



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

R14:1991

Akviferbaserat energisystem

**Utvärdering
SAS huvudkontor
Solna**

**Tomas Åbyhammar
Sam Johansson
Sten Berglund
Anders Eriksson**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135521

Byggforskningsrådet

R14:1991

AKVIFERBASERAT ENERGISYSTEM

Utvärdering SAS huvudkontor Solna

Tomas Åbyhammar
Sam Johansson
Sten Berglund
Anders Eriksson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 861049-5
från Statens råd för byggnadsforskning till AIB Anlägg-
ningsteknik AB, Solna.

REFERAT

Rapporten presenterar mätning och utvärdering av det akviferbaserade energisystemet i SAS huvudkontor i Frösundavik i Solna norr om Stockholm.

Energicentralens funktion och design samt erfarenheter och mätresultat från byggnads- och idrifttagningsperioden har tidigare redovisats i projektens föregående rapporter (Åbyhammar, 1990, Rxx:1991) och (Johansson, 1989b).

Värme för uppvärmning av tilluft och källarlokalerna produceras av tre värmepumpar i ett högtempererat system 60/20°C och genom direkt värmeväxling mot uppvärmt grundvatten i ett lågtempererat system 11/0°C (dimensionerande data).

Energianläggningens yttre del består av brunnar och grundvattenledningar. Lagring i och uttag ur akviferlagret sker via två varma och tre kalla brunnar.

Ett mått att beskriva energicentralens energiutnyttjande är att definiera ett godhetstal som kvoten mellan all nyttiggjord energi (både kyla och värme) och köpt extern energi. Vid produktion av enbart värme via värmepumparna blir godhetstalet lika med värmepumparnas värmefaktorer, d v s ca 3. Sommartid, då produktion av kyla dominerar, blir godhetstalet betydligt större, drygt 10, eftersom endast en liten del extern energi behöver tillföras i form av el till grundvatten- och cirkulationspumparna. Medelvärde under året är ca 5.

Mätningar av grundvattnets temperatur i det aktuella området har utförts sedan 1986. Under 1989 och 1990 har grundvattentemperaturer och grundvattentytans nivå avlästs i 13 observationsrör. Tidsintervallet mellan mätningstillfällena har varit ca två veckor.

Sedan driftstarten 1987 har grundvattenbrunnarna uppvisat en hög tillgänglighet.

Någon igensättning eller funktionsförsämring har ej konstaterats i systemets övriga komponenter som värmeväxlare eller pumpar. Dock har pumparna i vakuumsystemet fått bytas ut på grund av onormalt slitage. Styrdatoren har sedan april 1989 uppvisat en hög driftsäkerhet.

Kostnaderna har beräknats för perioden juli 1989 till juni 1990 från uppmätta data.

Under perioden levererade energianläggningen 3.51 GWh värme och 3.07 GWh kyla, d v s totalt 6.58 GWh. **Energikostnaden** blir 0.44 kr/kWh eller ca 45 kr/m²/år. Noteras bör att i denna förbrukning ingår ej kostnader för direktverkande el.

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.

R14:1991

ISBN 91-540-5304-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

gotab 93198, Stockholm 1991

INNEHÅLL

	Sid
FÖRORD	iii
SAMMANFATTNING	iv
1. INLEDNING	1
1.1 Utvärderingens bakgrund	1
1.2 Kortfattad beskrivning av energi- anläggningen	1
2. MÄTNINGAR I ENERGICENTRALEN	5
2.1 Omfattning	5
2.2 Driftförhållanden	6
2.3 Kylproduktion	7
2.4 Värmeproduktion	8
2.5 Energibalans, akviferlagret	9
2.6 Nyckeltal	11
3. MÄTNINGAR I AKIVFEREN	13
3.1 Beskrivning av akviferen	13
3.2 Mätmetodik och redovisning	14
3.3 Temperaturer, södra delen av lagerområdet	16
3.4 Temperaturer, mellersta delen av lager- området	17
3.5 Temperaturer, norra delen av lagerområdet	18
3.6 Grundvattennivåer	19
4. VATTENKEMI	20
4.1 Vattenkvalitetens betydelse	20
4.2 Vattenkvaliteten i akviferlagret	20
4.3 Järn och mangan	20
4.4 Karbonater	21
4.5 Rensning av brunnar	21
4.6 Sammanfattning	22
5. TERMOHYDRAULISK UTVÄRDERING AV LAGRET	23
5.1 Orientering	23
5.2 Temperaturvariationer i skikt	23
5.3 Simuleringar med tvåbrunnsmodell	30
5.4 Slutsatser	39
6. TEKNISK UTVÄRDERING AV ENERGISYSTEMET	41
6.1 Produktion	41
6.2 Distribution	42
6.3 Styr- och reglerfunktioner	44
7. DRIFTERFARENHETER	45
7.1 Grundvattensystemet	45
7.2 Energicentralen	45
7.3 Styr- och reglersystemet	46
7.4 Akviferlagret	46

8.	EKONOMI	47
8.1	Jämförelse av studerade anläggningar	47
8.2	Verkliga kostnader	49
9.	FRAMTIDA DRIFTSTRATEGIER	51
9.1	Energicentralen	51
9.2	Akviferlagret	51
10.	SLUTSATSER	53
	REFERENSER	55

BILAGOR

Bilaga 1.1	Sammanfattning av "Utvärdering av akviferbaserat energisystem vid SAS huvudkontor, Frösundavik - Delrapport"
Bilaga 1.2	Sammanfattning av "Termohydraulisk uppföljning av akvifervärmelagret vid SAS, Frösundavik"
Bilaga 2.1	Energicentralen, mätningar månadsvis 1989-04 - 1990-06
Bilaga 3.1	Temperaturmätningar i akviferen, redovisning av mätresultat
Bilaga 3.2	Vattenståndsmätningar i akviferen, redovisning av mätresultat
Bilaga 4.1	Sammanställning av vattenanalyser från akviferen tagna vid SAS, Frösundavik
Bilaga 5.1	Temperaturmedelvärden för djupintervall
Bilaga 8.1	Ekonomiska beräkningar

FÖRORD

Föreliggande rapport är slutrapport från den uppföljning av det akviferbaserade energisystemet vid SAS Frösundavik som pågått sedan 1987. AIB Anläggningsteknik AB har ansvarat för utvärdering av energicentralen medan KTH, institutionen för Vattenbyggnad har ansvarat för utvärdering av akviferlagret.

Dessa båda projekt är den sista etappen i en serie projekt som bedrivits vid AIB och KTH rörande akviferlagret vid SAS. Projekten har pågått under ca fem års tid. Arbetet har omfattat grundläggande forskning, idéstudier, potentialstudier, hydrogeologiska undersökningar, förprojektering, projektering, kvalitetssäkring, utbildning av driftpersonal samt mätning och uppföljning. Arbetet har bedrivits på uppdrag av Statens råd för byggnadsforskning.

Erfarenheterna från energianläggningen vid SAS Frösundavik är en starkt bidragande orsak till att akviferbaserade energisystem idag kan vara ett möjligt alternativ till konventionella energisystem.

För oss som deltagit i denna teknikutveckling känns det tillfredsställande att kunna redovisa de goda drifterfarenheter som erhållits vid SAS, Frösundavik. Vår förhoppning är att dessa erfarenheter skall få en vidare spridning så att flera akviferbaserade energisystem kan komma till utförande.

Till berörd personal vid SAS och till referensgruppens ledamöter önskar vi framföra ett varmt tack för gott samarbete och för värdefulla synpunkter.

Solna september 1990

AIB Anläggningsteknik AB
avd Vatten- och miljöteknik

KTH, institutionen för
Vattenbyggnad

Tomas Åbyhammar

Sam Johansson

SAMMANFATTNING

Värme- och kylförsörjningen av SAS Frösundavik sker med hjälp av ett akviferbaserat energisystem. Tekniken är ny och SAS har av Statens råd för byggnadsforskning, BFR, erhållit experimentbyggnadslån för finansiering av vissa delar av energianläggningen. Anläggningens drift och funktion har studerats i två forskningsprojekt som startade 1987 när delar av anläggningen togs i drift. Uppföljningsprojekten har bekostats av BFR och genomförts av AIB Anläggnings-teknik AB och KTH, institutionen för Vattenbyggnad.

Energicentralens funktion och design samt erfarenheter och mätresultat från byggnads- och idrifttagningsperioden har tidigare redovisats i projektens föregående rapporter (Åbyhammar, 1990) och (Johansson, 1989b).

SAS Frösundavik har en bruttoyta av 64 000 m² och omfattar ca 1450 kontorsrum, en större inglasad gata, restauranger, café, konferenscenter, friskvårdsanläggning inkluderande bl a gymnastik- och simhall, samt tre garageplan. Lokalerna är fördelade på fem huskroppar grupperade kring den inglasade gatan.

Värme för uppvärmning av tilluft och källarlokal produceras av tre värmepumpar i ett högtempererat system 60/20°C och genom direkt värmeväxling mot uppvärmt grundvatten i ett lågtempererat system 11/0°C (dimensionerande data). Kylning av kontorsrummen sker med konvektorer placerade i rummens tak. Byggnadens behov av komfortkyla tillgodoses genom direkt värmeväxling mot kallt grundvatten från akviferen. Det uppvärmda grundvattnet återinfiltreras och bygger upp ett ca 15-gradigt värmemagasin inför uppvärmningssäsongen.

Energianläggningens yttre del består av brunnar och grundvattenledningar. Lagring i och uttag ur akviferlagret sker via två varma och tre kalla brunnar. I de varma delarna av lagret är temperaturen ca 15°C och i den kalla delen av lagret är temperaturen ca 8°C. Den utbyggda akvifervolymen är ca 800 000 m³. Installerad uttagskapacitet är 190 l/s. Härav har som mest utnyttjats ca 110 l/s.

Energicentralen styrs av en dator som kontinuerligt registrerar och lagrar flöden och temperaturer i de olika delkretsarna.

Kyla produceras dels genom kylning av ventilationsluften (förkyla) dels via kyltakssystemet. Under perioden 88/89 producerades 0.28 GWh förkyla och 2.06 GWh via kyltakssystemet. För perioden 89/90 var motsvarande produktion 0.30 GWh respektive 2.77 GWh.

Värme produceras via förvärmning av ventilationsluft (låg temperatur) samt via värmepumparna till system med högre temperaturbehov såsom eftervärmning av ventilationsluft och produktion av varmvatten. Under perioderna 88/89 och 89/90 producerade värmepumparna ungefär lika mycket, ca 2.08 GWh. Förvärmningen ökade från 0.78 GWh 1988/89 till 1.10 GWh under 1989/90.

Under perioden juli 1989 till juni 1990 var uttaget av värme 0.90 GWh medan inlagringen av värme uppgick till 1.3 GWh. Detta medför att akviferen har tillförts ca 0.4 GWh under perioden 1989/90.

Grundvattenflöden varierar under dygnet och månadsvis beroende på de aktuella energibehoven. Medelvattenflödena månadsvis har som mest uppgått till ca 25 l/s vid kylproduktion respektive ca 28 l/s vid värmeproduktion.

Ett mått att beskriva energicentralens energiutnyttjande är att definiera ett godhetstal som kvoten mellan all nyttiggjord energi (både kyla och värme) och köpt extern energi. Vid produktion av enbart värme via värmepumparna blir godhetstalet lika med värmepumparnas värmefaktorer, dvs ca 3. Sommartid, då produktion av kyla dominerar, blir godhetstalet betydligt större, drygt 10, eftersom endast en liten del extern energi behöver tillföras i form av el till grundvatten- och cirkulationspumparna. Medelvärdet under året är ca 5.

Mätningar av grundvattnets temperatur i det aktuella området har utförts sedan 1986. Under 1989 och 1990 har grundvattentemperaturer och grundvattenytans nivå avlästs i 13 observationsrör. Tidsintervallet mellan mätningstillfällena har varit ca två veckor.

I den södra delen av akviferen har ca 1.5 säsongers överskottsvärme inlagrats. Temperaturen är ca 10-15°C i en stor del av området. Det täckande marklagret uppgår till ca 8 m varför värmeförlusterna är små.

I den mellersta delen av lagret där de kalla brunnarna är placerade var temperaturnivån inför kylsäsosongen 1990 ca 10°C vid brunnarna 51 och 53 och ca 12°C vid brunn 52. Huvudorsak till de höga temperaturerna är att vintrarna 1988-89 och 1989-90 var milda varför relativt små värmeuttag gjorts under uppvärmningssäsongerna.

Resultat från beräkningar och mätningar visar generellt på svårigheterna att erhålla erforderlig information om akviferens uppbyggnad så att en rimlig teoretisk modell kan ställas upp. Den använda beräkningsmodellen ger acceptabel överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta temperaturer. Överensstämmel-

sen är god för några obsrör, relativt god för andra och mindre tillfredsställande för vissa. Orsaken till avvikelserna antages vara akviferens inhomogena struktur vilket modellen ej kan behandla. Uttagstemperaturer kan däremot förutsägas med god precision. Beräkningarna visar att avvikelserna mellan uppmätta och beräknade temperaturer uppgår till ca 1°C.

Sedan driftstarten 1987 har grundvattenbrunnarna uppvisat en hög tillgänglighet. Endast i en brunn har rensning erfordrats, brunn 34, vilken fick igensättningsproblem initialt sommaren 1987. Brunnen rensades mekaniskt oktober 1987 och kemiskt i juni 1988. Därefter har någon igensättning ej konstaterats.

Värmepumparna har hittills inte kunnat uppvisa förväntad driftsäkerhet. Flera fel har uppstått, t ex oljeläckage och kompressorhaveri. Felen har reparerats av leverantören enligt gällande garantivillkor. Den sammanlagda stilleståndstiden för de tre värmepumparna uppgick under 1989 till ca en månad.

Någon igensättning eller funktionsförsämring har ej konstaterats i systemets övriga komponenter som värmeväxlare eller pumpar. Dock har pumparna i vakuumsystemet fått bytas ut på grund av onormalt slitage.

Styrdatoren har sedan april 1989 uppvisat en hög driftsäkerhet. Svårigheter att erhålla vissa funktioner finns dock kvar.

De verkliga kostnaderna har beräknats för perioden juli 1989 till juni 1990 från uppmätta data. Totalkostnaden för perioden juli 1989 till juni 1990 blir då:

Kapital:	1713 kkr
Personal:	400 kkr
Underhåll:	300 kkr
Energi:	500 kkr
<hr/>	
Summa:	2913 kkr

Under perioden levererade energianläggningen 3.51 GWh värme och 3.07 GWh kyla, dvs totalt 6.58 GWh. Energiförbrukningen blir 0.44 kr/kWh eller ca 45 kr/m²/år. Noteras bör att i denna förbrukning ingår ej kostnader för direktverkande el, som kan påkopplas vid behov i respektive kontorsrum.

1. INLEDNING

1.1 Utvärderingens bakgrund

Scandinavian Airlines System, SAS, har av Statens råd för byggnadsforskning, BFR, erhållit experimentbyggnadslån för finansiering av vissa delar av energianläggningen för SAS huvudkontor i Frösundavik, Solna. Energianläggningens drift och funktion studeras i två forskningsprojekt. Dessa bekostas av BFR och genomförs av AIB Anläggningsteknik AB och KTH, institutionen för vattenbyggnad. Till forskningsprojekten hör en referensgrupp bestående av Lars-Erik Ahlf (SAS), Olof Andersson (VIAK AB), Johan Claesson (LTH), Per-Erik Nilsson (CTH), Gunnar Hansson (Telge Energi AB) och Bengt Åberg (fristående konsult). Till referensgruppen har också Björn Sellberg (BFR) varit adjungerad.

Delar av energianläggningen togs i drift i februari 1987. Inflyttning skedde i januari 1988 då också hela energianläggningen togs i bruk. Under 1989 kompletterades energicentralen med ytterligare en värmepump. Energicentralens funktion och design samt erfarenheter och mätresultat från byggnads- och idrifttagningsperioden har utförligt redovisats av (Åbyhammar, 1990) samt av (Johansson, 1989b). Sammanfattningen till den förstnämnda rapporten finns redovisad i Bilaga 1.1. Den sistnämnda rapporten berör endast akviferlagret och dess funktion. Sammanfattningen till denna rapport finns i Bilaga 1.2. Båda rapporterna är mer detaljerade än föreliggande rapport och beskriver utförligt energisystemets och lagrets funktion.

Denna rapport omfattar mätningar och erfarenheter från 89-04-01 till 90-06-30. Rapporten avser att vara en fortsättning och ett komplement till ovan nämnda rapporter.

1.2 Kortfattad beskrivning av energianläggningen

1.2.1 Värme- och kylförsörjning

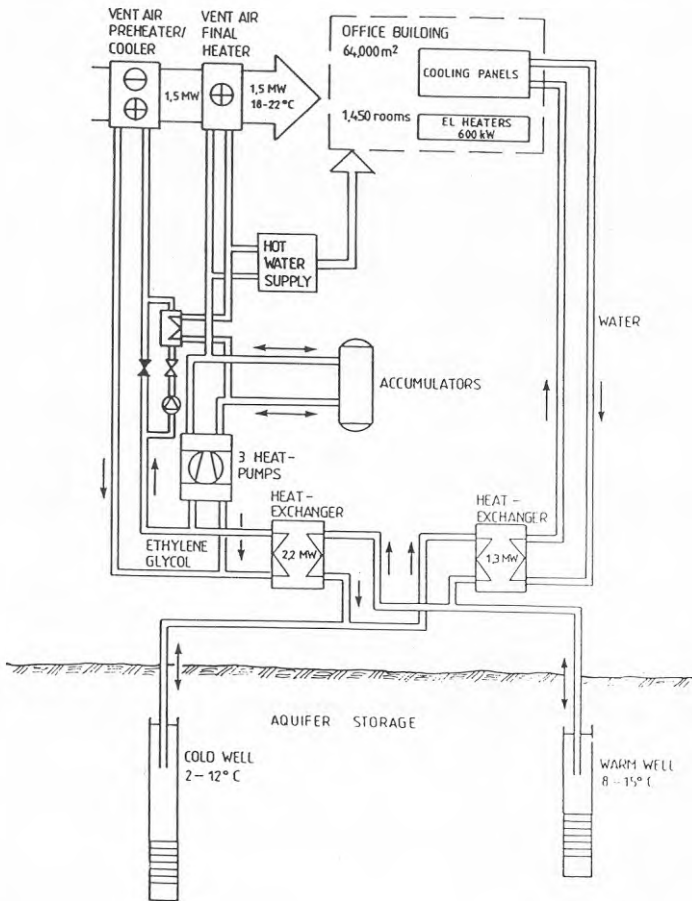
SAS Frösundavik har en bruttoyta av 64000 m² och omfattar ca 1450 kontorsrum, en större inglasad gata, restauranger, café, konferenscenter, friskvårdsanläggning inkluderande bl a gymnastik- och simhall, samt tre garageplan. Lokalerna är fördelade på fem huskroppar grupperade kring den inglasade gatan.

Värme, ca 3 MW, för uppvärmning av tilluft och källarlokaler distribueras från energicentralen i ett högt tempererat system 60/20°C och ett lågt tempererat system 11/0°C, (dimensionerande värden). Sammanlagt

finns 10 tilluftsaggregat placerade i byggnadens källarplan. Ventilationsflödet är konstant i varje aggregat. In- och urkoppling av aggregaten sker via anläggningens styrdator.

Kylning av kontorsrummen sker med konvektorer placerade i rummens tak. Energisystemets maximala kyl-effekt uppgår till ca 2 MW.

Byggnadens behov av komfortkyla tillgodoses genom direkt värmeväxling mot kallt grundvatten från akviferen, jfr figur 1.1. Kylan distribueras i byggnaden till konvektorer i undertaken och till kylbatterier för inkommande uteluft. Det uppvärmda grundvattnet återinfiltreras och bygger upp ett ca 15-gradigt värme-magasin inför uppvärmningssäsongen.



Figur 1.1 Energianläggningen, principschema

Det lågtempererade värmesystemet tillförs energi genom direkt värmeväxling mot varmt grundvatten. Grundvattnet värmer en cirkulationskrets som används för tillförsel av lågtemperaturvärme till värmepumparna och förvärmning av inkommande ventilationsluft.

En värmeväxlare finns också installerad som möjliggör värmeväxling mellan värme- och förvärmningssystemet, vilken avlastar eftervärmningsbatterierna för ventilationsluften.

Vid produktion av kyla eller lågtempererad värme behöver el endast tillföras cirkulationspumparna. Vid dessa driftfall blir energiproduktionskostnaden därför mycket låg.

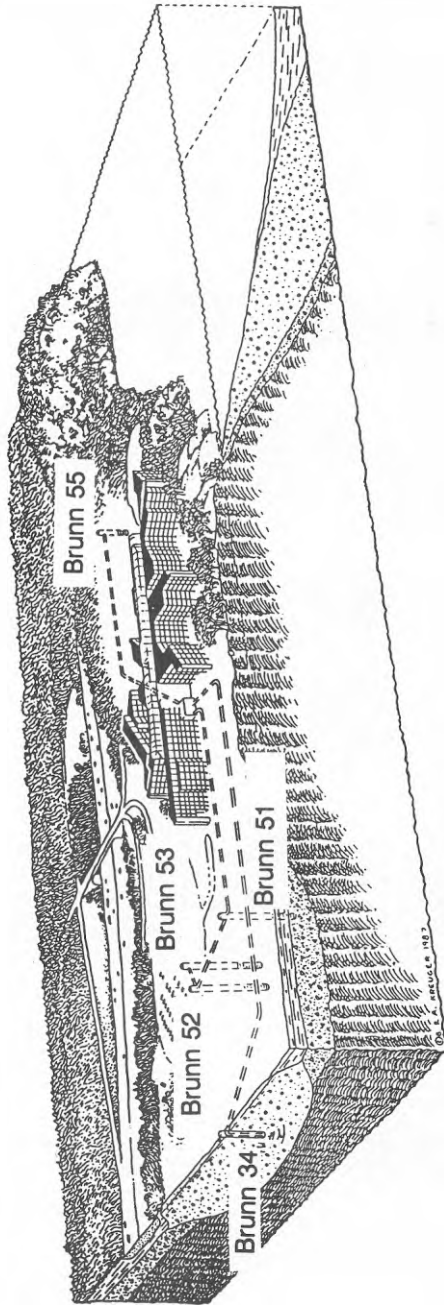
Behovet av högtempererat värme tillgodoses av tre seriekopplade värmepumpar med en sammanlagd effekt av 1.1 MW. Fyra ackumulatortankar om vardera 50 m³ svarar för utjämning av värmepumparnas drift och effekttillskott dagtid.

1.2.2 Akviferlagret

Brunnssystemet består av två varma och tre kalla brunnar utförda i grovt grusmaterial. Grundvattnet kan cirkuleras mellan varma och kalla brunnar eller omvänt. I de varma delarna av lagret är temperaturen 8-15°C och i den kalla delen av lagret är temperaturen 2-12°C.

Akviferens bredd varierar mellan 100 och 300 m medan djupet varierar mellan 10 à 25 m. Den totala akvifervolymen inom området är ca 1.5 miljoner m³. Den utbyggda akvifervolymen, som ges av brunnarnas placering, är ca 800 000 m³. Den naturliga grundvattenströmmen i akviferen är liten och har i detta fall ej påverkat lagrets utformning.

Installerad uttagkapacitet är ca 190 l/s. Härav har som mest utnyttjats ca 110 l/s. Energianläggningens yttre del består av brunnar och grundvattenledningar. Samtliga pumpar och styrventiler har placerats i energicentralen för att skapa goda tillsynsmöjligheter och driftsförhållanden. Pumparna är utrustade med varvtalsreglering.



Figur 1.2 Akviferlagret, principfigur

2. MÄTNINGAR I ENERGICENTRALEN

2.1 Omfattning

Energicentralen styrs av en dator som kontinuerligt registrerar och lagrar flöden och temperaturer i de olika delkretsarna. Momentana data kan presenteras på skärmen. För att reducera datamängden bildar datorn hela tiden medelvärden för olika tidsperioder. För t ex tidsperioden månad utnyttjas medelvärden för varje dygn. De flesta mätvärden varierar under dygnet varför erhållna dygnsmedelvärden ger en utslätad bild av verkliga driftsförhållanden.

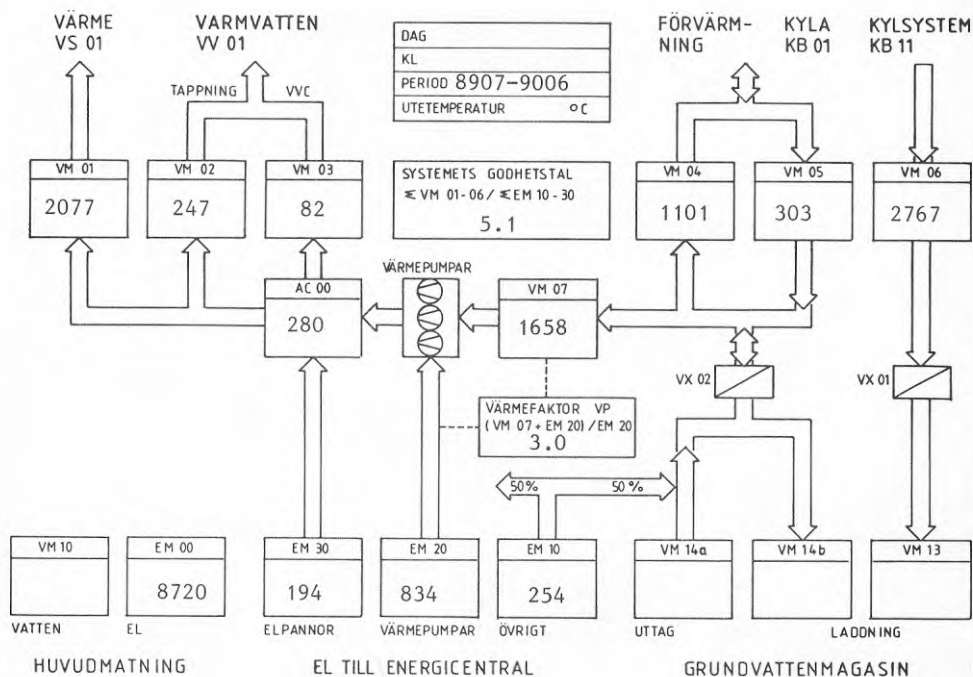
I denna rapport redovisas huvudsakligen månadsmedelvärden under mätperioden, vilken omfattar tiden mellan 1989-04-01 och 1990-06-30. En del av mätutrustningen har varit i drift under en längre period varför två årscykler i vissa fall kan redovisas, nämligen från juli 1988 till juni 1989 (perioden 88/89) samt från juli 1989 till juni 1990 (perioden 89/90). Mätdata från perioden juli 1988 till mars 1989 är dock ej fullständiga varför de sammanlagda energimängderna ej kan redovisas.

Med hjälp av insamlade data kan energiflödet genom energicentralen studeras, jfr figur 2.1 och Bilaga 2.1. Likaså kan i akviferen inlagrade respektive uttagna energimängder och flöden beräknas. Det är också möjligt att beräkna mätfel eftersom mätningar sker av in- och utgående energier. Detta värde finns redovisat i rutan märkt AC00 i figur 2.1, jfr även kap 6.

Tillförlitligheten hos datasystemet har varit tillfredsställande från april 1989. Stilleståndstiderna har oftast varit mindre än tio timmar per månad. I juni 1990 inträffade ett fel i datorn vilket medförde att alla månadens insamlade mätvärden förlorades. Genom bearbetning av manuella dataavläsningar har dock acceptabla mätvärden erhållits.

Anläggningens mätnoggrannhet är svår att analysera på grund av den kontinuerliga medelvärdesbildningen. Mätvärdena från akviferen är ackumulerade under lång tid och ger ej underlag för att bedöma inomhusmätarnas momentana funktioner.

Flödesmätarna i grundvattenkretsen har vid flera tillfällen uppvisat otillfredsställande funktion. En mätare fick bytas ut hösten 1988. I maj 1990 uppvisade ytterligare en mätare otillfredsställande funktion. Till viss del kan det bero på att luft inkommit i systemet.



Figur 2.1 Energiflöden (MWh) i energicentralen, perioden juli 1989 till juni 1990.

2.2 Driftförhållanden

Anläggningen består av tre kalla brunnar (brunn 51, 52 och 53) och två varma brunnar (brunn 34 och 55), jfr figur 1.2. Under perioden 1989-04-01 till 1990-06-30 har främst brunnkombinationerna 34-51, 53-55 och 51-55 använts, jfr tabell 2.1.

Tabell 2.1 Utnyttjade brunnar för energianläggningen

Datum	Kalla brunnar		Varma brunnar		
	51	52*)	53	55	34
87-02-18	öppen	stängd	stängd	stängd	öppen
87-09-25	öppen	stängd	öppen	öppen	stängd
88-03-19	öppen	stängd	stängd	öppen	stängd
88-04-27	stängd	öppen	öppen	öppen	stängd
88-05-17	stängd	stängd	öppen	öppen	stängd
88-06-14	stängd	öppen	stängd	stängd	öppen
88-09-10	stängd	stängd	öppen	öppen	stängd
88-10-27	öppen	stängd	stängd	öppen	öppen
88-11-10	öppen	stängd	öppen	öppen	öppen
88-11-16	öppen	stängd	öppen	öppen	stängd
89-03-03	öppen	stängd	stängd	stängd	öppen
90-06-14	öppen	stängd	stängd	öppen	stängd
90-06-28	öppen	stängd	öppen	öppen	stängd
90-06-29	stängd	stängd	öppen	öppen	stängd

Anm. *) Under hösten -89 framkom att avstängningsventilen var trasig varför en viss volym kan ha uttagits/inlagrats i brunn 52.

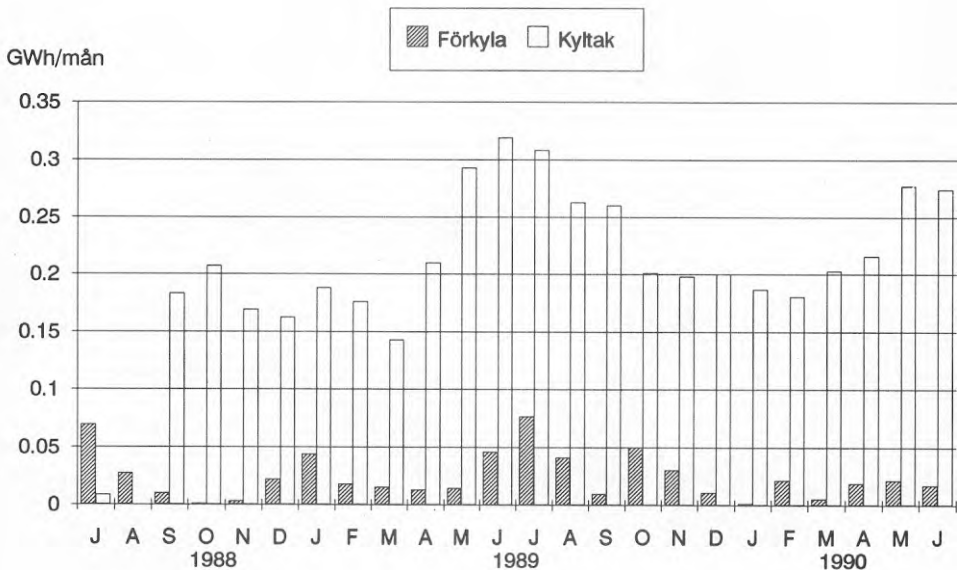
2.3 Kylproduktion

Kyla kan produceras dels genom kylning av ventilationsluften (förkyla) dels via kyltakssystemet. Under perioden 88/89 producerades 0.28 GWh förkyla och 2.06 GWh via kyltakssystemet. För perioden 89/90 var motsvarande produktion 0.30 GWh respektive 2.77 GWh. Den sammanlagda kylproduktionen var således 2.34 GWh under perioden 88/89 respektive 3.07 GWh under perioden 89/90. Produktionsökningen har till största delen skett i kyltakssystemet.

Den största mängden kylenergi distribueras via kyltaken. Kylbehovet sommartid uppgår till 0.30 GWh/mån

respektive 0.18 GWh/mån vintertid. Medelvärden under året var ca 0.17 GWh/mån för perioden 88/89 respektive ca 0.23 GWh/mån för perioden 89/90, jfr figur 2.2.

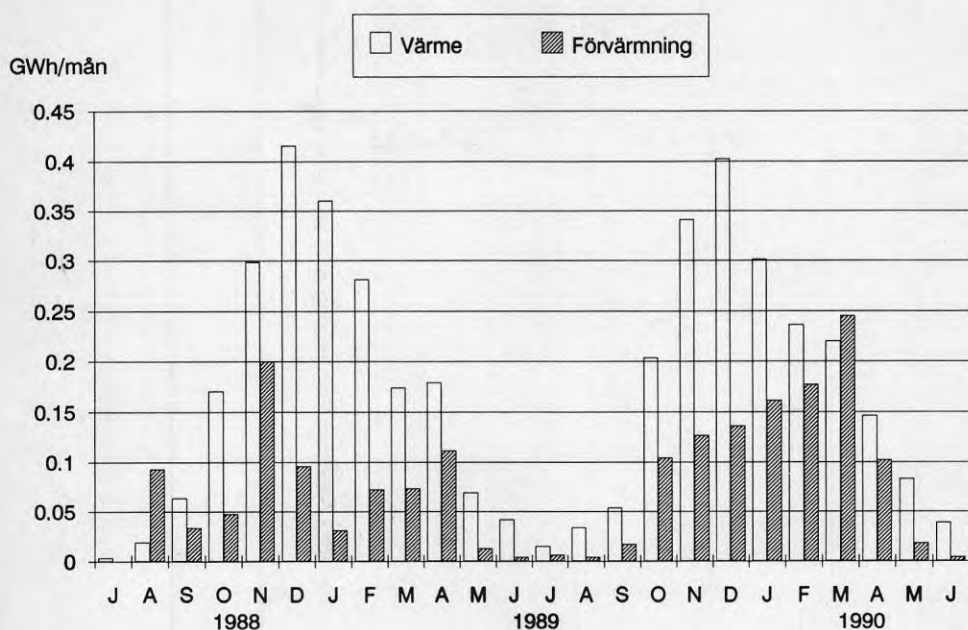
Förkylningen av ventilationsluften varierar under året och under sommarmånaderna har produktionen varierat mellan ca 30-70 MWh/mån. Noterbart är att mindre mängder förkyla har producerats under nästan alla årets månader. Under vintermånaderna har produktionen uppgått till i medeltal ca 10 MWh/mån. Det förhållandevis höga kylbehovet vintertid bör kartläggas närmare.



Figur 2.2 Producerade energimängder för kylning

2.4 Värmeproduktion

Värme produceras via förvärmning av ventilationsluft (låg temperatur) samt via värmepumparna för system med högre temperaturbehov såsom eftervärmning av ventilationsluft och varmvatten. Under perioderna 88/89 och 89/90 producerade värmepumparna ungefär lika mycket, ca 2.08 GWh. Förvärmningen ökade från 0.78 GWh 1988/89 till 1.10 GWh under 1989/90. Värmebehovet visar ett tydligare säsongsberoende än kylbehovet, jfr figur 2.3.



Figur 2.3 Produktion av värme

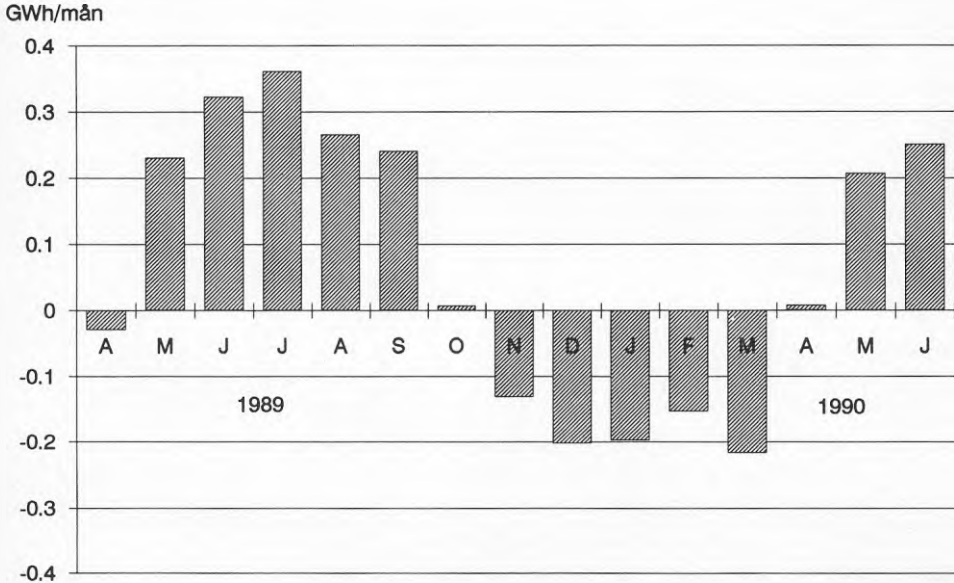
Under vintern 1988/89 uppgick förvärmningen till ca 0.10 GWh/mån medan den under vintern 1989/90 uppgick till ca 0.15 MWh/mån. Det högsta värdet är 0.25 GWh/mån vilket inträffade mars 1990. Under denna månad producerades mer energi via förvärmningen än via värmepumparna.

Värmepumparna utnyttjas hela året för produktion av högtempererat värme. Under sommarmånaderna produceras nästan enbart värme för tappvarmvatten, ca 5-10 MWh/mån. Övriga delar av året varierar produktionen med utetemperaturen. Som mest har ca 0.40 GWh producerats under en månad.

2.5 Energibalans, akviferlagret

De uttag och inlagringar av energi som skett under perioden juli 1988 till juni 1989 kan ej bestämmas exakt men uppskattningsvis tillfördes akviferen ca 0.2 å 0.4 GWh under denna period. Under perioden juli 1989 till juni 1990 var uttaget av värme 0.90 GWh medan inlagringen av värme uppgick till 1.3 GWh. Detta medför att akviferen har tillförts ca 0.4 GWh under perioden. De månadsvisa variationerna visar att värme inlagras under perioden maj till september och att värme uttages under perioden november till mars.

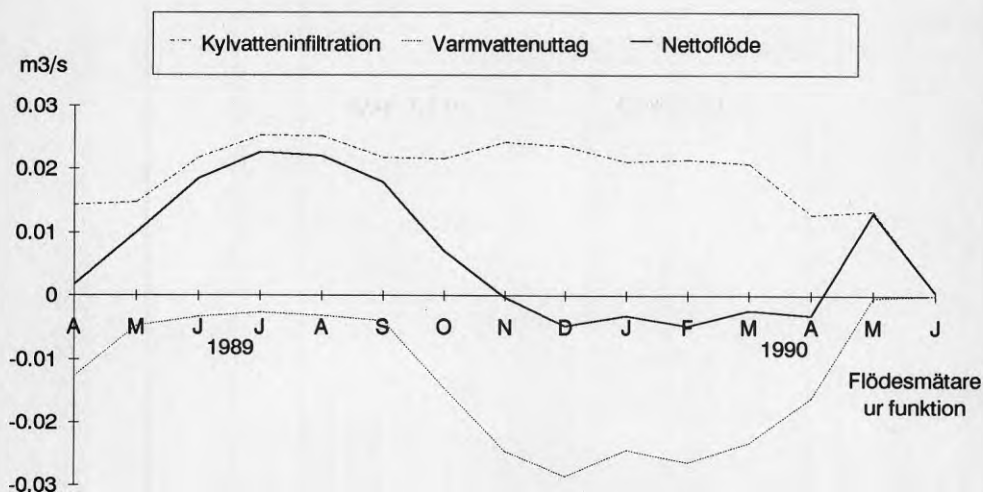
I april och oktober är uttaget litet varför det kan variera mellan värme- och kyluttag beroende på utetemperaturerna, jfr figur 2.4.



Figur 2.4 Lagring respektive uttag av energi i akviferen

Grundvattenflödet varierar under dygnet och månadsvis beroende på de aktuella energibehoven. Medelvattenflödena månadsvis har som mest uppgått till ca 25 l/s vid kylproduktion respektive ca 28 l/s vid värmeproduktion, jfr figur 2.5.

Som synes är variationerna stora under en månad, speciellt under uppvärmningssäsongen då grundvattenflödena vid kyl- respektive värmeproduktion är nästan lika stora. Det innebär att akviferen används som korttidslager och att flödena växlar mellan dag- och nattdrift. De totala inlagrade och uttagna energimängderna är därför större än de ovan redovisade eftersom månadsmedelvärdet har beräknats från dygnsmedelvärdet, dvs dygnsvariationernas inverkan finns ej med.



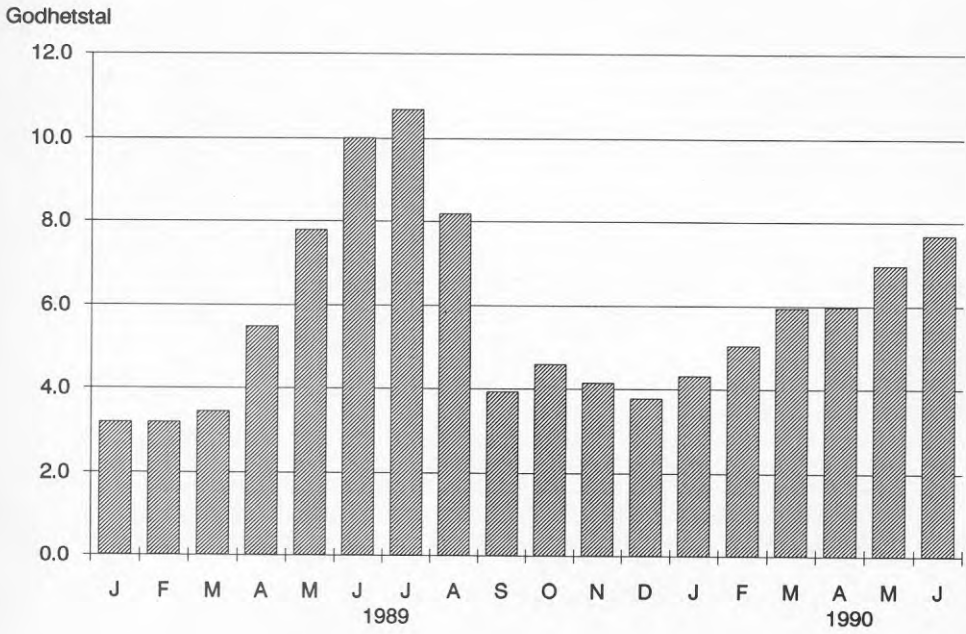
Figur 2.5 Grundvattenflöden vid kyl- och värme-
produktion (månadsmedelvärden).

2.6 Nyckeltal

Ett sätt att beskriva energicentralens energiutnyttjande är att definiera ett godhetstal som kvoten mellan all nyttiggjord energi (både kyla och värme) och köpt extern energi. Vid enbart produktion av värme via värmepumparna blir godhetstalet lika med värmepumparnas värmefaktorer, dvs ca 3. Sommartid då kylproduktionen dominerar blir godhetstalet betydligt större, drygt 10, eftersom endast en liten del extern energi behöver tillföras i form av el till grundvatten- och cirkulationspumparna. Under större delen av året varierar godhetstalet mellan 3 och 10, jfr figur 2.6.

Under perioden juli 1989 till juni 1990 producerade energianläggningen sammanlagt ca 3.51 GWh värme och 3.07 GWh kyla. För detta erfordrades 1.28 GWh el. Godhetstalet för perioden blir då $(3.51+3.07)/1.28=5.14$.

Med byggnadsytan 64 000 m² blir det specifika värmebehovet 55 kWh/m²/år och det specifika kylbehovet blir 48 kWh/m²/år. Den specifika elförbrukningen blir 20 kWh/m²/år. I denna förbrukning ingår ej direktverkande el, som kan påkopplas vid behov i respektive kontorsrum. I avsnitt 6.2.3 nedan redogörs mer detaljerat för byggnadens kylbehov.



Figur 2.6 Godhetstal för energianläggningen

3. MÄTNINGAR I AKVIFEREN

3.1 Beskrivning av akviferen

Akviferen som utnyttjas för energilagring vid SAS-kontoret utgör en del av den i nord-sydlig riktning utsträckta Stockholmsåsen. Åsens centrala del består i detta avsnitt av ett ca 100 m brett stråk av grovt material (stenigt grus och grusig sand) överlagrat av sand. Det grova materialet i detta stråk ger goda förutsättningar för vattenuttag. Finkornigare material (glaciallera) har främst avsatts på åsens västra sida.

Akviferen kan förenklat sägas bestå av en sydlig och en nordlig del med en smalare och grundare midja däremellan. Förträngningen i åsen är belägen under kontorsbyggnaden. Grus- och sandavlagringens mäktighet under grundvattenytan uppgår till 10 - 20 meter söder om byggnaden och 20 - 25 meter i akviferens norra del. Under kontorsbyggnaden är akvifermäktigheten 10 - 15 meter. Brunnarna har placerats så att en varm brunn och samtliga tre kalla brunnar finns i området söder om kontoret medan en varm brunn är belägen inom det norra området.

Det avsnitt av akviferen som ligger söder om kontorsbyggnaden har avsatts i en sänka i berggrunden begränsad av berg och morän och har hydraulisk kommunikation endast norrut mot Brunnsviken. Akviferens norra del gränsar i öster och norr mot Brunnsviken. God hydraulisk kontakt har konstaterats i strandzonen och vid Lings udde 350 meter nordost om kontorsbyggnaden mynnar åskärnan troligen ut i Brunnsviken.

Akviferens tillrinningsområde är litet och ger en grundvattenbildning av 2-4 l/s. Grundvattenströmningen är oftast riktad norrut mot Brunnsviken men kan vid längre perioder med stigande vattenstånd i Brunnsviken ske i motsatt riktning.

Den naturliga grundvattentemperaturen uppmättes vid ett flertal tillfällen 1986 och befanns variera mellan 3 och 11°C nära grundvattenytan medan temperaturen på större djup var 7-8°C. Temperaturen varierade beroende på mättidpunkt, observationsrörets läge och avståndet mellan grundvattenyta och markyta.

Mätningar av grundvattnets salthalt genomfördes under perioden september 1987 - januari 1989. Mätresultaten redovisas i (Johansson, 1989b). Salthalten i akviferen uppgick innan energianläggningen togs i drift till 0.5 promille i akviferens övre del och 0.8 promille i djupare lager. Som en jämförelse kan nämnas att salthalten i Brunnsviken är ca 2.5 promille.

3.2 Mätmetodik och redovisning

Temperaturmätningar i det aktuella området har utförts sedan 1986. Mätresultat för år 1986 har redovisats av (Lidström, 1989) medan resultaten från perioden december 1986 till mars 1989 redovisats av (Johansson, 1989b). I det följande redovisas mätningar från tidsperioden april 1989 till och med juni 1990, nedan kallad mätperioden.

Under 1989 och 1990 har grundvattentemperaturer och grundvattenytans nivå avlästs i 13 observationsrör, se figur 3.1 samt Bilaga 3.1 och 3.2. Tidsintervallet mellan mättillfällena har varit ca två veckor. Temperaturavläsningarna har gjorts med 1 meters intervall i djupled förutom på stora djup där intervallet vid vissa mättillfällen varit 2 meter.

Mätvärdena har antecknats i fält och sedan matats in i dator för kontroll och bearbetning. Temperaturerna under mätperioden redovisas fullständigt för viktiga observationsrör i Bilaga 3.1 medan redovisningen i det följande huvudsakligen sker i form av medeltemperaturer för observationsrören. Medeltemperaturen har beräknats enligt:

$$T_m = \frac{1}{Z_1 - Z_n} \left[\sum_{i=1}^n \frac{T_i + T_{i+1}}{2} (Z_i - Z_{i+1}) \right]$$

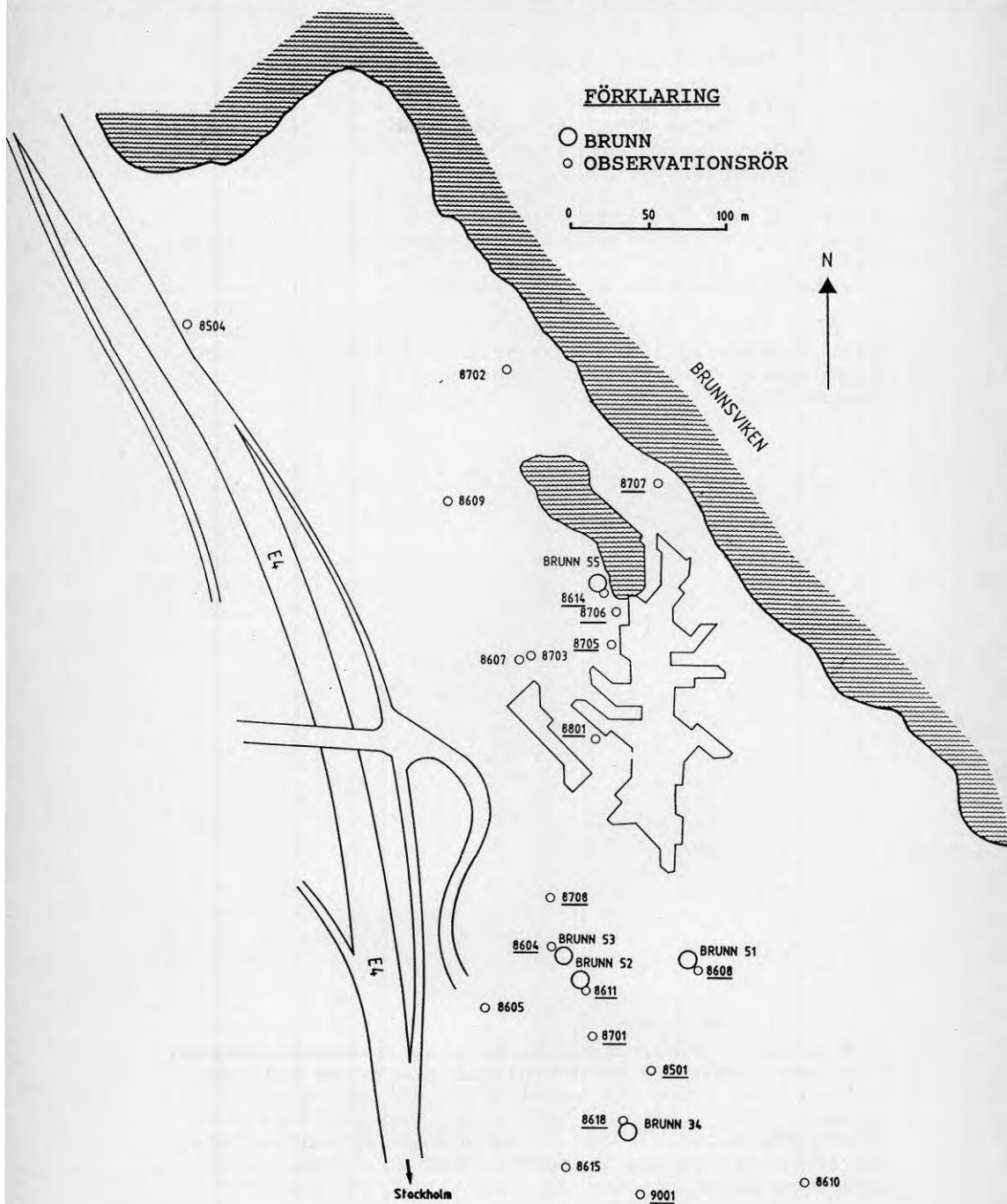
där:

- T_m = medeltemperatur i obsröret (°C)
- Z_i = mätnivå nr i (m)
- T_i = temperatur på nivån Z_i (°C)
- n = antal mätpunkter

Diagram 3.2-3.4 visar medeltemperaturer i de observationsrör som använts under mätperioden. Observationsrör 8708 har dock ej medtagits eftersom temperaturvariationerna där varit obetydliga.

Den siffra som anges efter observationsrörens nummer i diagrammen avser bottennivån i det aktuella röret. Eftersom inte alla rördrivningar skett ned till fast botten blir temperaturmedelvärdet ett mer eller mindre riktigt mått på temperturpåverkan i den aktuella punkten. Av de rör som använts under mätperioden är 8501, 8604, 8701, 8614 och 8618 ej neddrivna till fast botten.

På grund av den termiska skiktningen i akviferens norra del blir medelvärdet i obsrör 8614 högre än om det hade innefattat hela vertikalprofilen. I övriga fall bedöms avvikelserna bli små.

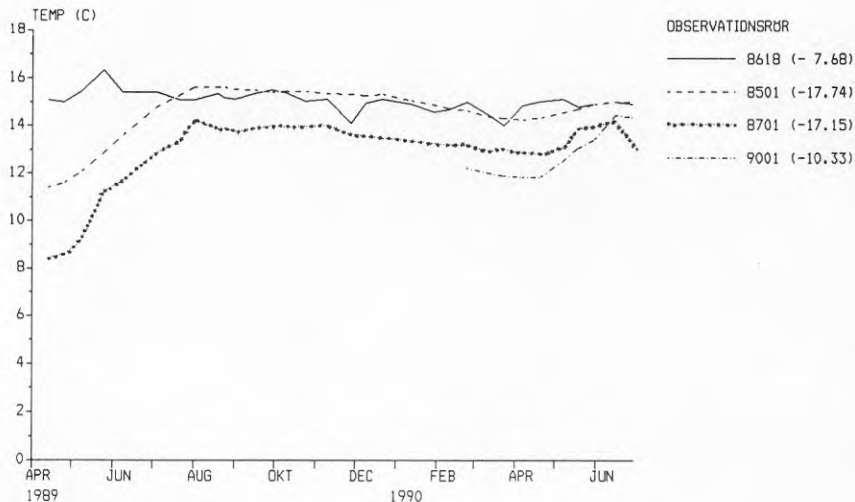


Figur 3.1 Mätpunkter och brunnar. Understrykning av rörnummer innebär att röret använts under mätperioden.

3.3 Temperaturer, södra delen av lagerområdet

Av kapitel 2.2 framgår att den södra varma brunnen (brunn 34) var i drift under hela mätperioden med undantag av de två sista veckorna i juni 1990. Medeltemperaturer i observationsrör belägna nära brunn 34 redovisas i figur 3.2. Inlagringstemperaturen mäts ej direkt på det inlagrade vattnet utan antas överensstämma med uppmätt temperatur i observationsrör 8618 beläget ca 1 meter från brunn 34. Temperaturen var där under större delen av perioden ca 15°C.

Av figur 3.2 framgår vidare att temperaturen i observationsrören 8501 och 8701 steg under våren och sommaren 1989. Därefter har temperaturen varit ca 15°C närmast brunnen och 13-14°C i obsrör 8701.



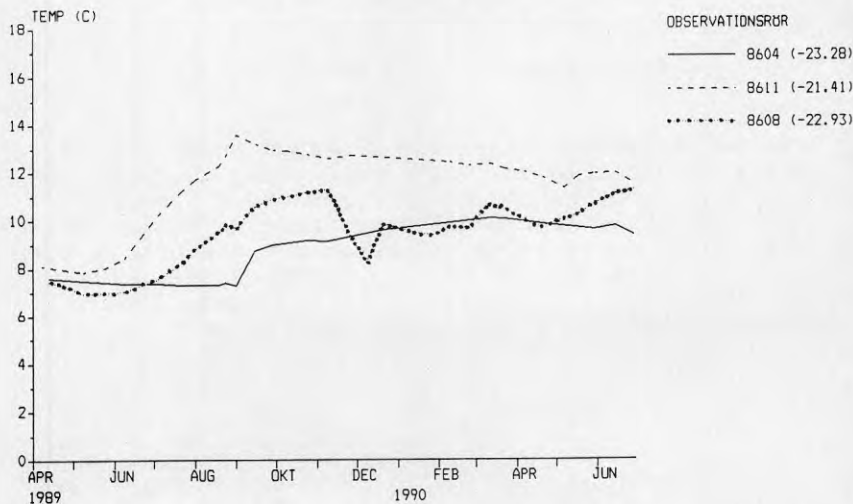
Figur 3.2 Medeltemperaturer i lagerområdets södra del

Den milda vintern 1989-90 innebar små uttag av värme varför ingen större temperatursänkning erhöles i något av observationsrören. Medeltemperaturen har under vintern sjunkit 1°C i obsrör 8701 beläget ca 70 meter från brunn 34. Jordlagrens mäktighet ovanför grundvattenytan uppgår till mellan 6 och 10 meter vilket innebär att påverkan av uteluftens temperaturvariationer blir liten.

Medeltemperaturen i det observationsrör som neddrevs i februari 1990 (obsrör 9001) var i mars 1990 ca 3°C lägre än temperaturen i obsrör 8501. Då observationsrören är belägna på ungefär samma avstånd från brunn 34 visar detta att det uppvärmda området kring brunnen var förskjutet norrut mot de kalla brunnarna. Varmvatteninfiltration i brunn 34 under våren och försommaren medförde en uppvärmning av området vid obsrör 9001 varför medeltemperaturen vid mätperiodens slut var 14-15°C i samtliga obsrör i södra delen av lagerområdet.

3.4 Temperaturer, mellersta delen av lagerområdet

I lagerområdets mellersta del är energisystemets kalla brunnar belägna. Under större delen av mätperioden har brunn 51 använts medan brunnarna 52 och 53 hållits stängda. Hösten 1989 framkom dock att ventilen i brunn 52 inte fungerade. Det är således troligt att en viss del av det kalla vattnet infiltrerats och uttagits via brunn 52. Medeltemperaturen i området kring de kalla brunnarna framgår av figur 3.3.



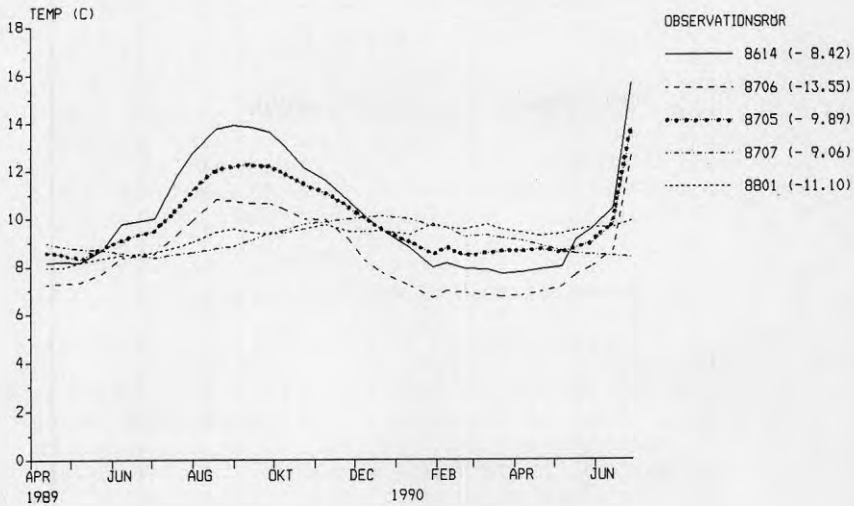
Figur 3.3 Medeltemperaturer i lagerområdets mellersta del

Det varma vatten som under sommaren 1989 infiltrerades i brunn 34 medförde en uppvärmning i området. Obsrör 8708, se figur 3.1, förblev dock vid detta driftfall i det närmaste opåverkat vilket tyder på att det är beläget utanför åskärnan. Anmärkningsvärd är också skillnaden i respons mellan obsrören 8611 och 8604. Temperaturhöjningen blir både större och snabbare i 8611 än i 8604 trots att avståndet mellan obsrören endast är ca 30 meter. Brunn 53 förefaller av dessa resultat att döma vara bättre termohydrauliskt isolerad än brunn 52. En annan orsak till skillnaden i temperaturrespons skulle kunna vara att läckaget i brunn 52 medför att det uppvärmda vattnet ej når brunn 53.

Temperaturnivån var inför kylsäsongen 1990 ca 10°C vid brunnarna 51 och 53 (obsrören 8608 resp 8604) och ca 12°C vid brunn 52 (obsrör 8611). Huvudorsak till de höga temperaturerna är att vintrarna 1988-89 och 1989-90 var milda varför relativt små värmeuttag gjorts under uppvärmningssäsongerna. Dessutom kan det "kalla" infiltrationsvattnets temperatur vid vissa driftfall uppgå till ca 10°C. Systemet har dock full kyleffekt vid vattentemperaturer på upp till 12°C. Åtgärder för att sänka temperaturen på det utgående kalla vattnet gjordes under 1989 och ytterligare åtgärder planeras under 1990. I juni 1990 var temperaturen i brunn 51 ca 11°C varför byte av kall brunn skedde så att kallt vatten från och med slutet av juni 1990 uttas och infiltreras via brunn 53.

3.5 Temperaturer, norra delen av lagerområdet

Den norra varma brunnen var avstängd under större delen av mätperioden. Detta till trots kunde en betydande uppvärmning registreras under sommaren 1989, se figur 3.4. Medeltemperaturen i obsrör 8614 steg under sommaren ca 6°C medan temperaturhöjningen i obsrör 8706 uppgick till ca 3.5°C. Djupet till grundvattenytan i området är ca 2-3 meter vilket enligt (Claesson et al, 1985) innebär en naturlig årlig temperaturvariation av ca $\pm 1^\circ\text{C}$ vid grundvattenytan.



Figur 3.4 Medeltemperaturer i lagerområdets norra del

Den registrerade avvikelserna beror troligen till största delen på cirkulationspumpningen i den konstgjorda sjö som anlagts vid kontorsbyggnaden. Pumpningen medför att akviferen tillförs uppvärmt vatten sommartid och avkylt vatten vintertid via en infiltrationsbrunn i dammens norra del. En mer omfattande utredning av förhållandena i detta område finns i (Johansson, 1989b).

Den norra varma brunnen togs i drift för första gången under mätperioden i mitten av juni 1990. Området värmdes därefter upp mycket snabbt. Temperaturstegringen var under de två sista veckorna i juni ca 5°C i obsrör 8614 och 4°C i obsrör 8706. Temperaturprofilerna i Bilaga 3.1 (sid 14-17) visar att akviferen uppvärmts ned till betydligt större djup under juni 1990 än under sommaren 1989.

3.6 Grundvattennivåer

Grundvattennivån i akviferen följer vattenstånds- förändringarna i Brunnsviken. Detta gäller dock inte de områden som påverkas av pumpning i energisystemets brunnar. De grundvattennivåer som uppmätts under mätperioden redovisas i Bilaga 3.2. Eftersom observationsrör 8611 inte ger tillförlitliga grundvattennivåer har detta rör ej medtagits.

4. VATTENKEMI

4.1 Vattenkvalitetens betydelse

För funktionen av varma och kalla brunnar i ett akviferlager är grundvattenkemin i akviferen av stor betydelse. En uppföljning av grundvattnets kemiska sammansättning har därför skett under den studerade driftperioden. Grundvattenprov för fysikalisk-kemisk analys har uttagits från energicentralen.

4.2 Vattenkvaliteten i akviferlagret

I Bilaga 4:1 redovisas en sammanställning av utförda vattenanalyser samt exempel på en vattenanalys. Analyserna visar ett grundvatten med låga halter av järn och mangan. Vattnet är mycket hårt. Hårdheten beräknad som Ca ligger mellan 184 och 227 mg/l. Alkaliniteten (bikarbonathalten) är också hög och varierar mellan 303 och 360 mg/l. Kloridhalten är förhöjd genom läget intill Brunnsviken och ligger mellan 117 och 155 mg/l. pH-värdet varierar mellan 6.9 och 7.3.

En svag tendens till salthaltsökning kan konstateras om värdena för konduktivitet, totalhårdhet och klorid studeras. Materialval i värmeväxlare och brunnar har dock skett med tanke på att vattnets kloridhalt skulle kunna stiga till ca 1000 mg/l. Ledningarna är av plast och ej känsliga för förhöjd kloridhalt. Salthaltsökningen bedöms därför ej ha någon betydelse för akviferlagringssystemets funktion. Salthaltsökningen är troligen en effekt av den homogenisering eller utjämning av vattenkvalitetsskillnader mellan ytligare och djupare grundvatten i grusåsen som cirkulationspumpningen orsakar. Infiltration från Brunnsviken bedöms vara en mindre sannolik orsak till salthaltsökningen.

4.3 Järn och mangan

Den del av akviferen som utnyttjas som akviferlager är öppen förutom en mindre del söder om kontoret. Luft har därmed fritt tillträde till grundvattenytan och det ytliga grundvattnet får på detta vis och genom nederbördsinfiltration viss syrehalt. Detta leder till låga halter av järn och mangan i det ytliga grundvattnet (oxiderad miljö).

Inträffar en förändring i vattenkemin, t ex att höga järn- och manganhalter börjar uppträda i grundvattnet, sätter brunnarna relativt snabbt igen och hela akvifersystemet slutar att fungera. Höga järn- och manganhalter uppstår om det skulle bli syrebrist i grundvattnet. Nästan allt grus- och sandmaterial i Sverige

innehåller järn (Fe) och mangan (Mn) som kan gå i lösning vid syrebrist. Om avloppsvatten eller oljeprodukter i större mängd skulle förorena grundvattnet vid Frösundavik skulle syrebrist uppstå i grundvattnet och järn och mangan börja uppträda. Det gäller därför att skydda grundvattnet mot förorening.

I norra delen av grundvattenmagasinet utanför akviferlagret finns järn och mangan naturligt i grundvattnet. Detta kan bero på täckande lerlager väster om åsen och långsammare vattenomsättning i denna del vilket leder till syrebrist (reducerad miljö).

4.4 Karbonater

Grundvattnet vid Frösundavik har hög kalciumhalt, dvs är mycket hårt, och HCO_3 -halten är hög. Risk föreligger därför för utfällning av CaCO_3 vid temperaturhöjning eller tryckminskning. Även magnesium finns i grundvattnet men i betydligt mindre mängd än kalcium. Magnesium bildar MgCO_3 vid uppvärmning.

Om CaCO_3 faller ut kan antagas att även en liten mängd MgCO_3 och FeCO_3 medfällas. Det som motverkar utfällning av CaCO_3 är bland annat marmoraggressiv, dvs CaCO_3 -aggressiv, kolsyra och ett lågt pH. Dessa egenskaper finns i det ytliga grundvattnet medan det djupare grundvattnet är mer mättat på salter.

Eftersom grundvattnet ej värms mer än till ca 15°C vid kylproduktionen (värmeväxlingen) i energicentralen blir dock uppvärmningen ej tillräcklig för att CaCO_3 skall falla ut i grundvattencirkulationssystemet. Det undertryck i vattnet som uppstår genom vakuumpumpningen har ej heller givit upphov till något kalkfällningsproblem.

4.5 Rensning av brunnar

Brunnar som satt igen genom utfällning av Fe- och Mn-oxider eller karbonater kan rensas genom att syra-behandlas.

Södra varma brunnen (brunn 34) som vid idrifttagningen av lagret sattes igen av Fe-utfällningar har rensats i två omgångar. I oktober 1987 rensades brunnen mekaniskt och i juni 1988 utfördes kemisk rensning. De mätningar som gjorts efter dessa rensningar visar att brunn 34 t o m har erhållit förbättrade prestanda efter rensningarna jämfört med värdena vid idrifttagningen av brunnen.

4.6 Sammanfattning

Några problem i akviferlagringssystemet som orsakats av grundvattnets kemiska sammansättning har ej uppträtt under perioden 88-07-01 - 90-06-30.

Två rensningar av brunn 34 är de enda åtgärder som behövt utföras med anledning av grundvattenkemin. Dessa åtgärder utfördes före 88-07-10, före den här studerade driftperioden.

Den lärdom man kan dra av den vattenkemiska uppföljningen av projektet är att i de fall man har ett ytligare grundvatten med viss syrehalt och ett djupare grundvatten med syrebrist så skall cirkulationen i akviferlagret börja med att injektera det syrehaltiga vattnet i djupa brunnar. Detta medför låga järn- och manganhalter vid senare uttag ur dessa brunnar och möjliggör återinfiltration utan risk för igen-sättning.

Vidare har ej några problem med kalkfällning uppstått trots att vattnet uttages genom vakuumpumpning vilket ger ett visst undertryck i vattnet.

5. TERMOHYDRAULISK UTVÄRDERING AV LAGRET

5.1 Orientering

Brunnssystemet består av fem brunnar av vilka tre används för uttag och infiltration av kallt vatten (kalla brunnar) och två för uttag och infiltration av varmt vatten (varma brunnar). Brunnarnas lägen framgår av figur 3.1. Som bakgrund till den fortsatta framställningen visas i nedanstående tabell brunnarnas filternivåer angivna i höjdsystem 1900 (RH00).

Tabell 5.1 Brunnsfilternivåer vid SAS.

brunn	typ	filternivå (m)	
		övre	nedre
51	kall	-15.2	-19.2
52	kall	-11.0	-16.0
53	kall	-12.3	-17.3
34	varm	- 2.6	- 7.6
55	varm	- 1.9	- 5.9

I akviferen finns ett tjugotal observationsrör avsedda för mätning av grundvattennivå, temperatur och salthalt, se figur 3.1. I februari 1990 drevs ett nytt obrör betecknat 9001 ned i området söder om brunn 34.

5.2 Temperaturvariationer i skikt

5.2.1 Metod

Syftet med detta steg i utvärderingen är att analysera akviferens temperaturvariationer vid uttag och infiltration av uppvärmt och avkyllt grundvatten. Målsättningen är att med hjälp av utförda temperaturmätningar kunna förstå hur lagret fungerar vid olika driftalternativ.

De tidsperioder under vilka temperaturvariationerna studerats har utvalts så att driftförhållandena varit entydiga. Detta innebär att pumpning skett mellan en uttags- och en infiltrationsbrunn huvudsakligen i samma riktning under hela perioden. Bristen på data från energianläggningen utgör i detta sammanhang ett problem. För att kunna definiera lämpliga utvärderingsperioder har flöden och inlagringstemperaturer beräknats översiktligt i form av medelvärden över ibland långa tidsperioder.

Förhållandena i akviferens södra del har studerats under byggvärmeproduktionen våren 1987, avsnitt 5.2.3, samt under sommaren 1988, avsnitt 5.2.4. Byggvärmeskedet är särskilt intressant eftersom avkylt grundvatten då infiltrerades i den opåverkade akviferen. Dessutom producerades enbart värme varför pumpning skedde i samma riktning under hela perioden.

Mätningarna i akviferens norra del är svårare att utvärdera eftersom cirkulationspumpningen i dammen samt i någon mån Brunnsvikens vattenståndsvariationer påverkar temperaturförloppen. Mot bakgrund av mätningar under somrarna 1988 och 1989 har kan dock vissa allmänna slutsatser dras, se avsnitt 5.2.5.

5.2.2 Bearbetningar av mätdata

I syfte att göra mätdata mer överskådliga har olika former av bearbetningar gjorts. Nedanstående framställning baseras främst på temperaturer i form av medelvärden för olika djupintervall. Djupintervallen uttryckta i absolutnivå (RH00) är:

skikt 1	gvy* - - 2 m
skikt 2	-2 m - - 5 m
skikt 3	-5 m - -10 m
skikt 4	-10 m - -15 m
skikt 5	-15 m - -20 m
skikt 6	-20 m och djupare

* Grundvattennivån är ca ± 0 .

Diagram över skiktens temperaturvariationer redovisas i Bilaga 5.1. Av diagrammen framgår att temperaturförändringen dämpas och fördröjs olika mycket beroende på observationsrörets läge och på vilket skikt som studeras. Temperaturförändringens förlopp är dessutom snabbare närmare infiltrationsbrunnen vilket innebär att en tänkt temperaturfront blir mer diffus ju längre ifrån brunnen den registreras. Dessa effekter kan förklaras av inhomogeniteter i akviferen, blandningsförlopp såsom frontkantring och av energiutbyte med omgivande marklager.

I vissa fall kan temperaturförändringen i det rör som ligger intill infiltrationsbrunnen underskrida den som uppmätts längre ut i akviferen. Detta beror främst på att man i rör belägna nära brunnen i princip avläser momentana värden på det infiltrerade vattnets temperatur varför dessa inte behöver vara representativa för inlagringstemperaturen sett över en längre period. Metoden med medelvärdesbildning över vissa djupintervall kan dessutom medföra att den temperaturpåverkade delen av vertikalprofilen fördelas olika i de olika observationsrören.

5.2.3 Södra polen, byggvärmeskedet

Byggvärme producerades under perioden 87-02-06 till 87-06-22. Uttag skedde i brunn 51 och det avkylda vattnet infiltrerades i brunn 34. Pumpflödet var i medeltal 17 l/s och inlagringstemperaturen 1.2°C. Driften under byggvärmeskedet motsvarar inte ett verkligt driftfall eftersom kallt vatten infiltrerades i en varm brunn.

Diagram över skiktens temperaturvariationer under perioden visas i Bilaga 5.1, sid 2-3. Observationsrören 8618 och 8608 ligger i omedelbar anslutning till de brunnar som användes varför de visar inlagrings- respektive uttagstemperaturerna.

En sammanställning av temperaturutslag och ungefärliga transporttider visas i nedanstående tabell. Som transporttid har definierats den tid det tar innan hälften av den totala temperaturförändringen i observationsröret har skett. Eftersom mätningar utförts med fjorton dagars mellanrum kan de uppskattade transporttiderna vara behäftade med relativt stora fel. I de fall temperaturen förändrats mindre än 1°C markeras detta med <1.

Tabell 5.2 Temperaturutslag (°C) / transporttid (dygn) vid kallvatteninfiltration våren 1987.

skikt	observationsrör					
	8618	8501	8701	8611	8604	8608
1	5.5/0	5.0/30	<1	<1	<1	<1
2	5.5/0	6.5/30	1.0/70	<1	<1	<1
3	6.5/0	7.0/30	3.0/55	1.0/120	<1	<1
4	----	7.0/40	5.0/50	4.0/90	1.0/120	<1
5	----	7.0/45	6.0/50	4.0/55	<1	<1
6	----	----	----	3.5/50	<1	<1

Av tabellen framgår att temperaturfronten efter 1-1.5 månad nått fram till obsrör 8501. Temperaturen sjunker ungefär lika mycket i samtliga skikt. När fronten efter knappt två månader når obsrör 8701 är temperatursänkningen något mindre. De största förändringarna fås på nivåer lägre än -10 m. Den snabbaste transporten sker i skikt 4 och 5 vilket beror på dessas högre permeabilitet. Dessutom kan transporten i akviferens djupare delar förstärkas till följd av densitetskillnaden mellan det vatten som infiltreras och det omgivande grundvattnet. Densitetsskillnaden orsakas av att det vatten som infiltreras har lägre temperatur och något högre salthalt än grundvattnet vid

brunnsfilternivån i brunn 34. Grundvattnets temperatur kring brunn 34 var innan infiltrationen påbörjades 7-8°C.

I obsrör 8611 har temperatursänkningen dämpats ytterligare och även här sker förändringarna på större djup. Inget av obsrören 8604 och 8608 uppvisar någon märkbar respons på kallvatteninfiltrationen i akviferen. Man får alltså inget termiskt genombrott i uttagsbrunnen trots pumpning i 135 dygn (4.5 månader). En beräkning av den termiska genombrottstiden för ett brunnspar (Claesson et al, 1985) ger vid akvifermäktigheten 15 meter och flödet 17 l/s en genombrottstid på ca 95 dygn. Avvikelsen beror förmodligen på att antagandet om homogena förhållanden inte gäller i detta fall.

Noterbar är också skillnaden i respons mellan obsrören 8611 och 8604. Avståndet mellan obsrören är endast ca 30 meter men trots det sjunker temperaturen ca 4°C i 8611 medan 8604 förblir i stort sett opåverkat. Orsaken bör vara att obsrör 8604 och därmed brunn 53 är belägna utanför åsens mest högpermeabla del. Dessutom ligger dessa punkter vid pumpning i brunnarna 34 och 51 långt ut i strömningsfältet varför skillnaden i transporttid längs olika strömningsvägar kan bli stor. En annan tänkbar orsak är det i kapitel 3.3 nämnda läckaget i brunn 52.

5.2.4 Södra polen, sommarperioden 1988

Sommaren 1988 cirkulerades grundvatten mellan brunnarna 52 och 34. Uttag av kallt grundvatten skedde under perioden 88-06-14 - 88-09-10 i brunn 52 och infiltration av det uppvärmda vattnet således i brunn 34. Grundvattentemperaturens variationer framgår av Bilaga 5.1, sid 4-5.

Uttags- och infiltrationstemperaturer mättes i detta fall i obsrören 8611 resp 8618. Medelflödet var ca 10 l/s medan inlagringstemperaturen uppgick till ca 14.5°C. Flödet har reducerats med hänsyn till korttidslagringen under perioden. Temperaturförändringar och transporttider framgår av tabell 5.3.

Tabell 5.3 Temperaturutslag (°C) / transporttid (dygn) vid varmvatteninfiltration sommaren 1988.

skikt	observationsrör					
	8618	8501	8701	8611	8604	8608
1	10.0/0	10.5/30	2.0/70	3.0/75	<1	<1
2	10.0/0	12.0/25	4.5/50	6.0/70	<1	<1
3	10.0/0	12.0/35	7.5/30	7.0/65	<1	<1
4	----	10.5/55	8.0/30	6.5/55	<1	<1
5	----	5.5/65	5.0/55	2.0/50	<1	<1
6	----	----	----	1.5/50	<1	<1

Tabellen visar att temperaturfronten når obsrören 8501 och 8701 ungefär samtidigt efter 1-2 månader. Temperaturhöjningen är dock betydligt mindre i 8701 där dessutom den största och snabbaste förändringen sker på en lägre nivå. Obsrör 8611 visar störst uppvärmning mellan nivåerna -2 m och -15 m. Fronten rör sig som väntat snabbast i det skikt, -10 m till -15 m, där brunnsfiltret finns.

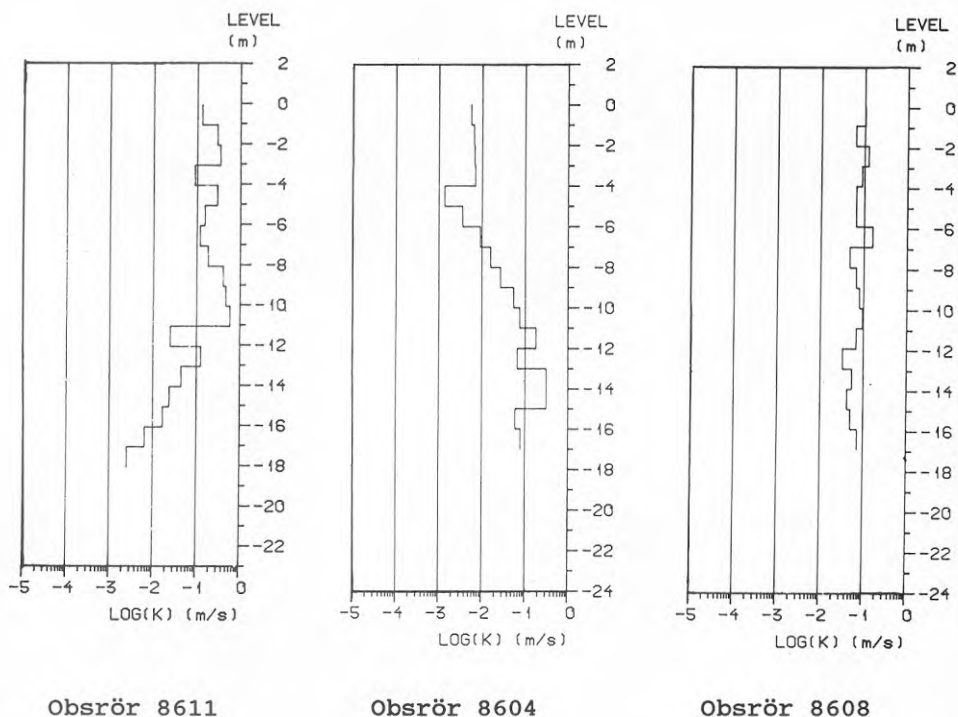
Värmefronten når obsrör 8611 efter ca 2 månader. Den beräknade termiska genombrottstiden är 113 dygn vid flödet 10 l/s och akvifermäktigheten 15 meter. Beräknad genombrottstid är alltså ungefär dubbelt så stor som den uppmätta. Orsaken till detta är troligen att brunn 34 och brunn 52 är belägna i samma högpermeabla stråk. Vid cirkulation av grundvatten mellan dessa båda brunnar kommer en stor del av transporten att ske inom ett begränsat område där strömningshastigheten blir hög.

Temperaturerna i obsrören 8604 och 8608 påverkas inte märkbart av infiltrationen i brunn 34. Någon påverkan är heller inte att förvänta med tanke på rörens lägen och att pumpningen endast pågick i ca 3 månader.

En jämförelse av de ovan behandlade driftfallen visar att brunnskombinationen 51 och 34 möjliggör inlagring av en betydligt större volym än brunnskombinationen 52 och 34 utan att termiskt genomslag erhålls. Brunn 51 verkar vara termohydrauliskt väl isolerad i förhållande till brunn 34 och någon risk för termisk kortslutning föreligger ej. Vid infiltration av varmt vatten i brunn 34 transporteras detta främst mellan nivåerna -2 m och -15 m. Skillnaderna i transporttid är dock inte så stora att man med denna indelning kan sägas ha funnit djupintervall med extremt hög permeabilitet.

Permeabilitetsskillnaderna i planet förefaller däremot vara stora. Huvuddelen av grundvattenströmningen sker i ett 50-100 m brett område i nord-sydlig riktning. Brunn 52 är belägen inom detta område medan brunnarna 51 och 53 är belägna på området östra respektive västra sida.

Ovanstående resonemang grundar sig på de temperaturmätningar som utförts i akviferen. Ett annat sätt att identifiera skikt med avvikande egenskaper är att beräkna den hydrauliska konduktiviteten, K (m/s), med hjälp av siktkurvor. Beräknade K -värden i observationsrören intill de kalla brunnarna framgår av figur 5.1. Diagrammen visar att K -värdet är mycket högt (0.1-1) i övre hälften av obsrör 8611 (brunn 52) medan värden i detta intervall endast uppnås på korta delsträckor i obsrören 8604 och 8608 (brunnarna 53 resp 51). Den på större djup avtagande genomsläppligheten i obsrör 8611 överensstämmer ej med resultaten i tabell 5.2 enligt vilken de snabbaste förloppen fås på stora djup.



Figur 5.1 Hydrauliska konduktiviteter, K (m/s), framräknade ur siktkurvor

5.2.5 Norra polen

Diagram över grundvattentemperaturens variationer åren 1988 och 1989 i området kring brunn 55 visas i Bilaga 5.1, sid 5-8. Temperaturdiagrammen visar att området under våren 1988 använts som korttidslager med omväxlande infiltration och uttag. Detta mönster bröts i maj månad 1988 då en mer kontinuerlig infiltration av uppvärmt vatten inleddes.

Temperaturen ökade under sommaren 1988 samtidigt i obsrören 8614, 8705 och 8706. Temperaturkurvorna för skikt 1 och 2 (gvy- -5 m) i de tre obsrören är i det närmaste identiska. Detta visar att värmespridningen i dessa skikt var snabb åtminstone intill avståndet 40 meter från brunn 55 (obsrör 8705). De högsta temperaturerna registrerades i slutet av sommaren 1988 och uppgick till 17°C i skikt 1 och 16°C i skikt 2. I intervallet -5 m till -10 m var temperaturen kring brunnen, obsrör 8614, 2-3°C högre än i 8705 och 8706 medan endast obetydlig påverkan kunde konstateras på större djup.

Brunn 55 användes inte under sommaren 1989. Trots detta steg temperaturen i området avsevärt med ungefär samma förlopp som föregående år. Högsta temperaturer var 16°C i skikt 1 och 14°C i skikt 2. I skikt 3 var skillnaden 2-2.5°C mellan 8614 och övriga obsrör.

Likheten mellan de beskrivna temperaturförloppen 1988 och 1989 tyder på att inverkan av andra faktorer än energilagringen dominerar. För att erhålla vatten-cirkulation i den damm som anlagts norr om kontorsbyggnaden uttages grundvatten vilket sommartid värms upp i dammen och därefter infiltreras norr om dammen. Detta förorsakar ett snabbt värmeutbyte med området kring brunn 55. En annan orsak skulle kunna vara läckage av ytvatten från dammen ned i akviferen.

Akviferlagrets norra pol har som framgår ovan starkt skiktberoende egenskaper vilket beror på akviferens höga permeabilitet. Huvuddelen av energitransporten sker mellan grundvattenytan och nivån -5 m. På större djup synes den termohydrauliska effekten eventuellt i kombination med en mot djupet avtagande permeabilitet minska transporten ut från brunnen. Vid uttag ur brunn 55 erhålls ofta ett kallare vatten än önskvärt. Detta beror på att brunnsfiltret når ned till nivån -5.9 m, dvs under det uppvärmda övre skiktet i lagret, varför även kallt vatten från akviferens djupare delar dras in i brunnen.

5.3 Simuleringar med tvåbrunnsmodell

5.3.1 Förutsättningar

Aquifer Storage Temperature Model har utvecklats vid Institutionen för matematisk fysik, LTH, och finns i varianter för såväl enkel- som tvåbrunnssystem. Nedan redovisade simuleringar har utförts med tvåbrunnsmodellen, (Hellström och Bennet, 1989).

Programmet simulerar de termiska processerna i akviferen och i omgivande marklager under antagande av vissa förenklingar beträffande grundvattenflödet. Akviferen antas ha konstant mäktighet och kan bestå av horisontella skikt med olika permeabiliteter. Uttags- och infiltrationsflödena är lika stora och kan göras tidsberoende så att en eller flera lagringscykler kan simuleras. Den konvektiva transporten beräknas endast i horisontal led medan värmeledningsprocesserna är tredimensionella. Följande villkor skall vara uppfyllda:

1. Försumbart regionalt grundvattenflöde
2. Försumbar inverkan av frontkantring
3. Försumbar inverkan av viskositetsskillnader mellan olika strömningsvägar

I akviferen vid Frösundavik är det främst kravet på försumbar inverkan av frontkantring som inte är uppfyllt. Som riktvärde anges att den karakteristiska kantringstiden, t_0 , bör uppgå till minst halva lagringscykelns längd. Lagringscykeln är i detta fall ett år. (Johansson, 1989a) redovisar beräkningar av t_0 för akviferen vid olika temperaturnivåer och permeabiliteter. Vid temperaturen 15°C i det varma vattnet och 5°C i det kalla blir t_0 med en antagen permeabilitet av $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$ ungefär 10 dygn. t_0 är vid isotropa förhållanden omvänt proportionell mot permeabiliteten varför man inte heller med ett för denna akvifer så lågt värde som $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$ uppnår det rekommenderade värdet.

Trots att programmet således egentligen inte är tillämpligt har ett antal simuleringar av temperaturförloppen i akviferen vid Frösundavik gjorts. På grund av de störda förhållandena vid norra polen har endast akviferlagrets södra pol simulerats. Tidsperioderna är desamma som utvärderats i 5.2.3 och 5.2.4 med tillägg för perioden 89-04-01 till 90-03-31.

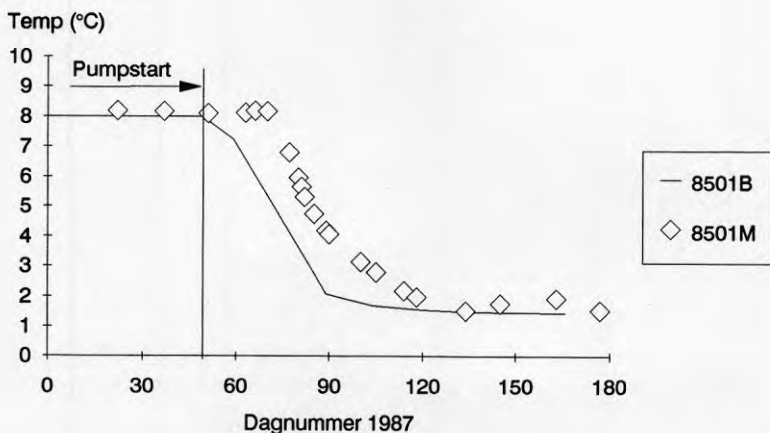
Simuleringarna har utförts med konstant K i vertikal led och akvifermäktigheten 15 meter. Begynnelsestemperaturerna har uppskattats ur mätdata. Beräkningsresultaten i de aktuella observationspunkterna har jämförts med temperaturmedelvärden från de av KTH utförda mätningarna.

5.3.2 Beräkningsresultat, byggvärmeskedet

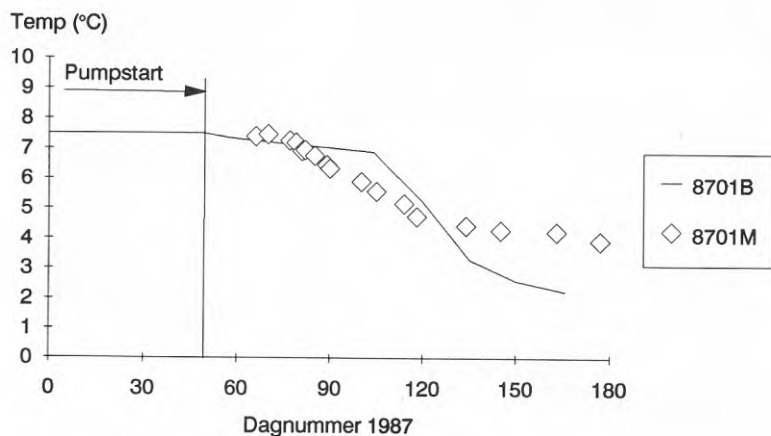
Under byggvärmeskedet våren 1987 producerades värme genom att grundvatten uttogs ur brunn 51. Det avkylda vattnet infiltrerades i brunn 34. Det genomsnittliga flödet var 17 l/s och inlagringstemperaturen 1.2°C.

Begynnelsestemperaturen antogs vara 7°C i större delen av akviferen. Undantag gjordes för några mindre områden där temperaturer på upp till 8°C ansattes. Figur 5.2-5.5 visar jämförelser mellan uppmätta och beräknade temperaturer.

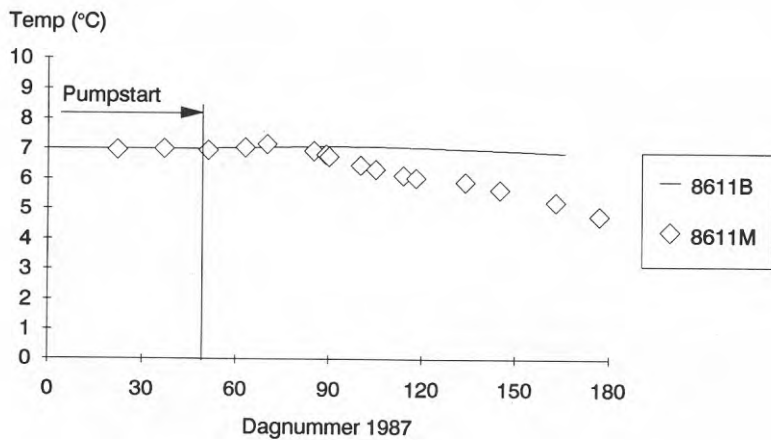
Av diagrammen framgår att det beräknade temperaturförloppet är snabbare än det uppmätta i obsrör 8501 medan förhållandet är omvänt beträffande obsrören 8701 och 8611. Detta beror troligen på att den verkliga akvifermäktigheten mellan infiltrationsbrunnen och obsrör 8501 är större än den som ansatts i modellen medan en förträngning i åsen norr om obsrör 8501 ger högre verkliga transporthastigheter än de som fås i den teoretiska modellen.



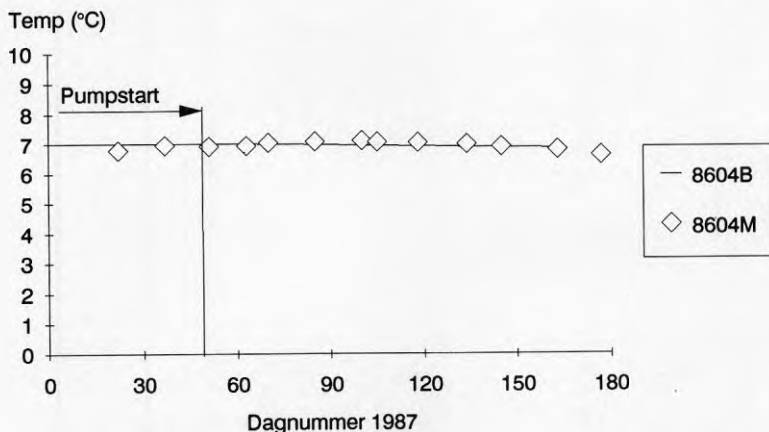
Figur 5.2 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8501.
B = beräknade värden
M = uppmätta värden



Figur 5.3 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8701.



Figur 5.4 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8611.

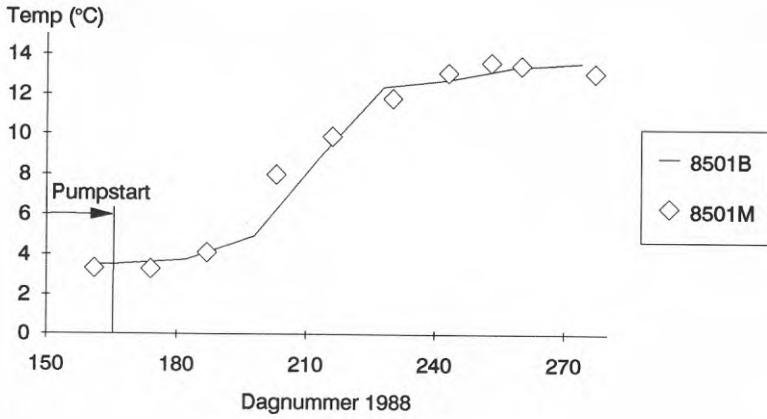


Figur 5.5 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8604.

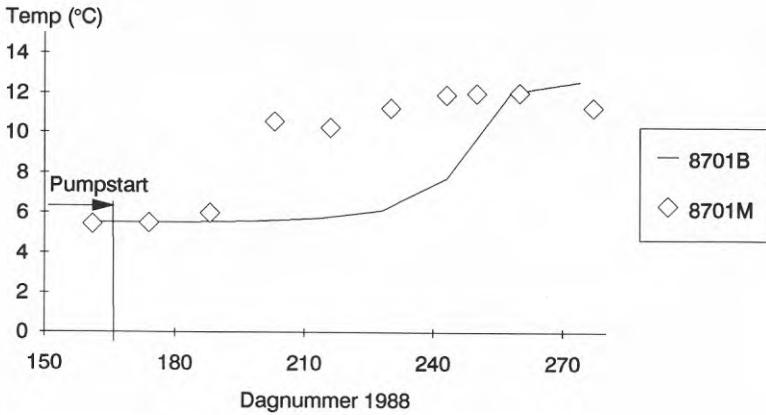
5.3.3 Beräkningsresultat, sommarperioden 1988

Sommaren 1988 gjordes grundvattenuttag i brunn 52 och infiltration av det uppvärmda vattnet i brunn 34. Medelflödet uppgick till ca 10 l/s och inlagringstemperaturen till 14.5°C. Med ledning av mätdata ansattes begynnelsestemperaturer i intervallet 3.5°C - 6.0°C.

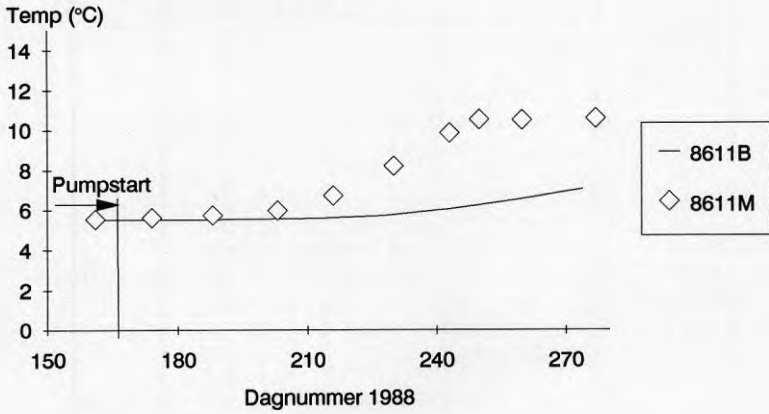
Beräknade och uppmätta temperaturer framgår av figur 5.6-5.9. Diagrammen visar på god överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta temperaturer beträffande obsrör 8501 medan sämre överensstämmelse erhållits för 8701 och 8611. Orsaken är att uttagsbrunnen vid detta driftfall är lokaliserad i åsens smala, högpermeabla del med höga transporthastigheter som följd. Förhållandena kommer alltså i högre grad än i föregående fall att avvika från modellens förutsättningar om en homogen, oändlig akvifer. Detta medför att resultaten från simuleringen vid detta driftfall uppvisar relativt stora avvikelser från de uppmätta förloppen.



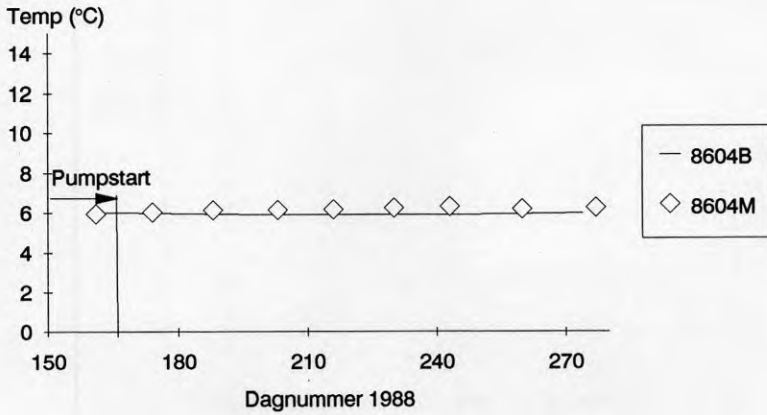
Figur 5.6 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8501.



Figur 5.7 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8701.



Figur 5.8 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8611.

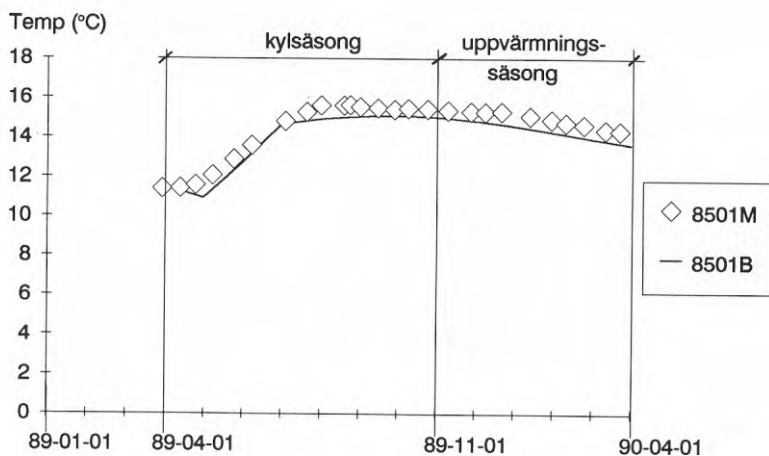


Figur 5.9 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8604.

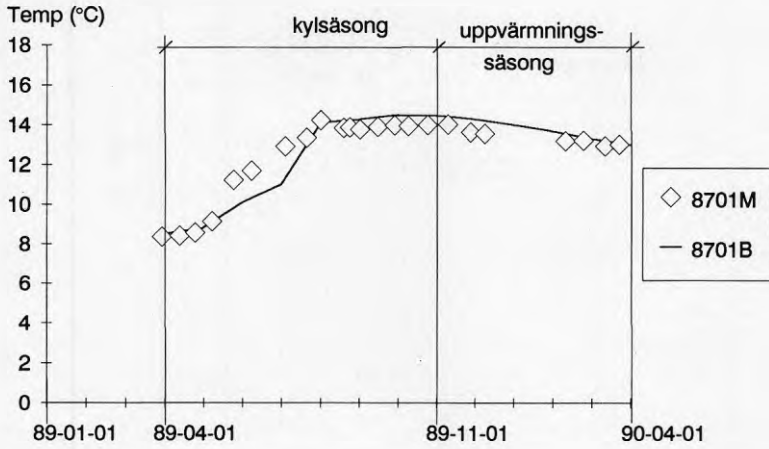
5.3.4 Beräkningsresultat, april 1989 - mars 1990

Under perioden april 1989 till mars 1990 producerades värme- och kylenergi genom grundvattencirkulation mellan brunnarna 34 och 51. Mellan april och oktober (kylsäsongen) skedde grundvattenuttag i brunn 51 och infiltration i brunn 34. Därefter pumpades vattnet under perioden november till mars (uppvärmnings-säsongen) i omvänd riktning. Flödena har framräknats ur driftdata medan inlagringstemperaturerna erhållits från mätningar i obsrören 8608 och 8618.

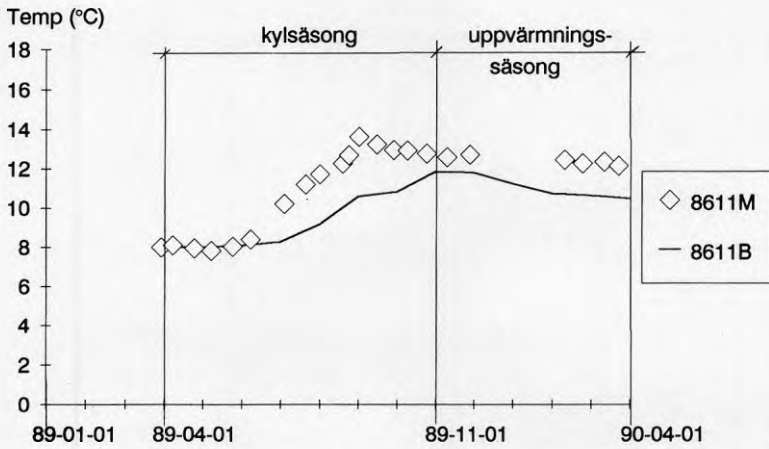
Resultat från beräkningar och mätningar visas i figur 5.10 - 5.13. Diagrammen visar att överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta temperaturer är god för obsrör 8501, relativt god för obsrör 8701 och mindre tillfredsställande för obsrör 8611. Orsaken till de stora avvikelserna i obsrör 8611 bedöms vara akviferens inhomogena struktur.



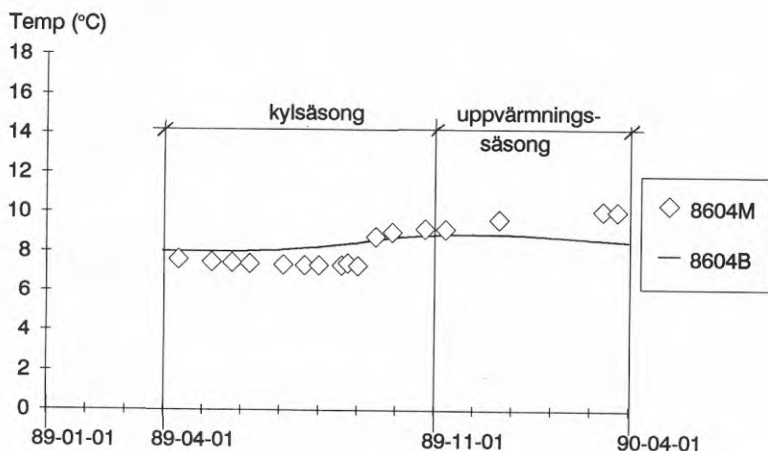
Figur 5.10 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8501.



Figur 5.11 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8701.

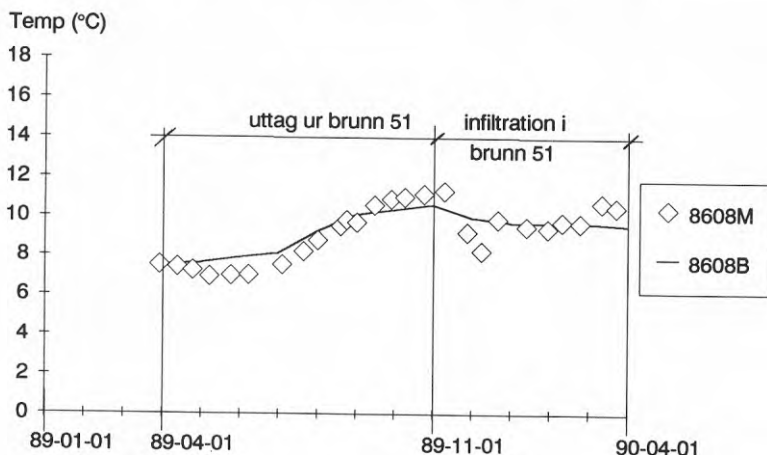


Figur 5.12 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8611.



Figur 5.13 Beräknade och uppmätta temperaturer i observationsrör 8604.

Det är även intressant att studera med vilken noggrannhet uttagstemperaturer kan förutsägas. I figur 5.14 visas beräknade och uppmätta temperaturer i obsrör 8608 beläget intill brunn 51 vilken under perioden april-oktober användes som uttagsbrunn. Av figuren framgår att avvikelserna mellan uppmätta och beräknade temperaturer uppgår till ca 1°C.



Figur 5.14 Beräknade och uppmätta uttagstemperaturer i observationsrör 8608 beläget intill brunn 51

I beräkningsmodellen har antagits en akvifer med oändlig utsträckning i planet och homogena struktur såväl i horisontal- som i vertikalled. Vidare har flöden och inlagringstemperaturer givits i form av medelvärden över 1-5 månader långa tidsperioder. Beräkningsresultaten kan generellt sett sägas vara mycket goda med tanke på dessa förenklingar.

Resultatet av beräkningarna beror i stor utsträckning på om begynnelsestemperaturens fördelning i akviferen ansätts korrekt. Problemet blir alltså att med uppmätta temperaturer i ett fåtal punkter som enda information uppskatta temperaturen i hela akviferen.

Förutom de observationsrör som ligger i omedelbar anslutning till brunnarna har för dessa beräkningar fyra obsrör utnyttjats. Antalet obsrör har befunnits vara tillräckligt för erhållande av goda resultat. Det fordras dock en viss kännedom om den geologiska strukturen för att rätt kunna bedöma temperaturfördelningen mellan obsrören.

5.4 Slutsatser

Den termohydrauliska utvärderingen av akviferlagret innehåller en genomgång av temperaturvariationerna i akviferen vid olika driftfall samt simuleringar av lagrets drift med ett datorprogram.

Utvärderingen har främst omfattat lagrets södra pol eftersom denna hittills har använts vid flertalet driftfall och förmodligen kommer att användas mest i framtiden. Förhållandena vid den norra polen är svårare att utvärdera beroende på avsevärd yttre påverkan och snabba temperaturförlopp.

Utvärderingen har lett fram till följande slutsatser:

Södra polen

- den naturliga grundvattenströmningen är liten vilket gör att inlagrad värme ligger kvar kring brunnen
- täckande marklager är mäktigt vilket innebär små värmeförluster på grund av uteluftens temperaturvariationer
- störst lagringskapacitet erhålles om den södra varma brunnen (brunn 34) används tillsammans med den östra kalla brunnen (brunn 51)
- lagerkapaciteten motsvarar vid drift av brunnarna 34 och 51 minst 1.5 kyla-säsongers behov

- simuleringarna visar på god överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta temperaturer närmast brunn 34 medan de uppmätta förloppen är snabbare än de beräknade längre från brunnen

Norra polen

- hög permeabilitet medför termisk skiktning
- stora värmeförluster
- inlagrad värme påverkas av dammen norr om kontorsbyggnaden på grund av uttag av grundvatten för vattencirkulation i dammen
- vid uttag ur brunn 55 fås inblandning av kallare vatten från akviferens djupare delar vilket försämrar den norra polens funktion

Simulering av de termiska förloppen visar generellt att modellerna väl kan beskriva de termiska förloppen. Den största svårigheten i simuleringsarbetet ligger dock i att korrekt kunna tolka och beskriva den geologiska formationen. Det synes därför ej vara rimligt att försöka beräkna temperaturen i en godtycklig punkt i akviferen vid en viss tidpunkt. Med god kännedom om temperaturfördelningen i akviferen vid starttidpunkten kan däremot modellerna användas för beräkning av uttagstemperaturer och i vissa fall även för beräkning av medeltemperaturer över en godtycklig vertikalprofil i akviferen.

6. TEKNISK UTVÄRDERING AV ENERGISYSTEMET

6.1 Produktion

6.1.1 Värme

Värmeproduktionen, se figur 2.3, har under den egentliga driftperioden efter 1989-04-01 väl tillgodosett behoven. Anläggningen har emellertid inte utsatts för full belastning. Under november och december 1989 rådde visserligen stark kyla men eftersom elvärmen i lokalerna delvis var ur funktion drevs ventilationen tidvis med återluft vilket avlastade värmeproduktionen.

Tillgängligheten har varit hög. De störningar som noterats har orsakats av planerade service- och underhållsåtgärder. Ett undantag är värmepumparna som kräver återkommande reparationer.

Produktionen av förvärme har tidigare störts av att ventilationen kopplats i återluftsläge vid låg utetemperatur. Från årsskiftet 1989/ 90 har ingen återluft förekommit vilket också framgår av de uppmätta värmemängderna för de första månaderna 1990, jfr figur 2.3.

Värmepumparnas värmefaktor har uppmätts till ca 3.0 beräknat på årsbasis. Detta understiger både förväntningarna och tillverkarens uppgifter. Av figur 2.1 framgår att man kan erhålla ett kontrollvärde på mätnoggrannheten hos värmemängdsmätarna i värmesystemet genom att addera EM20, EM30 och VM07 samt subtrahera summan av levererad värme (VM01, VM02 och VM03). Den differens som erhålls är ett mått på det totala mätfelet i systemet och visas i ruta AC00. Denna beräkning har genomförts för olika perioder och ger alltid en "förlust" av ca 10% av den tillförda värmemängden.

Värmeförluster fås dock i ackumulatortankarna, men man kan visa att ackumulatortankarnas verkliga förlust är en försumbar del av den uppmätta avvikelser.

Man kan förmoda att elmängdsmätarna EM20 och EM30 har ett mindre mätfel än vätskemätarna. VM07 arbetar som värmepumparna, dvs antingen på full effekt eller också står den still. Detta bör leda till god mätnoggrannhet. Mätarna för utgående flöden (VM01 och VM02) arbetar under mer varierande förhållanden och en eftersläpning med låga flöden kan förväntas. Detta förklarar i så fall en del av den uppmätta avvikelser.

6.1.2 Kyla

Kylproduktionen, se figur 2.4, har under driftperioden väl tillgodosett behoven. Effekt- och energiproduktion av kyla har varit uthållig trots en kraftig laddning av värme i akviferens södra del med åtföljande höga grundvattentemperaturer. Vid några tillfällen under försommaren 1989 krävdes manuell uppstartning av systemet, jfr avsnitt 6.3. I juni 1990 begränsades kapaciteten vid några tillfällen vid drift från brunn 51. Den troliga orsaken var luftläckage i sugledningen i brunn 51.

Mätningarna visar också att mindre mängder förkyla produceras även vintertid. Orsaken till detta är styrningen av grundvattenflödet till värmeväxlaren. Tidvis uppstår en pendling som medför att värmepumparna tar viss värme från förvärmningssystemet. Denna olägenhet tas bort hösten 1990 genom ändrade kriterier för start av grundvattenpumparna.

6.2 Distribution

6.2.1 Värmesystemet

Efter de förändringar som genomfördes vintern 1988/89 har värmesystemet arbetat med delvis nya förutsättningar, jfr (Åbyhammar, 1990). Systemet har i huvudsak tillgodosett behoven men saknar marginaler.

Under september och oktober 1989 byttes vattnet i byggnadens värmesystem. Vid rengöring och besiktning av ackumulatortankarna konstaterades viss korrosion orsakad av de tillsatser som fanns i det först påfyllda vattnet. Flödet i systemet är dagtid 9-11 l/s (jfr maximal kapacitet 12 l/s). Nattetid är flödet förvånande stort, 5-7 l/s.

6.2.2 Glykolsystemet

Förvärmning av inkommande ventilationsluft har inte provats vid låga utetemperaturer. Flödet i systemet är dock det avsedda men avkylningen av glykolen är vid utetemperaturer 0°C mindre än beräknad. Trots detta har den energimängd som tillförts via förvärmningen under hela vintern 1989/90 ökat. I februari till april överträffades den planerade förvärmningen i betydande grad. I mars översteg den energimängden från förvärmningen den mängd som levererats från det egentliga värmesystemet.

På grund av de låga temperaturdifferenserna kan man inte utesluta ett onormalt stort mätfel. Detta bör emellertid vara störst vid låga effekter och därmed inte påverka dessa bedömningar.

Kylfunktionen har väl tillgodosett det under sommaren 1989 tidvis stora kylbehovet.

6.2.3 Kylsystemet

Kylsystemet har väl tillgodosett behoven. Dimensionerande effekt har aldrig uppnåtts men kan tillgodoses med god marginal. Temperaturdifferensen i systemet är 1.5 - 2°C i stället för planerade 4°C. Detta har en negativ inverkan på mätnoggrannheten vid låg last.

De tidigare intrycken av liten variation natt/dag och vinter/sommar består. I samband med utvärdering av byggnadens elförbrukning i ett annat projekt (Vattenfall Utveckling AB) har en möjlig orsak föreslagits. Teorin bygger på oavsedd överföring av värme och kyla mellan olika lokaler. Detta kan uppstå om de enskilda rumstermostaterna ges helt olika inställning. Värmeöverföringen mellan olika rum och/eller lokaler kan ske genom öppna dörrar eller eventuellt genom väggar och bjälklag.

Av figur 2.2 framgår att kyllasten kan delas upp i en konstant del om ca 150 MWh/mån och en variabel års-tidsberoende del om 0 - 150 MWh/mån. Den kontinuerliga kyleffekten från köskyla, telefonväxel, direktkylda datorer etc uppskattas till ca 70 kW vilket motsvarar ca 50 MWh/mån. Med dessa antaganden utgörs ca 100 MWh/mån av oönskad kyla som kompenseras med elvärme lokalt i rummen. Det verkliga kylbehovet i rummen är då för perioden juli 1989 till juni 1990:

Kyltak	+	förkyla	-	maskinkyla	-	oönskad kyla	
2767	+	303	-	12*50	-	12*100	=1270 MWh

Med kontorsytan 64 000 m² blir då den verkliga kyl-energiförbrukningen 20 kWh/m²/år.

Vid generalisering av dessa resultat är det viktigt att beakta de byggnadstekniska aspekterna. Kontorsrummen har stora fönsterytor av typ 2-glas isolerruta, vanligen med solavskärmning, samt ett betongbjälklag över vars yta rumsluften fritt kan cirkulera. Denna konstruktion ger låga kylbehov såväl vad avser effekt som energi. Värmeöverskottet under dagen tas endast delvis upp av kylsystemet. Bjälklagets betong ackumulerar en betydande del, eftersom temperaturen under rummets tak når förhöjda värden. När fönsterytorerna är stora och har måttlig termisk isolering kan den ackumulerade värmen nattetid avledas till omgivningen. I

en byggnad med mindre fönsterytor och med 3-glasfönster hindras avkylningen nattetid varför kylbehovet ökar.

6.3 Styr- och reglerfunktioner

6.3.1 Värme

Styrningen av värmepumpar och elpannor utformades med de två föregående årens effektbrist i färskt minne. Värmeackumulatorerna hålls därför ofta varmare än nödvändigt. Detta får till följd att värmepumparna startas allför ofta (ca 3 ggr/dygn vintertid). Styrningen skall förändras så att ackumulatorerna utnyttjas mer. Värmepumparna får då arbeta mot en något lägre temperatur än tidigare.

Akkumulatorfunktionen vars främsta syfte tidigare var att ge effekttillskott vid stort effektbehov kommer att förändras något. Den nya eltaxan ger en effektavgift för värmepumparna som överstiger 100 kkr/år. En ny funktion blir då att överbrygga höglastperioden för eleffekt kl 10.00 till 14.00.

Huvudshuntarnas reglerfunktion är vid vissa tillfällen otillfredsställande. Orsaken är en icke avsedd strömning i rörsystemet vilken skall åtgärdas genom installation av en backventil.

6.3.2 Glykolsystemet

Regleringen av grundvattenflödet för värmning av glykolsystemet tenderar att pendla. Orsaken tros vara att reglerfunktionen har en ogynnsam fördröjningsfunktion. Samma fenomen uppträdde vid kylning. Här modifierades sommaren 1989 reglerfunktionen så att en konstant utgående grundvattentemperatur (17°C) upprätthålls mot tidigare 15°C. Detta har resulterat i en bättre funktion.

6.3.3 Kylsystemet

De initiala problemen vid varm och fuktig sommarväderlek har undanröjts sedan våttemperatur bytts mot daggniktstemperatur som reglerparameter. Som tidigare nämnts kunde en inbyggd begränsningsfunktion låsa systemet i 0-läge vilket krävde manuell start vid vissa tillfällen. Detta eliminerades genom att begränsningsfunktionen togs bort. Vintertid inträffar i vissa driftsituationer okontrollerad kylning. Detta kommer att åtgärdas genom att två backventiler byts och ersätts av ventiler med högre öppningstryck.

7. DRIFTERFARENHETER

7.1 Grundvattensystemet

Sedan driftstarten 1987 har grundvattenbrunnarna uppvisat en hög tillgänglighet. Endast i en brunn har rensning efördrats, brunn 34, vilken fick igensättningsproblem initialt sommaren 1987. Brunnen rensades mekaniskt oktober 1987 och kemiskt i juni 1988. Därefter har någon igensättning eller några övriga funktionsproblem ej konstaterats.

Som nämnts ovan uppstod kapacitetsproblem vid uttag ur brunn 51 under juni 1990. Därvid inkopplades brunn 53 för att erhålla önskad kapacitet. Vid undersökning av brunn 51s funktion kunde ingen försämring konstateras. Det kunde dock konstateras högt luftinnehåll i sugledningen. Eftersom kapaciteten i brunn 53 är större krävs ett lägre undertryck för att erhålla ett visst flöde jämfört med om uttaget sker från brunn 51. Slutsatsen blev att det var ett luftläckage på sugledningen som orsakade kapacitetsbegränsningen.

Det kan noteras att flexibiliteten på grundvattensidan har möjliggjort att anläggningen har kunnat drivas utan avbrott orsakade av grundvattenkretsen.

Vakuumpumparna som har till uppgift att evakuera luften i grundvattenledningarna har fått bytas pga onormalt slitage. Orsaken till det höga slitaget var för låg placering av en pump för kyl- och tätningssvatten.

I två av brunnarna sker inläckning av vatten. Dessa kommer därför att byggas om så att täta väggar och en tät botten erhålls.

7.2 Energicentralen

Värmepumparna har hittills inte kunnat uppvisa förväntad driftsäkerhet. Flera fel har uppstått, t ex oljeläckage och kompressorhaveri. Detta har reparerats av leverantören enligt gällande garantivillkor. Den sammanlagda stilleståndstiden för de tre värmepumparna uppgick under 1989 till ca en månad.

Någon igensättning eller funktionsförsämring har ej konstaterats i systemets övriga komponenter som värmeväxlare eller pumpar.

Korrosionsförloppet i ackumulatortankarna studeras av Korrosionsinstitutet och har ej givit anledning att vidtaga ytterligare åtgärder.

Flera av de motordriva styrventilerna har ej fungerat tillfredställande och har fått repareras.

7.3 Styr- och reglersystemet

Styrdatorn har sedan april 1989 uppvisat en hög driftsäkerhet. Svårigheter att erhålla vissa funktioner har dock funnits, jfr avsnitt 6.3.

Justering och optimering av styrvillkor pågår och nya villkor kommer att läggas in i datorn under hösten 1990.

7.4 Akviferlagret

Uttag och inlagring av uppvärmt och nedkylt grundvatten har uppvisat avsedd funktion. Sedan energi-anläggningen togs i drift har den södra polen använts under den mesta tiden. Erfarenheterna är därför störst därifrån.

Den södra polen fungerar bra och inlagrad värme kan uttagas utan någon stor temperatursänkning. Värmespridningen sker ganska långsamt, primärt radiellt ut från brunn 34 och sekundärt med en viss förskjutning norrut i åsens central del. Från de observationsrör som finns i området kan en viss uppfattning av energiinnehållet i lagret erhållas.

I den norra polen sker värmespridningen snabbare och till att börja med i akviferens övre del. Detta leder till relativt stora värmeförluster. Värmelagret påverkas också av cirkulationspumpningen i dammen. Beroende på den större värmespridningen och observationsrörens lägen är det svårare att uppskatta energiinnehållet i den norra polen än i den södra polen.

8. EKONOMI

Energikostnader kan beräknas på flera olika sätt och med olika förutsättningar. Jämförelser mellan olika energisystem blir därför ofta haltande. I den följande ekonomiska analysen har valts att jämföra två studerade anläggningar samt att därefter närmare försöka ta fram verkliga kostnader för det akviferbaserade energisystemet utgående från aktuella mätvärden.

Eftersom arbeten både återstår och eventuellt kan tillkomma kan nedan angivna kostnader ej betraktas som fullständiga.

8.1 Jämförelse av studerade anläggningar

I samband med förprojekteringen av byggnaden gjordes jämförelser mellan tänkbara energisystem. Huvudalternativet till det akviferbaserade energisystemet var en konventionell anläggning bestående av fjärrvärme och kylmaskiner samt värmewäxling mellan till- och frånluft.

Investeringskostnaden (1986 års penningvärde) beräknades för en konventionell anläggning, med de lägre kapaciteter som då var aktuella, till ca 8.7 Mkr och för en akviferbaserad anläggning till ca 8.5 Mkr. Beräknade driftkostnader för de båda alternativen finns redovisade i föregående rapport, (Åbyhammar 1990) samt komprimerat och något modifierat i Bilaga 8.1. Med då gällande energipriser och beräknad energiförbrukning blev den årliga driftkostnaden 0.71 Mkr för akvifersystemet och 1.15 Mkr för en konventionell anläggning. Till detta kommer kapitalkostnader och energiskatt. I anläggningskostnaden har ej inräknats anslutningsavgifter för el och fjärrvärme.

Kapitalkostnaderna har beräknats enligt annuitetsmetoden med räntan 17% och med 15 års avskrivning för det akviferbaserade energisystemet och 20 år för ett konventionellt system. Energikostnadernas fördelning framgår av Tabell 8.1. Kostnaderna har beräknats med de energipriser som gällde 1988 samt med nu gällande priser, 1990. Årskostnaden för akvifersystemet blir i 1988 års prisnivå 370 kkr lägre respektive 480 kkr lägre i 1990 prisnivå jämfört med ett konventionellt system. Energikostnaden per producerad kWh värme och kyla blir ca 12 respektive 14 öre lägre för akvifersystemet.

Genom den låga andelen köpt energi blir den akviferbaserade anläggningen mindre känslig för energipris-höjningar än en konventionell anläggning.

Akviferlagrets yttre delar (brunnar och ledningar) upptar en större markyta än en konventionell anläggning. Likaså är utrymmesbehovet inomhus något större. Båda dessa orsaker innebär att en ökad kostnad kan vara motiverad för akviferlagret. Kostnaderna bedöms dock vara svåra att uppskatta och i hög grad beroende på framtida markanvändning. I kalkylerna nedan har därför inte akviferanläggningen belastats med någon extra kostnad beroende på dessa orsaker.

Tabell 8.1 Kostnadsjämförelse mellan ett akviferbaserat och ett konventionellt energisystem vid SAS Frösundavik i 1988 respektive 1990 års energipriser.

	Akvifersystem		Konventionellt system	
	1988	1990	1988	1990
K O S T N A D E R (kkr/år)				
Fasta avgifter	110	110	148	148
Rörliga energikostn.	351	351	784	919
Vattenavgift	0	0	71	71
Skatter (ej moms)	100	100	64	64
Drift och underhåll	250	300	150	175
Kapitalkostnad:				
Avskrivn. 15 år 17% rta	1578	1578		
Avskrivn. 20 år 17% rta			1546	1546
Summa	2389	2439	2763	2923
E N E R G I P R O D U K T I O N (GWh/år)				
Kylproduktion	2.65	2.65	2.65	2.65
Värmeproduktion	3.75	3.75	3.00	3.00
E N E R G I K O S T N A D (kr/kWh)				
Totalt	0.37	0.38	0.49	0.52

8.2 Verkliga kostnader

De verkliga kostnaderna för den utbyggda anläggningen har beräknats för perioden juli 1989 till juni 1990 med de energidata som redovisats i kapitel 2.

Anläggningskostnaderna har beräknats till 15.6 Mkr, exklusive byggherreomkostnader, jfr (Åbyhammar 1990). Dessa kostnader är avsevärt större än de som redovisats ovan i avsnitt 8.1. Detta kan förklaras av att det verkliga värmebehovet blev större än beräknat varför energianläggningen kompletterades bla med en tredje värmepump. Energianläggningen fick därför byggas i två etapper, vilket ledde till ökade kostnader.

Kostnaden för en motsvarande konventionell anläggning vid SAS är svår att uppskatta. Kompletteringar i befintliga centraler blir alltid dyrare än om allt kan byggas i en etapp. Generellt kan dock sägas att en konventionell anläggning är mer flexibel vid förändrade värmebehov. Därför är det rimligt att anta att merkostnaderna för en höjning av värmekapaciteten skulle blivit lägre för en konventionell anläggning byggts. Däremot, om det verkliga kylbehovet krävt en utbyggnad av kylkapaciteten i energicentralen hade merkostnaden för ett konventionellt system blivit högre eftersom fler kylmaskiner då erfordrats. Vi har därför valt att nedan endast presentera verkliga kostnader för det akviferbaserade systemet.

Underlaget för nedanstående sammanställning finns redovisat i bilaga 8.1.

Kapitalkostnaderna har beräknats enligt ovan men med en realränta istället för kalkylränta (realränta är lika med kalkylränta minus inflationen). Inflationen har uppskattats till 10 % vilket ger en realränta av $17-10=7\%$. Kapitalkostnaderna blir då 1713 kkr/år.

Driftkostnaderna består av personalkostnaderna för 1.25 tjänst, dvs ca 400 kkr/år samt underhåll av maskinell utrustning. Denna post är svår att uppskatta eftersom utförda reparationer hittills har täckts av garantier. En rimlig uppskattning kan dock vara 300 kkr/år. Personal- och underhållskostnaderna blir då 700 kkr/år.

Energikostnaderna för inköpt energi kan beräknas utgående från faktiska kostnader. För perioden 1989/90 var de faktiska elkostnaderna 0.39 kr/kWh inklusive elskatt och fasta avgifter vilka fördelats lika över all elförbrukning i byggnaden. Med en elförbrukning av 1283 MWh under perioden blir energikostnaden 500

kk. Om denna kostnad fördelas lika på total värme- och kylproduktion (3.51 GWh respektive 3.07 GWh) blir kostnaden för den inköpta elenergin 0.076 kr/kWh.

Totalkostnaden för perioden juli 1989 till juni 1990 blir då:

Kapital:	1713 kkr
Personal:	400 kkr
Underhåll:	300 kkr
Energi:	500 kkr

Summa: 2913 kkr

Under perioden levererade energianläggningen 3.51 GWh värme och 3.07 GWh kyla, dvs totalt 6.58 GWh. Energi-kostnaden blir 0.44 kr/kWh eller ca 45 kr/m²/år. Noteras bör att i denna förbrukning ingår ej kostnader för direktverkande el, som kan påkopplas vid behov i respektive kontorsrum.

Det kan noteras att kostnaderna per kWh (ca 0.44 kr/kWh) ungefär motsvarar fasta och rörliga kostnader för el (ca 0.40 kr/kWh) och fjärrvärme (ca 0.35 kr/kWh).

9. FRAMTIDA DRIFTSTRATEGIER

9.1 Energicentralen

Verksamheten i en kontorsbyggnad är aldrig statisk utan anpassas kontinuerligt till aktuella behov. En energicentral, som har till uppgift att försörja byggnadens behov, måste därför var flexibel för att kunna motsvara byggnadens aktuella energibehov. Att utforma driftstrategier för att erhålla optimal drift bör därför ske med jämna mellanrum.

Energianläggningen vid SAS har uppvisat stor flexibilitet vad gäller att täcka byggnadens kylbehov effektmässigt. Energimässigt kan dock ett ökat kylbehov leda till att balansen mellan värme- och kyluttag från akviferen förskjuts ytterligare så att en successiv temperaturhöjning erhålles i akviferen.

Värmeeffekten har höjts genom installation av en tredje värmepump 1988. Ett överskott av värme i akviferen medger produktion av betydligt mer värme än som producerats under vintrarna 1988/89 och 1989/90 om detta erfordras.

Driftstrategin för energianläggningen har förändrats genom de kompletteringar och förändringar som skett i energicentralen. Nya styrfunktioner har framtagits vilka anpassats till byggnadens verkliga energibehov, till aktuella energitaxor samt så att goda driftsförhållanden erhålls för de olika komponenterna, t ex ändrade start- och stoppkriterier för värmepumparna.

Den viktigaste driftstrategin är att på några års sikt upprätthålla energibalans vad gäller uttag och inlagring av energi i akviferen. Anläggningen beräknas ge god balans under ett år med normalt vinterklimat. Eventuellt kan visst värmeunderskott uppstå om den oönskade kylan kan minskas. Mindre obalanser kan motverkas genom samordning med driften av dammanläggningen.

9.2 Akviferlagret

De två senaste åren har varit mildare än normalt. Detta medför att den värmemängd som inlagrats i akviferen har varit större än normalt. Energibalansen kommer säkerligen att förändras och eventuellt även bli negativ under kallare år. Antalet graddagar under perioden juli 1988 till juni 1989 var 3118, vilket ska jämföras med normalårets 3764 graddagar. Eftersom energianläggningen ej täcker byggnadens hela värmebehov är det svårt att bedöma dess inverkan på energibalansen för ett normalår.

Under de tre första årens drift har flera olika brunnskombinationer använts. Den termiska utvärdering som gjorts av lagret visar att den södra polen med brunn 34 och 51 har fungerat bra både vid produktion av värme och kyla. Lagringskapaciteten motsvarar ca 1.5 års behov av värme då det varma vattnet börjar påverka temperaturen i den kalla brunnen.

Den norra polen har stor lagringskapacitet men värmeförlusterna synes av flera orsaker vara betydande i denna del. Detta innebär att den norra polen är mindre lämplig för säsongslagring. Den bör istället främst utnyttjas för att reglera energibalansen i akviferen.

Den driftstrategi som utkristalliseras blir därmed:

- *Normalt utnyttjas den södra polen under hela året.*
- *Vid värmeöverskott utnyttjas norra polen under en del av sommaren. På hösten kyls grundvattnet genom cirkulation genom dammen.*
- *Vid värmeunderskott inlagras sommartid varmt grundvatten genom cirkulation genom dammen. På hösten utnyttjas den inlagrade värmen i den norra polen.*

10. SLUTSATSER

I föregående rapporter, (Johansson 1989b) och (Åbyhammar 1990), presenterades slutsatser och erfarenheter från projektering, byggande, idrifttagnings- och intrimningsperioden. Denna rapport behandlar huvudsakligen en period med normal drift. Eftersom rapporten samtidigt är en slutrapport för hela utvärderingsprojektet har valts att även ta med vissa slutsatser från föregående rapporter.

Erfarenheterna från energianläggningen visar:

- att anläggningen har haft hög tillgänglighet trots att den är en experimentbyggnadsanläggning
- att anläggningen har uppfyllt dimensionerande data men att anläggningens värmekapacitet ej varit tillräcklig för byggnadens verkliga behov vilket har medfört kompletteringar
- att det är möjligt att inordna experimentbyggnadsanläggningar i normal projektering, normalt byggande och normal drift
- att anläggningen funktionellt blivit bättre och bättre och att den dessutom har en inbyggd flexibilitet, speciellt vid kylproduktion, som kan utnyttjas när behovet förändras
- att trots en enkel systemlösning av energianläggningen blev dess intrimningsperioden lång beroende på samspelet mellan byggnadens verkliga energibehov och energicentralens driftsstrategi
- att anläggningen är lönsam med en kostnad för inköpt energi av ca 0.08 kr per producerad kWh värme och kyla
- att den totala energiproduktionskostnaden (drift-, underhålls-, personal- och kapitalkostnader) är ca 0.45 kr per producerad kWh kyla och värme
- att anläggningen kan tjäna som en betydelsefull referensanläggning för akviferlagringsteknik, både nationellt och internationellt
- att få vattenkemiska problem har förekommit i akviferlagarsystemet
- att akviferlagrets funktion varit god i södra delen av lagret medan den varit mindre god i norra delen

- att termohydrauliska simuleringar, efter noggrann inkalibrering, kan användas för beräkning av uttagstemperaturer och i vissa fall även för beräkning av medeltemperaturer över en godtycklig vertikalprofil i akviferen.

REFERENSER

Claesson, J et al, 1985, Markvärme, En handbok om termiska analyser. (Byggforskningsrådet.) BFR T16:1985. Stockholm.

Hellström, G & Bennet, J, 1989, Model of Aquifer Storage System, Doublet Well, Manual for Computer Code. (LTH, institutionen för Matematisk fysik.) Lund.

Johansson, S, 1989a, Design of Aquifer Thermal Energy Storage - A case study. (Byggforskningsrådet.) BFR D4: 1989. Stockholm.

Johansson, S, 1989b, Termohydraulisk uppföljning av akvifervärmelagret vid SAS, Frösundavik. (KTH, institutionen för Vattenbyggnad.) Report No 43. Stockholm.

Lidström, K, 1989, Stockholmsåsen vid Frösundavik, Hydrogeologisk studie med avseende på energilagring. (Stockholms Universitet, Naturgeografiska institutionen.) Examensarbete. Stockholm.

Åbyhammar, T, Eriksson, A & Johansson, S, 1990, Utvärdering av akviferbaserat energisystem vid SAS huvudkontor - Delrapport. (Byggforskningsrådet.) BFR R : 1990. Stockholm.

Sammanfattning av "Utvärdering av akviferbaserat energisystem vid SAS huvudkontor, Frösundavik - Delrapport" (Åbyhammar, T, Eriksson, A & Johansson, S, 1990, BFR R: 1990)

SAS nya huvudkontor i Frösundavik blev inflyttningsklart i januari 1988. Byggnaden är belägen på en del av Brunkebergsåsen (Stockholmsåsen), vars grundvattenmagasin (akvifer) också används för lagring av kyla och värme.

I denna rapport redogörs för planering, byggande och idrifttagning av anläggningen. Erfarenheter och hittills insamlade mätdata av större betydelse redovisas. Uppkomna problem i anläggningen och i angränsande system som bedöms ha ett allmänt intresse beskrivs ingående. Helhetsbilden av anläggningen är positiv eftersom anläggningen har uppfyllt och i vissa fall överträffat ställda funktionskrav. Rapportens problemorienterade framställning är därför ej representativ för anläggningens drift utan hänger samman med att alla typer av problem bör belysas i en rapport av denna typ.

Akvifervärmelagret består av en del av grundvattenmagasinet i den rullstensås som genomkorsar tomtens. Brunnssystemet består av fem brunnar placerade så att grundvattnet kan cirkuleras mellan två varma och tre kalla brunnar. I de varma delarna av lagret är temperaturen 8-15°C, i den kalla delen av lagret 2-12°C. Den utnyttjade akvifervolymen är ca 800 000 m³. Den naturliga grundvattenströmmen i akviferen är liten och har i detta fall ej påverkat lagrets utformning.

Installerad uttagskapacitet är ca 190 l/s. Härav har som mest utnyttjats ca 110 l/s. Energianläggningens yttre del består av brunnar, brunnsöverbyggnader och grundvattenledningar. Samtliga pumpar och styrventiler har placerats i energicentralen för att skapa goda tillsynsmöjligheter. Pumparna är utrustade med varvvalsreglering.

Byggnaden som utgör SAS-Frösundavik har en bruttoyta av 64 000 m² och omfattar ca 1 450 kontorsrum, en större inglasad gata, två idrottsanläggningar samt tre garageplan. Som primär energikälla tillförs endast el. Från en energicentral distribueras hela kylbehovet om maximalt ca 2 MW. Värme för uppvärmning av tilluft och källarlokalerna, ca 3 MW, distribueras från energicentralen i ett högtempererat system, 60/20°C, och ett lågtempererat, frysskyddat system, 16/0°C. Kontorsrummen värms av direktverkande el med en sammanlagd effekt av ca 500 kW inklusive diverse

16/0°C. Kontorsrummen värms av direktverkande el med en sammanlagd effekt av ca 500 kW inklusive diverse övrig elvärme. Behovet av lågtempererad värme har beräknats till 1.5 GWh/år, högtempererad till 3.8 GWh/år och den direktverkande elenergin till 0.8 GWh/år.

I energicentralen tillgodoses distributionssystemens kylbehov genom direkt värmeväxling med kallt grundvatten från akviferlagret. Behovet i det lågtempererade värmesystemet tillgodoses på samma sätt genom direkt värmeväxling med varmt grundvatten. Denna tillförsel av värme och kyla åstadkommes genom lagrets funktion och en mindre insats av el till cirkulationspumpar.

Det högre temperaturbehovet för värme och varmvatten tillgodoses av 3 st seriekopplade värmepumpar om ca 330 + 330 + 460 kW. Ackumulatortankar om 4 x 50 m³ svarar för effekttillskott dagtid samt utjämnar värmepumparnas drift.

Mätning sker främst med fast installerade mätare. Effekt, energi och flöden mäts hos flertalet in- och utgående strömmar i energicentralen. Datainsamling ombesörjs av fastighetsdatorn. Temperaturmätningar i akviferen sker dock manuellt.

Anläggningen utnyttjades inledningsvis för produktion av 1.5 GWh värme under byggtidens slutskede 1987. Detta fick flera oförutsedda och dyrbara konsekvenser. Trots detta var byggdriften ekonomisk.

Anläggningens värmepumpar har t o m december 1989 producerat ca 8 GWh värme inklusive byggvärme fr o m februari 1987. Beräknade data för anläggningen i dess nuvarande form är en värmeproduktion av 3.7 GWh/år i högtemperatursystemet och 1.6 GWh/år i lågtemperatursystemet. Kylbehovet har beräknats till 2.7 GWh/år. Elförbrukningen för ovanstående produktion har beräknats till 1.4 GWh/år. Den totala driftkostnaden, exklusive kapitalkostnad, har beräknats till 11 öre/kWh värme och kyla mot 18 öre för ett referenssystem med fjärrvärme och kylmaskiner. Investeringskostnaden för de jämförda systemen är ungefär lika varför kapitalkostnaderna också blir likvärdiga.

Vid inflyttningen i byggnaden vintern 1987/88 hade värmelagringsanläggningen, dvs akviferlagret och energicentralen, de planerade kapaciteterna för värme- och kylproduktion om man bortser från lagrets "oladdade" tillstånd. Det visade sig emellertid nödvändigt att utöka värmeproduktionskapaciteten för effekt och energi med 70 respektive 100 % för att tillgodose byggnadens verkliga behov.

Anläggningen kompletterades 1988 med en tredje värmepump m m. Kompletteringar, eftersläpande delar av huvudentreprenader, föroreningar i vattensystemen, oklarheter i distributionssystemens dimensionering m m medförde en lång idrifttagningsperiod. Dessa frågor beskrivs ingående i rapporten.

Normal drift påbörjades i mars 1989. Anläggningen har därefter arbetat bra. Resterande åtgärder från idrifttagningen har stört driften något under hösten 1989.

Värmepumpaggregaten av skruvkompressortyp har modifierats av leverantören men ej nått avsedd tillförlitlighet. Medelvärmefaktorn är ca 3, vilket är något lägre än leverantörens uppgifter. Ackumulatortankarna ger avsett effekttillskott men ger tidvis upphov till besvärande temperaturförluster genom omblandning. Reglerprincipier, parametrar och funktioner beskrivs. Följderna av en korrosionsinhibitortillsats beskrivs.

Efter inledande störningar under byggnadstiden fungerar grundvattencirkulationen invändningsfritt. Under den första driftperioden uppstod järnutfällning vilket satte igen en brunn. När grundvattnet homogeniserats och de utnyttjade delarna av lagervolymen syresatts är utfällningsrisken för järn och mangan liten. Vattnet befinner sig dock nära mättnad för kalcium. Brunnar och värmeväxlare har inga beläggningar av betydelse. Inga indikationer har konstaterats som tyder på att grundvattensystemet skall medföra driftproblem eller höga kostnader för drift och underhåll i framtiden. Tvärtom indikerar hittillsvarande erfarenheter att anläggningen kan köras enbart på den södra delen av akviferen. Den norra delen av akviferen har betydligt lägre temperaturverkningsgrad än den södra, dels beroende på vattencirkulation genom den konstgjorda dammen norr om byggnaden och dels beroende på den höga hydrauliska konduktiviteten i området.

Under kalenderåret 1989 producerades 0.70 GWh förvärme, 2.2 GWh värme, 0.37 GWh förkyla och 2.8 GWh kyla. För denna produktion åtgick 0.85 GWh el i värmepumpar, 0.27 GWh i elpannor och 0.26 GWh för cirkulationspumpar m m. Detta ger ett godhetstal (producerad värme och kyla dividerad med tillförd el) av 4.8. Byggnadens totala elförbrukning under samma period var 9.0 GWh. Värme- och kylproduktionen förbrukade således ca 15 % av det totala elbehovet.

Slutsatserna är att det är möjligt att inom ett normalt anläggningsprojekt planera och bygga ett akvifervärmelager samt att lagret med kringutrustning kan

ges planerad kapacitet och funktion. Investeringsbeloppet 15-17 Mkr i stället för planerade 13 Mkr är en naturlig följd av att anläggningen byggts i två etapper.

För framtida anläggningar bedöms akviferlager ha samma eller något högre investeringskostnad än konkurrerande alternativ om en betydande kylkapacitet krävs. Den mängd drivenergi som förbrukas är ca 20 % av producerad värme och kyla. Konsekvenserna av energikostnadsstegringar i framtiden blir dessutom små eftersom det akviferbaserade systemet har en låg förbrukning av köpt energi.

Fördelarna med förvärmning av tilluft bör särskilt framhållas eftersom den kan ske utan värmepump och blir effektivare ju lägre utetemperaturen blir. Detta medför ett jämnare effektbehov på eftervärmningen som kan tänkas ske med alternativa system som värmepump, olja eller gaseldning.

Sammanfattning av "Termohydraulisk uppföljning av akvifervärmelagret vid SAS, Frösundavik" (Johansson, S, 1989, KTH, Institutionen för Vattenbyggnad, Report No. 43)

En del av energiförsörjningen för SAS Huvudkontor i Frösundavik, Solna, sker med ett okonventionellt system primärt bestående av en akvifer för lagring av värme och kyla, värmeväxlare för direkt förvärmning av ventilationsluft eller direkt kylning av ventilationsluft samt värmepumpar för hetvattenproduktion och eftervärmning av ventilationsluft. Med dessa komponenter kan energianläggningen leverera värme och kyla med en låg andel tillförd primärenergi, ca 20 %.

Energianläggningen har till stor del finansierats av BFR med experimentsbyggnadslån och bidrag. För uppföljning av anläggningen har BFR beviljat medel för en värmeteknisk utvärdering, vilken utförs av AIB Anläggningsteknik samt en termohydraulisk utvärdering av akvifervärmelagret, vilken utförs av KTH, Inst för Vattenbyggnad

KTH:s uppföljning omfattar mätningar i akviferen av temperatur, vattenstånd och salthalt, samt studium av termohydrauliska effekter som frontkantring och upconing. Dessutom studeras akviferlagrets lämplighet som energilagring med hänsyn till värmeförluster, temperaturverkningsgrad m m med syftet att erhålla lämpliga driftstrategier.

Den akvifer som används är en porakvifer tillhörande Stockholmsåsen på vilken kontoret är beläget. Åsen går i nord-sydlig riktning och har en bredd av ca 200-300 m och ett djup varierande mellan ca 10 och 25 m. De hydrogeologiska förhållandena är goda för ett akvifervärmelager i det aktuella området. Utmärkande egenskaper är främst goda uttagsmöjligheter, liten regional grundvattenströmning, stor akvifer-voly m samt god vattenkvalitet.

Salthaltsmätningarna har visat att salthaltsvariationerna är små i akviferen. I övre delen av akviferen är salthalten ca 0.5 ‰ och i den undre delen ca 0.8 ‰. Salthalten i de olika observationsrören varierar något beroende på att de penetrerar olika djup i akviferen. Observationsrörens avstånd till Brunnsviken tycks inte påverka salthalten i grundvattnet. Någon förhöjd salthalt p g a grundvattenpumpningen har ej konstaterats.

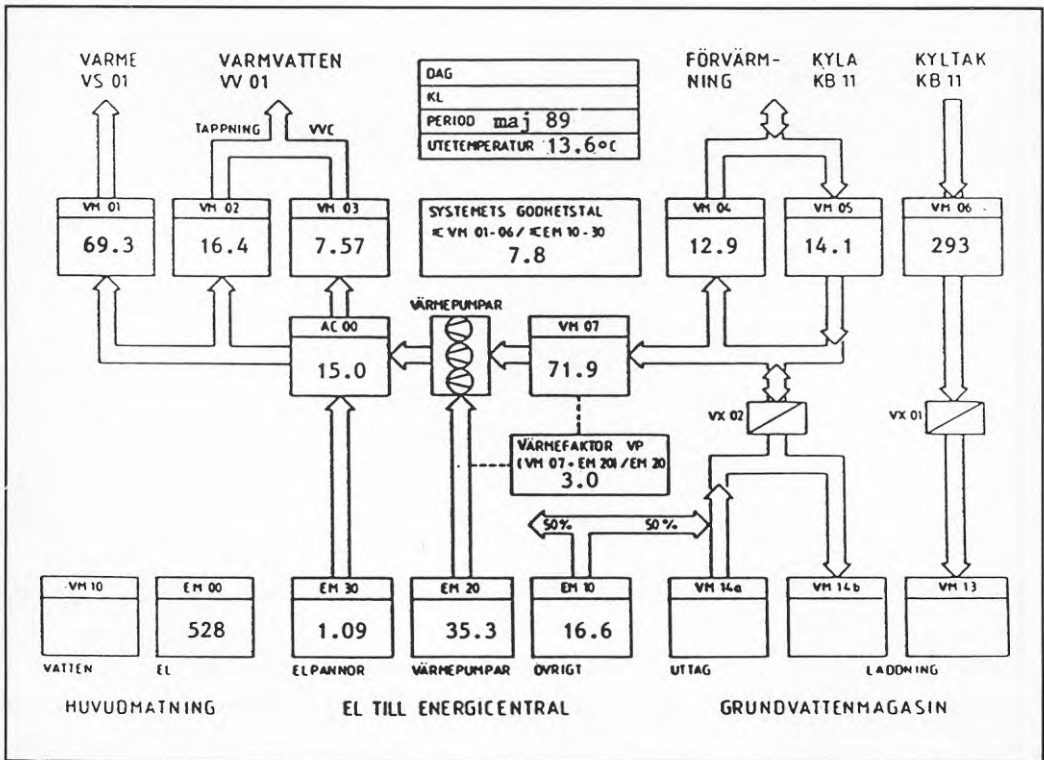
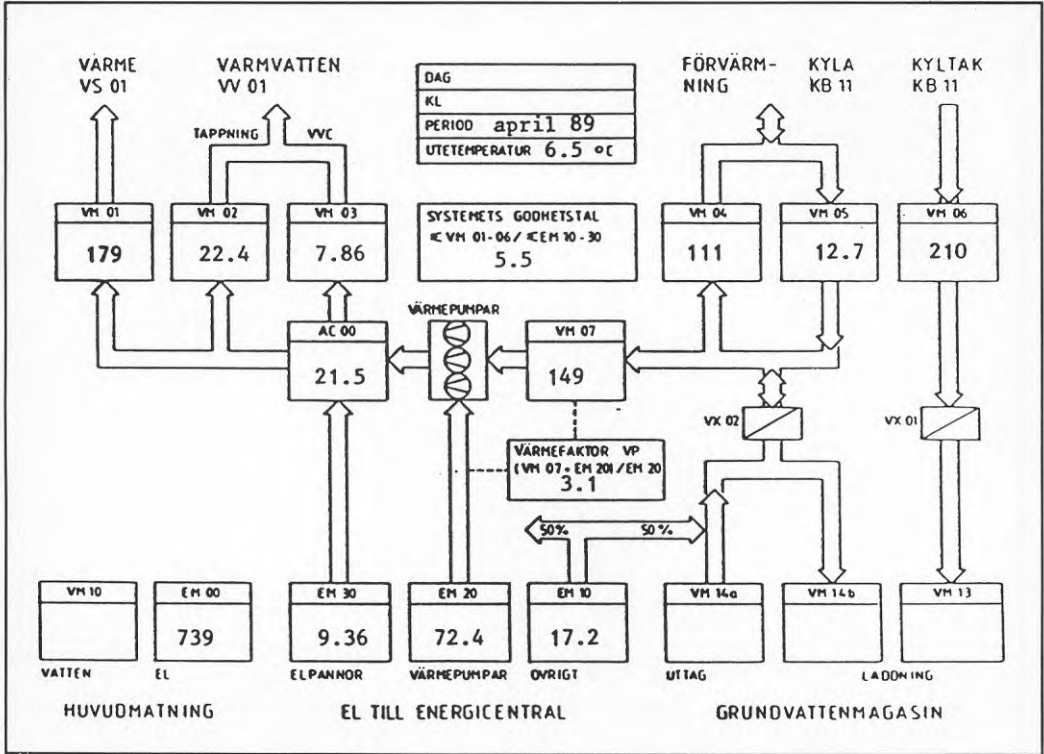
Lagring av värme och kyla i en akvifer har visat sig vara tekniskt möjligt. System för energiproduktion

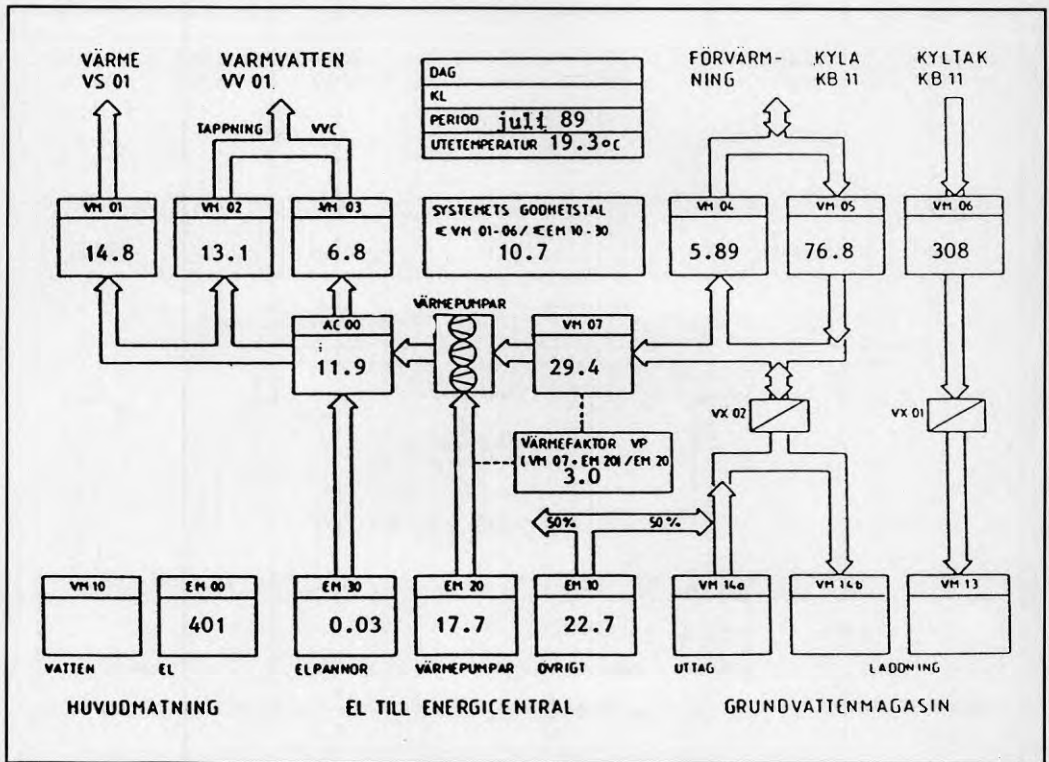
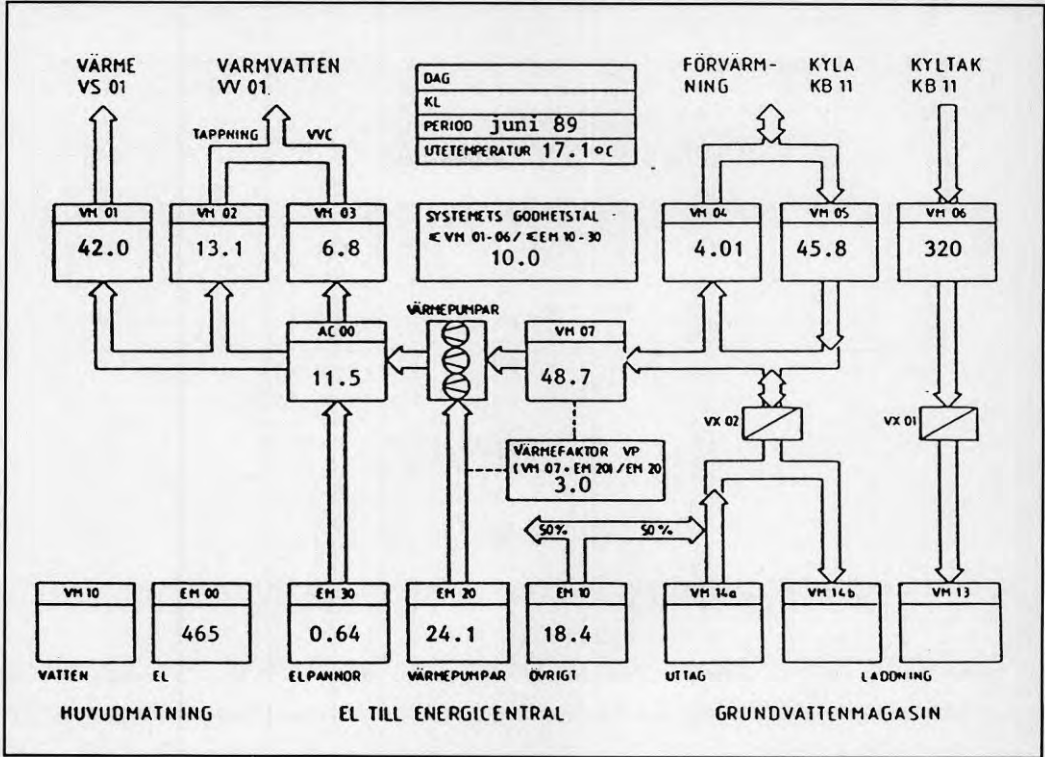
och distribution kan utformas med hänsyn till ett akviferlager så att en driftsäker energianläggning erhålls.

Energiförlusterna är små i den södra delen av lagerområdet där täckande jordlager har en mäktighet av ca 10 m. I den norra delen av lagret är värmeförlusterna större beroende på att det täckande jordlagret har en mindre mäktighet samt att nedkyllt vatten infiltreras i lagerområdet.

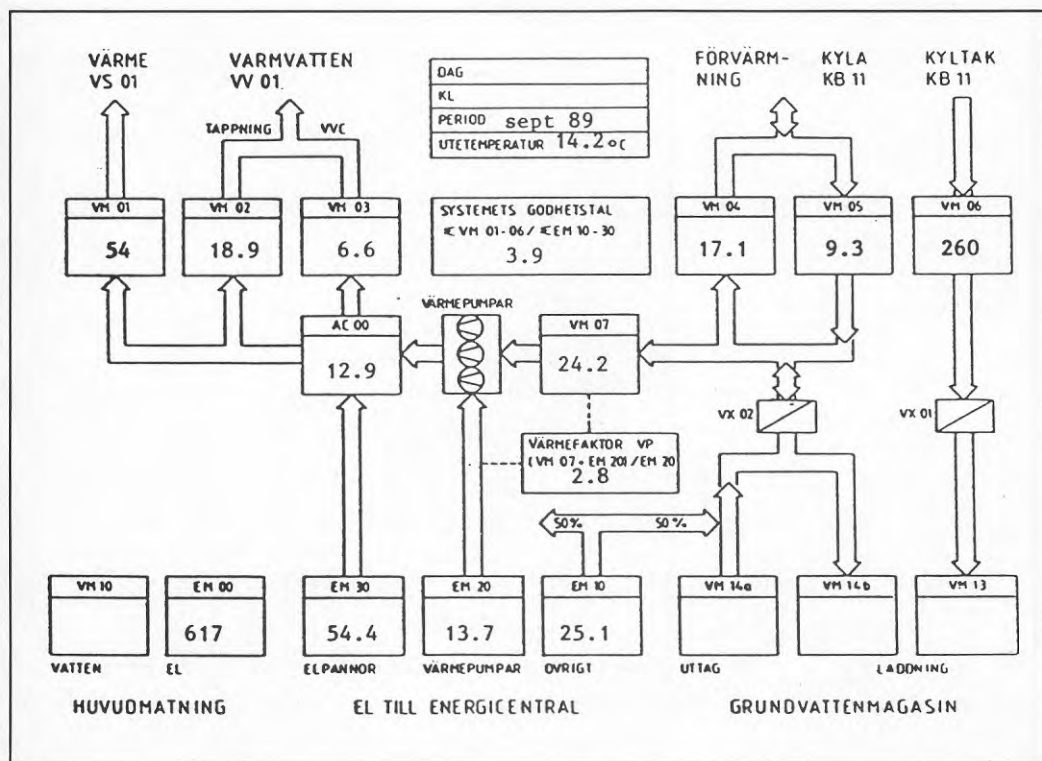
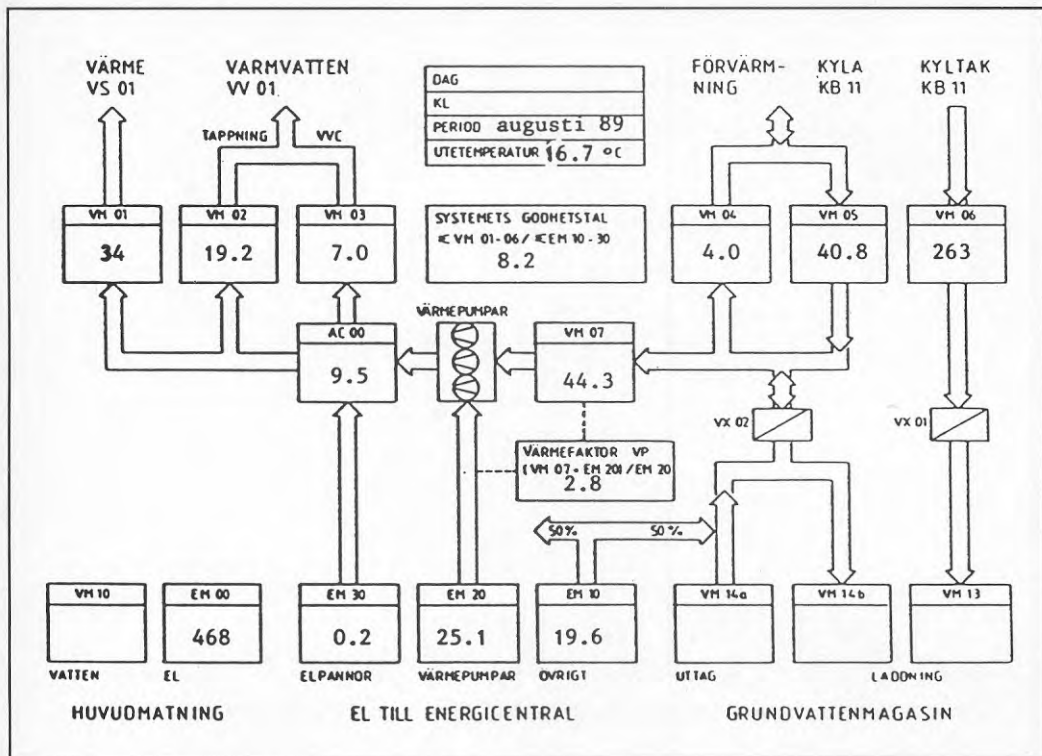
Vattenkvaliteten har hittills ej givit några bekymmer men hela lagerfunktionen är beroende av att den goda vattenkvaliteten bibehålles. Ett skyddsområde är därför även befogat för akviferer som utnyttjas för energiändamål.

Bilaga 2.1
Sid 1 (8)

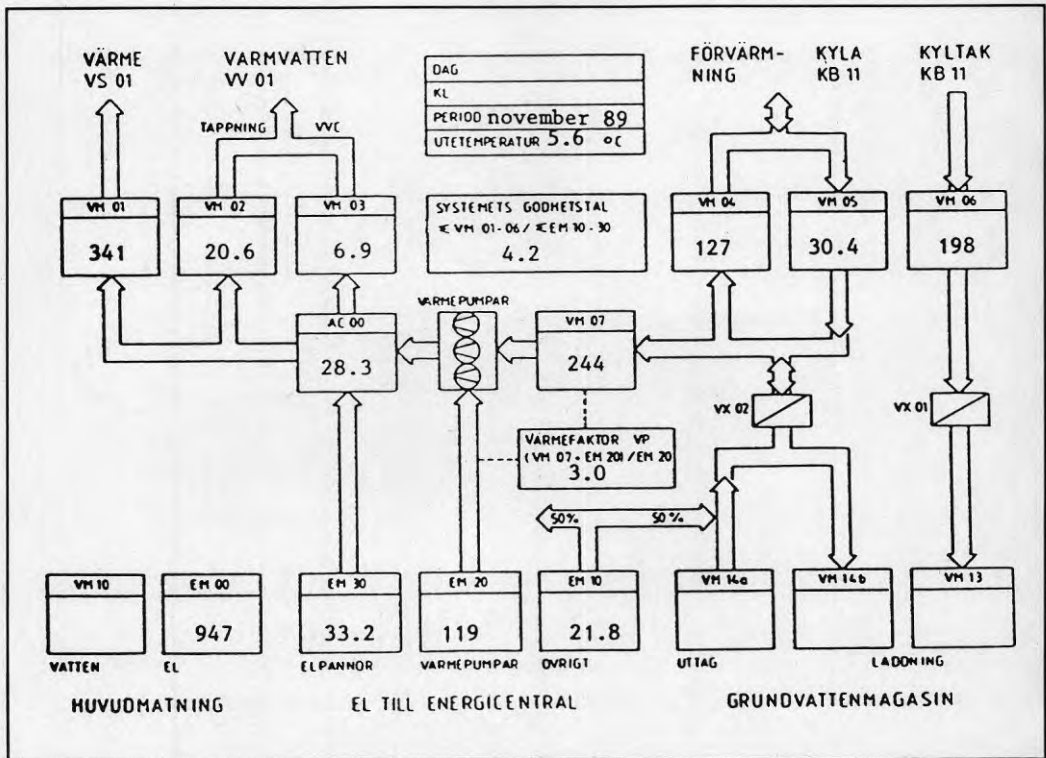
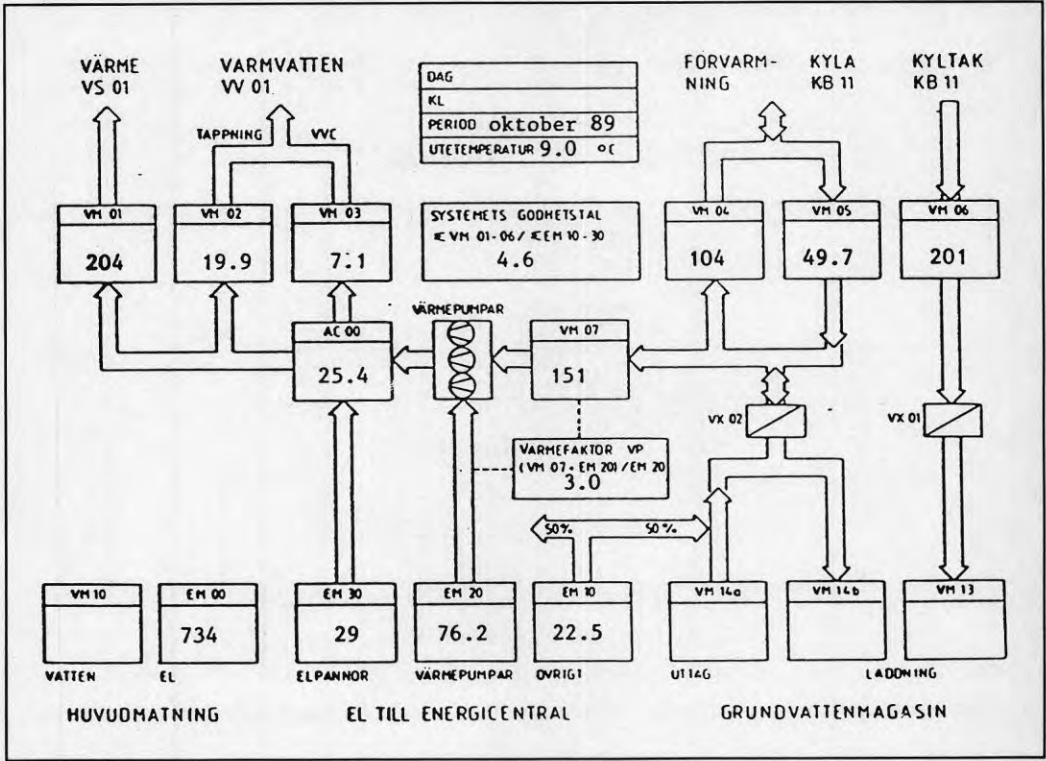




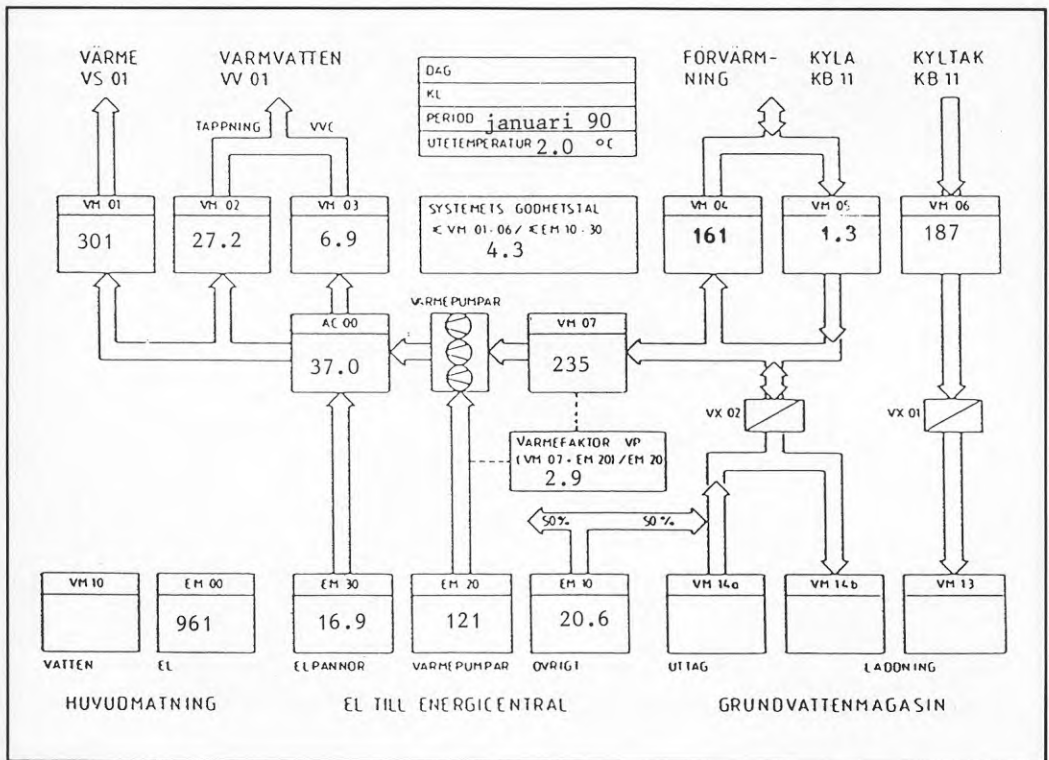
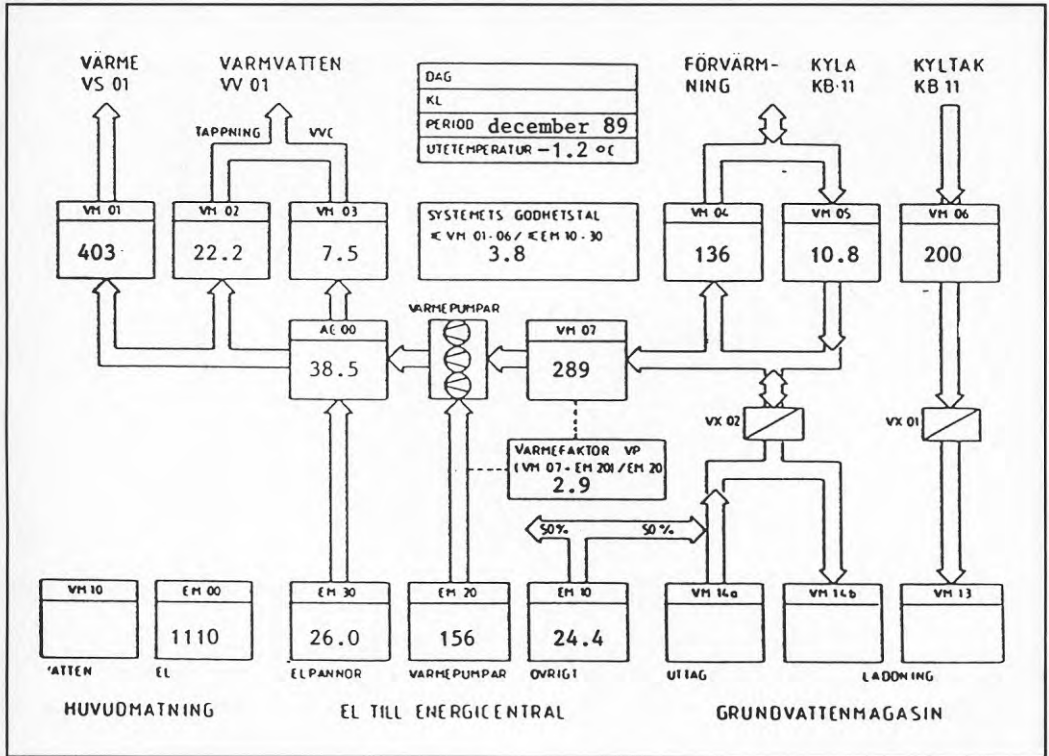
Bilaga 2.1
Sid 3 (8)



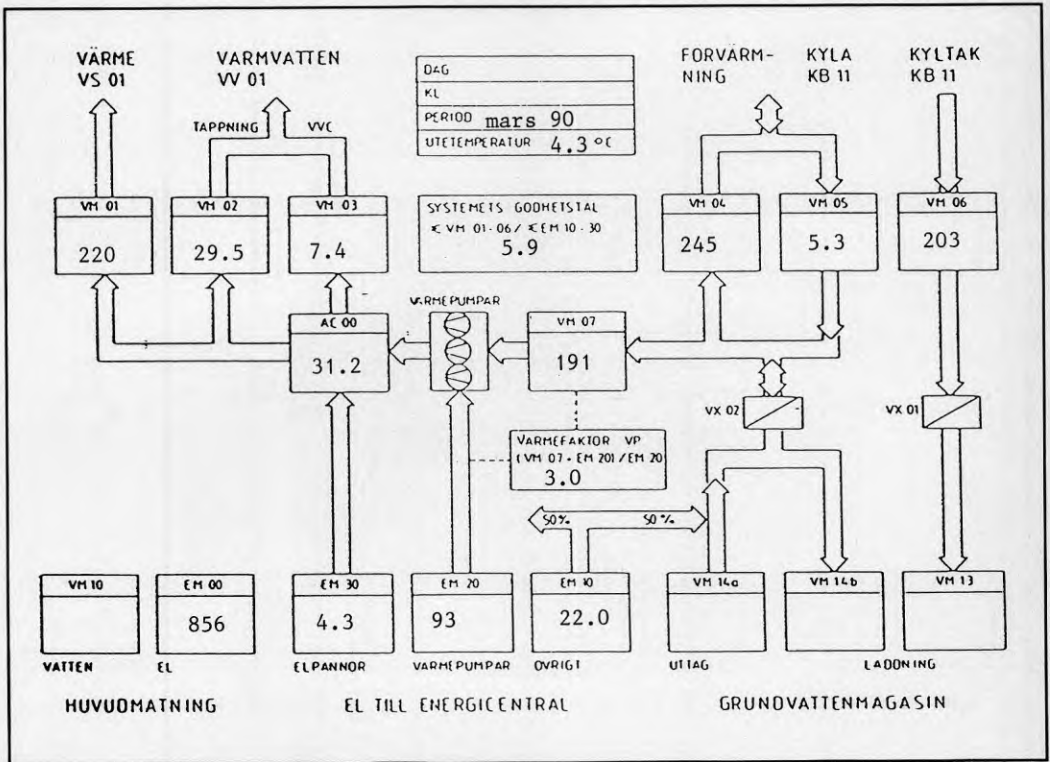
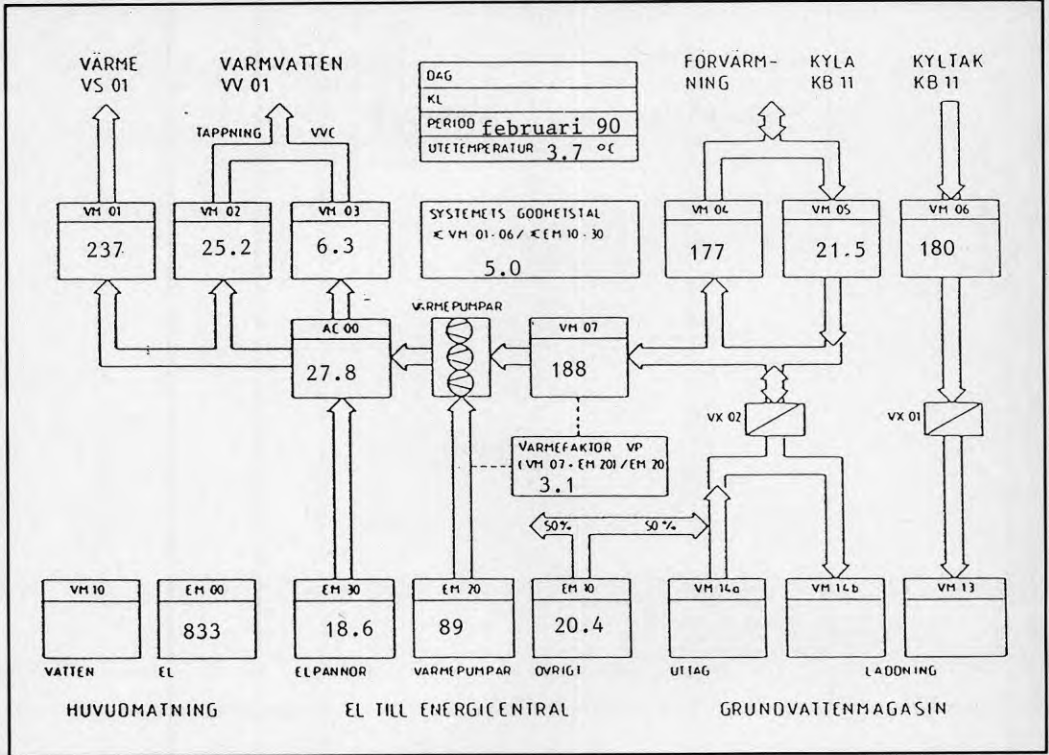
Bilaga 2.1
Sid 4 (8)



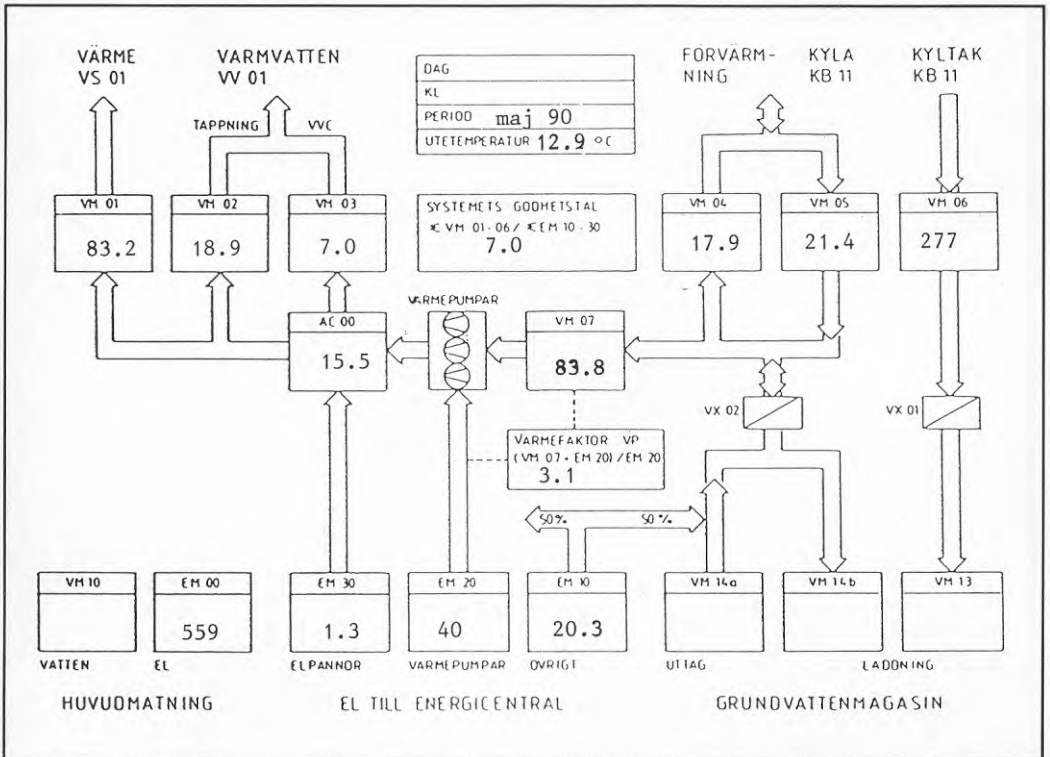
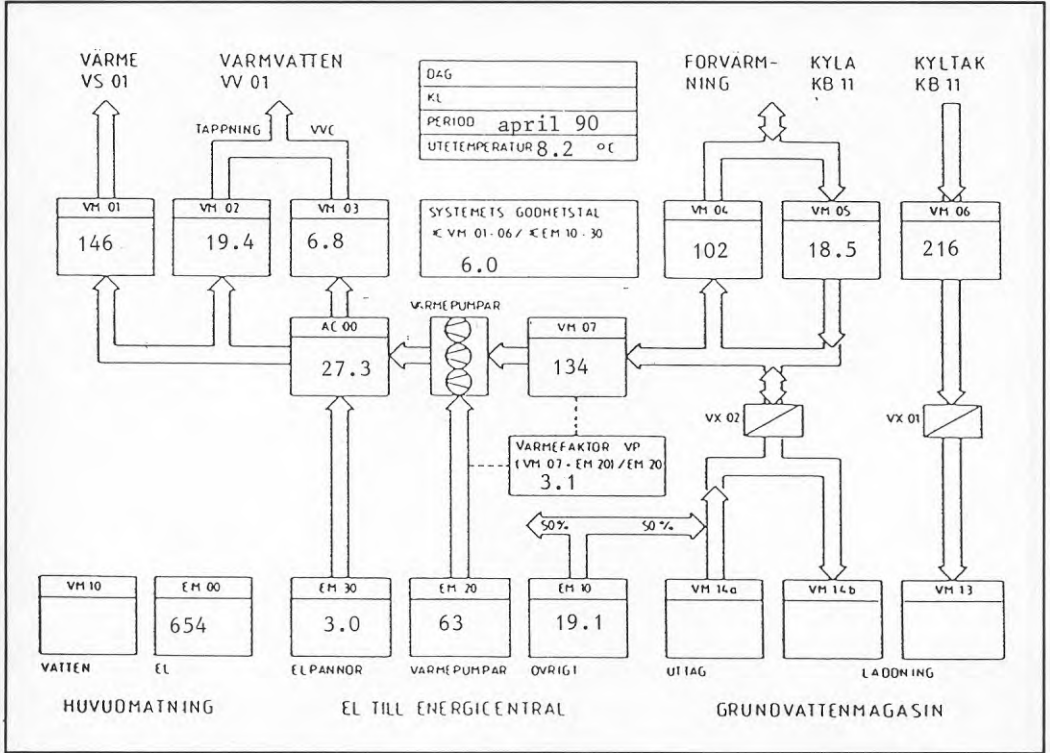
Bilaga 2.1
Sid 5 (8)



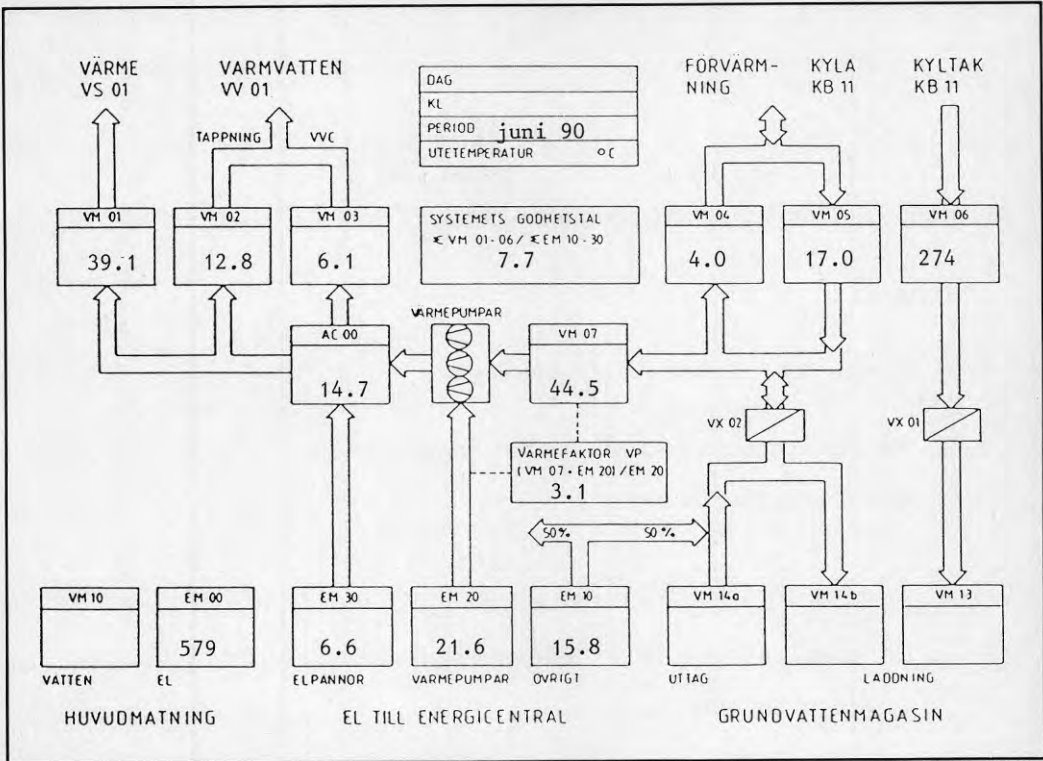
Bilaga 2.1
Sid 6 (8)



Bilaga 2.1
Sid 7 (8)



Bilaga 2.1
Sid 8 (8)



REDOVISNING AV TEMPERATURMÄTNINGAR

Innehåll

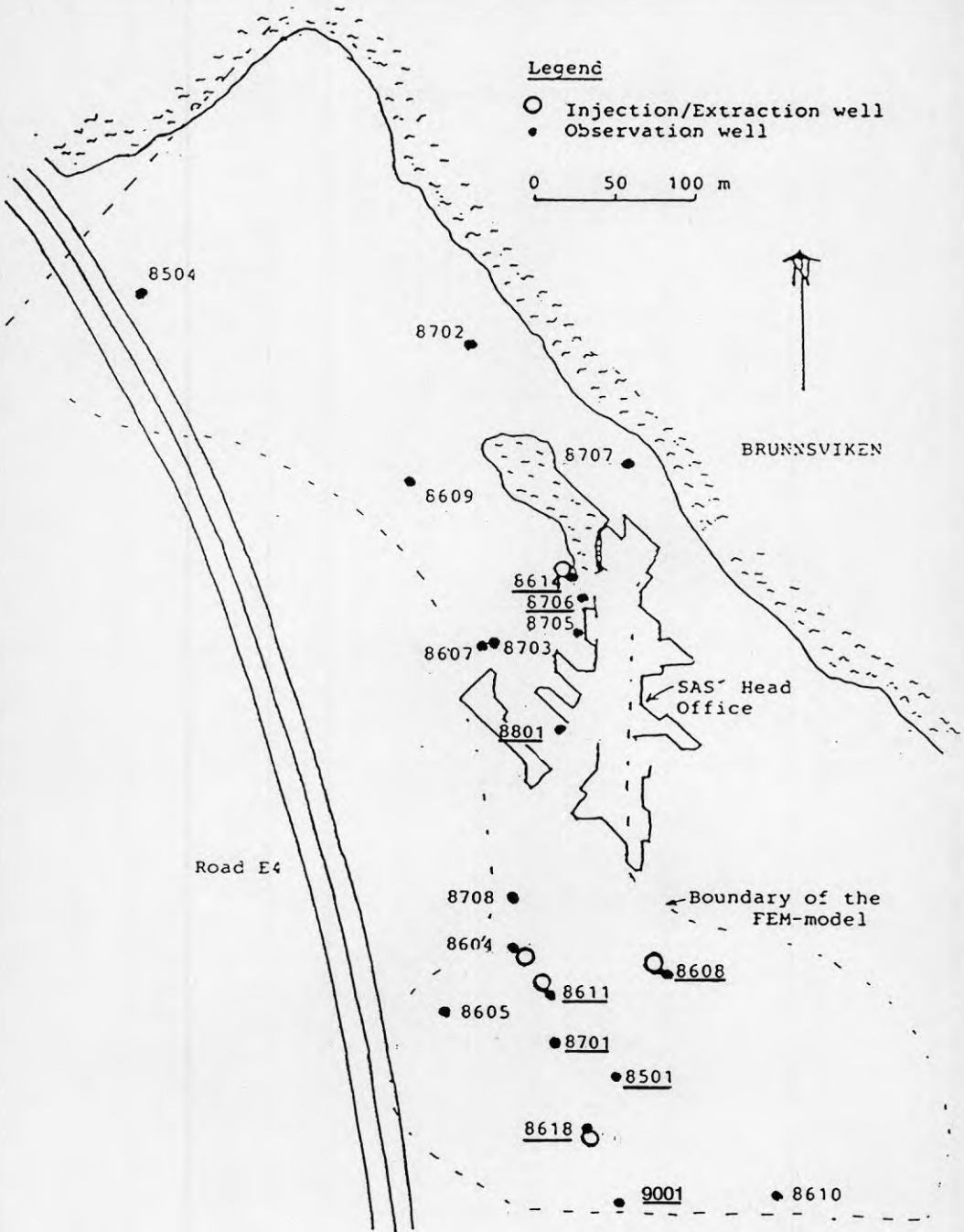
	Sid
1. Karta över Frösundaviksområdet	2
2. Mätresultat, södra delen av lagerområdet	3
Observationsrör 8618	
8501	
8701	
9001	
3. Mätresultat, mellersta delen av lagerområdet	10
Observationsrör 8611	
8608	
4. Mätresultat, norra delen av lagerområdet	14
Observationsrör 8614	
8706	
8801	

Bilaga 3.1
Sid 2 (19)

Legend

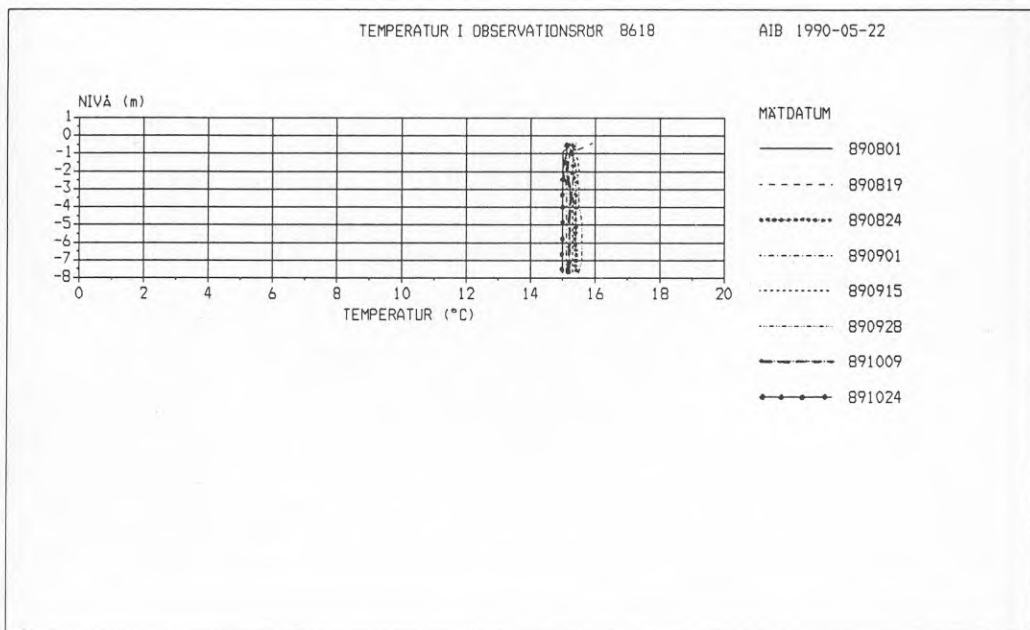
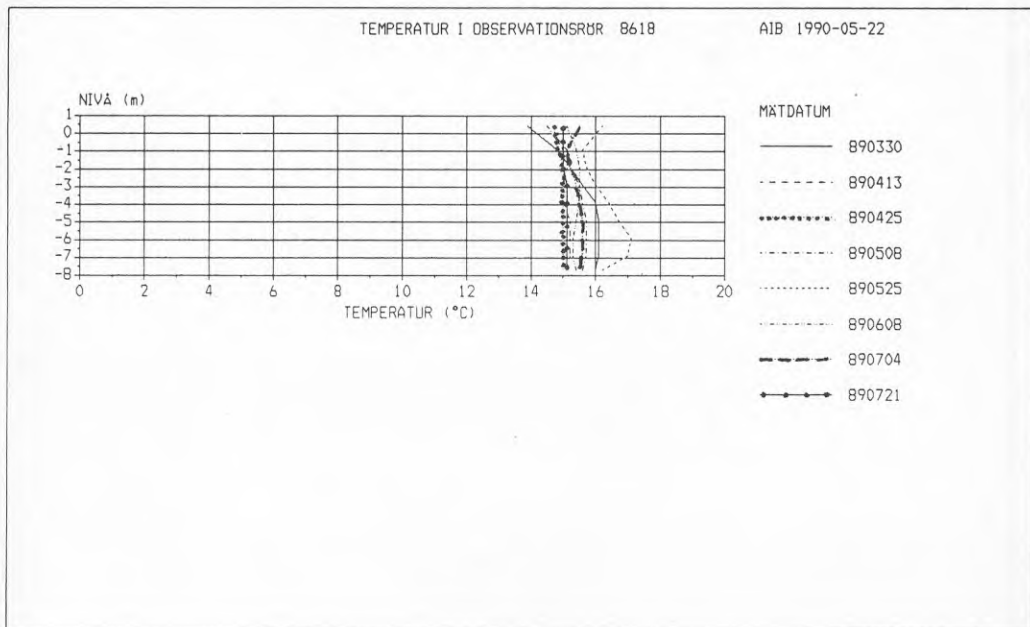
- Injection/Extraction well
- Observation well

0 50 100 m

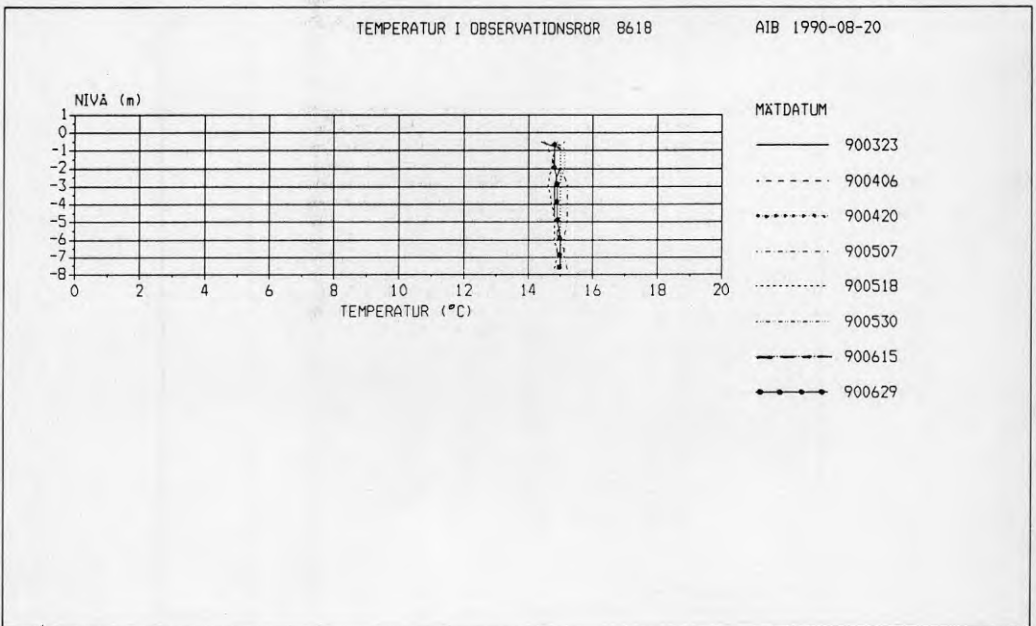
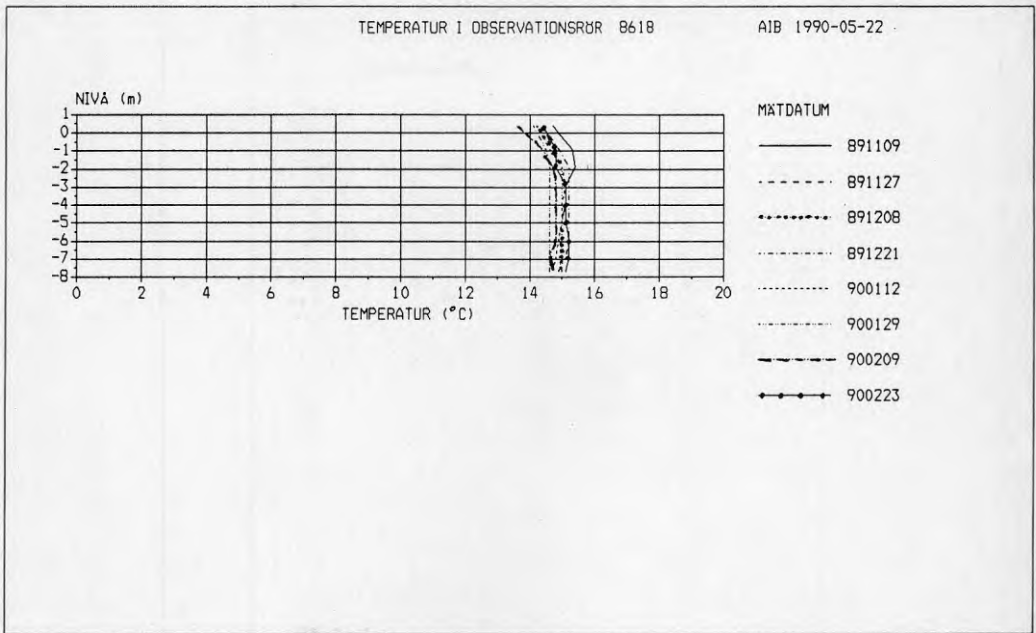


Karta över Frösundaviksområdet.

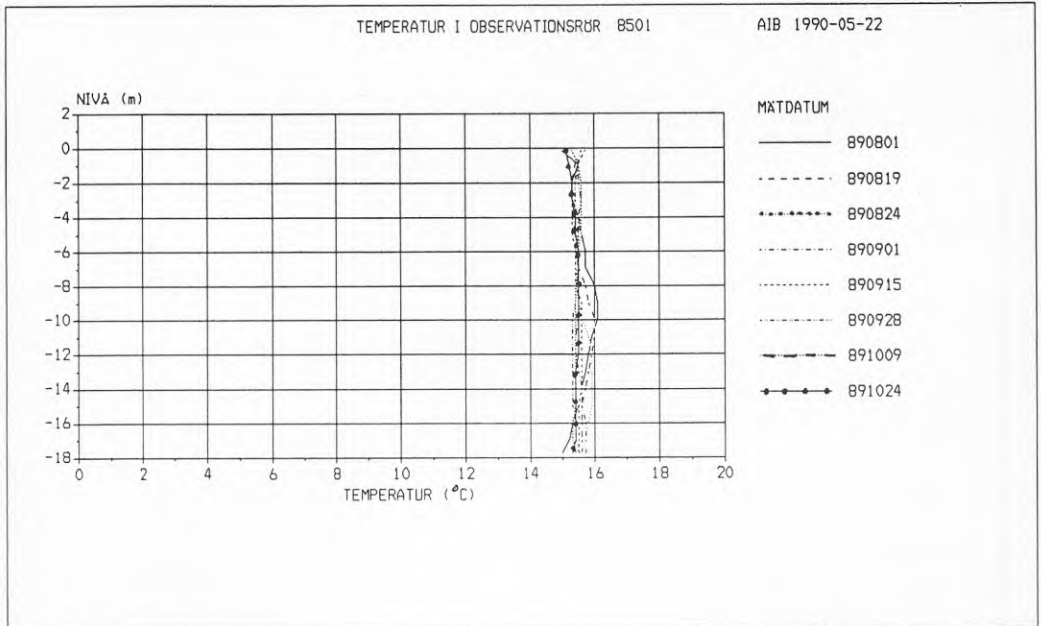
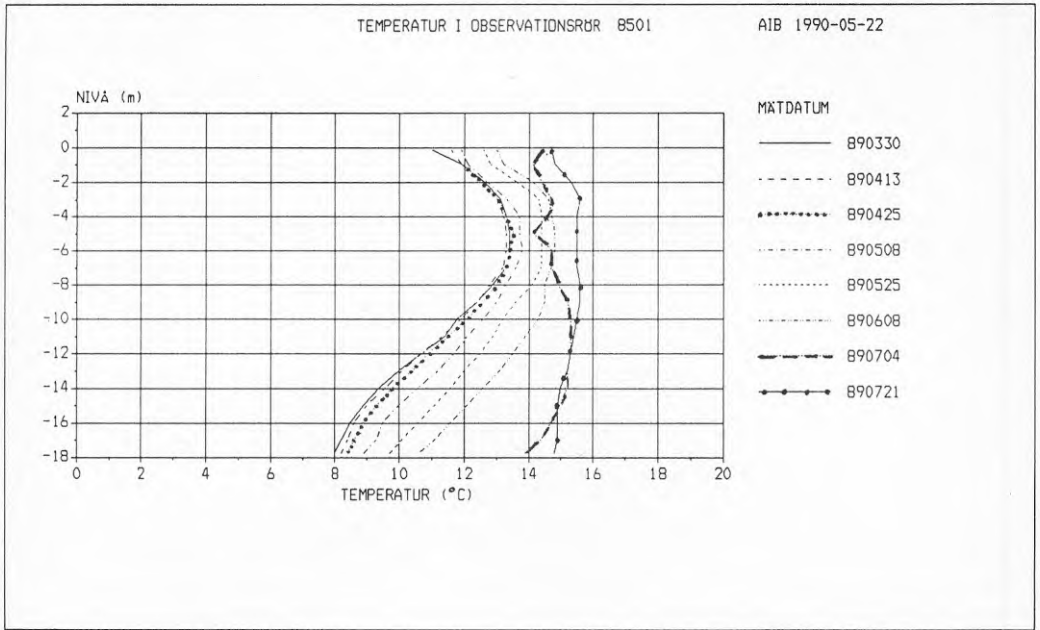
Bilaga 3.1
Sid 3 (19)



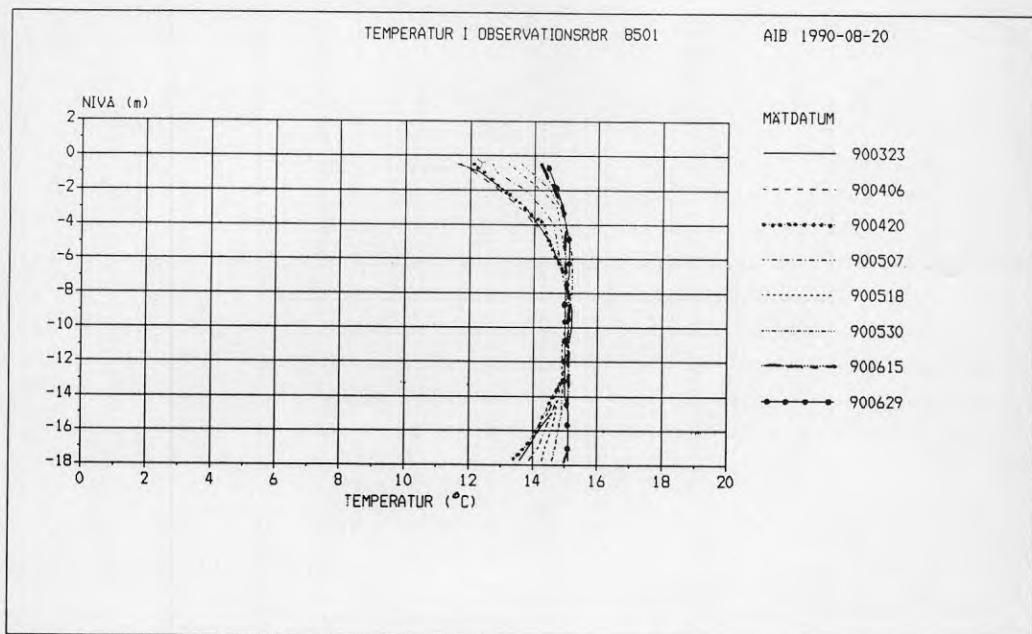
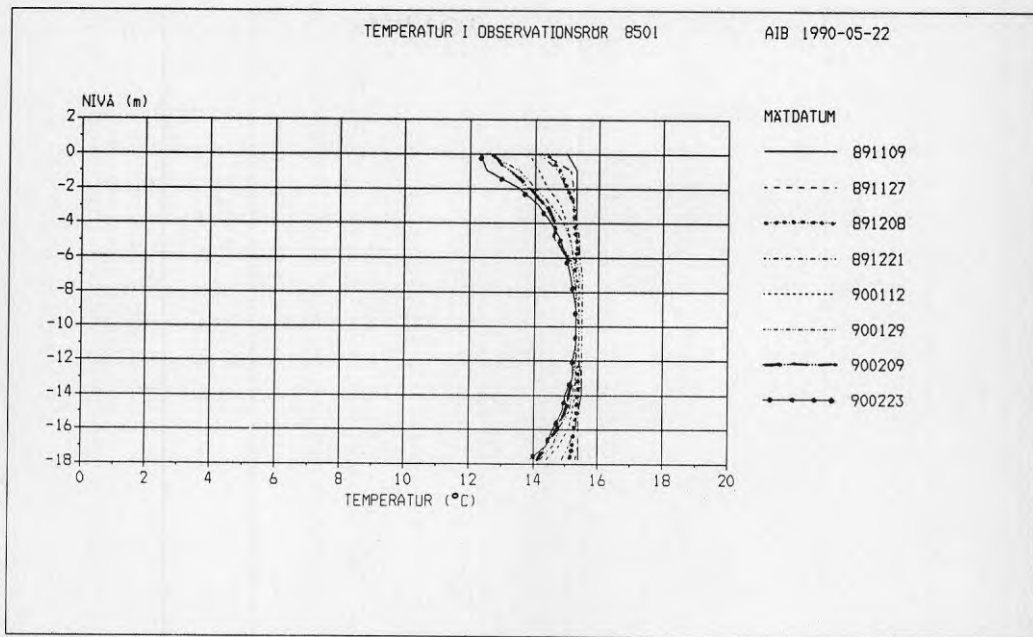
Bilaga 3.1
Sid 4 (19)



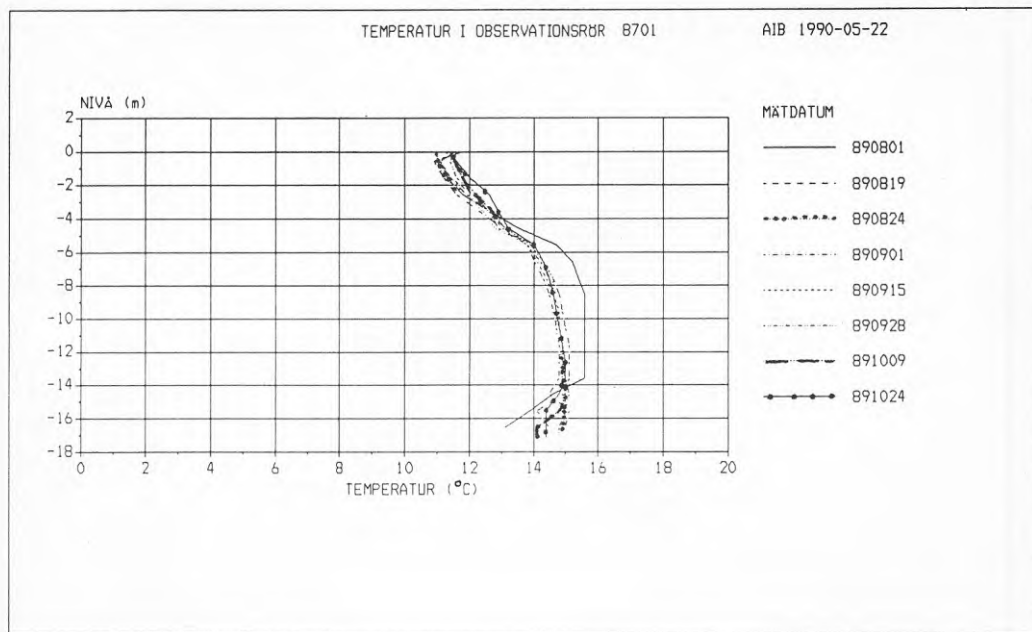
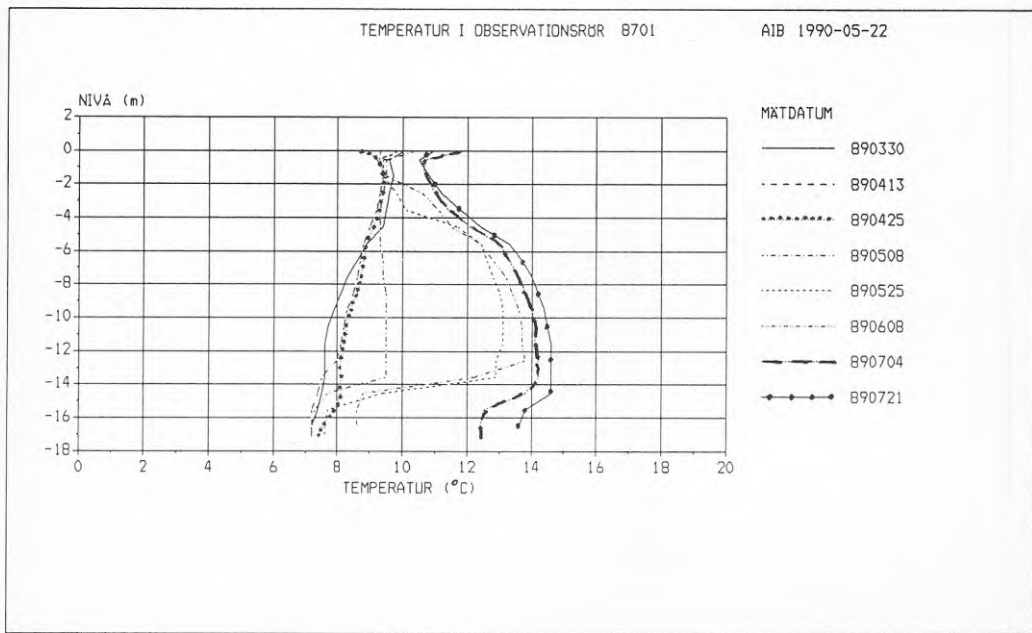
Bilaga 3.1
Sid 5 (19)



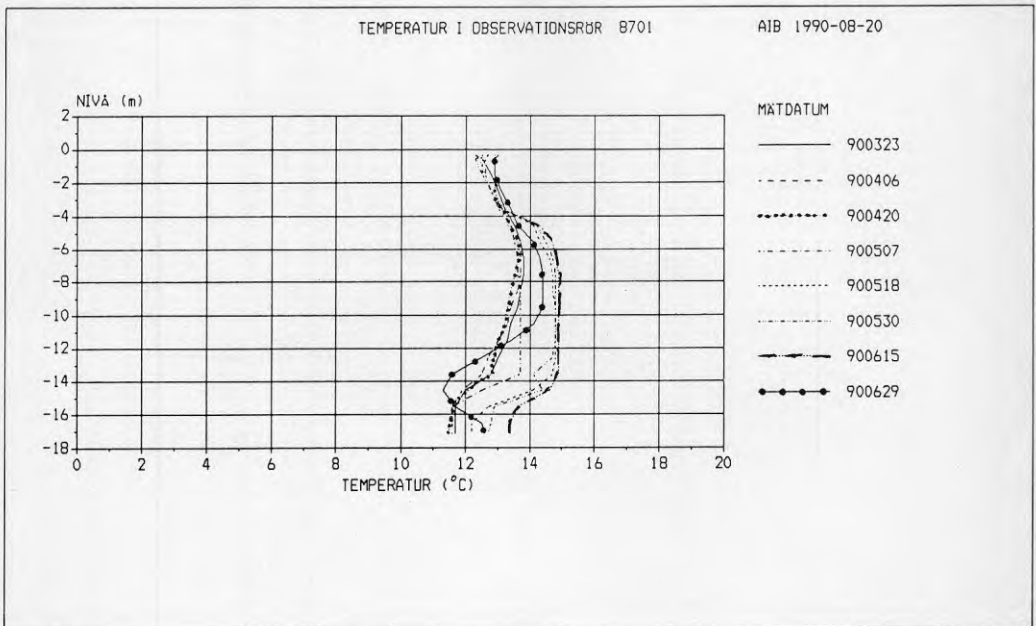
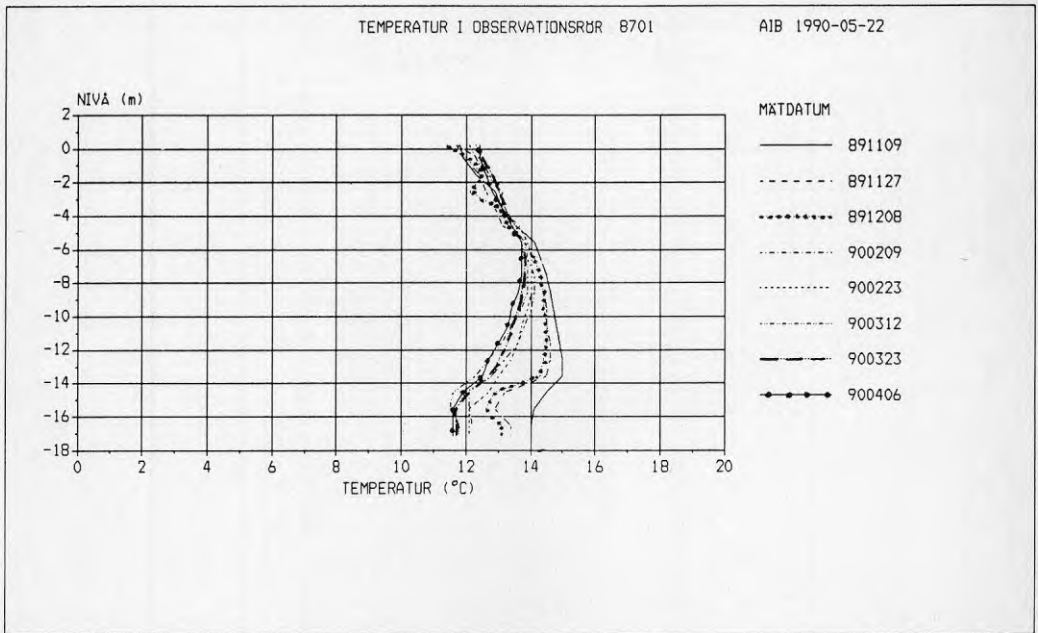
Bilaga 3.1
Sid 6 (19)



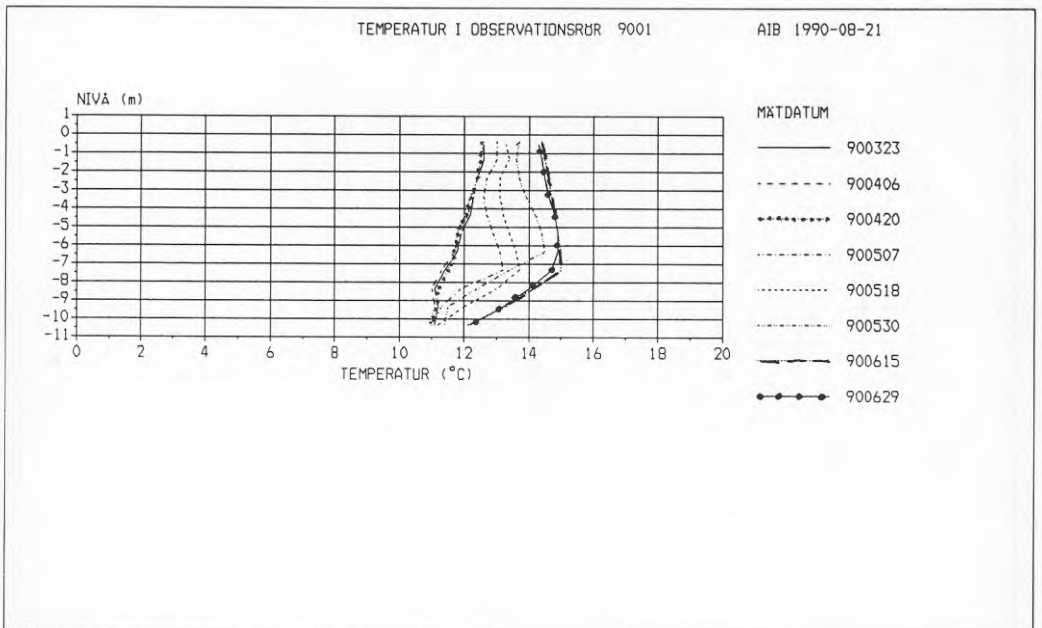
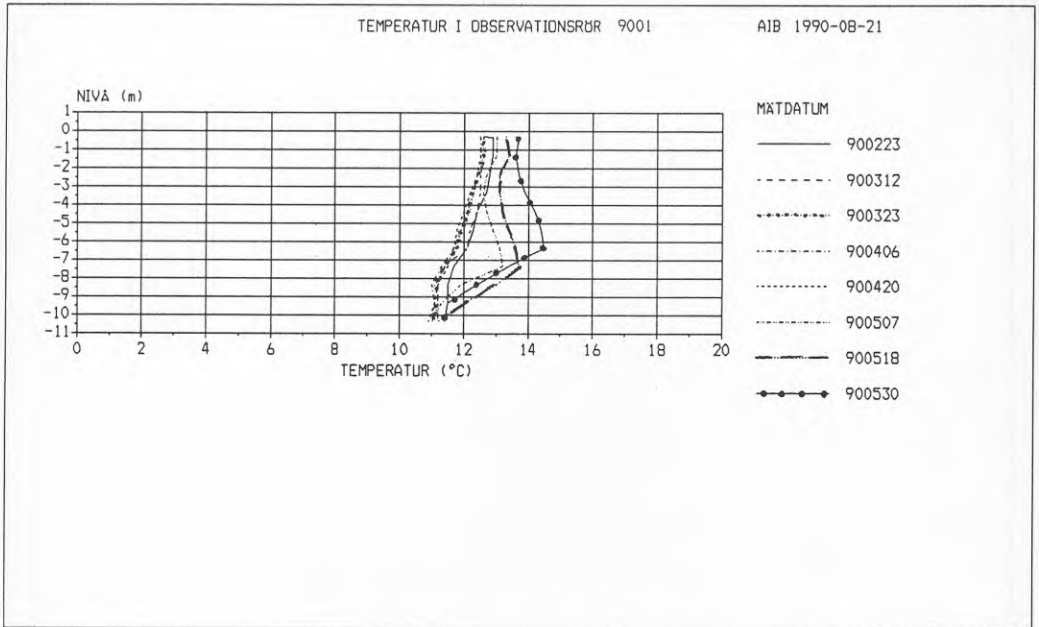
Bilaga 3.1
Sid 7 (19)



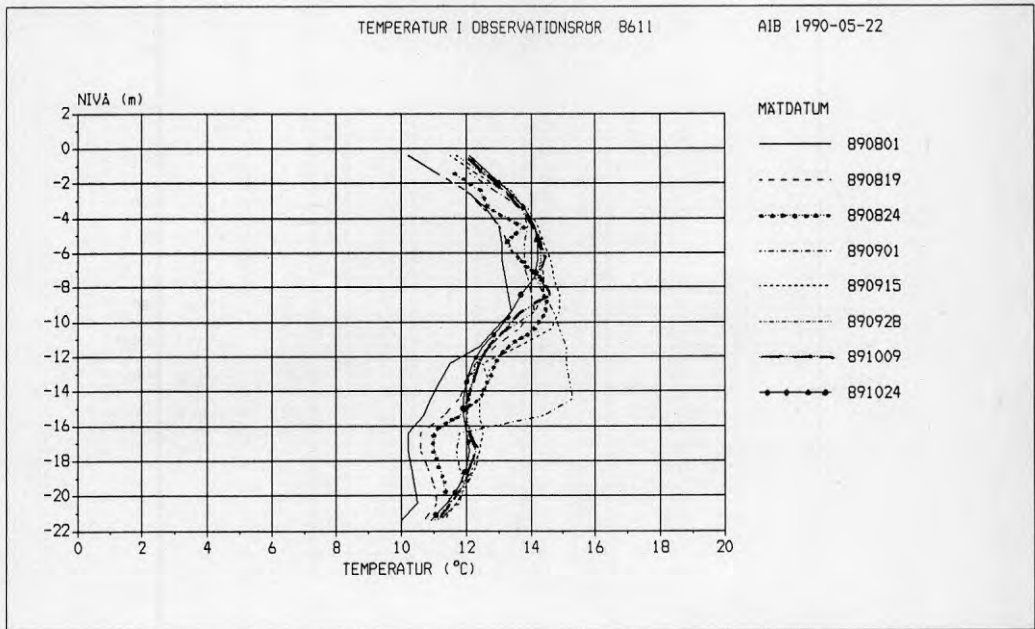
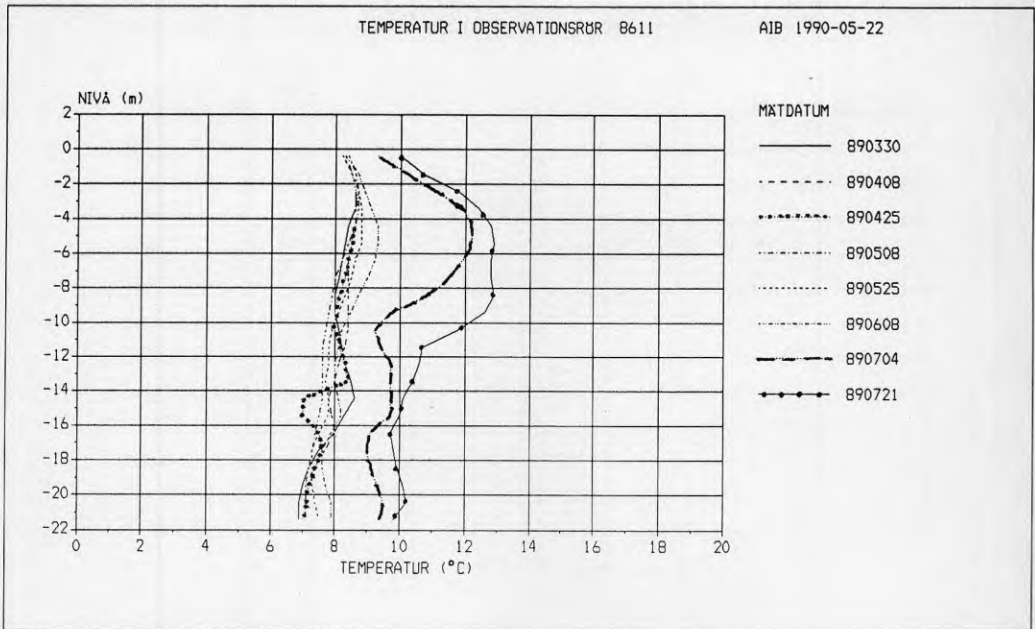
Bilaga 3.1
Sid 8 (19)



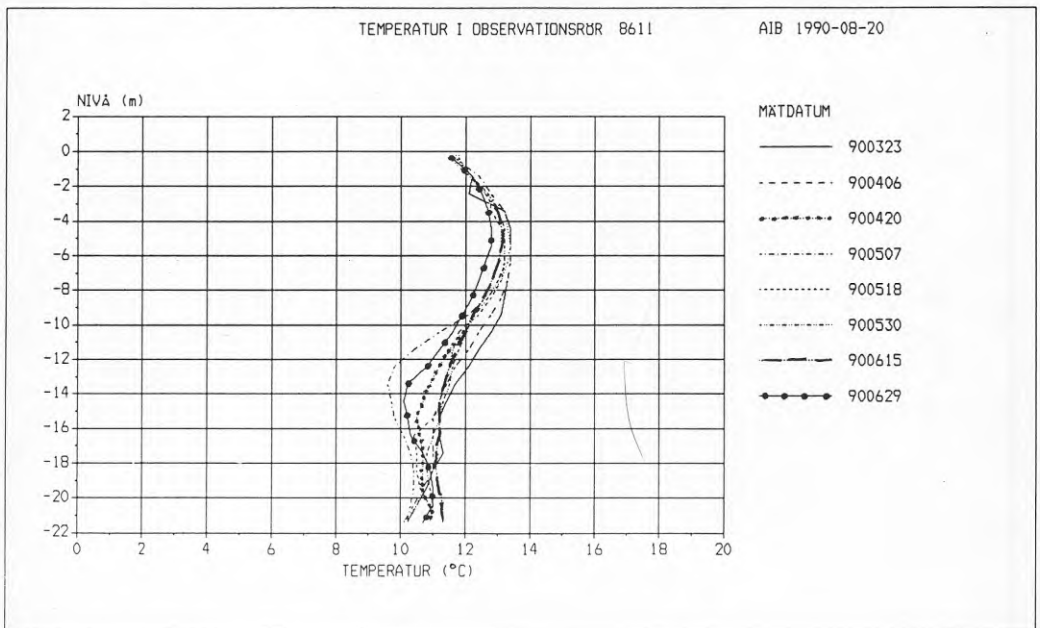
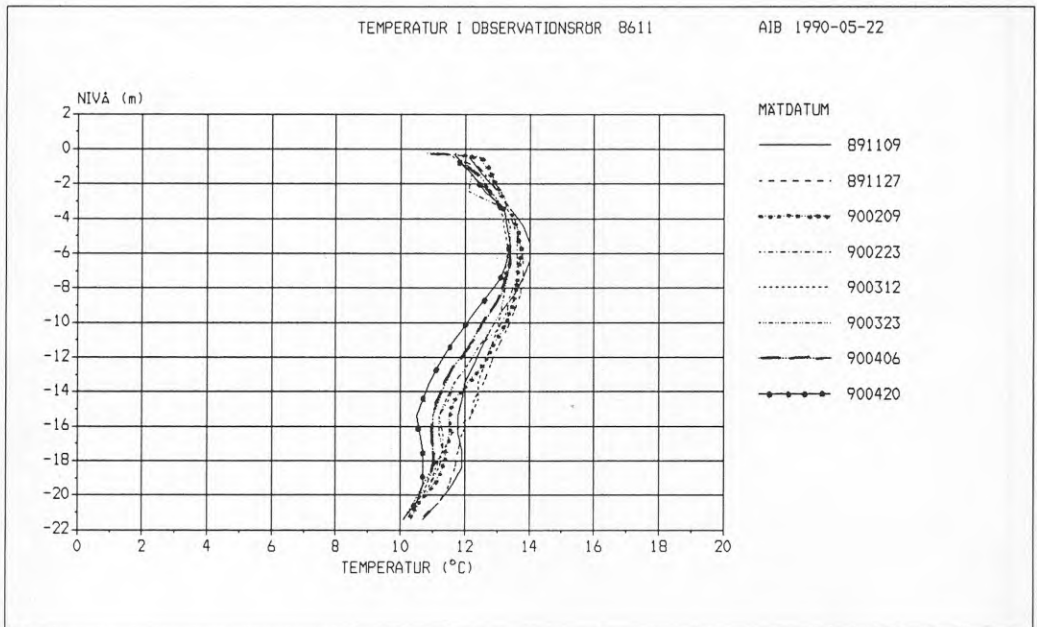
Bilaga 3.1
Sid 9 (19)



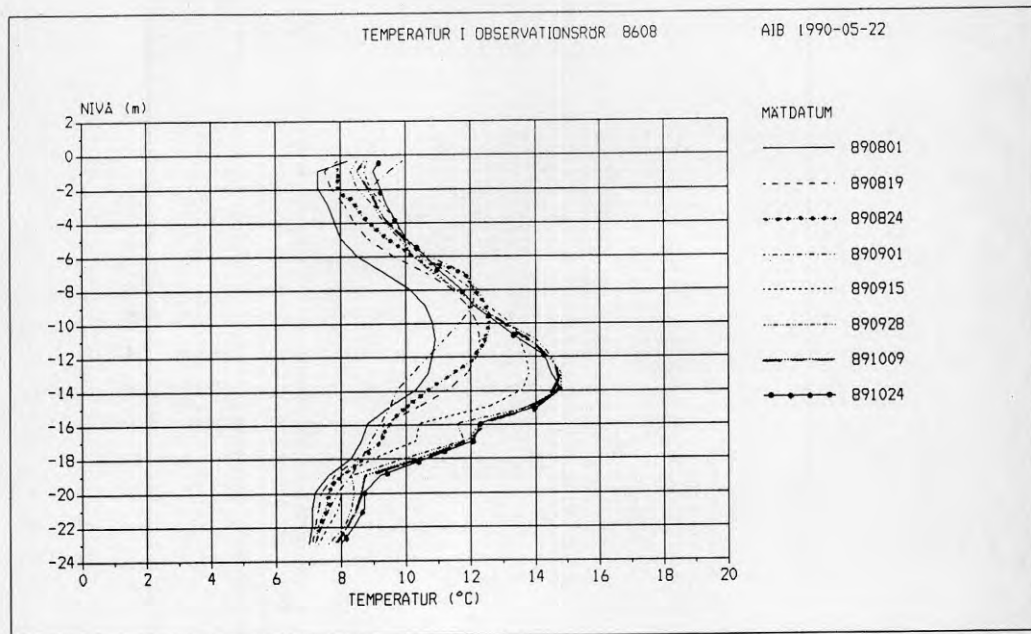
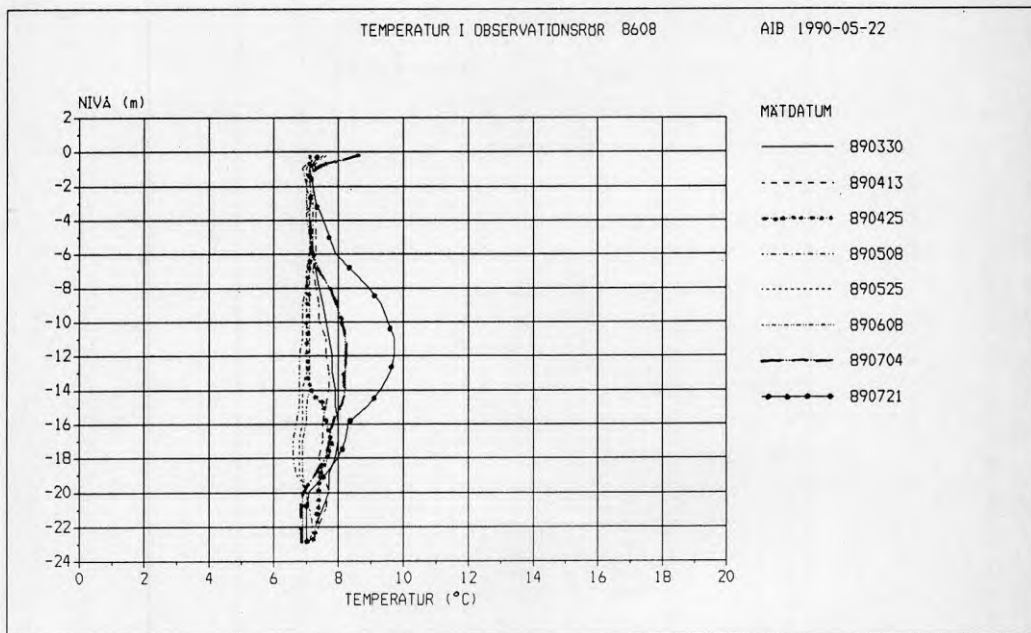
Bilaga 3.1
Sid 10 (19)



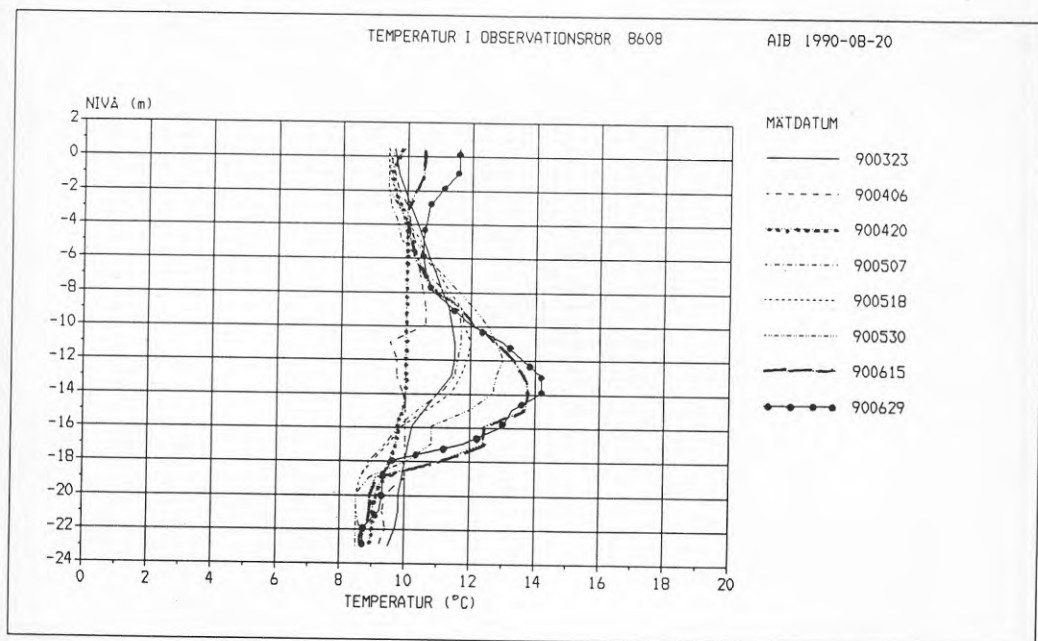
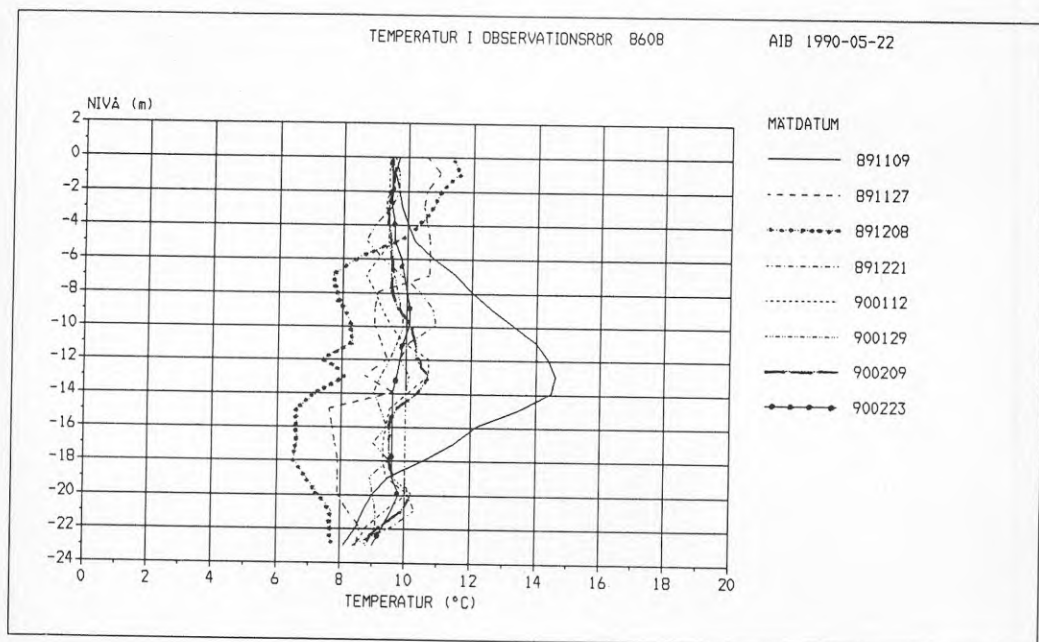
Bilaga 3.1
Sid 11 (19)



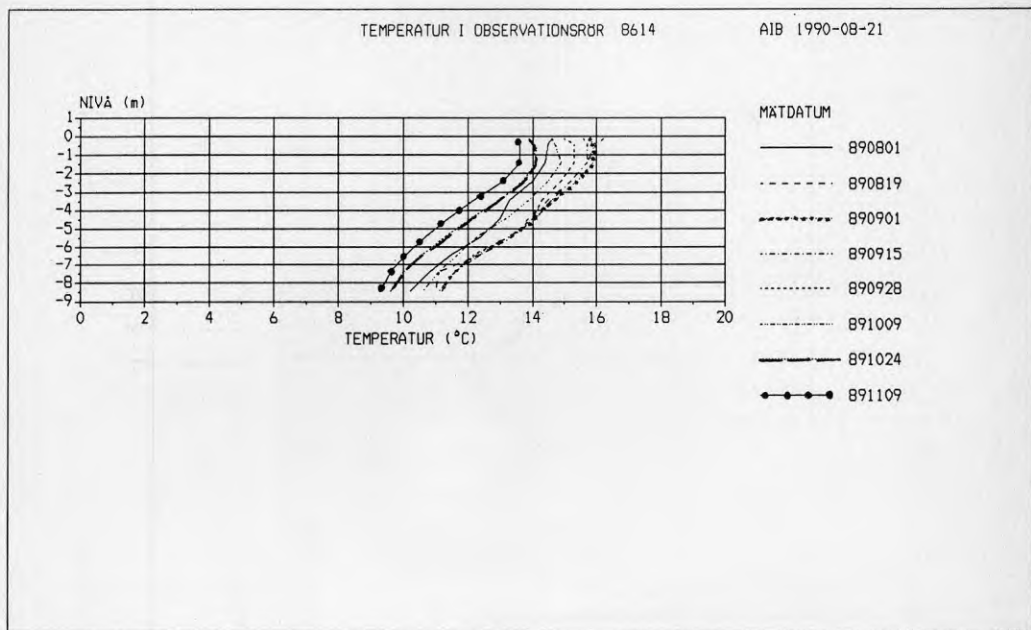
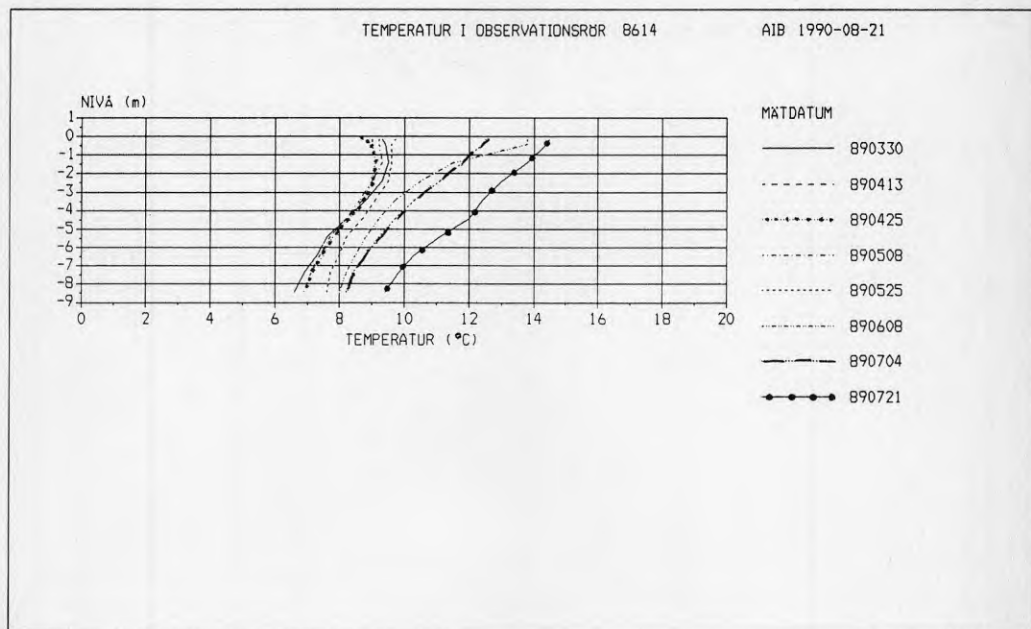
Bilaga 3.1
Sid 12 (19)



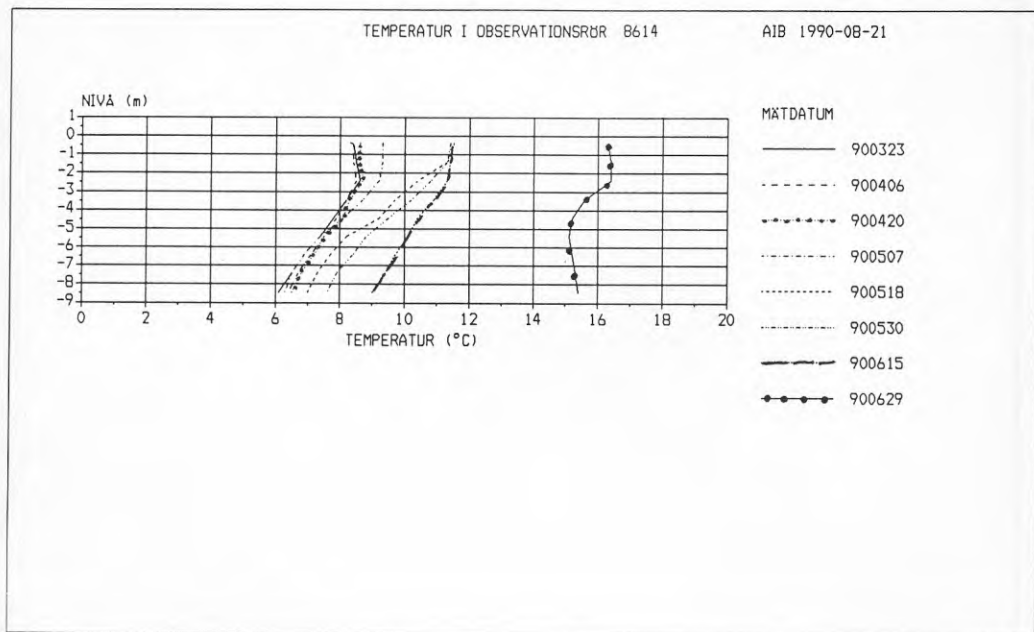
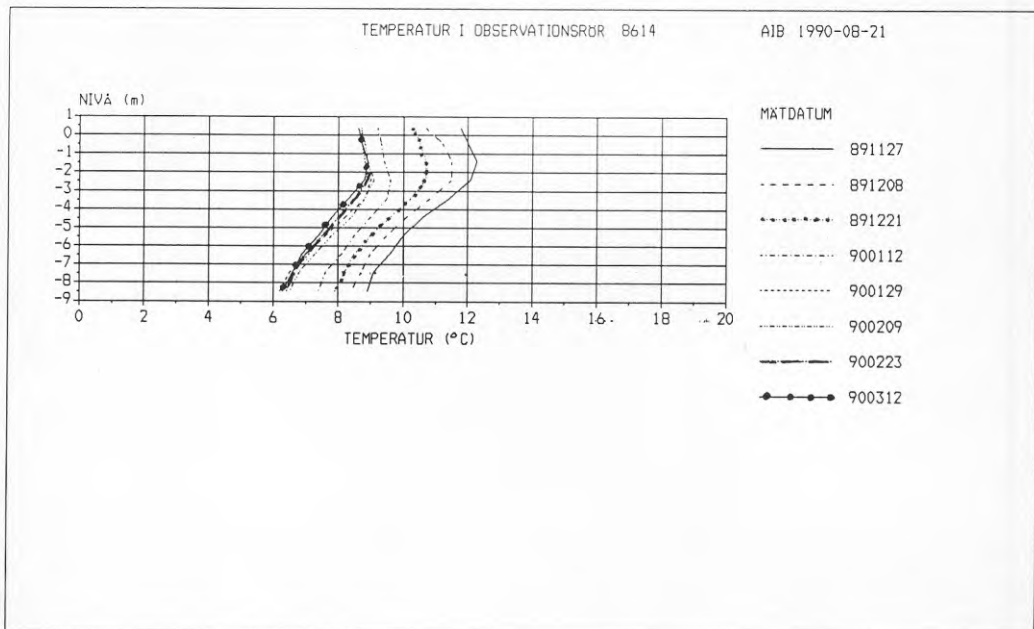
Bilaga 3.1
Sid 13 (19)



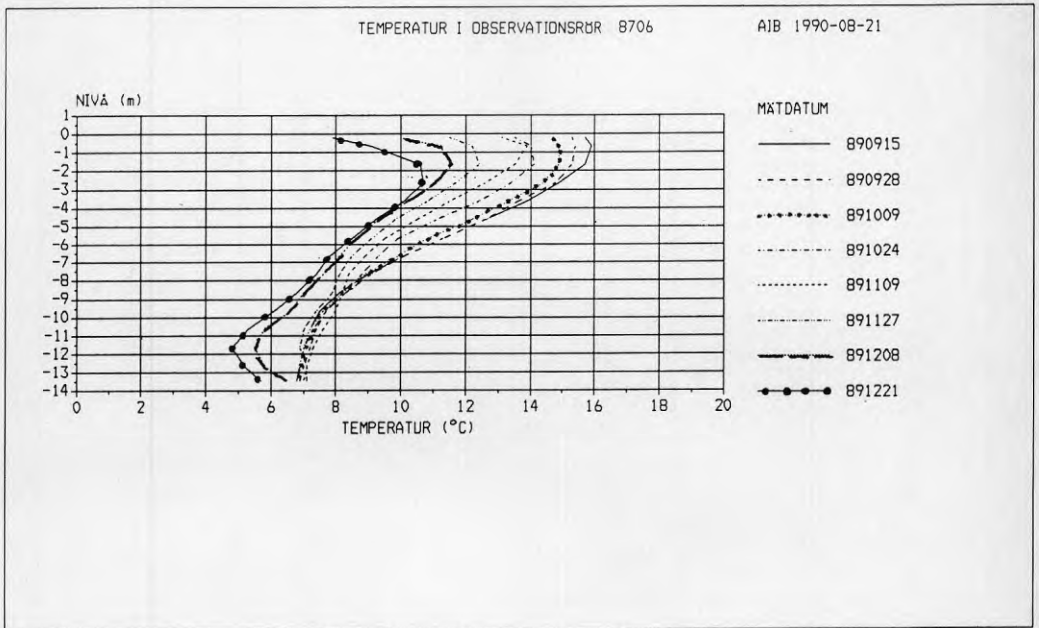
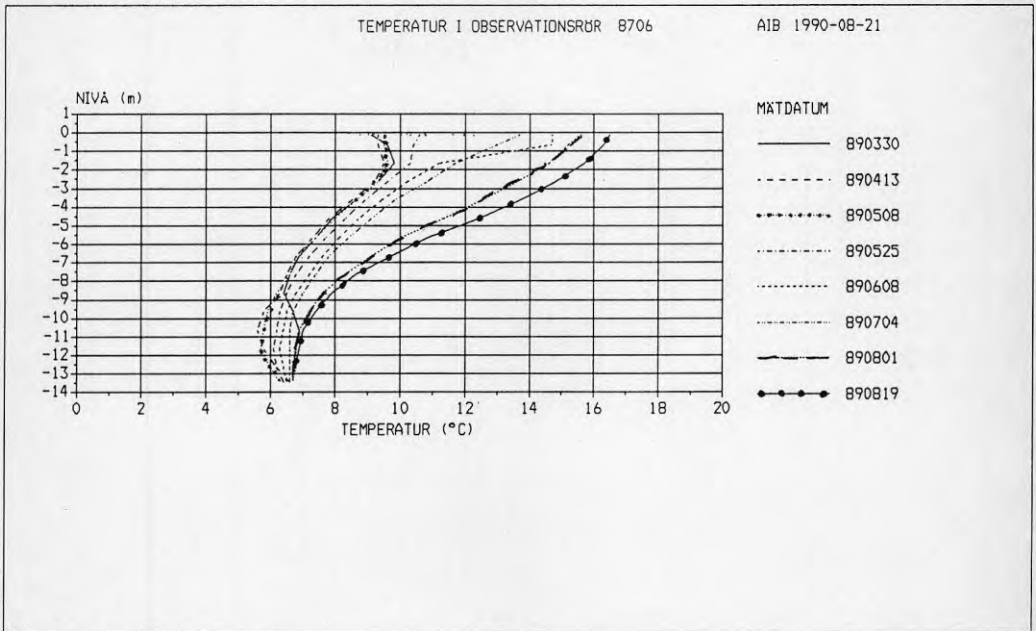
Bilaga 3.1
Sid 14 (19)



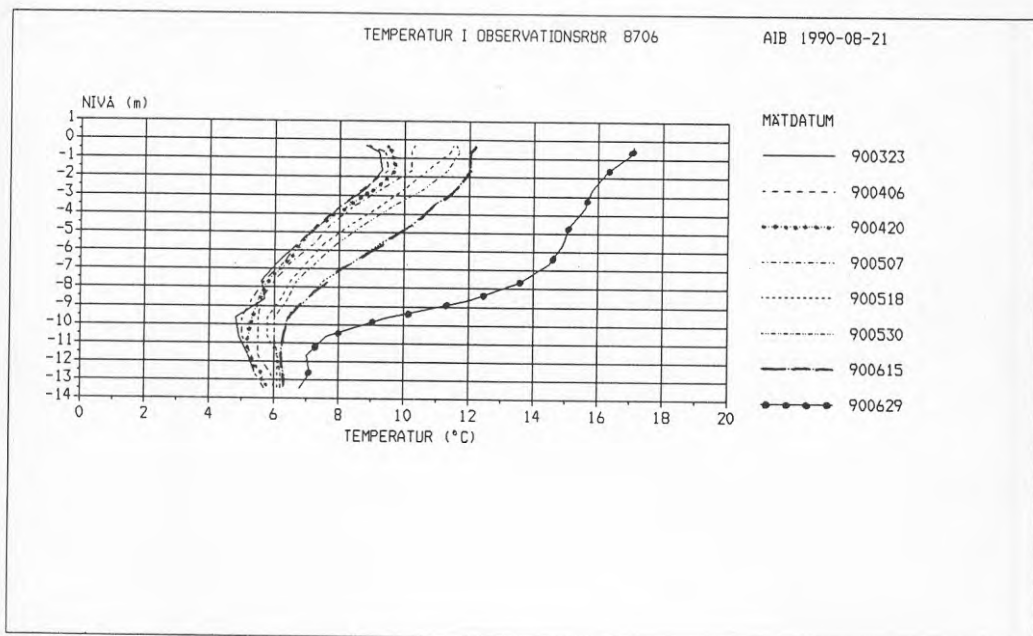
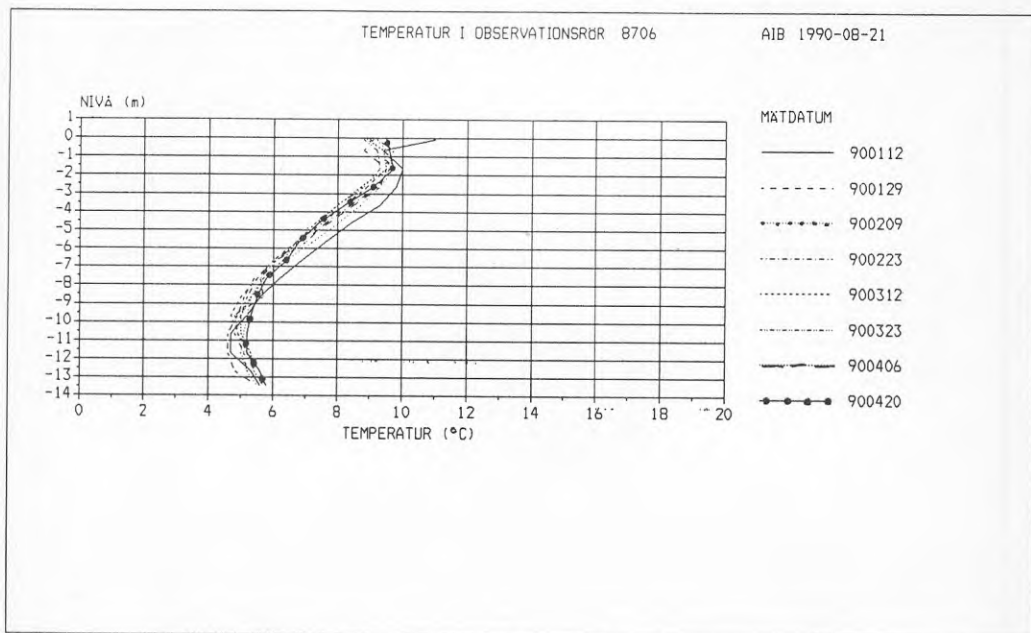
Bilaga 3.1
Sid 15 (19)



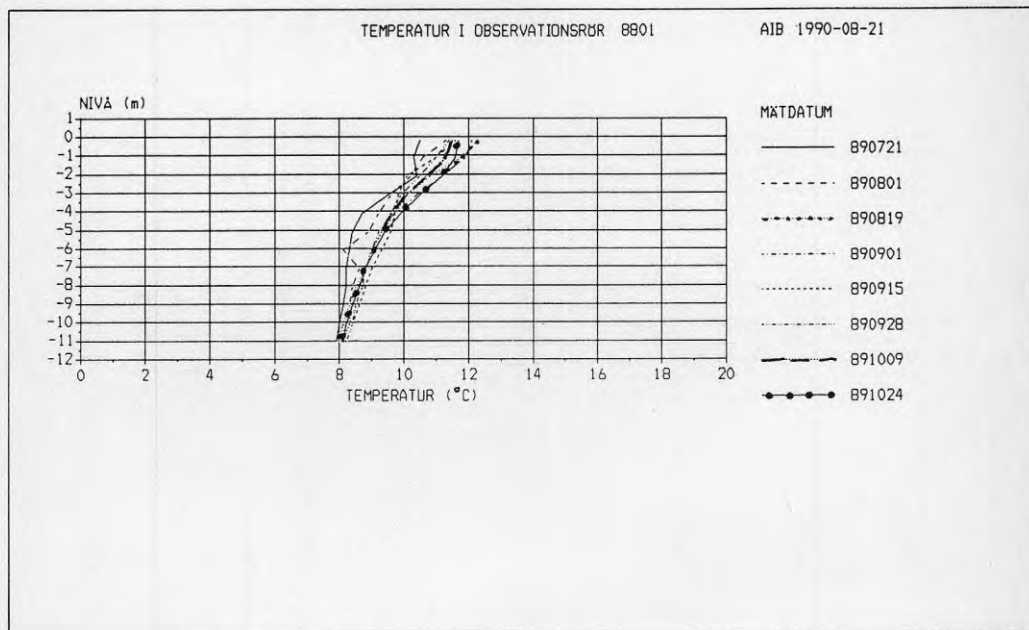
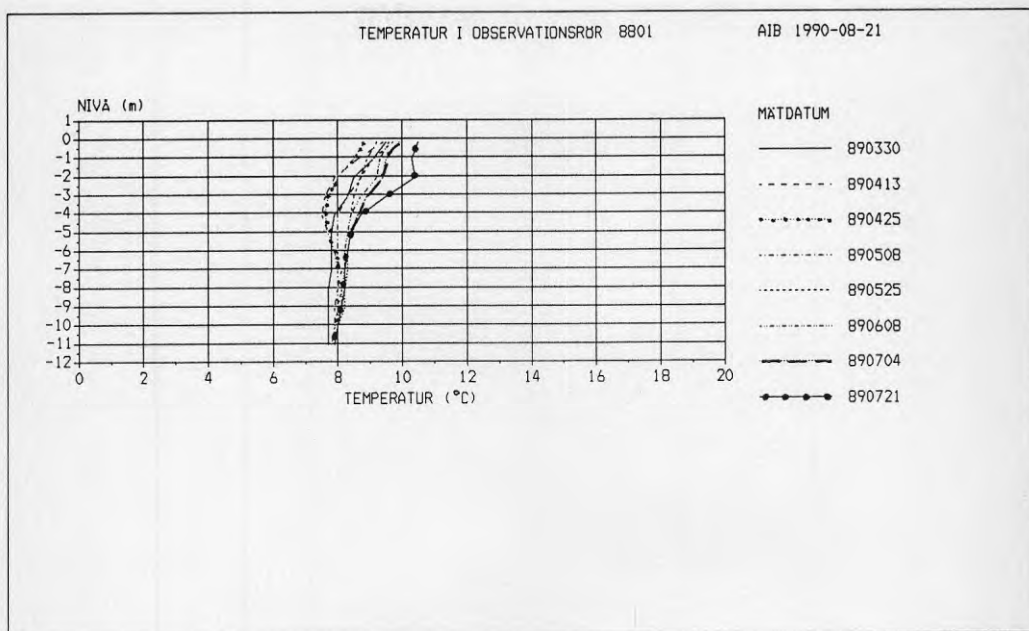
Bilaga 3.1
Sid 16 (19)



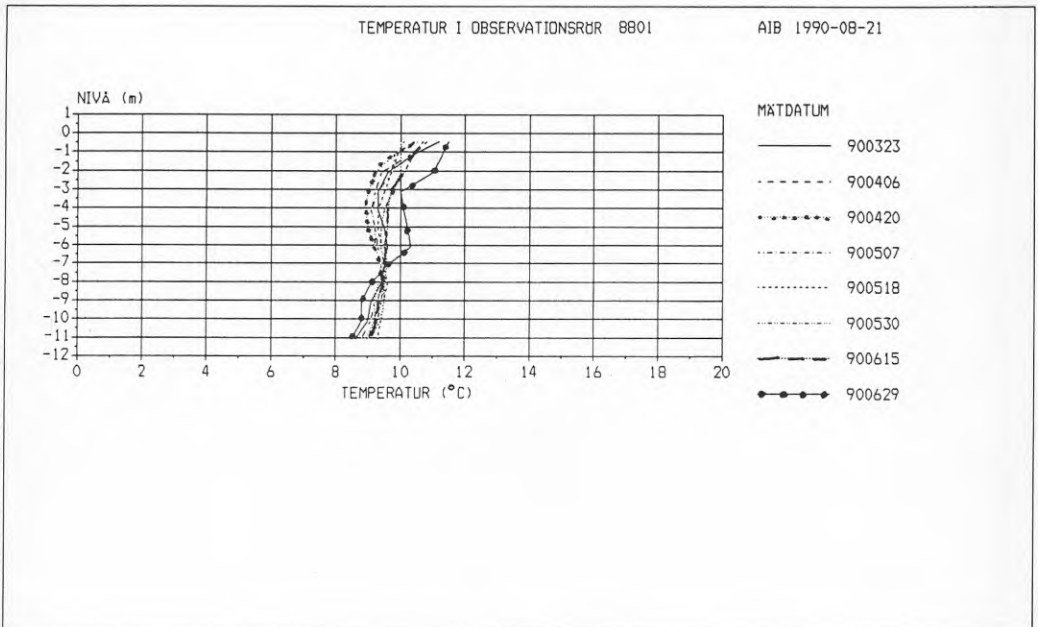
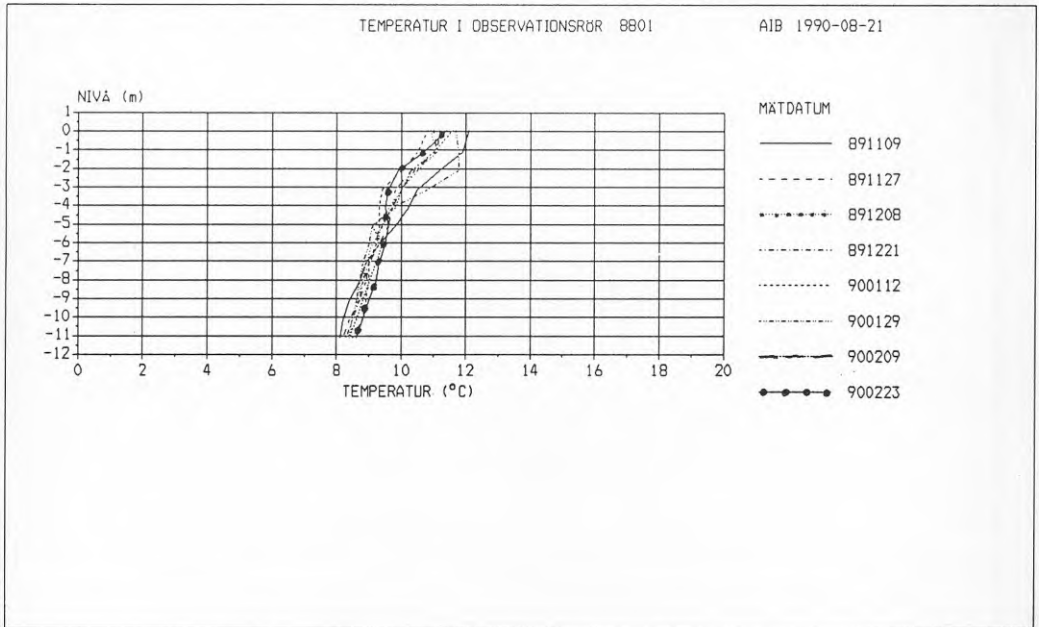
Bilaga 3.1
Sid 17 (19)



Bilaga 3.1
Sid 18 (19)



Bilaga 3.1
Sid 19 (19)



REDOVISNING AV GRUNDVATTENNIVÅMÄTNINGAR

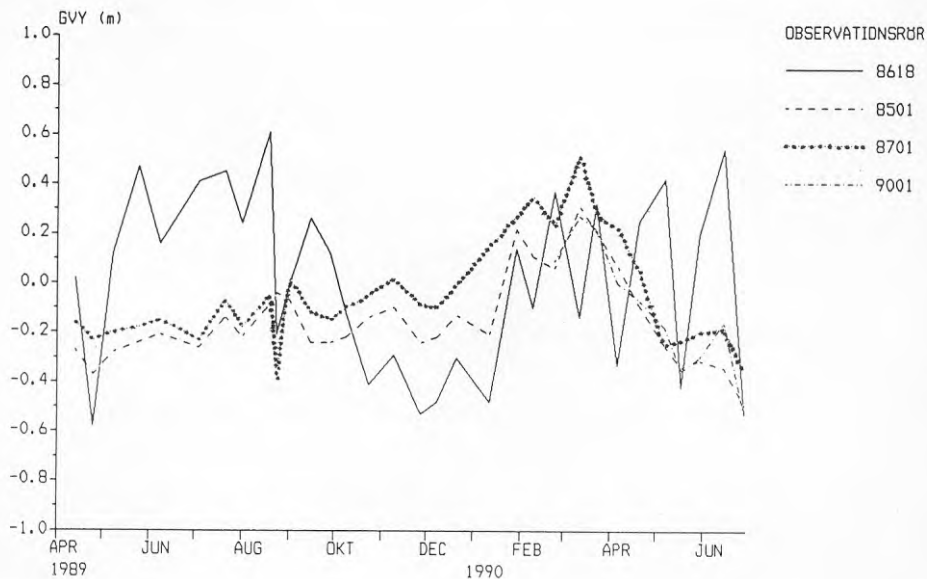
Innehåll

	Sid
1. Grundvattennivåer, södra delen av lagerområdet	2
2. Grundvattennivåer, mellersta delen av lagerområdet	2
3. Grundvattennivåer, norra delen av lagerområdet	3

Bilaga 3.2
Sid 2 (3)

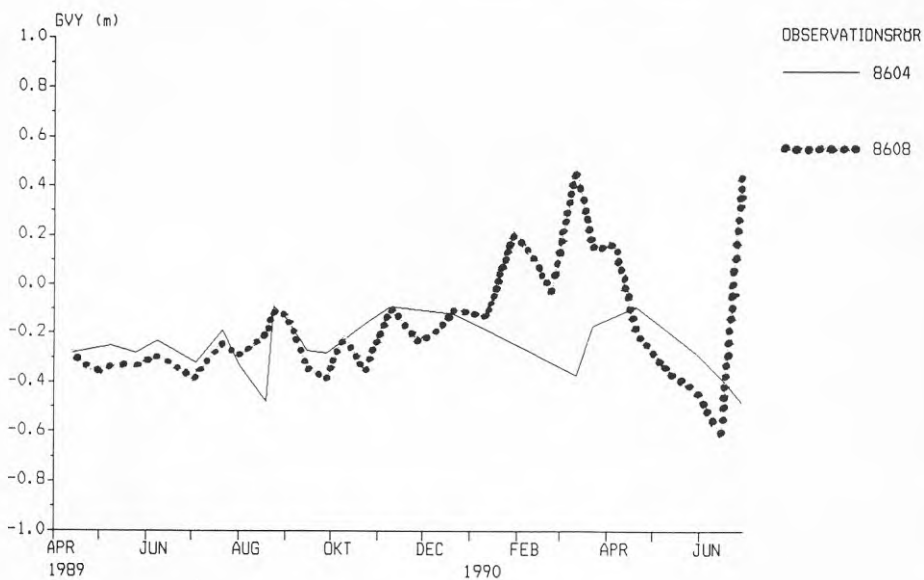
GRUNDVATTENNIVAER I AKVIFERENS SÖDRA DEL

AIB 1990-08-20



GRUNDVATTENNIVAER I AKVIFERENS MELLERSTA DEL

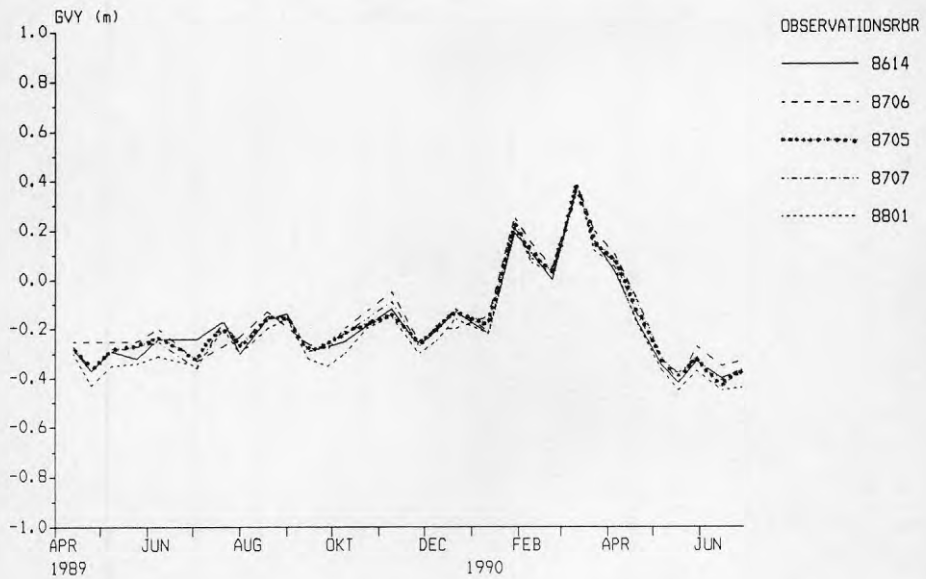
AIB 1990-08-20



Bilaga 3.2
Sid 3 (3)

GRUNDVATTENIVAER I AKVIFERENS NORRA DEL

AIB 1990-08-20



Analys nr	Provet taget	Brunn	mS/m	pH	Ca/dH°	Ca	Mg	Fe	Mn	HCO ₃	Cl	CO ₂ 1)	O ₂
96	88-01-12	E1	119	7.1	196	152	21				118		
94	88-01-27	55	121	7.0	186	129	351)	0.01	0.02	316	123	16	
208	88-02-22	51	117	7.2	184	151	20	<0.005	0.012	307	117	5	
235	88-02-29	51	113	7.2	185	149	22	0.015	<0.005	312	120	5	3.0
253	88-03-02	51	121	7.1	196	160	22	<0.005	<0.005	308	135	11	
336	88-04-05	E	118	7.2	193	146	28	<0.005	0.005	303	120	6	
681	88-06-15	52	134	6.9	190	177	8	0.015	0.050	330			
933	88-08-09	52	125	6.9	205	164	25	0.007	0.007	328	130	26	
1367	88-11-10	34	123	7.3	174	174	23	0.339	0.018	323	126	0	
1368	88-11-10	55	123	7.3	173	173	23	0.112	<0.005	324	126	0	
186	89-02-20	55		7.1	209	176	20	0.02	<0.005	331	137		2
486	89-05-11	34		7.0	209	171	23	0.007	<0.005	349	140		3
802	89-07-05	51	137	7.0	227	166	37	0.030	<0.005	352	140	14	0.5
803	89-07-05	52	134	7.0	211	168	26	0.110	<0.005	354	142	13	
804	89-07-05	53	136	7.0	216	170	28	0.050	<0.005	356	141	13	
695	89-06	51	135	6.9	210	179	19	0.008	0.011	340	138		0.2
908	89-07	51	138	7.0	214	175	24	0.044	0.033	351	120	8	1.8
1070	89-08-22	E	140	6.9		168		0.007	0.019	349	145	20	<0.1
1247	89-09-27	E	144	6.9		176		0.009	0.073	348	155	26	0.1
1606	90-07-30	51	140	7.0	220	170	27	0.011	<0.005	360	140	13	1.3

1) Beräknad E = Brunnsnummer ej antecknat E1 = Avluftningsledning på grundvattenledning

175 47 Järfälla

0758 382 01

bg 238-6092

pg 8 23 33-6

Datum
90-08-24Kundnr Provnr
250 90 - 1606 - 0

UPPDRAGSGIVARE:

AIB ANLÄGGNINGSTEKNIK AB

BOX 1315
171 25 SOLNA

PROVUPPGIFTER

UNDERSÖKNINGSTYP: RENVATTEN FÖR ENSKILD FÖRBRUKNING

PROVART: BRUNNSVATTEN

PROVET TAGET: 90-07-30 11.30

PROVTAGARE: Anders Eriksson

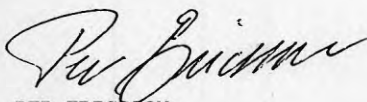
I VET INKOM: 90-07-30 13.30

PROVTAGNINGSPÅSATS: SAS BRUNN 51

PROVMÄRKNING: SAS BRUNN 51

ANALYSRESULTAT

TEMPERATUR	PROVTAGNING/ANKOMST	Termometer		°C
KEMISK UNDERSÖKNING				
GRUMLIGHET, OKULÄR		MS 122		ingen
GRUMLIGHET, TURBIDITET		SS 02 81 25-2	FNU	0.10
BOTTENSATS		MS 122		ingen
FÄRG TAL		Fotom	Pt mg/l	<5
PH-VÄRDE		SS 02 28 22-2	pH-enhet	7.0
JÄRN		SS 02 81 29	mg/l	0.011
KONDUKTIVITET (25°C)		SS 02 81 23	mS/m	140
KEMISK SYREFÖRBRUKNING, MN		SS 02 81 18	mg/l	1
ALKALINITET		SS 02 81 39	mg/l	360
HÄRDHET, BER. SOM CA		SS 02 81 21-2	mg/l	220
MANGAN		SS 02 81 30	mg/l	<0.005
AMMONIUM-KVÄVE		SS 02 81 34	mg/l	0.054
NITRAT-NITROGEN		SS 02 81 33	mg/l	3.4
NITRIT-NITROGEN		SS 02 81 32	mg/l	0.011
FOSFAT-FOSFOR		SS 02 81 26-2	mg/l	0.006
KLORID		Jonkromatograf	mg/l	140
SULFAT		Jonkromatograf	mg/l	220
FLUORID		Jonkromatograf	mg/l	0.67
KOLSYRA (MARMORAGGRESIV)		Beräknad	mg/l	13
KALCIUM		SS 02 81 19	mg/l	170
MAGNESIUM		SS 02 81 21-2	mg/l	27
NATRIUM		SS 02 81 60	mg/l	79
KALIUM		SS 02 81 60	mg/l	20
SYRE		SS 02 81 14	mg/l	1.3


PER ERICSSON
LABORATORIECHIEF

Beräkning av jonbalans för analys nr: 1606

Provet Märkt: Brunn 51

Provtagare: AIB

Katjoner(+)	Mg/l	Mek/l	%
Järn, Tot	0.01	0.00	0.00
Mangan	0.00	0.00	0.00
Ammonium	0.05	0.00	0.02
Kalcium	170.00	8.50	57.82
Magnesium	27.00	2.25	15.31
Natrium	79.00	3.43	23.36
Kalium	20.00	0.51	3.49
Summa Katjoner		14.70	
Anjoner (-)			
Nitrat	15.00	0.24	1.65
Sulfat	220.00	4.58	31.17
Bikarbonat	360.00	5.90	40.13
Klorid	140.00	3.94	26.82
Fluorid	0.67	0.04	0.24
Summa anjoner		14.71	
Skillnaden		0.00	
Beräknad Glödrest	848.85		
Beräknad ledningsförmåga	138.67	mS/m	

TEMPERATURMEDELVÄRDEN FÖR DJUPINTERVALL

Innehåll

	Sid
1. Skikttemperaturer 1987, södra delen av akviferen	2
2. Skikttemperaturer 1988, södra delen av akviferen	4
3. Skikttemperaturer 1988, norra delen av akviferen	6
4. Skikttemperaturer 1989, norra delen av akviferen	8

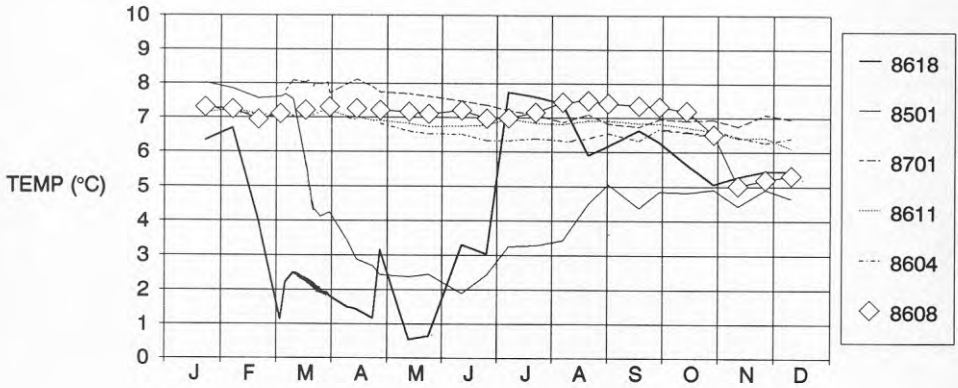
Anm Södra delen omfattar observationsrören 8618, 8501, 8701, 8611, 8604 och 8608 medan norra delen omfattar observationsrören 8614, 8705, 8706, 8707 och 8801. Även temperaturer i dammen norr om kontorsbyggnaden har medtagits, se sid 8.

Akviferen har delats in i djupintervall enligt nedan:

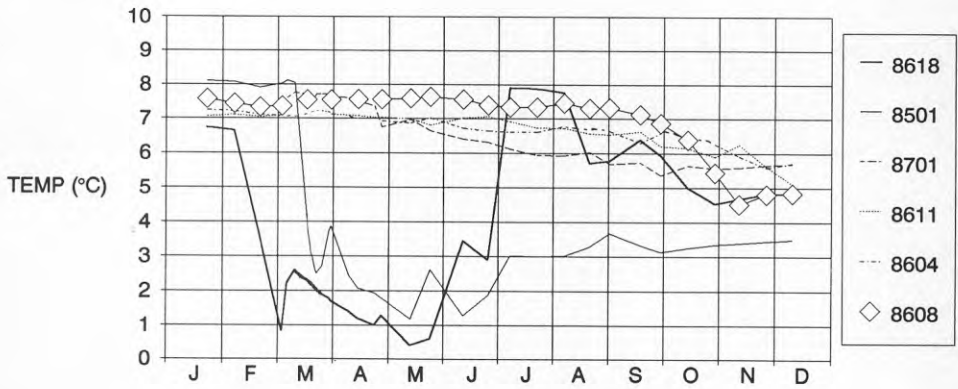
skikt 1	gvy - -2 m
skikt 2	-2 m - -5 m
skikt 3	-5 m - -10 m
skikt 4	-10 m - -15 m
skikt 5	-15 m - -20 m
skikt 6	-20 m och djupare

Grundvattenytan (gvy) är ca ± 0 . Nivåerna är angivna i höjdsystem 1900 (RH00).

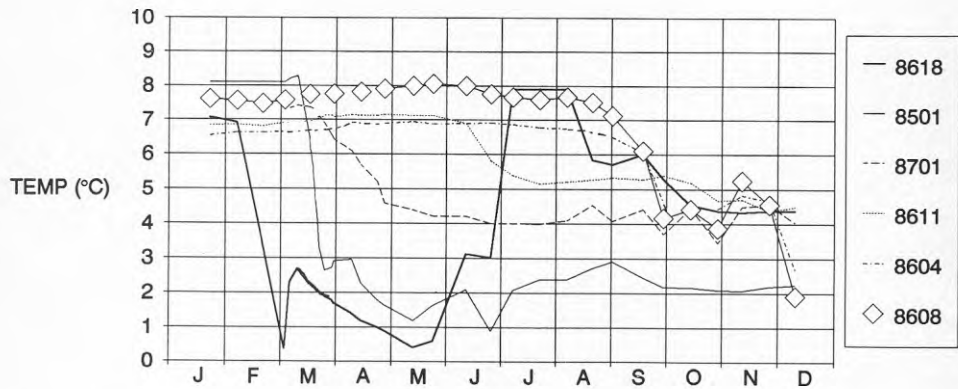
Skikttemperaturer 1987, södra delen



Skikt 1

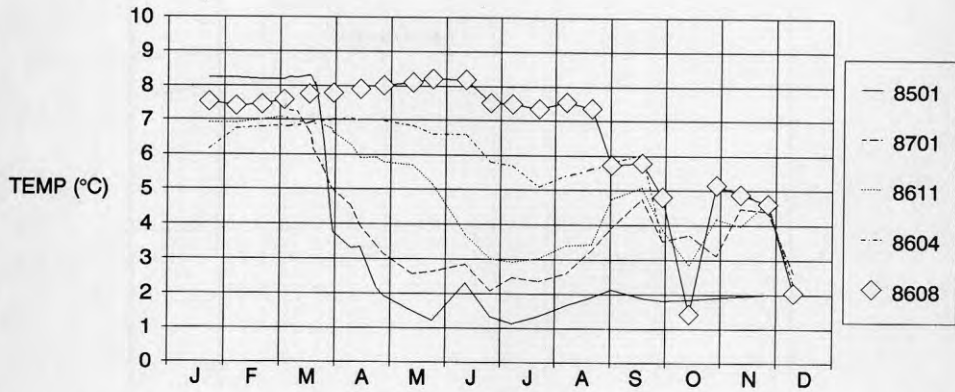


Skikt 2

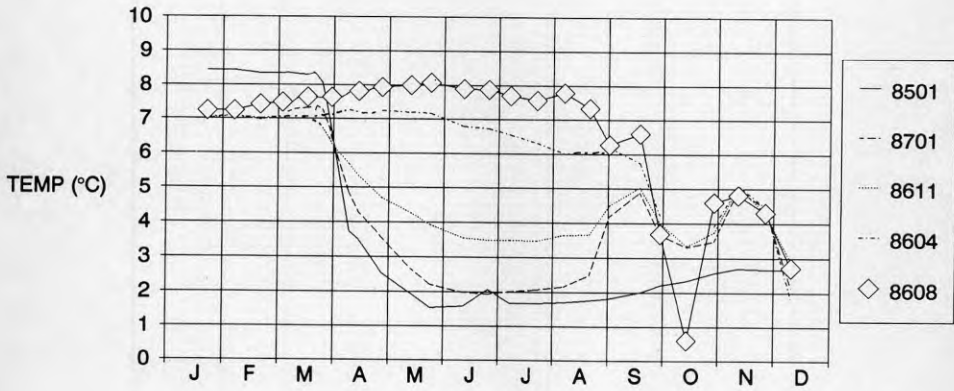


Skikt 3

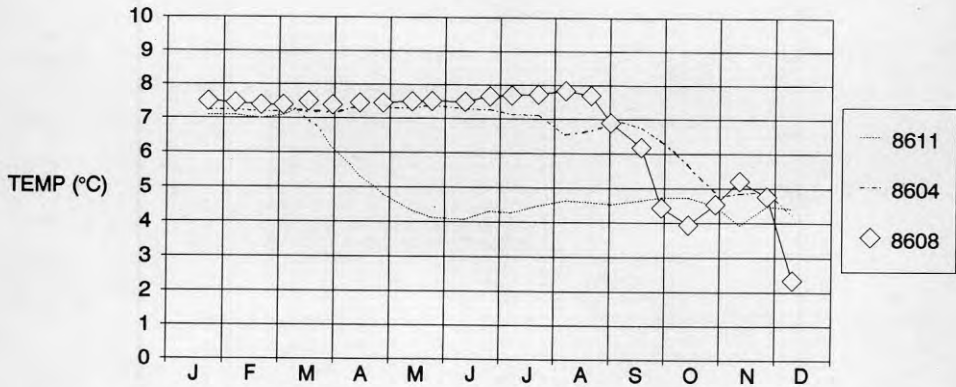
Skikttemperaturer 1987, södra delen



Skikt 4

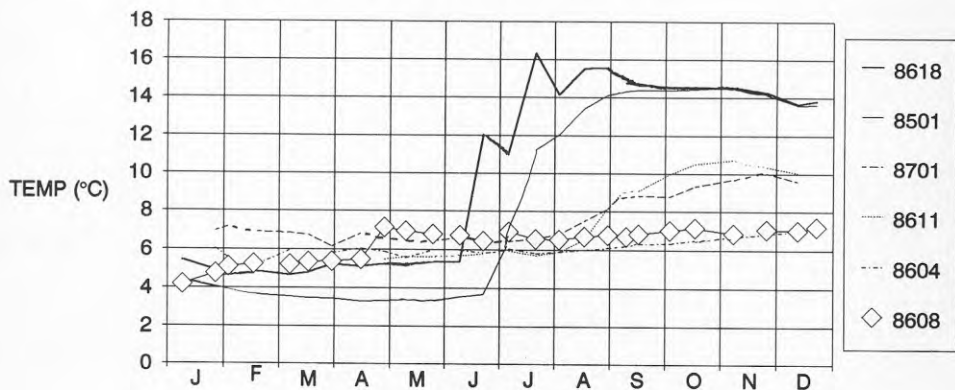


Skikt 5

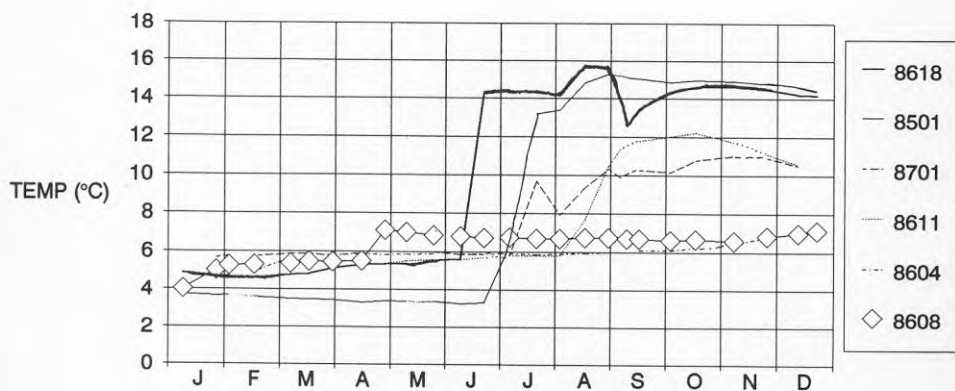


Skikt 6

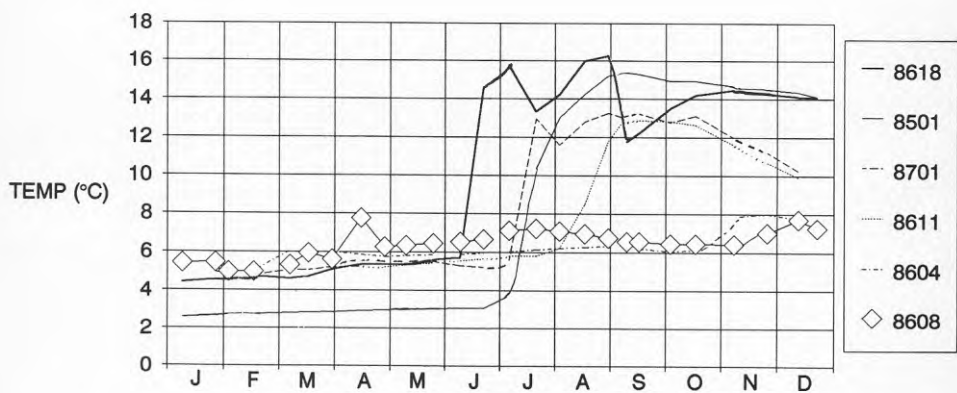
Skikttemperaturer 1988, södra delen



Skikt 1

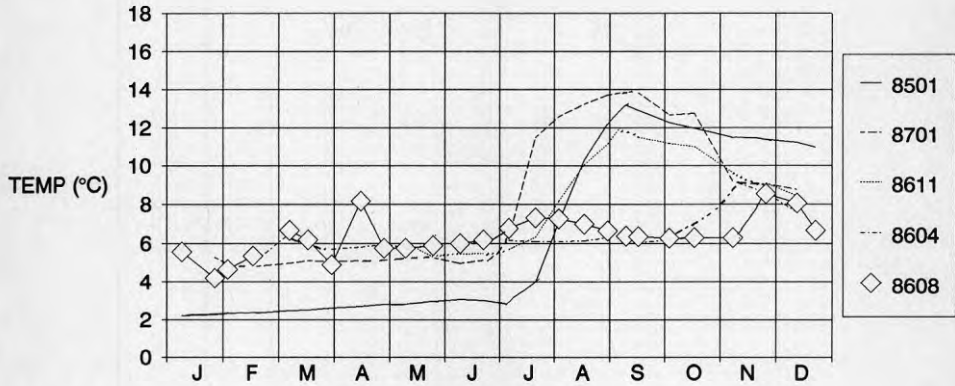


Skikt 2

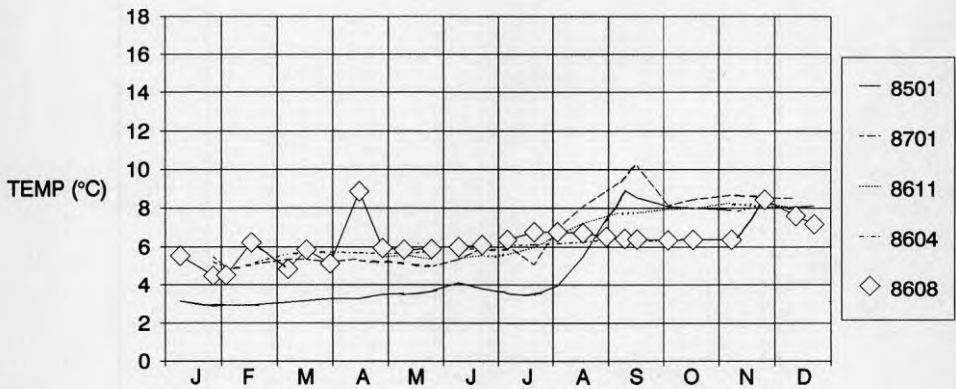


Skikt 3

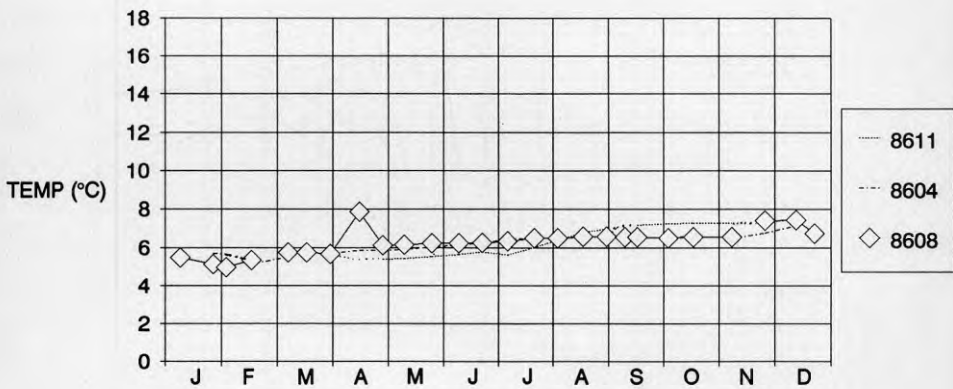
Skikttemperaturer 1988, södra delen



Skikt 4

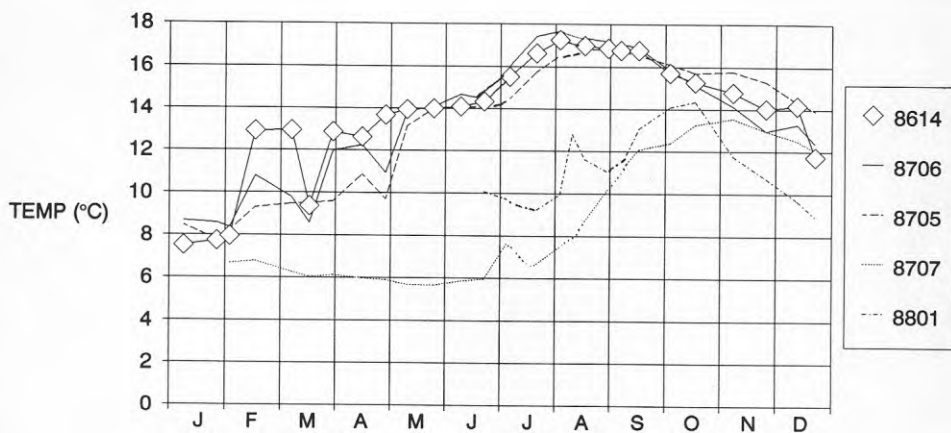


Skikt 5

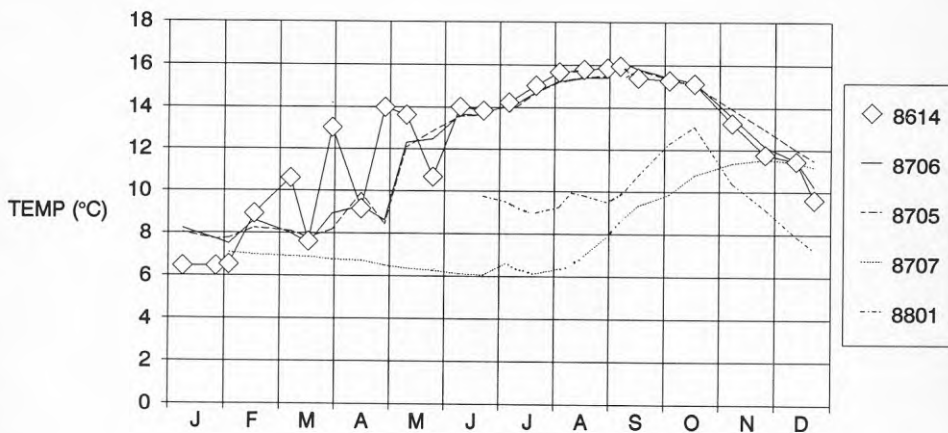


Skikt 6

Skikttemperaturer 1988, norra delen

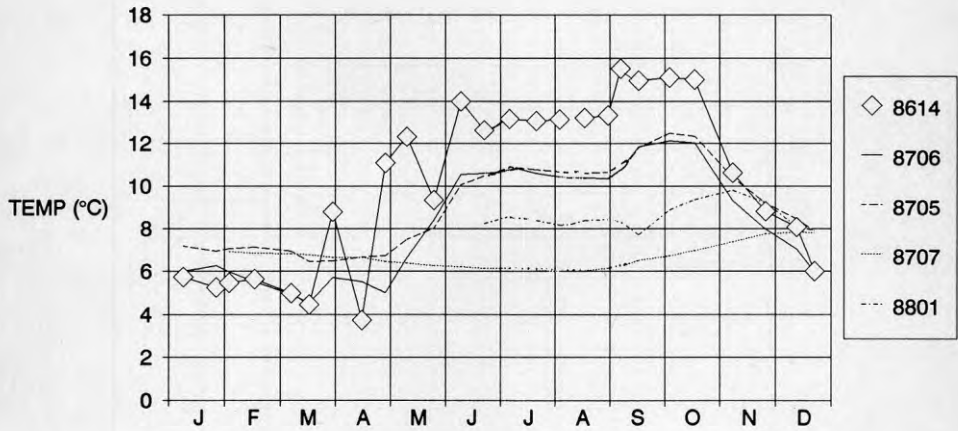


Skikt 1

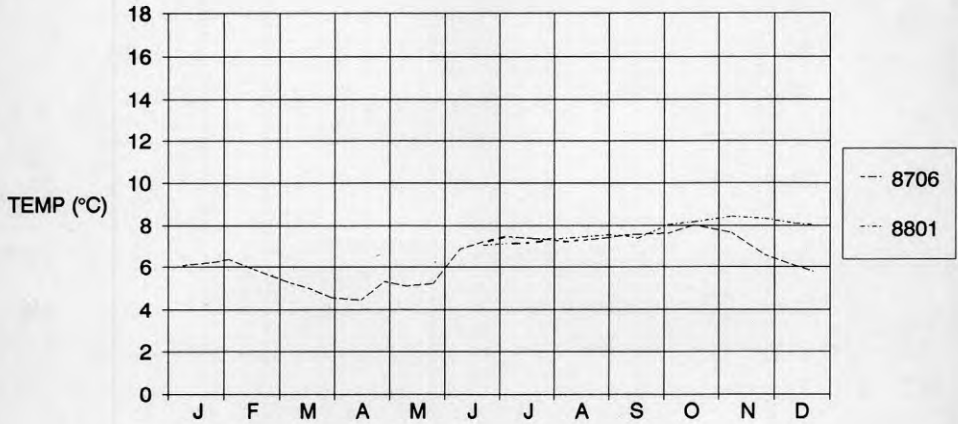


Skikt 2

Skikttemperaturer 1988, norra delen

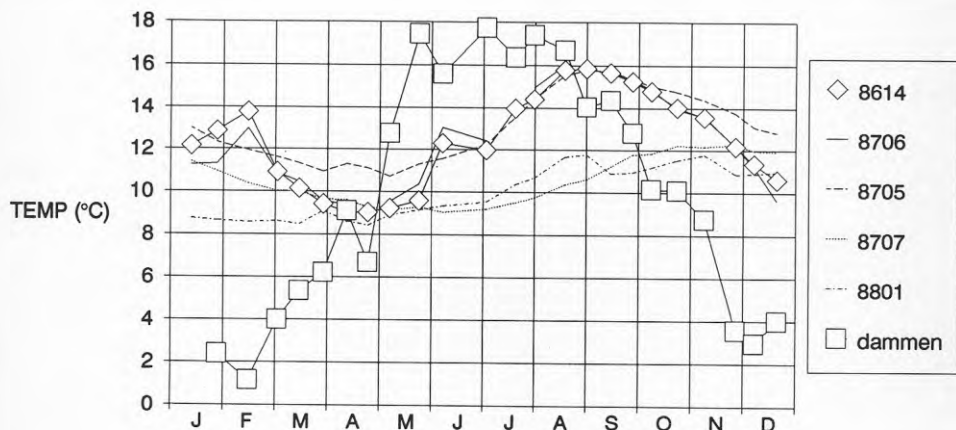


Skikt 3

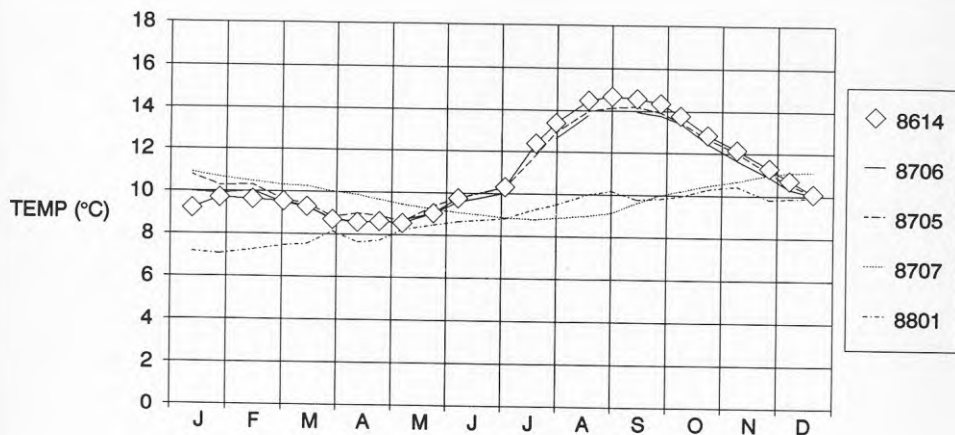


Skikt 4

Skikttemperaturer 1989, norra delen

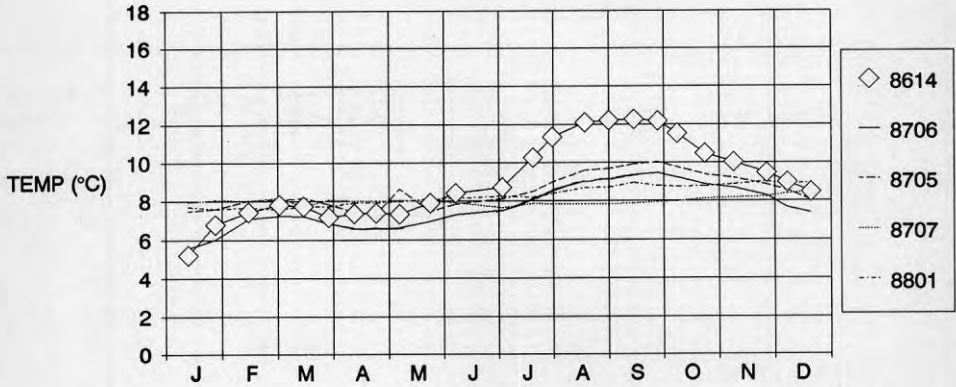


Skikt 1

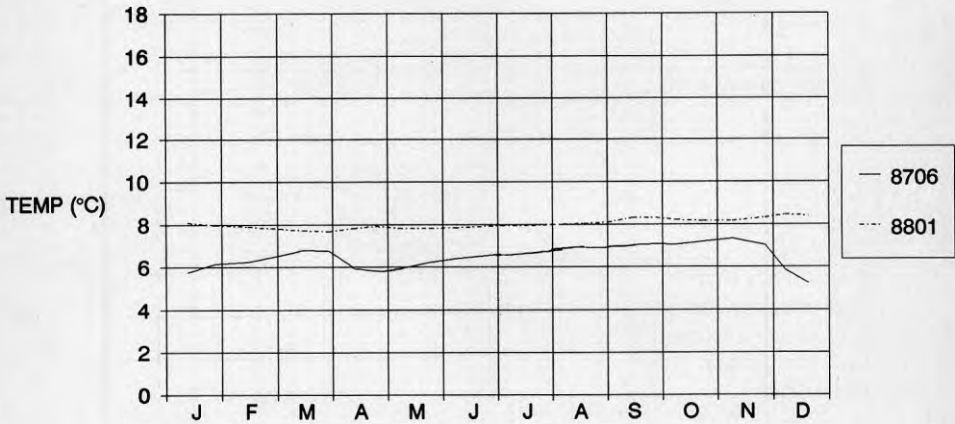


Skikt 2

Skikttemperaturer 1989, norra delen



Skikt 3



Skikt 4

Ekonomisk utvärdering av SAS akviferbaserade energisystem.

JÄMFÖRELSE MELLAN AKVIFERSYSTEM OCH KONVENTIONELLT SYSTEM

Förutsättningar:

- 1) eftersom investeringskostnaderna för de båda systemen är lika studeras endast de rörliga kostnaderna (akvifer 8.4 Mkr konventionellt 8.7 Mkr, 1986)
- 2) Kalkylunderlaget har hämtats från kap 16, /Åbyhammar 1990/.

Energipriser 1988:			
El		Fjärrvärme	
effektavgift (kr/år)	20000 + 290 kr/kW	effektavgift	23885 kr + 47 kr/kW
sommar	212 kr/MWh	sommar	150 kr/MWh
vinter	257 kr/MWh	vinter	200 kr/MWh
		vattenavgift	1.19 kr/m ³

	AKVIFERBASERAT SYSTEM		KONVENTIONELLT SYSTEM	
	Mängd	Kostnad	Mängd	Kostnad
Värme:				
Värmepumpeffekt (kW)	1350		1700	
Eleffekt (kW)	500			
Fövärmning (kW)	1600			
Energibehov (MWh)	3750		3000	
Köpt energi (MWh)	1390		3000	
Köpt energi sommar 10%	139	29 kkr	300	45 kkr
Köpt energi vinter 90%	1251	322 kkr	2700	540 kkr
Effektavgift		110 kkr		104 kkr
Vattenavgift		0 kkr		71 kkr
Energikostnad värme:		461 kkr		760 kkr

	AKVIFERBASERAT SYSTEM		KONVENTIONELLT SYSTEM	
	Mängd	Kostnad	Mängd	Kostnad
Kyla:				
Effekt (kW)	2400		2400	
Energibehov (MWh)	2650		2650	
Köpt energi (MWh)	ingår i värme ovan		883	
Köpt energi sommar 70%		0	618	131 kkr
Köpt energi vinter 30%		0	265	68 kkr
Effektavgift		0 kkr		44 kkr
Energikostnad kyla		0 kkr		243 kkr

Underhåll:	250 kkr	150 kkr
-------------------	----------------	----------------

Totalkostnad	711 kkr	1153 kkr
Totalkostnad kr/MWh	0.11 kr/kWh	0.20 kr/kWh

PROJETERADE ANLÄGGNINGAR

	AKVIFERSYSTEM		KONVENTIONELLT SYSTEM	
	1988	1990	1988	1990
Fasta avgifter	110 kkr	110 kkr	148 kkr	148 kkr
Rörl. E- kostn	351 kkr	351 kkr	784 kkr	919 kkr
Vattenavgift	0 kkr	0 kkr	71 kkr	71 kkr
Skatter	100 kkr	100 kkr	64 kkr	64 kkr
Underhåll	250 kkr	300 kkr	150 kkr	175 kkr
Personal	300 kkr	400 kkr	150 kkr	200 kkr
Avskrivningstid	15 år	15 år	20 år	20 år
Ränta	17 %	17 %	17 %	17 %
Årlig amortering	1578 kkr	1578 kkr	1546 kkr	1546 kkr
Summa:	2689 kkr	2639 kkr	2912 kkr	3122 kkr
Prod. kyla	2650 MWh	2650 MWh	2650 MWh	2650 MWh
Prod. värme	3750 MWh	3750 MWh	3000 MWh	3000 MWh
Kostnad:	0.42 kr/kWh	0.44 kr/kWh	0.52 kr/kWh	0.55 kr/kWh

VERKLIGA KOSTNADER 1989-06-30

Yttre markanläggningar	2950 kkr
Energicentral	9350 kkr
Projektsamordning m m	3300 kkr
Summa:	15600 kkr

Anm. I denna summa ingår ej byggherreomkostnader. Att totalkostnaden blev högre än beräknat beror på att en tillkommande tredje värmepump installerades samt att energicentralen byggdes i två etapper.

Kapitalkostnader:

17 % kalkylränta och 10 % inflation ger en

Realränta	7 %	
Avskrivningstid	15 år	1713 kkr

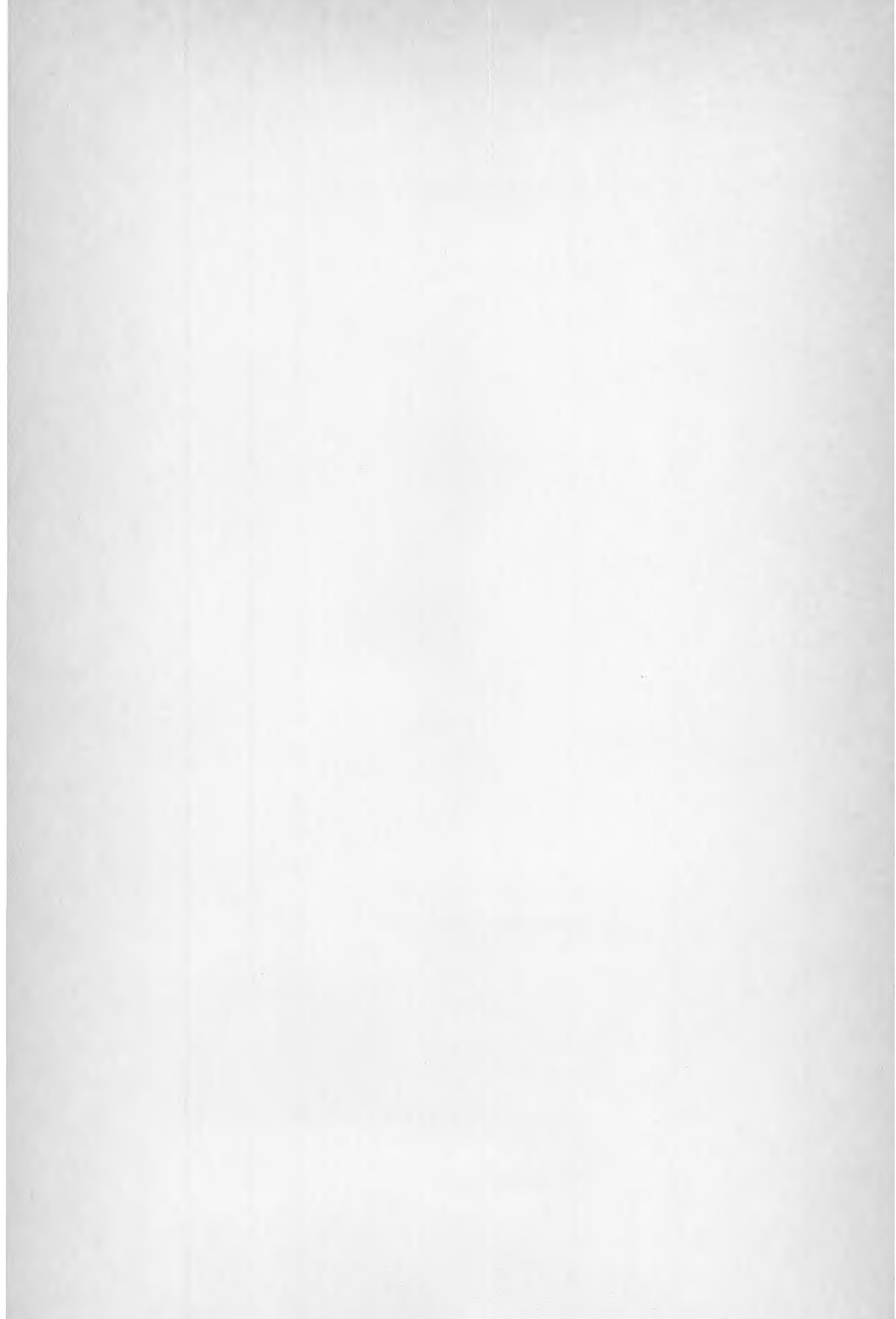
Driftskostnader :

Personal 1.25 tjänst	400 kkr	
Underhåll	300 kkr	700 kkr

Elkostnader :

Elförbrukning under perioden 890701- 900630	1283 MWh	
Verklig elkostnad för SAS inklusive fasta avgifter och skatter (ej moms)		
för perioden var 0.39 kr/kWh	Elkostnaden blir då	500 kkr
Summa:		2913 kkr

Levererad energi	6578 MWh varav	
	värme 3508 MWh	och kyla 3070 MWh
		Energikostnaden blir då:
		0.44 kr/kWh



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 861049-5
från Statens råd för byggnadsforskning till AIB
Anläggningsteknik AB, Solna.**

R14: 1991

ISBN 91-540-5304-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811014

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna**

Cirka pris: 64 kr exkl moms