagers hydrauliska konduktivitet m/s
 b' = täckande jordlagers mäktighet m
 h = tryckskillnad sjö - akvifer m
 A = aktiv infiltrationsyta m²

Inläckaget kan varieras aktivt genom att via uttag respektive återföring i brunnar styra tryckskillnaden mellan sjö och akvifer. Detta utgör själva projektidén. Förutom genom denna aktiva styrning kommer inläckaget att variera till följd av andra orsaker.

Den hydrauliska konduktiviteten, K , beror av det inläckande vattnets dynamiska viskositet, μ , där:

$$K = k \times \frac{\rho}{\mu} \times g$$

k = specifik konduktivitet (jordmaterialberoende)
 ρ = densitet
 g = gravitationskonstanten

Eftersom viskositeten i sin tur är temperaturberoende kommer den hydrauliska konduktiviteten - och inläckaget - att styras av temperaturen. Vid en sänkning av temperaturen från +15°C till +1°C sjunker konduktiviteten med ca en tredjedel.

På stratigrafien för en subakvatisk grusås är det troligt att infiltrationen är koncentrerad till den strandnära zonen. I denna zon är det dels mindre sannolikt att stöta på finsediment, dels har eventuella finkorniga jordlager ringa mäktighet. Till följd av våg- och iserosion saknas dessutom recenta sjösediment i strandzonen.

Infiltrationen från sjön kan därför i stor utsträckning antas bero på i hur stor utsträckning som denna "aktiva" infiltrationszon kan utnyttjas. Inläckaget kommer att variera med nivån i sjön och vintertid bör igenfrysningen av strandzonen få till följd att infiltrationen minskar.

För att undersöka infiltrationens variation med temperatur och ytvattennivå har grundvattenytans läge i förhållande till sjön jämförts under olika förhållanden.

På grund av att ytvattennivån dels är veckoreglerad (0.2 m) och dels sänks säsongvis, är det ovanligt med konstanta förhållanden. Den säsongvis varierande driften av brunnssystemet gör också att det ej är möjligt att jämföra data från en hel driftscykel.

Då nivån i Runn sänks under vårvintern, i väntan på vårfloden, ökar differensen mellan ytvattennivån och grundvattennivån. D v s grundvattenytan vid uttagsbrunnen sjunker mer än vad sjöytan sänks. Vid en sänkning av ytvattennivån med ca 1.3 m ökar grundvattensänkningen med ca 20%. Denna ökning beror sannolikt på minskad infiltration, men även på en minskning av den vattenförande mäktigheten - och därmed minskade transmissivitet.

Den säsongsmässiga variationen i det hydrauliska sambandet mellan ytvatten och grundvatten kan vara avsevärd. Vid projektering av vattentäkter och akvifervärmelager där inducerad infiltration är av betydelse bör hänsyn tas till nivå- och temperaturberoendet i infiltrationsprocessen. Om möjligt bör hydrauliska tester utföras under såväl sommar- som vinterhalvåret.

9. VATTENKEMI

9.1 Allmänt

Vattenprov har tagits i produktionsbrunnen, återföringsbrunnarna samt i Runn.

Driftstrategin för akvifervärmelagret ger vitt skilda flödessituationer för sommar och vinter. Under sommaren öppnas lagret för infiltration från sjön Runn. Under uppvärmningsperioden cirkuleras däremot grundvattnet inom akviferen med liten infiltration från Runn. Förutsättningarna för att följa trender och säsongsvariationer för påverkan av inducerad infiltration är därför begränsade.

I tabell 9.1 och 9.2 har sammanställts vattenanalyser från mitten av första inlagringsperioden respektive slutet av andra inlagringsperioden.

Tabell 9.1 Vattenanalyser 85-07-10.

		Runn	Br 1	Br 2	Br 3
Färg.....	mg/l Pt	50	60	5.0	60
Grumlighet.....	FTU	3.0.	5.2	0.60	17
Lukt, styrka.....		tydlig	ingen	ingen	ingen
Lukt, art.....		unken	-	-	-
Bottensats.....		ingen	ingen	ingen täml	stor
pH (pot).....		6.6	6.8	6.6	6.3
Ledn.förmåga x 10 ⁶ 25°C	mS/m	10	22	27	24
Permanganatförbrukning.	mg/l KMnO ₄	15	11	3.0	17
Järn.....	mg/l	1.2	1.8	0.21	4.4
Mangan.....	Mn	0.12	0.15	0.06	0.32
Fosfat.....	PO ₄	0.02	0.05	0.01	0.04
Ammonium.....	NH ₄	0.34	0.26	<0.05	0.40
Nitrit.....	NO ₂	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Nitrat.....	NO ₃	0.66	0.20	0.97	0.13
Sulfat.....	SO ₄	29	33	42	44
Bikarbonat.....	HCO ₃	8.0	58	72	54
Klorid.....	Cl	3.0	10	16	12
Kalcium.....	Ca	7.7	24	28	24
Magnesium.....	Mg	2.8	5.6	7.2	5.2
Totalhårdhet.....	°dH	1.7	4.7	5.6	4.6
Kolsyra marmor-					
aggressiv best.....	CO ₂	4.0	15	25	32
Kiselsyra.....	SiO ₂	4.5	14	16	17
Kalium.....	K	1.2	3.2	3.5	2.5
Natrium.....	Na	4.8	7.9	11	7.7

Tabell 9.2 Vattenanalyser 86-09-16

		Runn	Br 1	Br 2	Br 3
Färg/med syra.....	mg/l Pt	40/15	40/10	5.0	80/20
Grumlighet/med syra....	FTU	8.0/1.5	5.1/1.1	1.4	7.4/0.65
Lukt, styrka.....		tydlig	ingen	ingen	tydlig
Lukt, art.....		sjö	-	-	syrlig
Bottensats.....		täml stor	liten	liten	täml stor
pH (pot).....		6.2	6.9	6.8	6.4
Ledn.förmåga x 10 ⁶ 25°C	mS/m	23	33	34	35
Permanganatförbrukning.	mg/l KMnO ₄	21	12	7	20
Järn.....	Fe mg/l	2.0	1.4	0.21	5.1
Mangan.....	Mn "	0.18	0.18	0.05	0.33
Fosfat.....	PO ₄ "	0.02	0.05	0.02	0.10
Ammonium.....	NH ₄ "	0.21	0.21	0.10	0.39
Nitrit.....	NO ₂ "	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Nitrat.....	NO ₃ "	0.72	<0.10	1.5	<0.10
Sulfat.....	SO ₄ "	32	30	30	35
Bikarbonat.....	HCO ₃ "	4.0	66	61	56
Klorid.....	Cl "	3.0	8.0	12	10
Kalcium.....	Ca "	7.8	24	24	25
Magnesium.....	Mg "	2.9	5.5	5.8	5.4
Totalhårdhet.....	°dH	1.8	4.6	4.7	4.8
Kolsyra marmor-					
aggressiv best.....	CO ₂ mg/l	5.0	15	17	44
Kiselsyra.....	SiO ₂ "	4.9	13	15	18
Kalium.....	K "	1.2	2.9	3.1	1.6
Natrium.....	Na "	4.4	7.9	8.4	8.0

Akvifervärmelagrets norra del representeras av Br 3 och den södra delen av Br 2. Skillnaden i vattenkvalitet mellan Br 2 och Br 3 är tydlig. Vid jämförelse har Br 2 lägre halter av bl a organiskt material, ammonium, järn och mangan. Halten av järn i Br 2 är måttlig 0.2 mg/l, och i Br 3 är järnhalten mycket hög, 4 - 5 mg/l.

Analyserna visar att grundvattnet i akviferens södra del är relativt syresatt och att det i den norra delen råder syrefattiga förhållanden. Skillnaden i vattenkvalitet kan sättas i samband med de geologiska förhållandena. I norr är akviferen delvis täckt av finsediment och delar av akviferen fungerar som ett slutet magasin. Ett område med sankmark ligger dessutom i nära anslutning till Br 3. I söder saknas finsediment i den centrala delen av akviferen, vilket ger större förutsättningar för syresättning av grundvattnet.

Grundvattnet från produktionsbrunnen Br 1 har hög järnhalt, 1.4 - 1.8 mg/l samt hög halt av mangan, ca 0.15 mg/l. Vattnet från Br 1 är en blandning av grundvatten från akviferens norra och södra delar samt inläckande sjövattnet. Denna blandning av grundvatten med olika syresättningsförhållanden kan möjligen vara en förklaring till de järnutfällningar som erhållits i ledningssystemet. För att fastställa om så är fallet måste dock grundvattnets flödesvägar och kemiska sammansättning i uttagsbrunnens omgivning studeras närmare.

9.2 Igensättningsproblem

9.2.1 Orientering

Igensättningar till följd av utfällning av framför allt järn och mangan är ett vanligt problem vid värmepumpsanläggningar med grundvatten som värme-källa. Utfällningarna orsakas av att i grundvattnet lösta joner av järn, Fe^{2+} och mangan, Mn^{2+} , reagerar med syre varvid järnhydroxider och järnoxider bildas. Oxidationsprocesserna kan katalyseras av sk järn-bakterier.

Problem med utfällningar kan uppstå i alla kompo-nenter ingående i ett grundvattenvärmesystem. Utfäll-ning i ledningar och värmeväxlare ökar strömningsmot-ståndet. Framför allt i värmeväxlare kan strömnings-förlusterna bli avsevärda och även värmeutbytet försämras. Speciellt känsliga för utfällningsproblem är återföringsbrunnar som mycket snabbt kan bli oanvändbara.

För att förhindra utfällningar är det lämpligt att dimensionera cirkulationssystemen så att grundvattnet ständigt sätts under övertryck. På så sätt förhindras syre från att komma in i systemen. Återföring av grundvatten i injektionsbrunnar skall alltid ske under grundvattenytan.

Återföringsbrunnarna bör vara rejält överdimensione-rade: Ju lägre belastning och ju grovkornigare jord-lager och grövre filterslitsar som kan användas, desto mindre risk för igensättningsproblem.

Anläggningarna runt akvifervärmelagret i Faluåsen är konstruerade med avsikt att minimera igensättnings-risken. Vid plattvärmväxlaren byggdes dessutom en cirkulationskrets för att tillåta snabb och regel-bunden rensning med syra.

9.2.2. Drift

Under två säsongers drift har vissa igensättningar uppstått. Plattvärmväxlaren har rensats med oxalsyra vid ett flertal tillfällen. Avsiken har varit att rensa värmväxlaren så snart tryckfallet över växla-ren ökat till 2 à 3 gånger utgångsvärdet. Vid två tillfällen har värmväxlaren plockats isär och rensats mekaniskt.

En viss tryckupbyggnad med minskat flöde som följd har mätts upp i ledningssystemet. Då uppvärmnings-perioden började 1985 pumpades $0.0158 \text{ m}^3/\text{s}$ till värmepumpen. Ett år senare hade kapaciteten sjunkit till $0.0129 \text{ m}^3/\text{s}$. Kapacitetsminskningen beror tro-ligen till större delen på igensättningar.

I återföringsbrunnarna har noterats en mindre tryckstegring. På grund av att återföringsbrunnarna under inlagrings- och uttagsperioden används för uttag respektive återföring fås en självrensande effekt. Under återföringsperioden är pumparna i brunnarna nivåstyrda för att starta om vattennivån blir för hög beroende på igensättning eller högvattenföring. En av pumparna har varit i drift p g a igensättning vid ett tillfälle.

Ingen av grundvattenbrunnarna har varit i akut behov av rensningsåtgärder.

10. HÄLSINGGÅRDSSKOLAN

10.1 Värmeanläggningar

Hälsinggårdsskolan har ett antal byggnadsdelar som i huvudsak är uppförda i olika etapper under 1960-1980. En översiktsskarta finns i nedanstående figur.

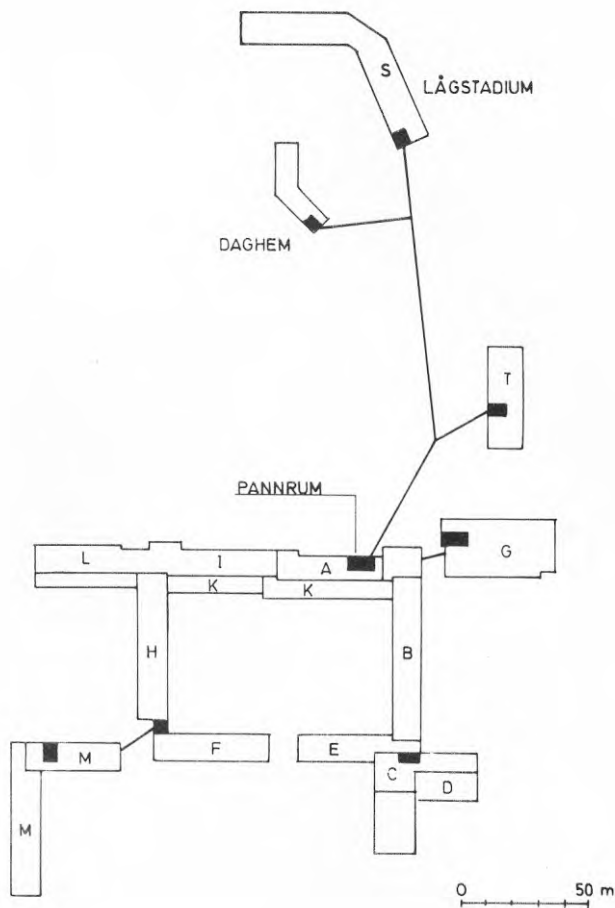


Fig. 10.1 Översiktsskarta över Hälsinggårdsskolan

En panncentral betjänar alla byggnadsdelar via ett hetvattennät. I undercentraler bereds tappvarmvatten samt shuntas värme för olika värmegrupper. Panncentralen har två oljeeldade (Eol) pannor med kapaciteten 700 kW respektive 1 600 kW. Båda pannorna är utrustade med tvåstegsbrännare.

10.2 Värmebehov

Innan värmepumpinstallationen utfördes var skolans oljeförbrukning ca 340 m³ per år. Energibehovet beräknades till ca 2 700 MWh/år och effektbehovet till ca 1 500 kW.

10.3 Värmepumpinstallation

Under våren 1985 installerades två värmepumpar i ett disponibelt utrymme vid panncentralen. Värmepumparna av fabrikat STAL typ VMP 116 är båda utrustade med två kolvkompressorer. Sekvenskörningen av totalt fyra kompressorer medför goda driftförhållanden inom ett brett belastningsområde för värmepumpanläggningen. Båda värmepumparna arbetar med köldmedia R12 och har vardera ca 200 - 220 kW effektavgivning vid maxbelastning. Värmepumparna uttar energi ur grundvattnet via en värmeväxlare och köldbärarkrets. Värmepumparnas förångare är parallellkopplade på köldbärarkretsen. Denna är något fryspunktsnedsatt med hjälp av en inblandad spritlösning.

Producerad energi av värmepumparna avges till värmeanläggningens samlade returledning via en pumpcirkulationskrets. Värmepumparnas kondensorer är seriekopplade på pannvattenkretsen.

I fig. 10.2 finns ett principschema för panncentralen.

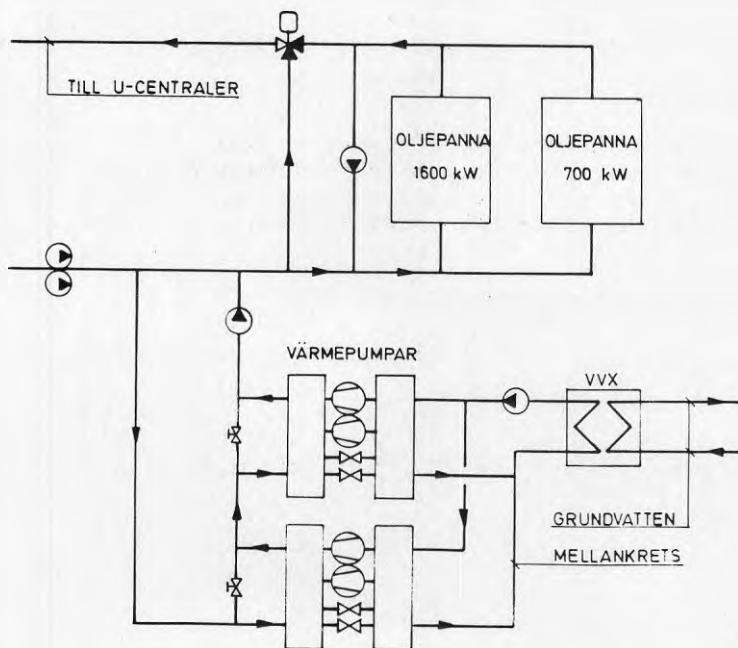


Fig. 10.2 Principschema över Hälsinggårdsskolans panncentral.

I samband med värmepumpinstallationen utfördes omfattande renoveringsåtgärder i värmeanläggningen. Dessa åtgärder utfördes delvis i syfte att skapa goda driftförhållanden för värmepumparna. För att begränsa returtemperaturer i värmesystemet anordnades tvåvägsreglering för samtliga styrventiler i undercentralernas shuntgrupper, liksom i shuntar för värmebatterier i ventilationsaggregat.

I sporthallen utfördes en ny anläggning för tappvarmvattenberedning med ackumulatorer och laddningskrets. Detta utfördes i syfte att kunna bereda allt tappvatten med den relativt låga framledningstemperatur som numera normalt erhålls från panncentralen. Övriga anläggningar för tappvarmvattenberedning kompletterades med elberedare för eventuell eftervärmning av tappvattnet. Med hjälp av elberedare är det möjligt att erhålla varmvatten av förbrukningstemperatur i alla anläggningsdelar även vid avställande av panncentralen, exempelvis sommartid.

10.4 Energiproduktion, kalkyler och utfall

I förstudiefasen beräknades energiproduktionen kunna fördelas enligt nedan efter installation av en värmepump med ca 400 kW effektavgivning.

Olja, m ³	110
Olja, MWh	900
Energiproduktion värmepump, MWh	1800
Energi ur grundvatten, MWh	1190
Elenergi värmepump, MWh	610

Under de två första hela uppvärmningssäsongerna har följande uppmätta värden erhållits för värmeproduktionsanläggningen. Vid beräkning av producerade MWh vid oljeeldning har pannverkningsgraden antagits vara ca 80%.

	850901-860831	860901-870831
Olja, m ³	130.4	124.5
Olja, MWh	1.040	1.000
Energiproduktion värmepumpar, MWh	2.119	2.200
Energi ur grundvatten, MWh	1.238	1.350
Elenergi värme- pumpar, MWh	857	835

Av tabellen framgår att total energiproduktion har varit ca 3 160 MWh respektive 3 200 MWh under de båda driftåren. Totalt energibehov har således varit större än kalkylerat vilket till största delen förklaras av att antalet gradtimmar var betydligt fler än under normala år.

Följande tabell avser normalårskorrigerade värden för ovanstående uppmätta. Korrigeringen är schablonmässigt utförd med samma omräkningsfaktor för energiproduktion med oljepannor respektive värmepumpar.

	850901-860831	860901-870831
Olja, m ³	121.9	111.2
Olja, MWh	975	890
Energiproduktion värmepumpar, MWh	1.980	1.960
Energi ur grund- vatten, MWh	1160	1.205
Eleenergi, värme- pumpar, MWh	800	745

Tabeller i bilaga 7 a-h visar uppmätta driftdata under perioden 850901-870831. Mätvärdena avser medeltemperaturer och ackumulerade energimängder under 14-dagarsintervall, samt ackumulerade energimängder från respektive uppvärmningsperiods början (1 september).

Diagram i bilaga 8 visar medeltemperatur utomhus, energiproduktion med olja och värmepumpar samt värmepumparnas medelvärmefaktor under 14-dagars intervall för perioderna 850901-860831 respektive 860901-870831.

Av tabeller kan bl a utläsas att värmebalansen (värmeavgivning värmepumpar) = (värmeuttag grundvatten) + (eleenergi förbrukning värmepumpar) är i det närmaste uppfyllt med uppmätta värden. Detta bidrar till bedömningen att mätvärdena har god tillförlitlighet. Speciellt vid låg belastning har värmeavgivningen från värmepumpar uppmätts till något högre värde än summan av värmeuttag ur grundvatten och elförbrukning. Detta kan ha sin förklaring i köldbärarkretsens ouppmätta energitillskott i form av pumparbete för köldbärarpumpen samt fläktluftkylarnas värmeupptagning.

Värmepump 1 arbetar normalt med högre värmefaktor än värmepump 2. Detta beror på att aggregaten är seriekopplade på pannvattensidan varför värmepump 2 har högre utgående värmebärartemperatur än värmepump 1. Aggregaten har arbetat med något högre värmefaktor under det andra driftåret jämfört med det första. Detta beror på att temperaturnivån på pannvattensidan har sänkts några grader.

Under det andra driftåret var värmepumparnas totala produktion ca 2 200 MWh. Dessas elförbrukning var under samma tid ca 835 MWh. Aggregatens årsmedelvärmefaktor blev därmed ca $2\,200/835 = 2.63$. Under ett år förbrukar grundvattenpumparna ca 120 MWh. Hela anläggningens årsmedelvärmefaktor kan således beräknas till ca $2\,200/(835 + 120) = 2.30$.

10.5 Drifterfarenheter

Vid idrifttagningen av värmepumpanläggningen uppträdde besvärande ljudnivåer i kontorslokaler ovan värmepumpsrummet. En undersökning visade att olägenheterna berodde på ljud- och vibrationsöverföring från anslutningar vid värmepumpsaggregaten via rörledningar för pannvatten och dessas upphängningsanordningar i bjälklag.

Uppmätta ljudtrycksnivåer och vibrationsnivåer visade klart oacceptabla värden i de berörda lokalerna. Olägenheterna avhjälpes genom ändrade utföranden av rörupphängningar, byte av vibrationsdämpare vid röranslutningar samt omdisposition av lokalerna ovan värmepumpsrummet.

Under de år värmepumpanläggningen har varit i drift har den producerat ungefär den energimängd som förväntades vid projekteringsskedet. Det har emellertid vidtagits flera åtgärder för att om möjligt ytterligare öka utnyttjandegraden av värmepumparna. Samkörningsfunktionen mellan oljepannor och värmepumpar har inte varit helt tillfredsställande. Problemen har varit särskilt påtagliga vid utemperaturer nära 0°C då behovet av tillskottsvärme från oljepannor börjar uppträda. Problemen har bl a varit av den karaktären att oljepannor kvarhålls i drift trots att värmepumpar inte är maximalt belastade. Efter olika injusteringsarbeten av styr- och regleranläggningar har funktionen hos anläggningen gradvis förbättrats.

En olägenhet som uppträdde under ogynnsamma förhållanden var att shuntventilen för tillskottsvärme öppnade mot oljepannor när dessas trottventiler var i stängt läge. Detta medförde att cirkulationen upphörde i värmesystemet, vilket utsatte värmepumparna för allvarliga driftstörningar. Detta problem är avhjälpst genom att en trottventil alltid är öppen och därmed säkerställer cirkulationen i värmesystemet.

Sedan idrifttagningen av värmepumpanläggningen har utfällningar av framför allt järnoxider uppträtt i besvärande hög grad i grundvattenssystemet. De påtagliga problem som orsakas av detta är dels försämrade värmeövergång samt ökat tryckfall i värmeväxlaren grundvatten/köldbärare, dels ett allmänt ökat strömningssmotstånd i grundvattenledningar vilket har minskat det tillgängliga flödet.

I värmeväxlaren har upprepade renspolningar med oxalsyralösning utförts för avlägsnande av utfällningar. Efter 2.5 års drift utfördes den första isärtagningen och mekaniska rengöringen av värmeväxlaren.

11. PROJEKTETS EKONOMI

11.1 Investeringar

Vid projektets genomförande uppgick investeringarna till nedanstående belopp. Investeringarna avser priser gällande vid prisnivå ca 1 januari 1985 och inklusive moms.

Värmepumpar	760 kkr
VVS-entreprenad	750 kkr
Ledningar i mark	1 040 kkr
Brunnar	200 kkr
Elarbeten	400 kkr
Projektering	300 kkr
Totalt	3 450 kkr

11.2 Driftskostnadsbesparingar

Främst p g a det prisfall som uppträdde på olje- marknaden efter projektets genomförande har drifts- kostnadsbesparingarna blivit betydligt mindre än de kalkylerade. Följande beräkningar avser energiproduk- tionskostnader med löpande energipriser. Genomsnitt- liga oljepriser under perioderna är beräknade med hjälp av förekommande leverantörsfakturor.

	850901-860831	860901-870831
Olja, m ³	130.4	124.5
-"- , kkr	293	193
El, värmepumpar, Mwh	857	835
El, värmepumpar, kkr	255	252
El, grundvatten- pumpar, MWh	115	125
El, grundvatten- pumpar, kkr	39	43
Energi totalt, kkr	587	488

Alternativkostnaden avser 100% oljeeldning vid en antagen pannverkningsgrad av ca 80%.

	850901-860831	860901-870831
Värmebehov, MWh	3160	3200
Olja, m ³	395	400
Olja, kkr	889	620

Driftkostnadsbesparingarna uppgår således till ca 302 kkr under den första mätperioden och ca 132 kkr under den andra.

11.3 Service- och underhållskostnader

Under de två första driftåren har service och underhållskostnader för värmepumpanläggningen uppgått till ca 50 kkr. I denna summa ingår en 5000-timmarsservice, innehållande bl a byte av olja och packningar i kompressorer för en kostnad av ca 26 kkr.

11.4 Ekonomiskt utfall

Värmepumpanläggningens driftkostnadsbesparingar har under de första åren medfört avkastning på investeringen motsvarande:

1985/86	1986/87
$(302 - 25)/3450 = \text{ca } 8\%$	$(132 - 25)/3450 = \text{ca } 3.1\%$

Med nuvarande prisnivå för olja kan inte investeringen betraktas som lönsam. Ett önskvärt förräntningskrav på ca 15% skulle ha uppfyllts med ett oljepris av ca 3 000 kr/m³.

12. FÖRSLAG TILL FRAMTIDA DRIFT

12.1 Driftstrategi

Den tillämpade driftstrategin har varit mycket enkel. Då ytvattentemperaturen på våren blir högre än grundvattentemperaturen ställs lagret om till inlagring. Tidpunkten för detta inträffar någon gång i mitten av maj månad. Under de två första åren har inlagringsperioden påbörjats vid månadsskiftet maj-juni, vilket har varit något sent.

Omställningen från inlagrings- till uttagsskede sker när ytvattentemperaturen sjunker under grundvattentemperaturen. Beroende på inlagrad värmemängd och vädret under förhösten sker detta någon gång i september.

Som referens för akviferlagrets temperatur används temperaturen på det utpumpade vattnet från produktionsbrunnen, Br 1. Ytvattentemperaturen mäts några decimeter under sjöytan.

Den ovan beskrivna driftstrategin bedöms vara den enklaste och mest lämpliga även för framtida drift.

12.2 Uppföljning

Såväl värmepumpar som akvifervärmelagret bör kontinuerligt följas upp. I pannrum, uttagsbrunnar och i grundvattenmagasinet bör mätningar utföras enligt tabell 12.1.

Tabell 12.1 Mätschema för uppföljning.

Mätplats	Parameter	Intervall
Br 1	grundvattennivå temperatur	1 månad
Br 2	tryck drifttid	
Br 3	elförbrukning flöde	
Grundvattenmagasin	temperatur grundvattennivå	vid inlagringsperiodens början resp slut
Pannrum	grundvattentemp. in grundvattentemp. ut tryckfall VVX flöde grundvatten	1 vecka

Avsikten med mätningarna är att kontrollera anläggningens funktion och ekonomi. I synnerhet måste tendenser till igensättning p g a utfällningar i ledningar, värmväxlare och grundvattenbrunnar bevakas. Igensättning i ledningar och värmväxlare resulterar i tryckuppbyggnad, flödesminskning och försämrat värmeutbyte. I uttagsbrunnarna syns igensättningstendenser som låga respektive höga grundvattennivåer vid uttag och återföring.

Temperaturmätningarna i akviferen gör det möjligt att kontrollera nedkylning på sikt och vid behov justera driften.

12.3 **Ändringar av värmelagringssystemet**

Som redovisats i kap. 8 är det önskvärt att öka grundvattenuttaget under sommaren. Pumparna i de perifera brunnarna, Br 2 och Br 3, levererar mindre vatten än vad som projekterats. Mot beräknade 0,020 m³/s ger Br 2 ca 0,015 m³/s.

I Hälsinggårdsskolan har en av värmepumparna varit i drift under somrarna. Det enda möjliga utsläppet för returvatten är via inkoppling på utloppsledningen från Br 3. Härvid stryps flödet från brunnen ned till ca 0,012 m³/s.

Genom att anordna en avskild returledning från värmepumparna till sjön och byta pumpar i de perifera brunnarna kan uttaget ur dessa brunnar ökas från ca 0,027 m³/s till 0,040 - 0,050 m³/s.

En ur värmelagringssynpunkt intressantare, men dyrare, lösning är att öka uttaget av grundvatten genom att komplettera lagringssystemet med två uttagsbrunnar. Brunnarna placeras enligt fig. 12.1.

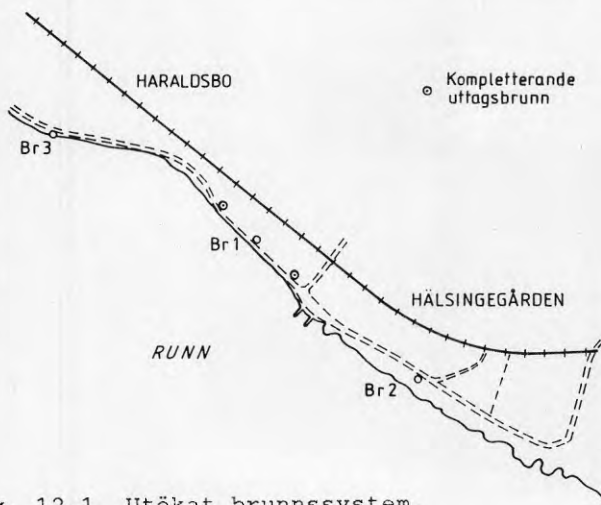


Fig. 12.1 Utökat brunnssystem.

Vinsten med att utöka antalet grundvattenbrunnar är att uttaget av grundvatten kan ökas under sommaren. På så sätt sänks grundvattenytan ytterligare varvid infiltration av varmt sjövattnet förstärks. Om brunnarna byggs i lagrets centrala del, kommer två zoner med termisk kortslutning mellan sjö och brunnar att utbildas vid sidan av uttagsbrunnen.

För att förebygga utfällningsproblem kan ett alternativ vara att syresätta grundvattenmagasinet. En enkel syresättningsanläggning byggs enligt samma princip som vid återinfiltrationsanläggningar för vattenförsörjning. Se fig. 12.2.

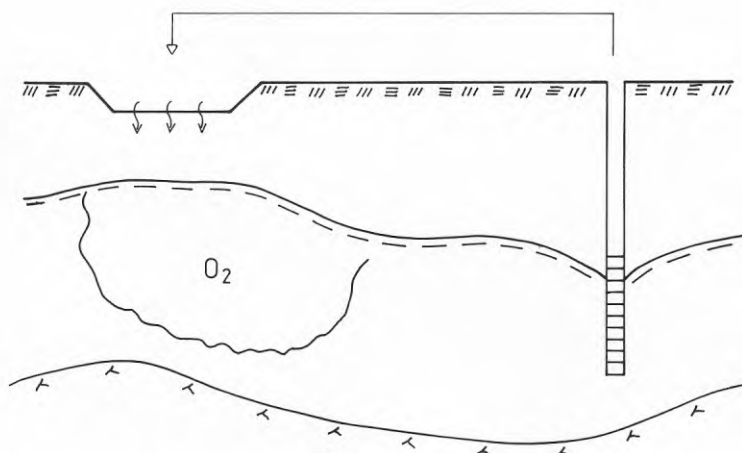


Fig. 12.2. Anläggning för syresättning av grundvatten.

Principen är att utpumpat grundvatten luftas och återförs till grundvattenmagasinet genom infiltration i grävda bassänger. Infiltrationsvattnet tas från en kompletterande uttagsbrunn. Genom att bassängerna under sommaren fungerar som solfångare kommer även en viss termisk påverkan att ske.

Syresättning av akviferen är ett intressant åtgärdsförslag som bör studeras vidare. Frågor av intresse är bl a hur stor del av akviferens mäktighet som går att påverka och hur stort infiltrationsflödet bör vara. Infiltrationsperiodens längd och varaktigheten av en syresättning bör också studeras.

13 REFERENSER

- 1 Claesson, J m fl 1985: Markvärme. En handbok om termiska analyser. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm. T16:1985. ISBN 91-540-61-8.
- 2 Gustafson, G 1978: Studies of the hydrogeology of subaqueous eskers. Chalmers tekniska högskola, geologiska institutionen. Publ A26 Göteborg.
- 3 Gustafson, G 1983: Brunnssystem för värmelagring och värmeutvinning i akvifer. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm. R39:1983. ISBN 91-540-3912-6.
- 4 Hillel, D 1971: Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press, Inc Ltd London.
- 5 Lindblad-Påsse A 1986: Järnutfällningsproblem i grundvattenvärme-system. Chalmers tekniska högskola, geologiska institutionen. Publ A53 Göteborg.
- 6 Rhen I et al 1986: Dimensionering av ytjordvärmekollektor. Beräkningar med simuleringsmodell. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm. R13:1986. ISBN 91-540-4524-X.
- 7 Todd D K 1959: Ground Water Hydrology. Wiley & Sons Inc. New York.

Borrningarna är utförda med 40 mm rör. Rören är vid spetsen perforerade med \emptyset 8 mm hål. Borrningarna Rb 8301-8303 samt 8309-8310 är perforerade på en längd av 1,0 m. Borrningarna Rb 8201-8204 samt Rb 8304-8308 är perforerade på en längd av 1,5 m.

Borrning Rb 8307P är utförd med 50 mm rör med krysspets.

Bedömning av jordlager och vattengenomtränglighet har utförts i fält.

Höjder enligt RAK från fix 8210 i Falu kommuns höjdsystem.

Förkortningar

Rb = rörborrning
rök = röröverkant
my = markyta
gvy = grundvattenyta 1983-08-26

B = brunt jordmaterial
G = grått "

Djup i meter under markyta	Jordlager	Vattengenom- tränglighet/ färg på jord- material
-------------------------------	-----------	---

Rb 8201

0,0 - 2,0	ngt siltig sand
2,0 - 3,0	lera
3,0 -	stopp mot block eller berg

röret uppdraget

Rb 8202 rök +109,81, my +108,84, gvy +106,95

0,0 - 2,0	lera	
2,0 - 3,7	ngt siltig lera	ingen
3,7 - 6,0	grusig sand	god/B
6,0 - 8,0	ngt grusig finsand (morän)	liten/G
8,0 -	stopp mot block eller berg	

Rb 8203 rök +109,36, my +108,39, gvy +106,44
0,0 - 2,0 inget prov
2,0 - 4,0 sandigt grus liten/B
4,0 - 6,0 grusig sand god/B
6,0 - 8,0 ngt grusig mellan-
sand god/B
8,0 - 9,0 " " " ingen/G
(morän)
9,0 - stopp mot block
eller berg

Rb 8204 rök +110,42, my +109,55, gvy +106,94
0,0 - 2,0 ngt sandig silt
2,0 - 4,0 ngt grusig lerig silt ingen
4,0 - 6,0 grusig mellansand liten/B
6,0 - 8,0 " " god/B
8,0 - fortsatt borrhning
möjlig

Rb 8301 rök +109,37, my +108,30, gvy +106,94
0,0 - 3,0 lera
3,0 - 4,0 siltigt sandigt grus mi god/G
4,0 - 7,0 siltig grusig sand " /G
7,0 - 8,0 sandigt grus god/B
8,0 - 10,0 sandigt siltigt grus mi god/G
10,0 - stopp mot berg eller
block

Rb 8302 rök +108,64, my +107,63, gvy +106,91
0,0 - 2,0 sandigt grus god
2,0 - 4,4 sandigt grus god
4,4 - stopp mot berg eller
block

mycket blockigt

Rb 8303 rök +108,82, my +107,82, gvy +106,92
0,0 - 5,0 sandigt grus god
5,0 - stopp mot berg eller
block

mycket blockigt

Rb 8304 rök +109,30, my +108,52, gvy +106,91
0,0 - 2,0 inget material
2,0 - 3,0 fingrus
3,0 - 4,0 sandigt grus god
4,0 - 5,2 finsandigt grus god

5,2 - stopp mot berg eller
block

mycket blockigt

Rb_8305 rök +109,09, my +108,02, gvy +106,94
0,0 - 0,5 sand
0,5 - 4,0 lera
4,0 - 6,0 sandigt grus god/G
6,0 - 10,0 sandigt grus god/B
10,0 - stopp mot berg eller
block

Rb_8306 rök +109,54, my +108,44, gvy +106,95
0,0 - 2,0 finsandig grusig mellansand
2,0 - 4,0 " " " mi god
4,0 - 8,0 grusig sand god

Röret mycket krokigt från 6 m.

Rb_8307 rök +109,20, my +108,12, gvy +106,94
0,0 - 2,0 inget material
2,0 - 4,0 mellansandig grusig
grovsand god
4,0 - 6,0 grusig grovsand god
6,0 - 8,0 sandigt grus god
8,0 - Fortsatt borrning

möjlig med stor svårighet

Blockigt

Röret krokigt från 5,40 m.

Rb_8307P rök +109,18, my +107,89, gvy +106,95

0,0 - 2,0 finsandigt grus
2,0 - 3,0 mellansandig grusig
grovsand
3,0 - 4,0 grovsandigt grus (stänger)
4,0 - 5,0 grusig grovsand
5,0 - 6,0 grovsand (stänger)
6,0 - 7,0 grusig grovsand
7,0 - 8,0 grovsandigt grus
8,0 - 8,5 " "
8,5 - stopp mot block e berg

Spetsen krökt 8 m under markytan.

Rb_8308 rök +108,56, my +107,41, gvy +106,95

0,0 - 2,0 sandigt grus
2,0 - 4,0 finsandigt grus god
4,0 - 5,0 sandigt grus god
5,0 - Fortsatt borrning

möjlig med svårighet

Spetsen krokig.

Rb_8309

rök +108,6, my +107,72, gvy +106,91

0,0 - 1,9

sandigt grus

god

1,9 -

stopp mot block

Snedborrat

Rb_8310

rök +108,47, my +107,65, gvy +106,92

0,0 - 4,0

sandigt grus

god

4,0 -

stopp mot block eller
berg

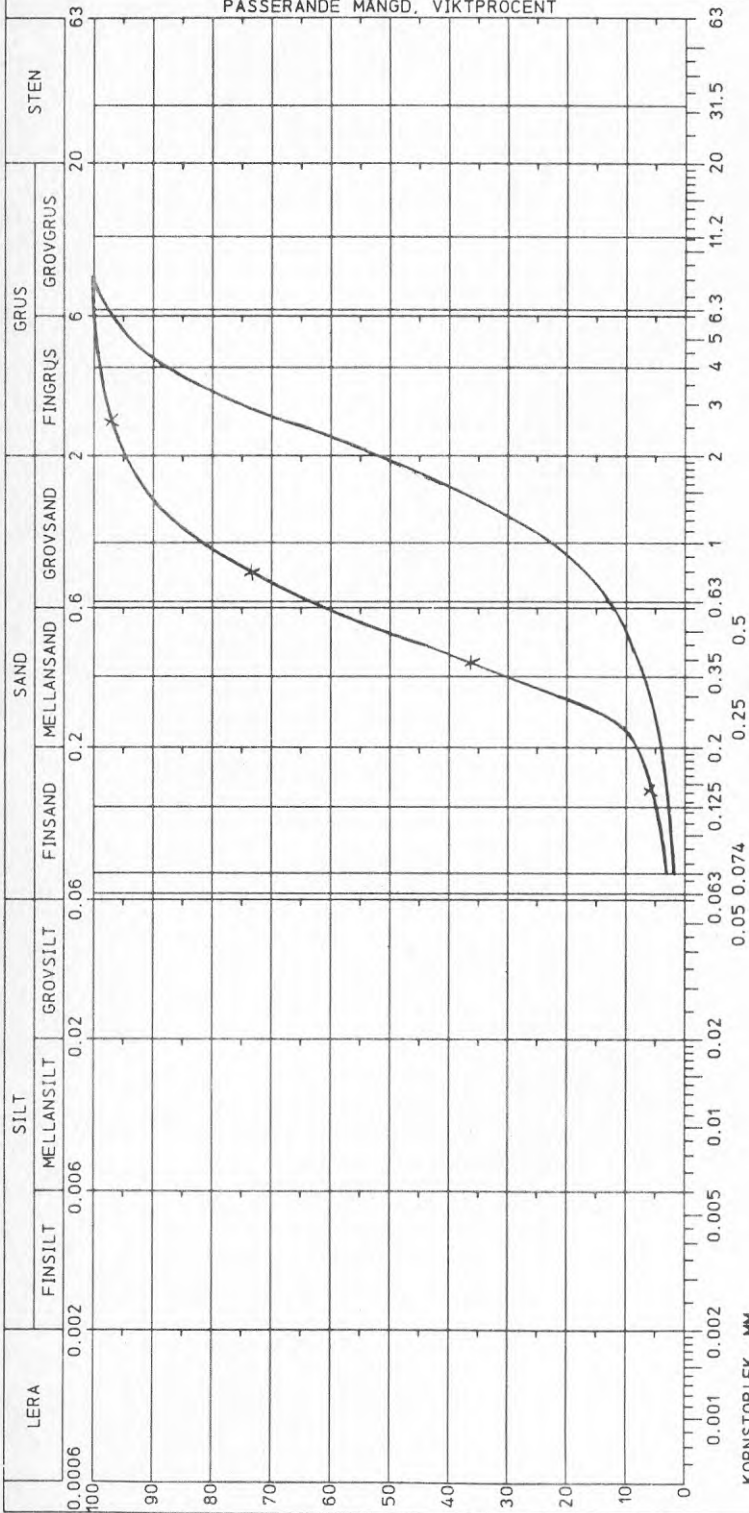
Snedborrat



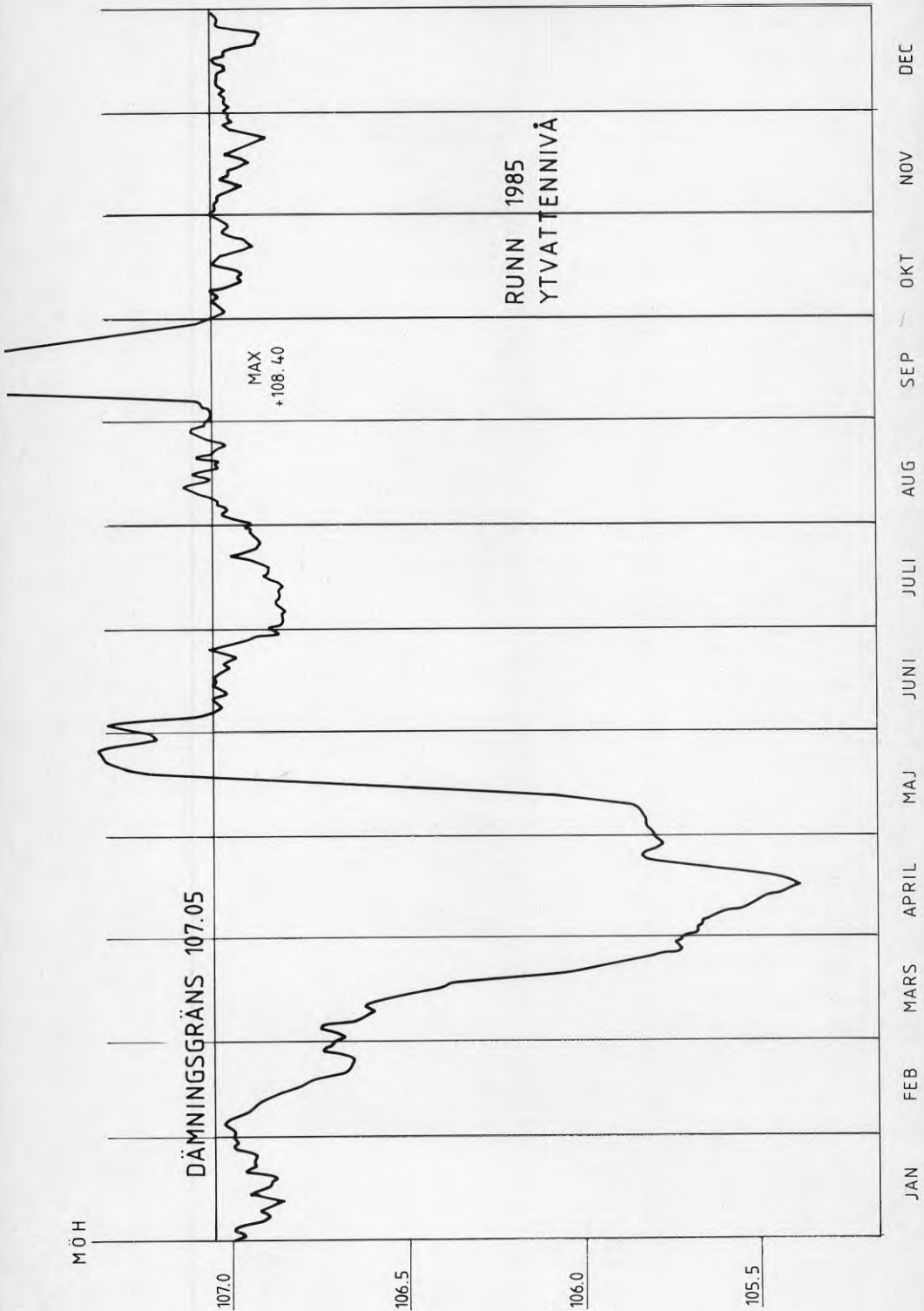
Sammanställning av siktanalyser
FALUÅSEN

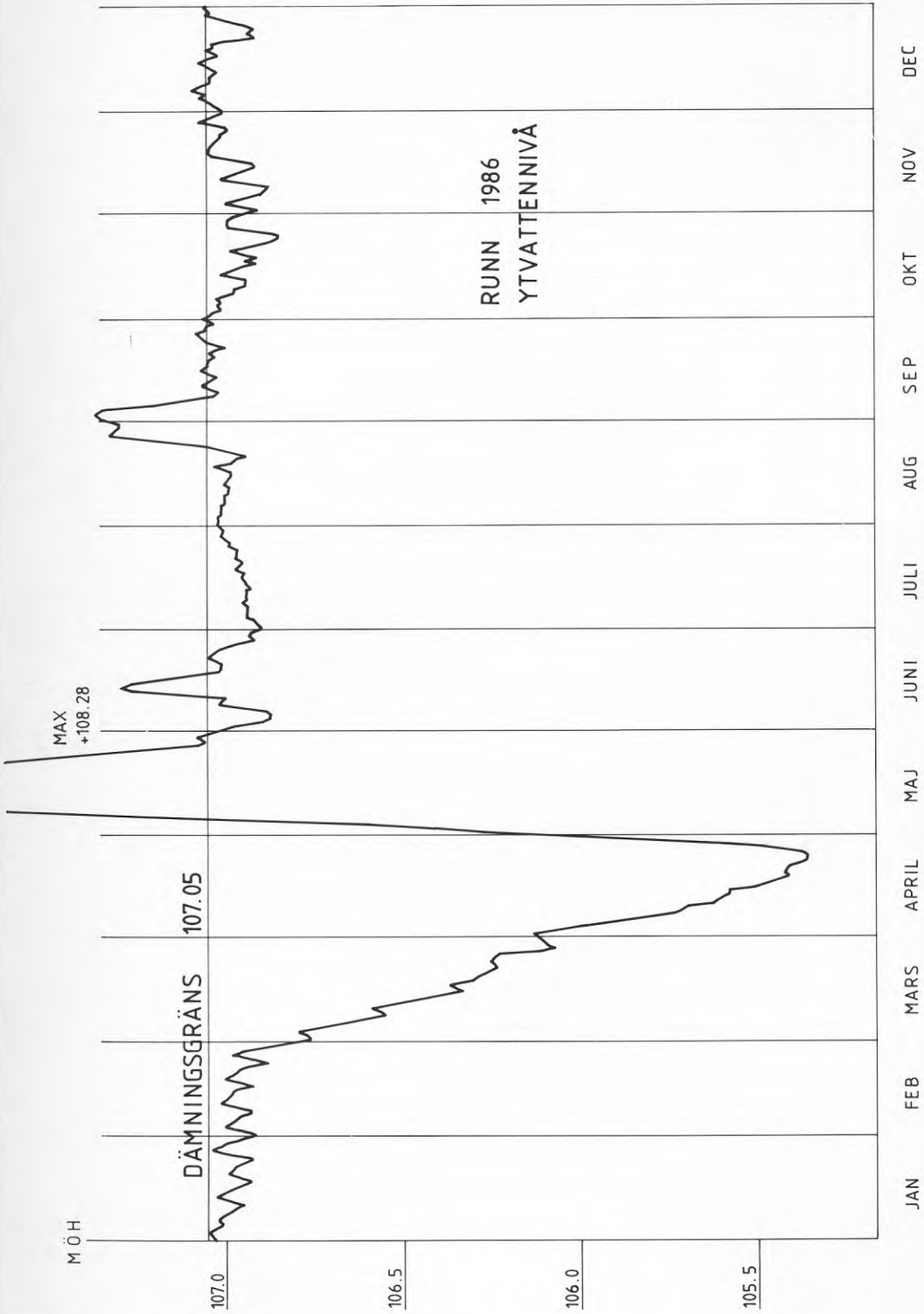
Uppdragsnr 5712.59 1335	Sid
Datum 1982-04-14	Sign G.T

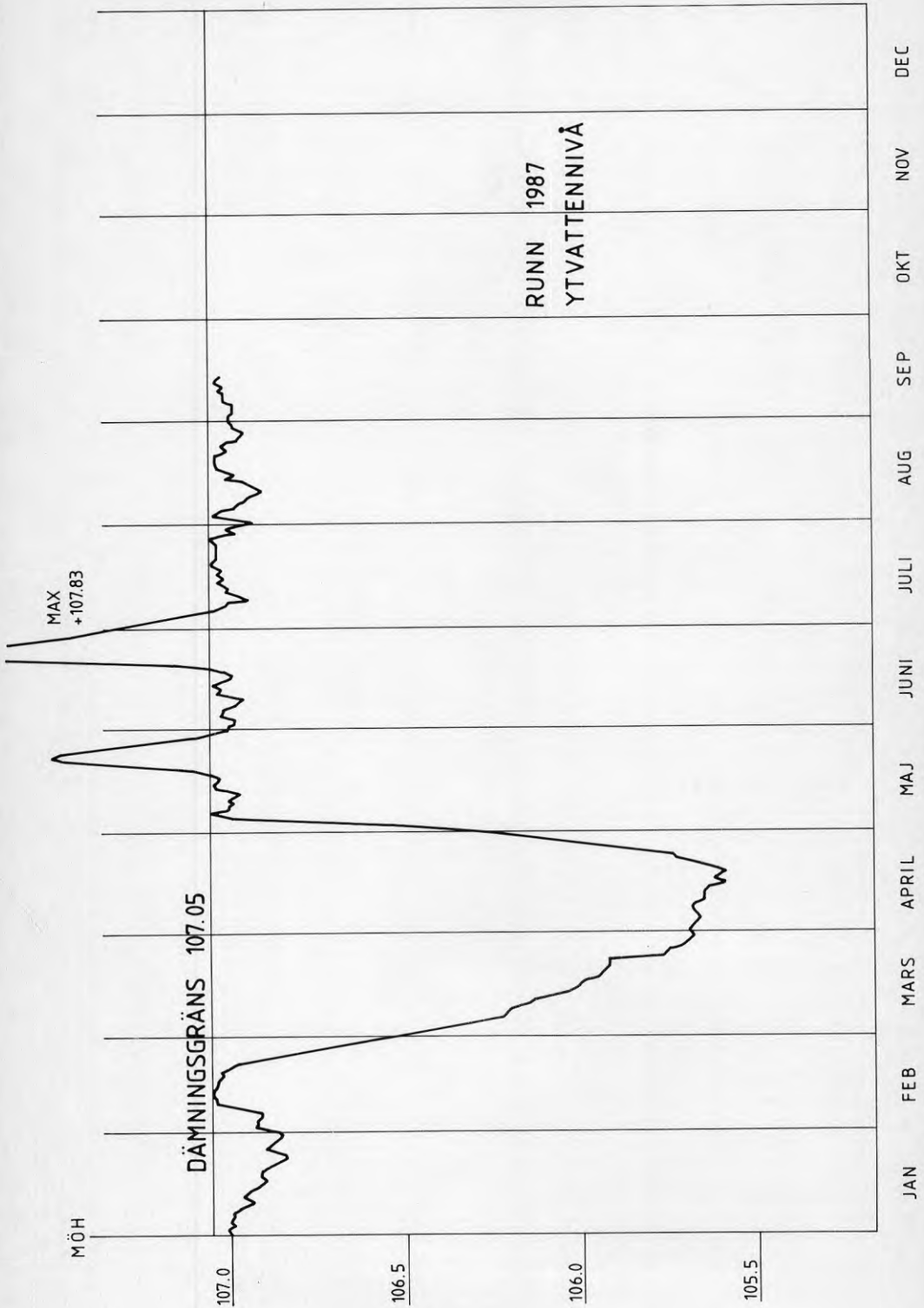
PASSERANDE MÄNGD, VIKTPROCENT



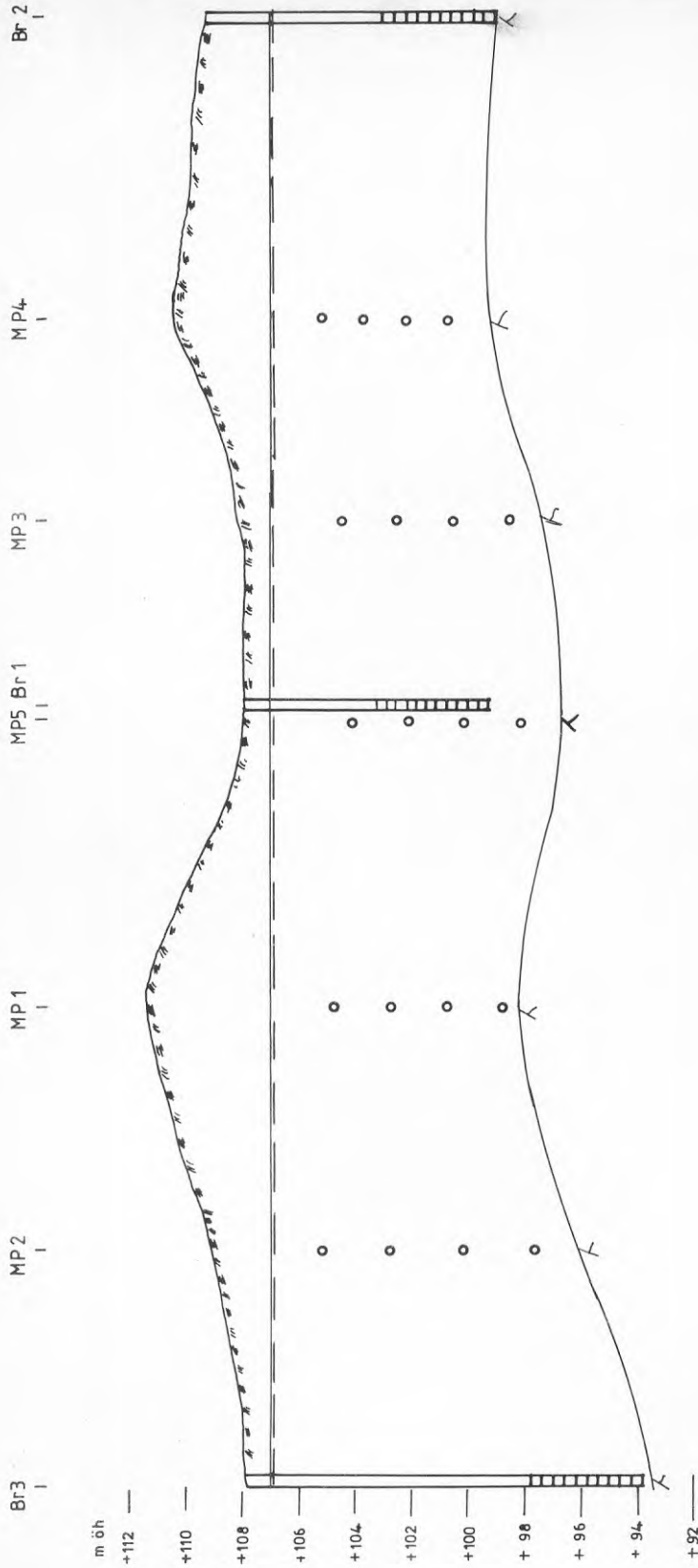
BORRHÅL	PROV. BET	DJUP	GÄLLER MELLAN	BENÄMNING	MAT. > 20mm	TJÄLF	D10	D60	D90	IL%	ANM.
8203	—	6,0	4,0 - 6,0 m	Grusig sand.	- %	I					
	—	8,0	6,0 - 8,0 m	Sand.	- %	I					
			—		%						





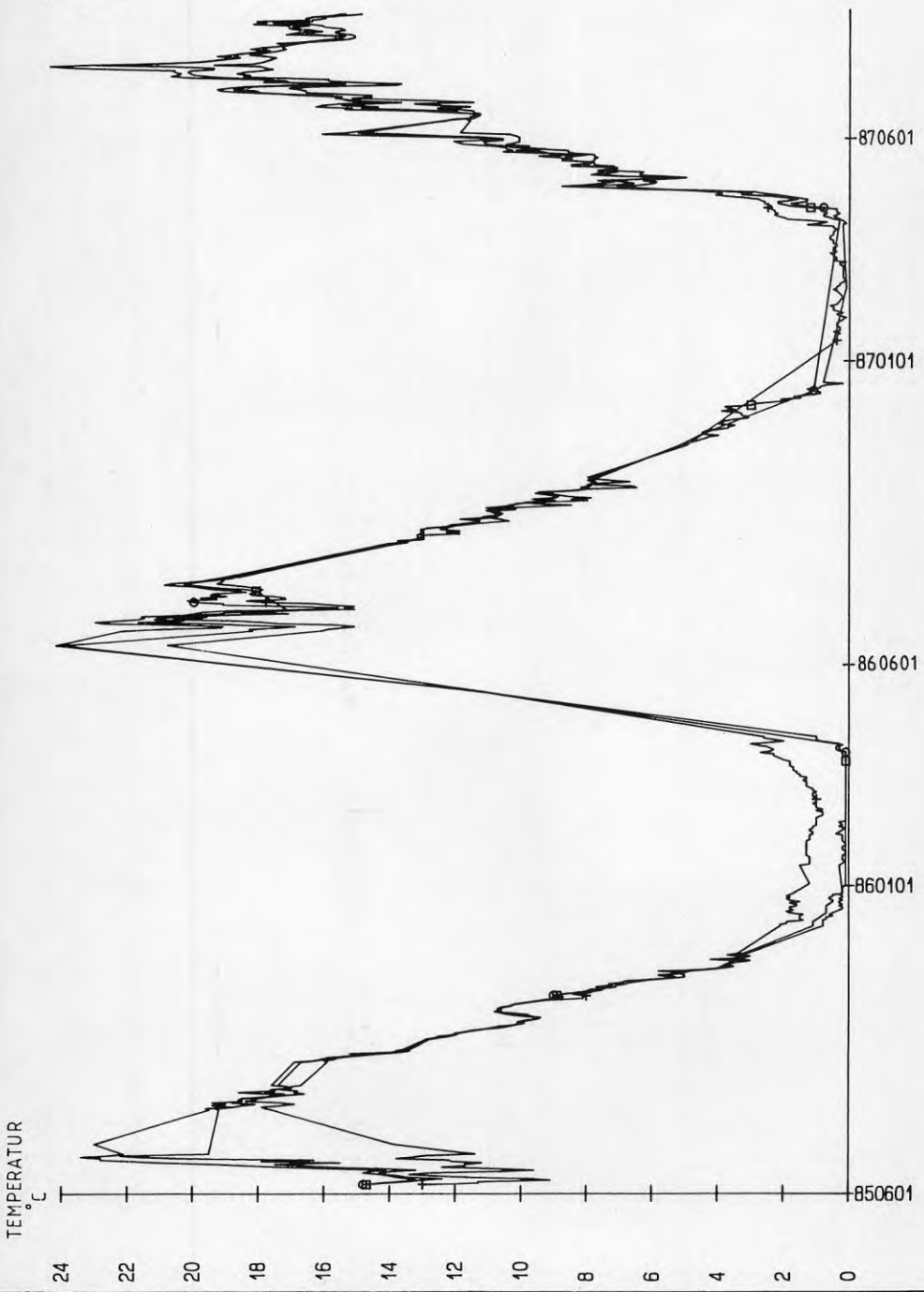


FALUÅSEN LÄNGDPROFIL
 Grundvattenbrunnar och
 mätprofiler



o RUNN_1
□ RUNN_2
+ RUNN_3

TID (dagur)
VIK AB
5712 1376



o BR_1

TID (dagur)

VIAK AB

5712 1376

TEMPERATUR

°C

15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

870601
870101
860601
860101
850601

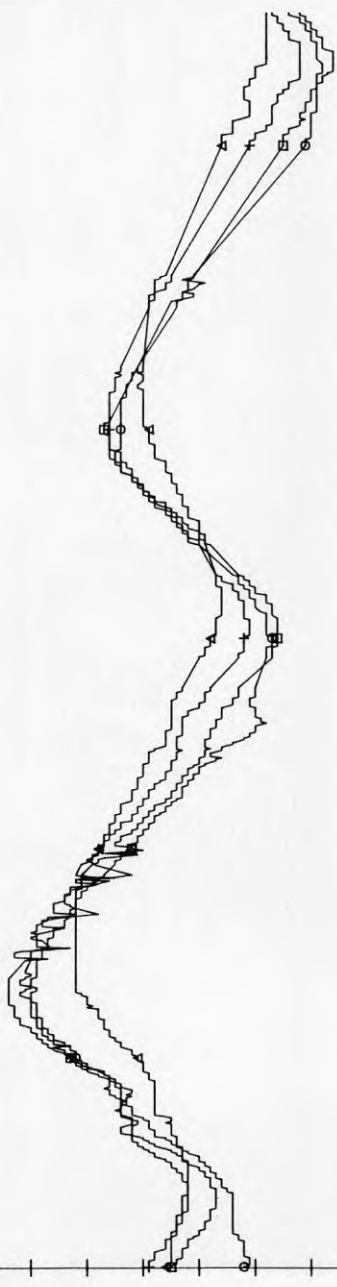


MÄTPROFIL 1

- GT11
- GT12
- + GT13
- △ GT14

TEMPERATUR
°C

15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0



TID (dagar)
VIÅK AB

5712 1376

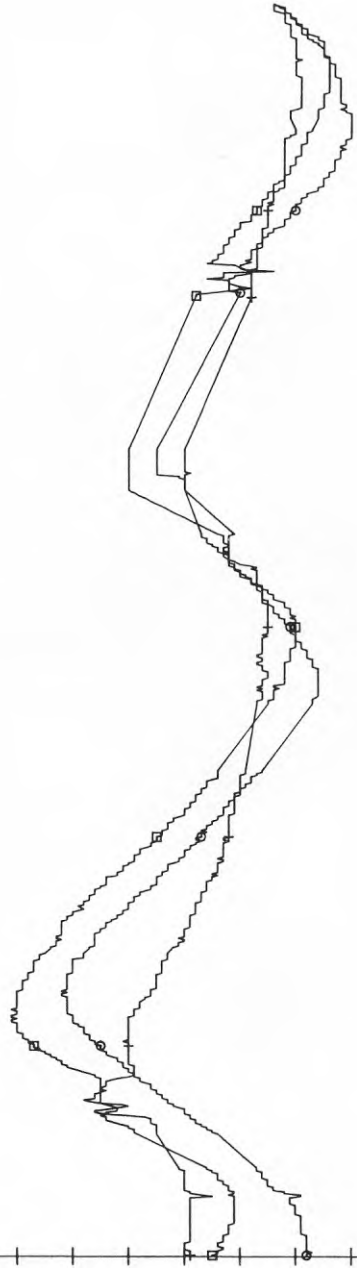
870601
870101
860601
860101
850601

MÄTPROFIL 2

- o GT21
- GT22
- + GT24

TEMPERATUR
°C

15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0



TID (dagar)

VIAK AB

5712 1376

870601

870101

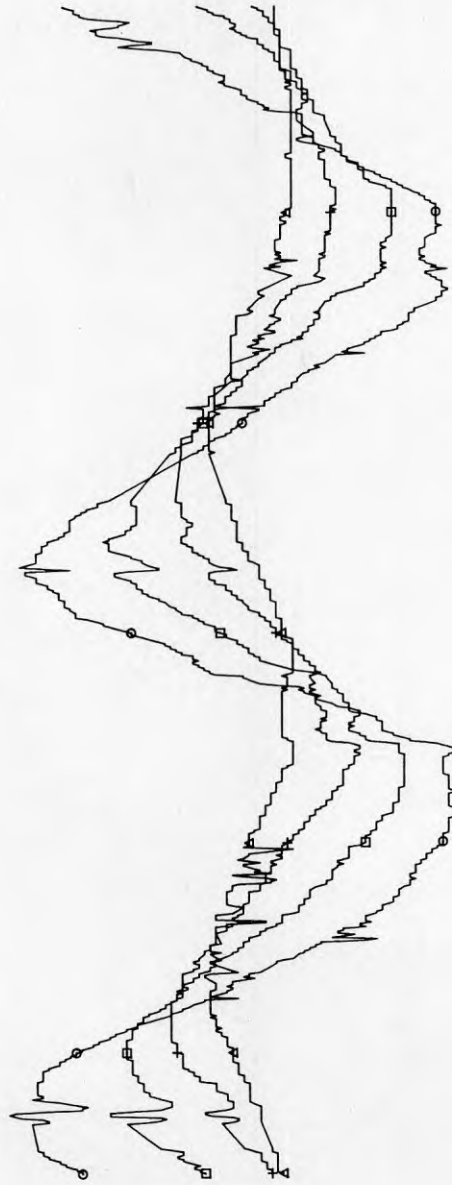
860601

860101

850601

MÄTPROFIL 3

- 6T31
- 6T32
- + 6T33
- △ 6T34

TEMPERATUR
°C15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

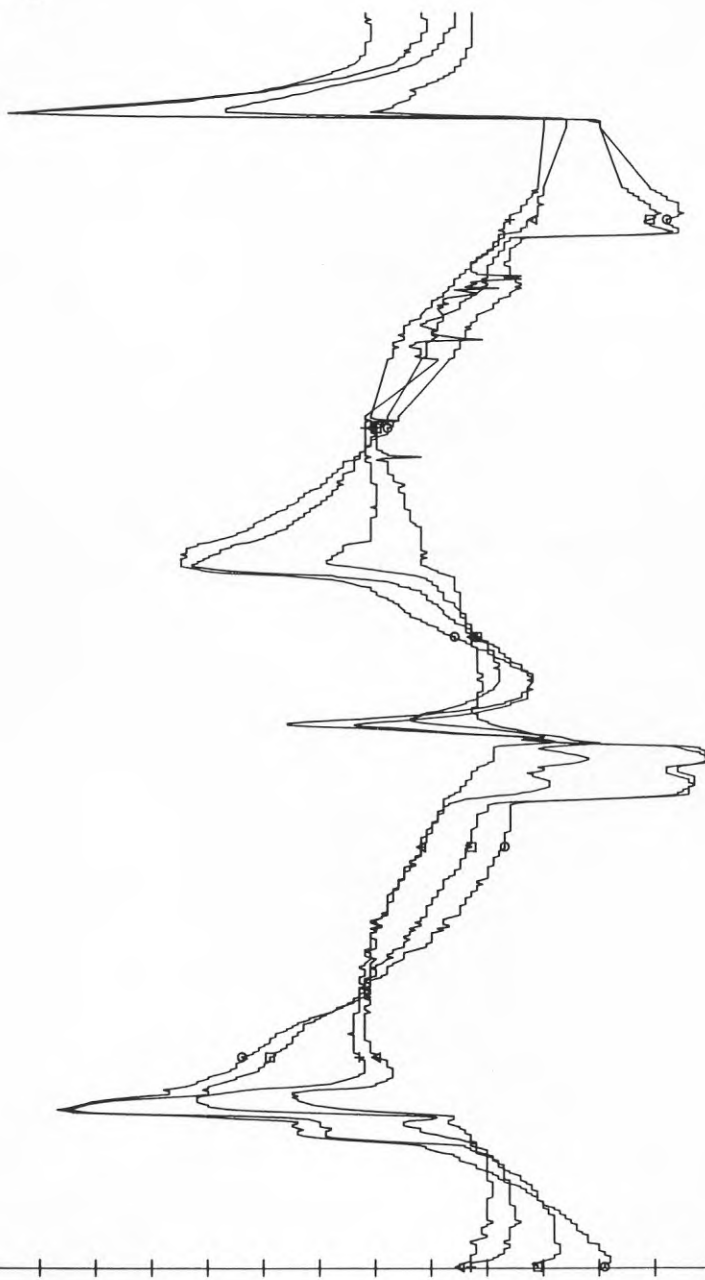
TID (dagar)

VIK AB

5712 1376

MÄTPROFIL 4

- 6T41
□ 6T42
+ 6T43
△ 6T44

TEMPERATUR
°C15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

TID (dagar)

VIAK AB

5712 1376

MÄTPROFIL 5

- 6T51
- 6T52
- + 6T53
- △ 6T54

TEMPERATUR
°C24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0

TID (dagar)

VIAK AB

5712 1376

	850902	850916	850930	851014	851028	851111	851125
MEDELTEMP	10.18	6.28	8.89	3.98	1.33	-4.40	-7.31
VP1							
VÄRMEMÄNGD MWh	10.48	34.53	68.14	63.99	60.99	73.87	62.62
ELFÖRBRUKNING MWh	5.23	14.63	28.14	24.15	22.47	26.10	22.96
VÄRMEFAKTOR	2.00	2.36	2.42	2.65	2.71	2.83	2.73
MEDELEFFEKTPROD. kW	31.19	102.77	202.80	190.45	181.52	219.85	186.37
DRIFTTID / PERIOD				0.92	0.81	0.99	0.89
VP2							
VÄRMEMÄNGD MWh	29.29	17.45	8.50	31.16	65.86	66.29	59.14
ELFÖRBRUKNING MWh	14.61	7.40	3.51	11.76	24.27	23.42	21.69
VÄRMEFAKTOR	2.00	2.36	2.42	2.65	2.71	2.83	2.73
MEDELEFFEKTPROD. kW	87.17	51.93	25.30	92.74	196.01	197.29	176.01
DRIFTTID / PERIOD				0.54	0.89	0.96	0.89
TOTALT VP1+VP2							
VÄRMEMÄNGD MWh A*	39.77	51.98	76.64	95.15	126.85	140.16	121.76
ELFÖRBRUKN. MWh B*	19.84	22.03	31.65	35.91	46.74	49.52	44.65
VÄRMEFAKTOR	2.00	2.36	2.42	2.65	2.71	2.83	2.73
ACK. VÄRMEMÄNGD MWh	39.77	91.75	168.39	263.54	390.39	530.55	652.31
ACK. ELFÖRBRUKN. MWh	19.84	41.87	73.52	109.43	156.17	205.69	250.34
OLJA TOTAL m3	2.57	2.68	0.06	0.76	1.28	5.86	10.40
ACKUMULERAD m3	2.57	5.25	5.30	6.06	7.34	13.20	23.60
TOTAL ENERGI MÄNGD MWh							
ACKUMULERAD MWh	60.29	73.39	77.09	101.21	137.09	187.04	204.93
GRUNDTVATTEN	60.29	133.68	210.77	311.98	449.07	636.11	841.04
TEMP INK. GRUNDTV.							
MEDELFLÖDE m3/h	18.20	12.50	11.30	10.50	10.00	9.20	8.70
ENERGIUTTAG MWh C*	16.24	32.76	59.83	53.43	56.79	57.20	44.85
ACK. ENERGIUTT MWh	19.93	29.95	44.99	59.24	80.11	90.64	77.11
	19.93	49.88	94.87	154.11	234.22	324.86	401.97

851209 851223 860106 860120 860203 860217 860303

MEDELTEMP	-9.13	-12.54	-11.06	-5.60	-11.32	-11.30	-0.70
VP1							
VÄRMEMÅNGD MWh	64.15	66.43	60.02	62.72	61.25	60.09	60.39
ELFÖRBRUKNING MWh	26.32	26.69	25.03	25.60	25.95	25.64	24.83
VÄRMEFAKTOR	2.44	2.49	2.40	2.45	2.36	2.34	2.43
MEDELEFFEKTPROD. kW	190.92	197.71	178.63	186.67	182.29	178.84	179.73
DRIFTTID / PERIOD	1.00	0.97	1.00	0.98	1.00	1.00	0.96
VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh	54.56	61.28	55.39	51.16	55.41	54.27	40.89
ELFÖRBRUKNING MWh	22.39	24.63	23.09	20.89	23.47	23.16	16.82
VÄRMEFAKTOR	2.44	2.49	2.40	2.45	2.36	2.34	2.43
MEDELEFFEKTPROD. kW	162.38	182.38	164.85	152.26	164.91	161.52	121.70
DRIFTTID / PERIOD	0.97	0.93	1.00	0.88	1.00	1.00	0.72
TOTALT VP1+VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh A*	118.71	127.71	115.41	113.88	116.66	114.36	101.28
ELFÖRBRUKN. MWh B*	48.71	51.32	48.12	46.49	49.42	48.80	41.65
VÄRMEFAKTOR	2.44	2.49	2.40	2.45	2.36	2.34	2.43
ACK. VÄRMEMÅNGD MWh	771.02	898.73	1014.14	1128.02	1244.68	1359.04	1460.32
ACK. ELFÖRBRUKN. MWh	299.05	350.37	398.49	444.98	494.40	543.20	584.85
OLJA TOTAL m3							
ACKUMULERAD m3	11.79	13.94	13.83	10.57	16.56	15.11	7.55
	35.38	49.32	63.14	73.71	90.27	105.37	112.93
TOTAL ENERGIMÅNGD MWh							
ACKUMULERAD MWh	213.01	239.19	226.02	198.42	249.10	235.20	161.70
	1054.04	1293.23	1519.25	1717.68	1966.78	2201.98	2363.68
GRUNDTVATTEN							
TEMP INK. GRUNDTV.	8.00	7.50	7.20	7.10	7.00	6.80	6.50
MEDELFLÖDE m3/h	46.44	47.43	43.92	44.95	43.08	40.83	40.01
ENERGIUTTAG MWh C*	70.00	76.39	67.29	67.39	67.24	65.56	59.63
ACK. ENERGIUTT MWh	471.97	548.36	615.65	683.04	750.28	815.84	875.47

	860317	860331	860414	860428	860512	860526	860609
MEDELTEMP	0.80	-0.60	0.84	11.10	11.31	12.79	16.54
VP1							
VÄRMEMÅNGD MWh	57.82	59.49	57.52	19.20	12.19	5.56	31.09
ELFÖRBRUKNING MWh	23.61	24.83	19.35	6.98	4.31	2.00	11.55
VÄRMEFAKTOR	2.45	2.40	2.97	2.75	2.83	2.78	2.69
MEDELEFFEKTPROD. kW	172.08	177.05	171.19	57.14	36.28	16.55	92.53
DRIFTTID / PERIOD	0.93	1.00	0.84	0.33	0.22	0.09	0.54
VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh	34.29	44.57	53.07	43.04	44.03	31.24	0.84
ELFÖRBRUKNING MWh	14.00	20.48	20.54	18.71	19.38	13.98	0.34
VÄRMEFAKTOR	2.45	2.18	2.58	2.30	2.27	2.23	2.47
MEDELEFFEKTPROD. kW	102.05	132.65	157.95	128.10	131.04	92.98	2.50
DRIFTTID / PERIOD	0.61	0.82	0.86	0.79	0.81	0.58	0.02
TOTALT VP1+VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh A*	92.11	104.06	110.59	62.24	56.22	36.80	31.93
ELFÖRBRUKN. MWh B*	37.61	45.31	39.89	25.69	23.69	15.98	11.89
VÄRMEFAKTOR	2.45	2.30	2.77	2.42	2.37	2.30	2.69
ACK. VÄRMEMÅNGD MWh	1552.43	1656.49	1767.08	1829.32	1885.54	1922.34	1954.27
ACK. ELFÖRBRUKN. MWh	622.46	667.77	707.66	733.35	757.04	773.02	784.91
OLJA TOTAL m3							
ACKUMULERAD m3	6.65	5.79	4.53	0.43	0.11	0.00	0.00
TOTAL ENERGIMÅNGD MWh	145.30	150.36	146.83	65.65	57.06	36.80	31.93
ACKUMULERAD MWh	2508.98	2659.34	2806.17	2871.82	2928.88	2965.68	2997.61
GRUNDEVATTEN							
TEMP INK. GRUNDEV.	6.40	6.30	6.20	6.40	6.00	7.30	7.70
MEDELFLÖDE m3/h	40.13	40.59	41.01	40.56	38.06	26.23	34.90
ENERGIÜTTAG MWh C*	54.50	62.35	66.28	33.56	29.56	18.74	14.61
ACK. ENERGIÜTT MWh	929.97	992.32	1058.60	1092.16	1121.72	1140.46	1155.07

	860623	860707	860721	860804	860818	860901	860915
MEDELTEMP	18.54	14.59	15.84	13.40	9.48	7.82	5.49
VP1							
VÄRMEMÅNGD MWh	21.59	31.29	7.65	10.17	38.56	40.25	41.17
ELFÖRBRUKNING MWh	8.22	11.80	2.89	4.46	14.08	14.84	15.10
VÄRMEFAKTOR	2.63	2.65	2.65	2.28	2.74	2.71	2.73
MEDELEFFEKTPROD. kW	64.26	93.13	22.77	30.27	114.76	119.79	122.53
DRIFTTID / PERIOD	0.38	0.54	0.13	0.21	0.64	0.64	0.66
VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh	0.13	0.11	1.97	15.90	37.12	37.16	56.78
ELFÖRBRUKNING MWh	0.07	0.06	1.09	9.24	20.55	20.12	23.37
VÄRMEFAKTOR	1.86	1.83	1.81	1.72	1.81	1.85	2.43
MEDELEFFEKTPROD. kW	0.39	0.33	5.86	47.32	110.48	110.60	168.99
DRIFTTID / PERIOD	0.00	0.00	0.05	0.43	0.98	0.95	0.93
TOTALT VP1+VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh A*	21.72	31.40	9.62	26.07	75.68	77.41	97.95
ELFÖRBRUKN. MWh B*	8.29	11.86	3.98	13.70	34.63	34.96	38.47
VÄRMEFAKTOR	2.62	2.65	2.42	1.90	2.19	2.21	2.55
ACK. VÄRMEMÅNGD MWh	1975.99	2007.39	2017.01	2043.08	2118.76	77.41	175.36
ACK. ELFÖRBRUKN. MWh	793.20	805.06	809.04	822.74	857.37	34.96	73.43
OLJA TOTAL m3							
ACKUMULERAD m3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	0.80
	130.42	130.42	130.42	130.42	130.42	1.07	1.87
TOTAL ENERGI MÅNGD MWh							
ACKUMULERAD MWh	21.72	31.40	9.62	26.07	75.68	85.96	104.36
	3019.33	3050.73	3060.35	3086.42	3162.10	85.96	190.32
GRUNDTVATTEN							
TEMP INK. GRUNDTV.	9.80	12.00	11.80	12.40	12.10	11.40	10.90
MEDELFLÖDE m3/h	11.93	10.85	12.37	10.51	11.76	40.23	44.05
ENERGIUTTAG MWh C*	8.90	14.69	4.15	13.04	41.72	39.33	58.20
ACK. ENERGIUTT MWh	1163.97	1178.66	1182.81	1195.85	1237.57	39.33	97.53

860929 861013 861027 861110 861124 861208 861222

MEDELTEMP	6.14	4.02	3.23	2.66	2.00	-3.38	-12.67
VP1							
VÄRMEMÅNGD MWh	36.59	42.72	51.95	64.97	62.00	69.60	67.34
ELFÖRBRUKNING MWh	13.38	14.43	17.35	20.96	19.30	22.02	22.45
VÄRMEFAKTOR	2.73	2.96	2.99	3.10	3.21	3.16	3.00
MEDELEFFEKTPROD. kW	108.90	127.14	154.61	193.36	184.52	207.14	200.42
DRIFTTID / PERIOD	0.60	0.63	0.76	0.91	0.88	0.99	1.00
VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh	59.55	65.06	63.69	38.57	54.00	57.47	62.09
ELFÖRBRUKNING MWh	24.39	24.06	23.60	14.54	19.38	20.14	23.06
VÄRMEFAKTOR	2.44	2.70	2.70	2.65	2.79	2.85	2.69
MEDELEFFEKTPROD. kW	177.23	193.63	189.55	114.79	160.71	171.04	184.79
DRIFTTID / PERIOD	0.97	0.97	0.96	0.62	0.85	0.88	1.00
TOTALT VP1+VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh A*	96.14	107.78	115.64	103.54	116.00	127.07	129.43
ELFÖRBRUKN. MWh B*	37.77	38.49	40.95	35.50	38.68	42.16	45.51
VÄRMEFAKTOR	2.55	2.80	2.82	2.92	3.00	3.01	2.84
ACK. VÄRMEMÅNGD MWh	271.50	379.28	494.92	598.46	714.46	841.53	970.96
ACK. ELFÖRBRUKN. MWh	111.20	149.69	190.64	226.14	264.82	306.98	352.49
OLJA TOTAL m3							
ACKUMULERAD m3	0.87	2.10	2.11	4.23	2.91	6.78	12.02
	2.74	4.84	6.95	11.18	14.09	20.87	32.89
TOTAL ENERGIMÅNGD MWh							
ACKUMULERAD MWh	103.06	124.58	132.53	137.38	139.28	181.31	225.59
	293.38	417.96	550.49	687.87	827.15	1008.46	1234.05
GRUNDTVATTEN							
TEMP INK. GRUNDV.	10.30	9.70	9.10	8.60	8.30	7.80	7.50
MEDELFLÖDE m3/h	46.07	47.36	47.73	46.20	45.56	48.35	47.88
ENERGIUTTAG MWh C*	56.94	64.01	78.68	66.50	76.91	84.13	84.40
ACK. ENERGIUTT MWh	154.47	218.48	297.16	363.66	440.57	524.70	609.10

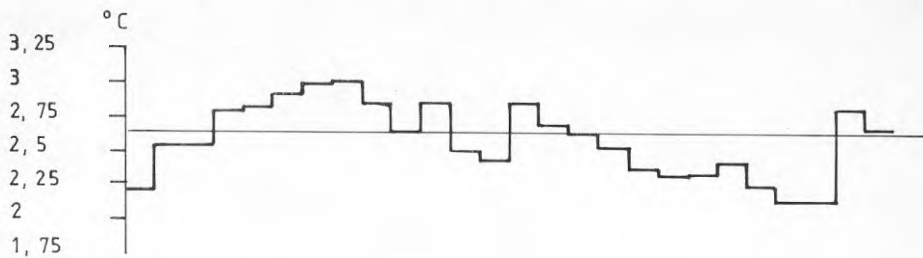
	870105	870119	870202	870216	870302	870316	870330
MEDELTEMP	-19.49	-9.47	-4.68	-10.28	-11.40	-1.87	1.23
VP1							
VÄRMEMÅNGD MWh	62.58	66.73	3.73	60.94	63.35	63.95	56.69
ELFÖRBRUKNING MWh	22.39	22.01	1.33	20.36	22.88	21.96	19.87
VÄRMEFAKTOR	2.79	3.03	2.80	2.99	2.77	2.91	2.85
MEDELEFFEKTPROD. kW	186.25	198.60	11.10	181.37	188.54	190.33	168.72
DRIFTTID / PERIOD	1.00	1.00	0.05	0.91	1.00	0.98	0.90
VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh	57.80	58.06	1.10	54.65	55.04	55.77	50.12
ELFÖRBRUKNING MWh	23.05	21.64	0.60	27.26	18.54	22.49	20.84
VÄRMEFAKTOR	2.51	2.68	1.83	2.00	2.97	2.48	2.40
MEDELEFFEKTPROD. kW	172.02	172.80	3.27	162.65	163.81	165.98	149.17
DRIFTTID / PERIOD	1.00	0.95	0.02	0.97	1.01	0.97	0.90
TOTALT VP1+VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh A*	120.38	124.79	4.83	115.59	118.39	119.72	106.81
ELFÖRBRUKN. MWh B*	45.44	43.65	1.93	47.62	41.42	44.45	40.71
VÄRMEFAKTOR	2.65	2.86	2.50	2.43	2.86	2.69	2.62
ACK. VÄRMEMÅNGD MWh	1091.34	1216.13	1220.96	1336.55	1454.94	1574.66	1681.47
ACK. ELFÖRBRUKN. MWh	397.93	441.58	443.51	491.13	532.55	577.00	617.71
OLJA TOTAL m3							
ACKUMULERAD m3	20.04	12.21	22.96	12.85	13.86	4.63	2.27
	52.93	65.14	88.10	100.95	114.81	119.44	121.71
TOTAL ENERGI MÅNGD MWh							
ACKUMULERAD MWh	280.70	222.47	188.51	218.39	229.27	156.76	124.97
	1514.75	1737.22	1925.73	2144.12	2373.39	2530.15	2655.12
GRUNDVATTEN							
TEMP INK. GRUNDV.	7.00	6.60	6.50	6.50	6.20	6.20	6.30
MEDELFLÖDE m3/h	46.15	46.36	47.53	45.15	46.40	46.45	48.28
ENERGIUTTAG MWh C*	76.33	82.01	1.29	72.97	73.38	76.28	66.75
ACK. ENERGIUTTAG MWh	685.43	767.44	768.73	841.70	915.08	991.36	1058.11

	870413	870427	870511	870525	870608	870622	870706
MEDELTEMP	4.13	8.83	8.06	9.59	9.92	14.31	15.63
VP1							
VÄRMEMÅNGD MWh	49.98	31.86	35.27	27.13	33.54	17.38	13.92
ELFÖRBRUKNING MWh	17.79	11.68	13.07	9.93	11.80	6.38	5.30
VÄRMEFAKTOR	2.81	2.73	2.70	2.73	2.84	2.72	2.63
MEDELEFFEKTPROD. kW	148.75	94.82	104.97	80.74	99.82	51.73	41.43
DRIFTTID / PERIOD	0.80	0.54	0.61	0.46	0.51	0.34	0.23
VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh	48.75	34.67	36.51	26.64	26.17	15.71	16.62
ELFÖRBRUKNING MWh	21.21	16.37	17.81	13.06	12.82	8.25	9.00
VÄRMEFAKTOR	2.30	2.12	2.05	2.04	2.04	1.90	1.85
MEDELEFFEKTPROD. kW	145.09	103.18	108.66	79.29	77.89	46.76	49.46
DRIFTTID / PERIOD	0.93	0.73	0.81	0.70	0.76	0.33	0.27
TOTALT VP1+VP2							
VÄRMEMÅNGD MWh A*	98.73	66.53	71.78	53.77	59.71	33.09	30.54
ELFÖRBRUKN. MWh B*	39.00	28.05	30.88	22.99	24.62	14.63	14.30
VÄRMEFAKTOR	2.53	2.37	2.32	2.34	2.43	2.26	2.14
ACK. VÄRMEMÅNGD MWh	1780.20	1846.73	1918.51	1972.28	2031.99	2065.08	2095.62
ACK. ELFÖRBRUKN. MWh	656.71	684.76	715.64	738.63	763.25	777.88	792.18
OLJA TOTAL m3							
ACKUMULERAD m3	1.27	0.21	0.34	0.10	0.19	0.00	0.00
TOTAL ENERGIMÅNGD MWh	108.89	68.21	74.50	54.57	61.23	33.09	30.54
ACKUMULERAD MWh	2764.01	2832.22	2906.72	2961.29	3022.52	3055.61	3086.15
GRUNDTVATTEN							
TEMP INK. GRUNDV.	6.20	6.20	6.30	6.50	7.80	8.30	10.50
MEDELELÖDE m3/h	45.33	46.03	44.32	38.74	30.21	28.60	32.57
ENERGIUTTAG MWh C*	60.30	37.66	40.56	27.33	30.98	16.98	15.44
ACK. ENERGIUTT MWh	1118.41	1156.07	1196.63	1223.96	1254.94	1271.92	1287.36

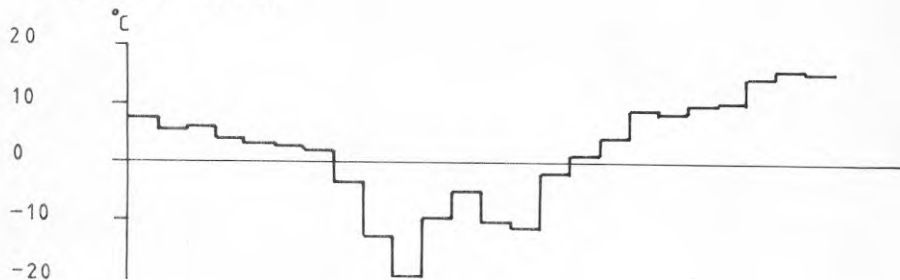
870720 870803 870817 870831

MEDELTEMP	15.07	15.21	11.63
VP1			
VÄRMEMÅNGD MWh	12.60	11.31	12.35
ELFÖRBRUKNING MWh	4.85	3.35	3.96
VÄRMEFAKTOR	2.60	3.38	3.12
MEDELEFFEKTPROD. kW	37.50	33.66	36.76
DRIFTTID / PERIOD	0.22	0.16	0.18
VP2			
VÄRMEMÅNGD MWh	12.79	29.59	31.09
ELFÖRBRUKNING MWh	7.00	11.14	12.30
VÄRMEFAKTOR	1.83	2.66	2.53
MEDELEFFEKTPROD. kW	38.07	88.07	92.53
DRIFTTID / PERIOD	0.27	0.47	0.51
TOTALT VP1+VP2			
VÄRMEMÅNGD MWh A*	25.39	40.90	43.44
ELFÖRBRUKN. MWh B*	11.85	14.49	16.26
VÄRMEFAKTOR	2.14	2.82	2.67
ACK. VÄRMEMÅNGD MWh	2121.01	2161.91	2205.35
ACK. ELFÖRBRUKN. MWh	804.03	818.52	834.78
OLJA TOTAL m3	0.03	0.16	0.46
ACKUMULERAD m3	123.85	124.01	124.47
TOTAL ENERGIMÅNGD MWh			
ACKUMULERAD MWh	25.63	42.18	47.12
	3111.78	3153.96	3201.08
GRUNDTVATTEN			
TEMP INK. GRUNDV.	10.70	10.80	10.80
MEDELFLÖDE m3/h	24.26	28.75	29.14
ENERGIUTTAG MWh C*	13.27	24.38	25.38
ACK. ENERGIUTT MWh	1300.63	1325.01	1350.39

VÄRMEFAKTOR

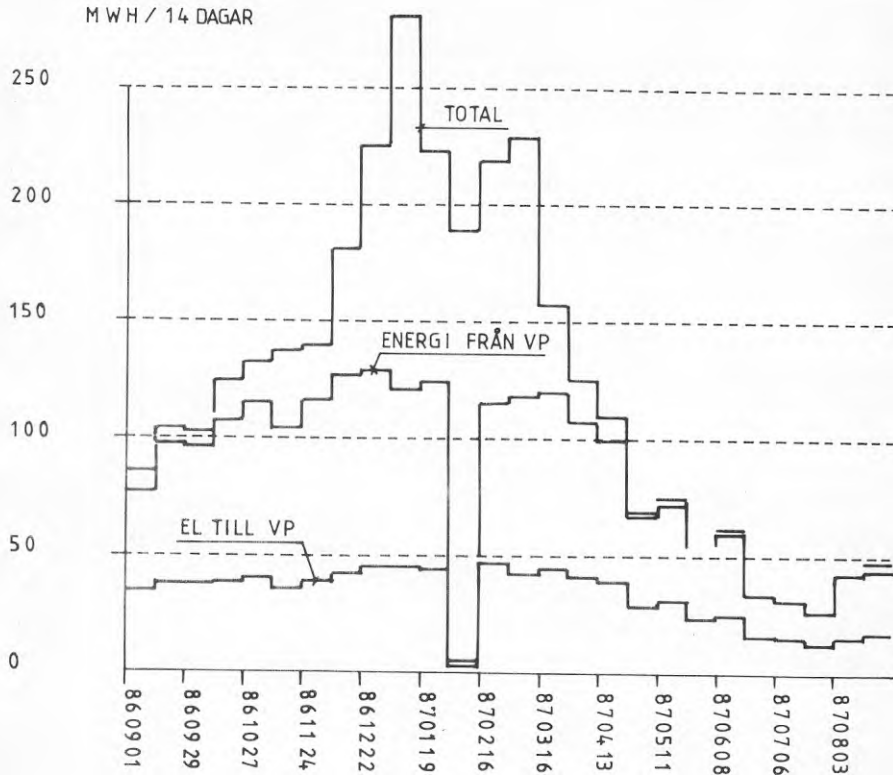


UTOMHUSTEMPERATUR



ENERGIFÖRBRUKNING

MWH / 14 DAGAR



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 890981-9
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB,
Grundvattenavdelningen, Falun.

R20: 1990

ISBN 91-540-5170-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6801020

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 51 kr exkl moms