



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

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



**Rapport**

**R80:1989**

# **Grundvattenvärme**

**Kvarteret Tärnan i Landskrona**

**Christer Gedda  
Johan Bennet  
Johan Claesson  
Thomas Holm**

*R/AMA*

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| INSTITUTET FÖR<br>BYGGDOKUMENTATION |            |
| Accnr                               |            |
| Plac                                | <i>Ser</i> |

**Byggforskningsrådet**

R80:1989

GRUNDVATTENVÄRME

Kvarteret Tärnan i Landskrona

Christer Gedda  
Johan Bennet  
Johan Claesson  
Thomas Holm

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810238-4  
från Statens råd för byggnadsforskning till Kjessler &  
Mannerstråle AB, Halmstad.

## REFERAT

Rapporten redovisar fältförsök, uppföljning och termohydraulisk utvärdering av en experimentbyggnadsanläggning i kvarteret Tärnan i Landskrona. En låg energiförbrukning eftersträvas genom överglasad gata mm.

Fältmätningarna i Tärnan har givit värdefull direkt kunskap om hur en grundvattenakvifär kan bete sig termohydrauliskt. Sammanfattningsvis har grundvattenvärmesystemet i Tärnan fungerat bra utan termisk kortslutning, dvs utan kontakt mellan varmt och kallt vatten, trots att det har visat sig att 50% av vattnet strömmar i en övre sprickzon.

Uppvärmningen sker med värmepump som tar värme ur grundvattnet via en 80 m djup brunn i en uppsprucken kalkstensakvifer. Det nedkylda vattnet återinjekteras i en brunn 40 m bort. Det återinjekterade kalla vattnet sprider sig efterhand ochkan i olyckliga fall leda till termisk kortslutning mellan återinjektering- och uttagsbrunnar, varvid alltför kallt vatten erhålles.

Akvifererna har kartlagts och studerats bl a genom olika borrhålslogningar och ett spårämförsök. Temperaturförloppen i systemets olika delar har följts i ett relativt omfattande mätprogram under 5 års drift. Nedkylningen av mark och akvifer på olika djup har registrerats i tre mätbrunnar. I det aktuella fallet har temperaturen på det upptagna vattnet sjunkit ca 1,5° C till 9,3° C efter tre års drift av värmepumpen. Efter 15 års drift kommer uttagstemperaturen enligt beräkningarna att ha sjunkit till 8,5° C, varefter temperaturen i stortstabiliserar sig. En viktig del i projektet har varit att testa de utvecklade beräkningsmodellerna för temperaturförloppet i mark och akvifer. Beräkningar och mätningar visar att akviferen är kraftigt skiktad med en övre sprickzon på två meters tjocklek, där halva vattenmängden strömmar. Skillnaden mellan beräknade och uppmätta temperaturer i mätbrunnarna är mindre än 1° C. Skillnaden i uttagstemperatur, som är det primära intresset vid dimensionering, blev mindre än 0,5° C.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblegt papper.

R80:1989

ISBN 91-540-5094-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

# Innehåll

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Sammanfattning</b>                                       | <b>1</b>  |
| <b>DEL I. Fältförsök och uppföljning. Christer Gedda</b>    | <b>2</b>  |
| 1 Lågenergiprojekt i kvarteret Tärnan . . . . .             | 2         |
| 2 Bakgrund . . . . .  | 4         |
| 3 Projektuppläggning . . . . .                              | 4         |
| 3.1 Frågeställningar . . . . .                              | 4         |
| 3.2 Arbetsprogram 1983 . . . . .                            | 5         |
| 3.3 Kompletterande undersökningar 1985 . . . . .            | 5         |
| 4 Hydrogeologiska förhållanden . . . . .                    | 5         |
| 4.1 Allmänt . . . . .                                       | 5         |
| 4.2 Grundvattnet i kalkstenen . . . . .                     | 5         |
| 4.3 Sprickfördelning m.m. . . . .                           | 6         |
| 5 System för temperaturkontroll . . . . .                   | 7         |
| 5.1 Allmänt . . . . .                                       | 7         |
| 5.2 Kontrollbrunnar . . . . .                               | 7         |
| 5.3 Mätsonder . . . . .                                     | 8         |
| 5.4 Datainsamling . . . . .                                 | 8         |
| 6 Värmepumpar och energibehov . . . . .                     | 8         |
| 7 Testperiod . . . . .                                      | 9         |
| 7.1 Driftuppföljning . . . . .                              | 9         |
| 7.2 Temperaturer vid värmepumpen . . . . .                  | 10        |
| 8 Temperaturer i akviferen . . . . .                        | 11        |
| 8.1 Vid kontrollbrunnarna . . . . .                         | 11        |
| 8.2 I akviferen . . . . .                                   | 13        |
| <b>DEL II. Beräkningar och termohydraulisk utvärdering.</b> |           |
| <b>Johan Bennet, Johan Claesson</b>                         | <b>14</b> |
| 1 Grundvattenvärmeprojekt Tärnan . . . . .                  | 14        |
| 2 Indata . . . . .  | 15        |
| 2.1 Geometri . . . . .                                      | 15        |
| 2.2 Formationen . . . . .                                   | 15        |
| 2.3 Permeabiliteter . . . . .                               | 15        |
| 2.4 Termiska egenskaper . . . . .                           | 16        |
| 2.5 Rand- och begynnelsestemperaturer . . . . .             | 16        |
| 2.6 Vattenflöden och injektionstemperaturer . . . . .       | 17        |
| 2.7 Simuleringstid . . . . .                                | 18        |
| 3 Jämförelse mellan beräkningar och mätningar . . . . .     | 18        |
| 3.1 Kontrollbrunnarna 1 och 2 . . . . .                     | 18        |
| 3.2 Kontrollbrunn 3 . . . . .                               | 19        |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 3.3   | Uttagstemperaturen . . . . .   | 19        |
| 4   | Speciella permeabilitetssituationer . . . . .                          | 20        |
| 4.1   | Endast sprickan permeabel . . . . .                                    | 20        |
| 4.2   | Sprickan blockerad . . . . .   | 20        |
| 5   | Diskussion . . . . .   | 21        |
| <b>DEL III. Utvärdering av spårämnesförsök. Thomas Holm</b> |  | <b>22</b> |
| 1   | Bakgrund . . . . .   | 22        |
| 2   | Utvärderingsmetod för spårämnesförsök för tvåbrunnssystem . . . . .    | 22        |
| 3   | Utfört spårämnesförsök och utvärdering . . . . .                       | 23        |
| 4   | Spårämnesförsök kontra övriga hydrogeologiska undersökningar . . . . . | 27        |
| <b>Referenser</b>   |  | <b>30</b> |
| <b>Bilaga 1-7. Mätvärden</b>                                |  | <b>31</b> |
| <b>Bilaga 8. Beräknade och uppmätta temperaturer</b>        |  | <b>38</b> |

Denna rapport är utförd i samarbete mellan Christer Gedda vid Kjessler & Mannerstråle AB (BFR-anslag 810238-4), Markvärmegruppen i Lund (ramanslag från BFR {BFR-anslag 870564-5} och Statens Energiverk) och Thomas Holm, Geologiska institutionen vid Chalmers (BFR-anslag 840541-8). Mätningarna har utförts av Bertil Fredlund, Egon Lange m.fl. vid Mätcentralen, Byggnadskonstruktionslära, Lund.



## Sammanfattning

Kvarteret Tärnan i Landskrona är ett experimentbygge, där låg energiförbrukning eftersträvas genom överglasad gata m m. Uppvärmningen sker med värmepump som tar värme ur grundvattnet via en 80 m djup brunn i en uppsprucken kalkstensakvifer. Det nedkylda vattnet återinjekteras i en brunn 40 meter bort.

Det återinjekterade kalla vattnet sprider sig efterhand och kan i olyckliga fall leda till termisk kortslutning mellan återinjektering- och uttagsbrunnar, varvid alltför kallt vatten erhålles. För att undvika detta måste man förstå akviferens termohydrauliska beteende för olika akvifertyper, placering av brunnarna och olika vattenuttag. Därför sker en uppföljning av ett antal grundvattenvärmesystem, där Tärnan är ett.

Akviferen har kartlagts och studerats bl a genom olika borrhålsloggningar och ett spårämnesförsök. Temperaturförloppen i systemets olika delar har följts i ett relativt omfattande mätprogram under 5 års drift. Nedkylningen av mark och akvifer på olika djup har registrerats i tre mätbrunnar.

I det aktuella fallet har temperaturen på det upptagna vattnet sjunkit ca  $1,5^{\circ}\text{C}$  från  $10,8$  till  $9,3^{\circ}\text{C}$  efter tre års drift av värmepumpen. Efter 15 års drift kommer uttagstemperaturen enligt beräkningarna att ha sjunkit till  $8,5^{\circ}\text{C}$ , varefter temperaturen i stort stabiliserat sig.

En viktig del i projektet har varit att testa de utvecklade beräkningsmodellerna för temperaturförloppet i mark och akvifer. Beräkningar och mätningar visar att akviferen är kraftigt skiktad med en övre sprickzon på två meters tjocklek, där halva vattenmängden strömmar. Spårämnesförsöket är, dock utan att kunna ge ett entydigt resultat, konsistent med detta. Kapacitetstesterna, enligt vilka bara 20% av vattenflödet sker i detta skikt, har således ej givit tillräckligt tillförlitliga resultat. Mätningar och beräkningar visar att temperaturen i marken runt injektionsbrunnen är mycket känslig för akviferens skiktning. För att kunna simulera förloppet måste man veta permeabilitetsfördelningen i djupled med någorlunda precision.

Skillnaden mellan beräknade och uppmätta temperaturer i mätbrunnarna är, frånsett en period då injektionstemperaturerna troligen var felaktiga, mindre än  $1^{\circ}\text{C}$ . Skillnaden i uttagstemperatur, som är det primära intresset vid dimensionering, blev mindre än  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Fältmätningarna i Tärnan har givit värdefull direkt kunskap om hur en grundvattenakvifer kan bete sig termohydrauliskt. Det vore värdefullt om man kunde göra ett kompletterande spårämnesförsök och en s.k. "flowmeter tests" för att direkt mäta flödesfördelningen i brunnarna.

Sammanfattningsvis har grundvattenvärmesystemet i Tärnan fungerat bra utan termisk kortslutning, trots att det har visat sig att 50% av vattnet strömmar i en övre sprickzon.

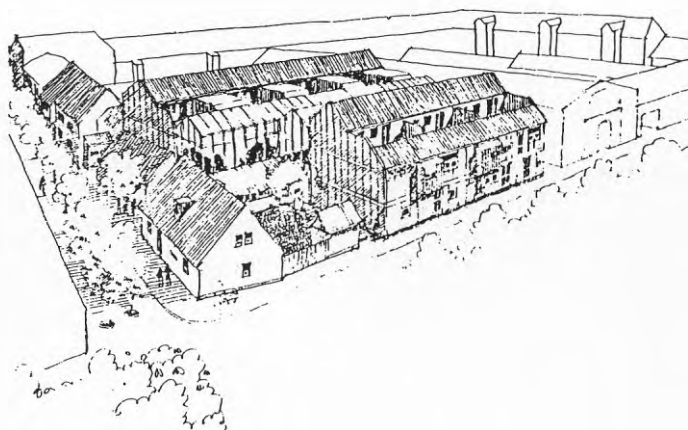
## DEL I.

### Fältförsök och uppföljning

Christer Gedda

#### 1 Lågenergiprojekt i kvarteret Tärnan.

Kvarteret Tärnan i Landskrona är ett experimentellt byggprojekt efter lågenergiprincipen med bl a överglasad gata. Se figur 1. För energibehovet utnyttjas naturvärme från grundvattnet som förädlas via värmepumpar och användes för all uppvärmning.



Figur 1. Kvarteret Tärnan i Landskrona.

Grundvattenuttaget sker från en 80 m djup brunn i en kalkstensakvifer och återföringen sker till en liknade brunn belägen ca 40 m från uttagsbrunnen. Se figur 2.

Detta projekt ingår som en del av större energiprojekt: Bertil Fredlund, "Energianvändning i radhus med glasgård och energi ur grundvatten med värmepump: mätningar, datorberäkningar och brukarstudier" Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lunds Tekniska Högskola.

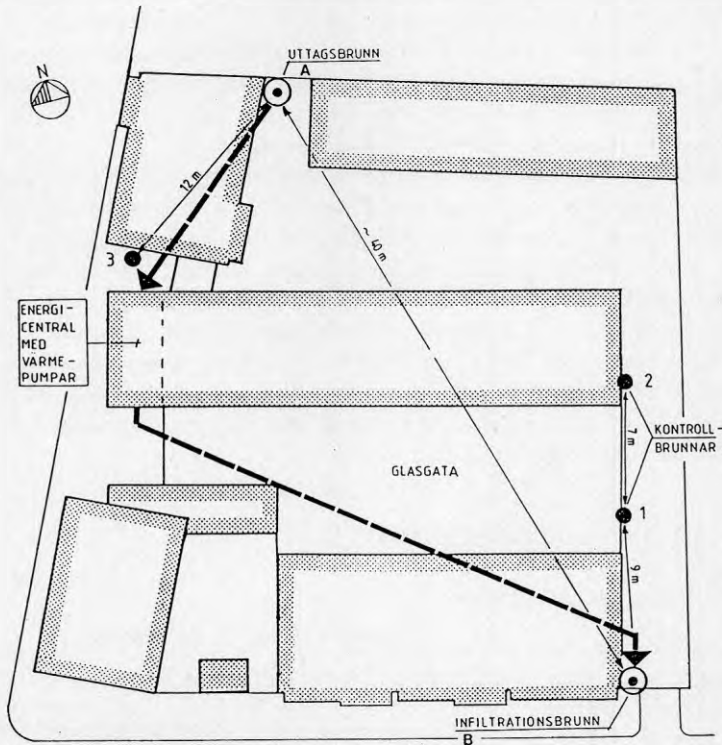
Detta projekts huvuduppgift har varit att anlägga kontrollbrunnar och att arrangera observationsmöjligheter för att kunna följa upp och dokumentera akviferens temperaturförändringar vid återinfiltrationen av det nedkylda grundvattnet under en treårsperiod.



Härvid gäller bl a att under den längre driftsperioden söka kartlägga kallvattenfrontens rörelse i akviferen för att undvika att det upptagna vattnet i uttagsbrunnen blir alltför nedkylt (så kallad termisk kortslutning) varvid energi inte längre kan utvinnas.

Samtliga mätdata finns lagrade i en databas vid LTH. Bearbetning och uttolkning av mätresultaten i matematiska modeller redovisas i del II. En ytterligare kartläggning av vattenrörelserna i den sprickiga kalkstenen med spårämnesförsök redovisas i del III.

Inflyttningen i husen skedde under maj 1983 varvid även de olika kontrollmätningarna påbörjades. Energiuttaget från grundvattensystemet via värmepumparna påbörjades i augusti. Mätvärdena i denna rapport täcker en 3-årsperiod fram till och med februari 1986. Vid beräkningarna i del II utnyttjas mätdata fram till april 1987 då mätningarna avslutades.



Figur 2. Kvarteret Tärnan, plan.

## 2 Bakgrund

I Landskrona färdigställdes under 1983 det s k Tärnanprojektet, som är ett av landets första byggprojekt efter lågenergiprincipen med överglasad gata. Det består av 9 lågenergihus med en gemensam, glastäckt gård. Se figur 1. För energibehovet utnyttjas naturvärme från grundvattnet som förädlas via värmepumpar och användes för all uppvärmning.

Tärnanprojektet är uppfört i samråd med och med stöd från Byggnadsforskningsrådet. Resultaten finns bl a beskrivna i en Byggnadsforskningsrapport Broberg, "Överglasad gård samt grundvatten som värmekälla för radhus i kv Tärnan, Landskrona" R 66:1987.

Ursprungligen avsågs att specialstudera möjligheterna att utnyttja grundvattnet för uppvärmning och långtidslagring av energi. Under 1980 genomfördes således ett fullskaleförsök med lagring av energi i grundvattenmagasinet (kalkstensakviferen) under kvarteret Tärnan. Detta försök har redovisats i en BFR rapport Gedda, Ejdeling "Värmelagring i grundvattenmagasin, fältförsök i kalkstensakvifer" R32:1982. Resultaten visar att det är möjligt att lagra och återvinna energi i grundvattenmagasinet. Dessutom finns det goda möjligheter för kontinuerligt grundvattenuttag. Den tillgängliga överskottsenergin är emellertid liten, och därför är lagring av värme i akviferen inte ekonomiskt lönsam, vad gäller kvarteret Tärnan.

Detta har medfört att den fortsatta uppföljningen av energiprojektet inriktats på hur akviferen reagerar på återföring av nedkyllt grundvatten. Av speciellt intresse är då kartläggning av kallvattenfrontens rörelse för undvikande av så kallad termisk kortslutning, varefter energi inte längre kan utvinnas, eftersom det upptagna vattnet har för låg temperatur.

Ursprungligen antogs driftstart för anläggningen med uttag och återföring av grundvatten ske våren 1981 med en fortlöpande uppföljning av temperaturförändringen i akviferen under ca 2 års drift. Till följd av diverse förseningar beroende på projektets egenart skedde inflyttning i kvarteret först våren 1983. Härvid startades värmepumpprojektet i full skala först hösten 1983.

## 3 Projektuppläggning

### 3.1 Frågeställningar

Då nedkyllt grundvatten från en värmepump återföres till akviferen kyls denna. Nedkylningen sprider sig efterhand i akviferen och en beräkningsmodell för detta förlopp behövs för att kunna utforma brunnssystemet på bästa sätt och för att kunna hantera de grundvattenrättsliga problemen.

I bl.a två BFR-projekt, Tärnan och Flädie, är det möjligt att följa dessa förlopp genom direkta mätningar i akviferen. Resultaten från dessa fältförsök är ytterst värdefulla som tester av de beräkningsmodeller som utvecklas av bl a Markvärmegruppen vid Lunds Tekniska Högskola.

### 3.2 Arbetsprogram 1983

Projektets huvuduppgift är att anlägga kontrollbrunnar och att arrangera observationsmöjligheter för att kunna följa och dokumentera akviferens temperaturförändring vid återinfiltrationen av det nedkylda grundvattnet under en längre driftsperiod. Ut-tolkning av resultaten och bearbetning i matematiska modeller skall utföras av Mark-värmegruppen vid LTH. (Detta redovisas i del II.)

Två nya observations- eller kontrollbrunnar anlägges mellan infiltrationsbrunnen B och uttagsbrunnen A. Dessa förses med erforderligt antal punkter för fortlöpande temperaturkontroll. Se figur 2.

I de nya borrhålen genomföres även loggning med geofysiska mätningar för bestämning av bl a fördelningen av sprickor, krosszoner och porsystem.

Uppföljningen av temperaturen i akviferen skall pågå under minst en 2-årsperiod, med fullt utnyttjande av grundvattenvärmet.

### 3.3 Kompletterande undersökningar 1985

En första analys och utvärdering av mätresultaten genomfördes efter ca 1,5 års drift vid ett samrådsmöte mellan LTH:s energi- och mätgrupp (B Fredlund, E Lange), och Markvärmegruppen med J Claesson vid LTH.

Vid samrådsmötet framkom att uppföljningen om möjligt borde fortsättas ytterli-gare minst ett år eller totalt 3 år och att det vore önskvärt att den pågående mätserien kunde kompletteras med temperaturmätning i ytterligare en punkt (mätbrunn 3 i figur 2.). Dessutom önskades noggrannare mätmöjligheter i själva uttagsbrunnen. För när-varande (1985) sker mätningen vid ingången till värmepumpen där yttre störningar kan påverka resultaten.

## 4 Hydrogeologiska förhållanden

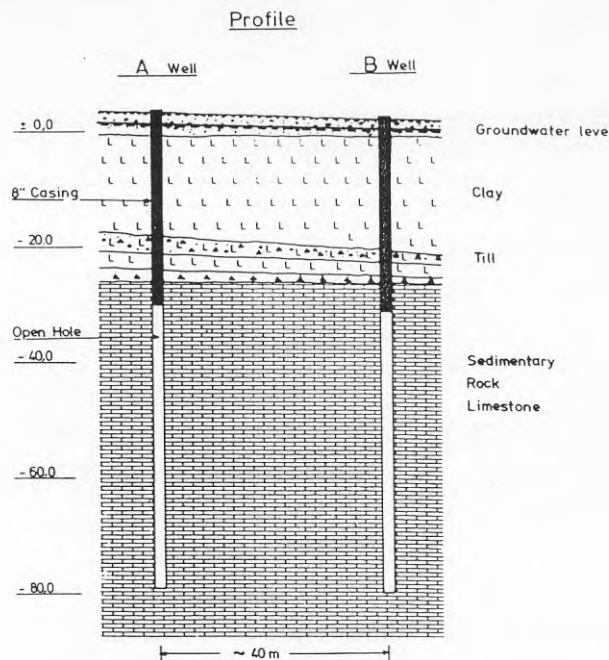
### 4.1 Allmänt

Jordlagren vid försöksplatsen består av glacial lera och moränlera, vilka har en total mäktighet av ca 30 m. Se figur 3.

Under de lösa jordlagren påträffas berggrunden som består av kalksten och kalk-sandsten. Mäktigheten på den sedimentära berggrunden är mer än 500 m.

### 4.2 Grundvattnet i kalkstenen

Grundvattnet förekommer både i kalkstenens porer och i dess spricksystem. För grund-vattnets rörelse eller flöde har spricksystemet störst betydelse. Grundvattnet i berggrun-den står under tryck och det transporteras från inlandet ut mot Öresund. Den naturliga flödes-hastigheten är förhållandevis låg.



Figur 3. Geologisk profil.

Förutsättningarna för vattenuttag ur bergborrade brunnar i kalkstenen är förhållandevis goda. Utförd provpumpning på platsen visar att det vid en brunn går att utvinna ett kontinuerligt vattenflöde på mer än 2 l/s eller ca 170 m<sup>3</sup>/d.

### 4.3 Sprickfördelning m.m.

För bestämning av akviferens uppbyggnad har geofysisk borrhålsloggning utförts i samtliga brunnar inom området. Resultaten föreligger i form av profiler utvisande bl a temperaturfördelning, sprickfrekvens, resistivitesvärden och självpotential.

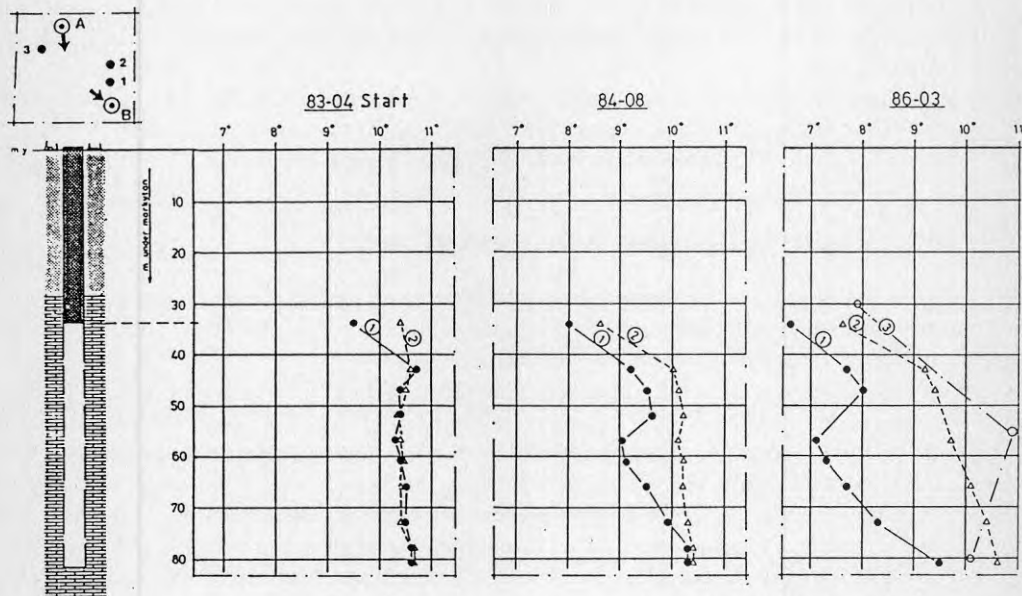
Resultaten från de olika loggningarna föreligger i sådan form (långa detaljritningar) att de inte går att redovisa i denna publikation. Materialet finns arkiverat. Bilaga 2 redovisar kapacitetstester, varvid vatten "blåses" upp ur borrhålet under en kort tid vid ett antal borrhåldjup. Detta ger en indikation på permeabilitetsfördelningen i djupled i akviferen. Denna fördelning av vattenflödet på olika nivåer är av avgörande betydelse för systemets termohydrauliska beteende. Detta behandlas vidare i del II och del III.

Som exempel på loggningsresultaten redovisas på bilaga 1 en sammanslagning och förenkling av caliperloggarna från de olika borrhålen. I diagrammet framgår hur uppsprucket kalkberget är på olika nivåer. Störst sprickor förekommer omedelbart under borrhörets kant medan det t ex runt 60 m nivån är mycket lite sprickor och relativt tätt berg.

## 5 System för temperaturkontroll

### 5.1 Allmänt

Den normala grundvattentemperaturen i akviferen är ca 10,5°C. Enligt loggningsresultaten varierar temperaturen något med djupet med ett minvärde på 10,2°C ca 55 m under markytan. I figur 4 nedan redovisas en förenklad bild av temperaturfördelningen mot djupet för kontrollbrunnarna 1 och 2 före starten (8304) och efter ett års drift. Det tredje diagrammet visar temperaturen efter knappt tre års drift då även kontrollbrunn 3 var i funktion.



Figur 4. Grundvattentemperaturens variationer i djupled.

Grundvattnets temperatur är förhållandevis hög. Den är någon grad högre än ortens årsmedeltemperatur. Den högre grundvattentemperaturen kan bl a förklaras av att akviferen är väl isolerad av ett mäktigt lertäcke och att ett visst energitillskott erhålles från jordens inre delar.

### 5.2 Kontrollbrunnar

För temperaturkontrollen borrades två nya ca 80 m djupa borrhål som placerades på avståndet 9 respektive 16 m från återföringsbrunnen B. Kontrollbrunnarna betecknas 1 och 2. Deras lägen framgår av figur 2.

I enlighet med tilläggsbeslutet färdigställdes efter två års drift även en tredje kontrollbrunn betecknad nr 3, belägen ca 13 m från uttagsbrunnen A.



### 5.3 Mätsonder

Som temperaturgivare användes termoelement typ kopparkonstantan. Dessa har fästs med ett bestämt inbördes avstånd på en plastad mätlina som sedan sänkts ner och fixerats i resp kontrollbrunn. Kontrollbrunnarna 1 och 2 har försetts med 10 olika mätpunkter, medan kontrollbrunn 3 har tre mätpunkter. Placeringen av termoelementen redovisas närmare i bilaga 2.

### 5.4 Datainsamling

Uppföljningen av förändringarna i akviferen sker fortlöpande med automatisk temperaturregistrering via ett datorbaserat mätsystem. Mät datorn finns placerad i ett teknikrum inom byggnadsområdet till vilket samtliga mätsonder är kopplade. Härifrån överföres regelbundet insamlade värden via telefonnätet till en databas vid LTH:s dataanläggning.

Förutom temperaturregistrering utfördes även automatisk mätning av energiförbrukning och vattenflöden. Som kontroll utfördes även manuell avläsning av vattentemperatur och energiförbrukning en gång per vecka.

## 6 Värmepumpar och energibehov

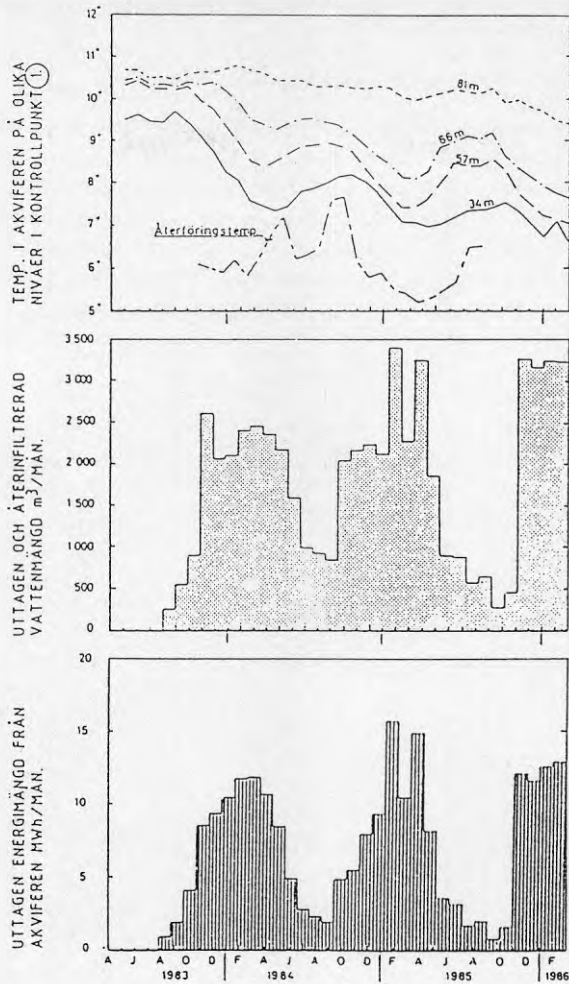
Uppvärmningen av de nybyggda husen baseras på ett energisystem med två seriekopplade värmepumpar. Dessutom sker värmeåtervinning ur frånluften från bostäderna, och tilluften får passera genom det överglasade rummet.

Effektbehovet är totalt ca 40 kW och värmeeffekten på värmepumparna är enligt leverantören 42 kW vid 11,5°C på det uppumpade grundvattnet och 50° på varmvattnet från värmepumpen. Grundvattenflödet genom värmepumparna är ca 3 m<sup>3</sup>/h. Energiförbehovet beräknas till ca 40 MWh/år för de 9 husen.

Som exempel på driftsresultat har noterats att uttagsmängden och temperatur-sänkningen vid brunnen var under hösten 1983 70 m<sup>3</sup>/d resp. ca 4,0°C. Effekten från grundvattnet var ca 13,3 kW och effekten efter värmepumpen ca 20 kW.

För översiktlig bild av energiuttaget under hela testperioden hänvisas till figur 5.





Figur 5. Översikt av temperaturen i kontrollbrunn 1, vattenflöden och uttagen energi under 3-årsperioden.

## 7 Testperiod

### 7.1 Driftuppföljning

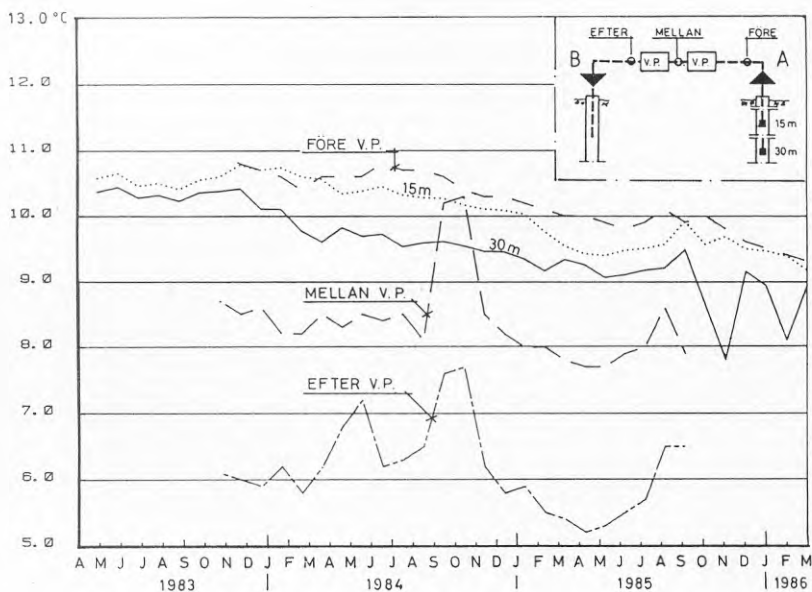
Inflyttningen i husen skedde under maj 1983 varvid även de olika kontrollmätningarna påbörjades. Värmeuttaget via värmepumparna påbörjades i augusti. Mätvärdena i denna rapport täcker en 3-årsperiod fram till och med februari 1986.

I figur 5 redovisas en sammanfattande och översiktlig bild av uttagen energimängd från akviferen. Samtidigt redovisas uttagen och återinfiltrerad vattenmängd samt temperaturpåverkan i akviferen på några representativa nivåer vid kontrollbrunn 1.

## 7.2 Temperaturer vid värmepumpen

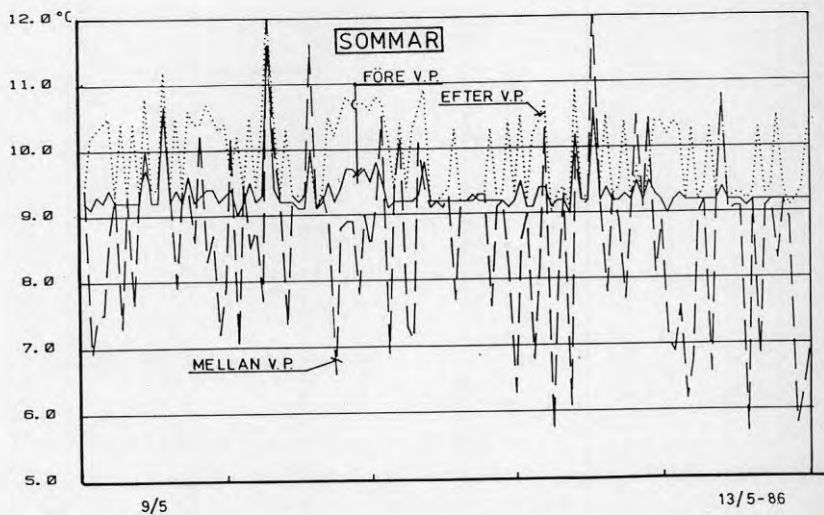
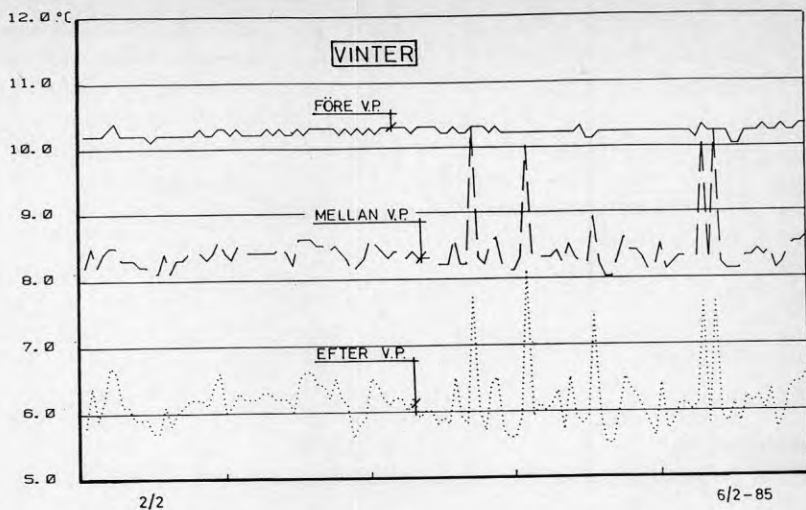
I figur 6 redovisas vattentemperaturförhållandena vid värmepumpen under hela testperioden samt temperaturerna i mätbrunn 1 på 15 och 30 meters djup. Härav framgår bl a att vattnet före värmepumpen under 3-årsperioden sjunkit från 10,8 till 9,3°C eller totalt ca 1,5°C. Den infiltrerade vattenmängdens temperatur pendlar runt ca 6°C.

Av intresse är också det förhållande att temperaturen ökar 0,5-1°C vid själva uppumpningen då djupbrunnspumpen avger värme. Dessutom kan värme erhållas från omgivningen under transporten i rörsystemet fram till värmepumpen.



Figur 6. Uttagen grundvattentemperatur.

I figur 7 redovisas exempel på registrerade vattentemperaturer före, mellan och efter de båda värmepumparna. I figuren redovisas förhållandena under en 5-dagarsperiod dels i ett typiskt vinterfall med hög belastning och dels under ett typiskt sommarfall med stora variationer beroende på lågt och mycket oregelbundet utnyttjande av grundvattnet.



Figur 7. Vattentemperaturer vid värmepumpen, timvärden.

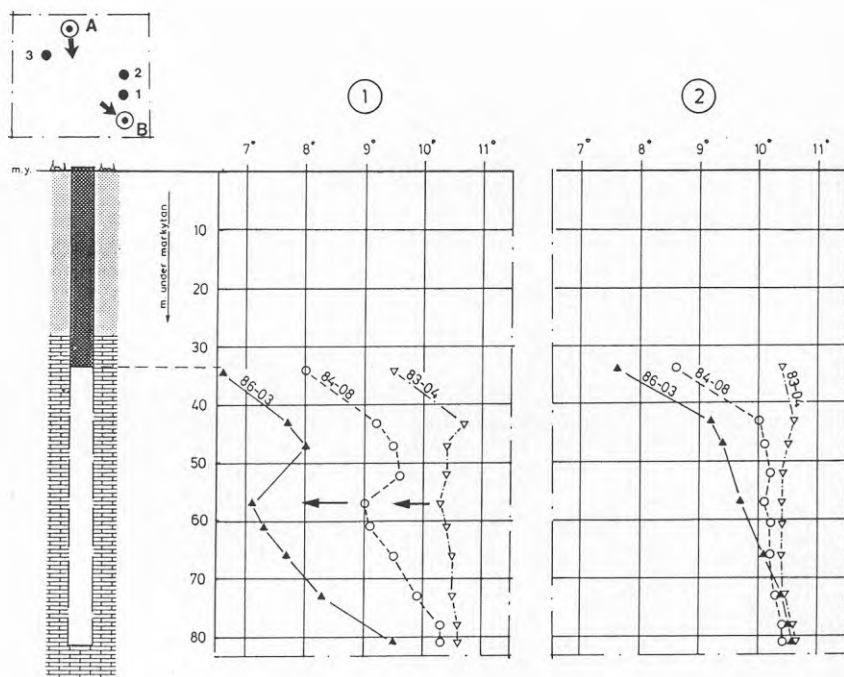
## 8 Temperaturer i akviferen

### 8.1 Vid kontrollbrunnarna

Effekten av återföringen av nedkyllt grundvatten (ca 5°C temperaturdifferens) har klart registrerats i de båda kontrollbrunnarna. Temperaturförändringen under 3-årsperioden i kontrollbrunnarna redovisas översiktligt i figur 8.

Mätresultaten för hela provperioden och för samtliga nivåer redovisas i detaljerad diagramform i bilagorna 3 och 4. Dessutom redovisas i tabellform månadsmedelvärdena i bilagorna 5 och 6.

Vid brunn nr 1 som ligger närmast återföringsbrunnen har temperaturen sjunkit i de översta och mest sprickrika delarna av akviferen från 9,6 till 6,6°C (nivå 34 m). I den djupaste delen av borrhålet, på nivån 81 m under markytan i samma kontrollbrunn har temperaturen sjunkit från 10,7 till 9,5°C.



Figur 8. Temperaturprofiler efter 1 och 3 års drift.

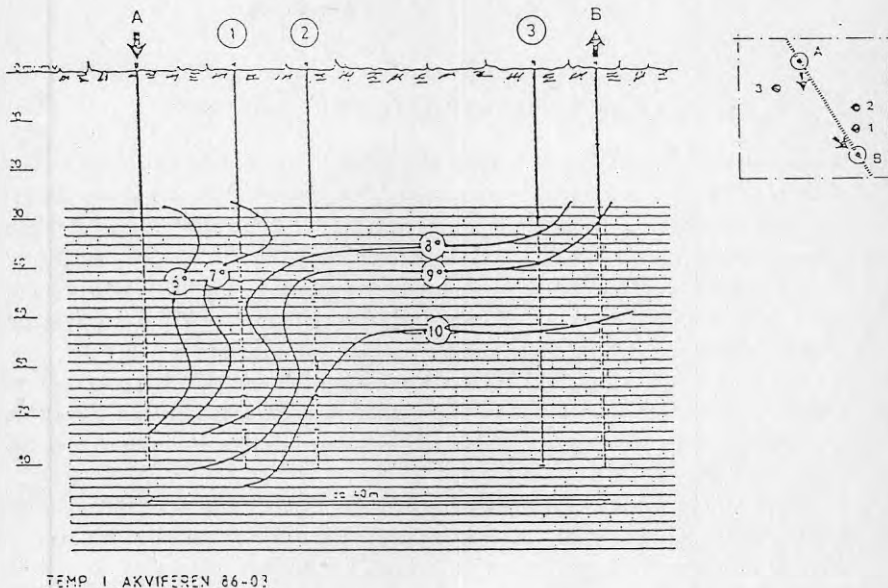
På avståndet 16 m från återföringspunkten vid kontrollbrunn 2 är påverkan tydlig endast i det översta lagret på 34 m djup. För övrigt är avkylningseffekten mindre än 1°C.

Vid kontrollbrunn 3, som är anlagd längst från återföringsbrunnen och närmast uttagsbrunnen (se figur 2) har mätningar endast skett under det senaste driftåret. Resultaten redovisas i bilaga 7. I de översta delarna av akviferen har det här sannolikt skett en nedkylning med minst 1,5°C.

Variationen i mängden infiltrerat och nedkyllt vatten under året ger en skillnad i akviferens temperatur på ca 1 till 2°C. Denna effekt ger lägre grundvattentemperatur under vintern och är tydligast vid kontrollbrunn 1.

## 8.2 I akviferen

En schematisk, med nödvändighet delvis gissad bild har framtagits genom interpolering av samtliga erhållna mätvärden efter ca 3 driftsår. Den ger en uppfattning om det nedkylda områdets utbredning i akviferen. Se figur 9.



Figur 9. Det nedkylda områdets utbredning i akviferen i mars 1986.

Fram tom maj 1984 är det totala energiuttaget från akviferen 81,7 MWh och den uttagna och återinfiltrerade vattenmängden 19 000 m<sup>3</sup>.

## DEL II.

### Beräkningar och termohydralisk utvärdering.

Johan Bennet, Johan Claesson

#### 1 Grundvattenvärmeprojekt Tärnan

Grundvattenvärmeprojektet i kvarteret Tärnan i Landskrona har följts med ett relativt omfattande mätprogram under tiden 1983-1987. Systemet består av en uttagsbrunn och en injektionsbrunn. Dessutom har det anlagts tre kontrollbrunnar, där kontinuerliga temperaturmätningar har gjorts under projektets gång. Se figur 2 i del I.

Ur uttagsbrunnen har man tagit upp grundvatten för att efter avkylning återinjicera detta grundvatten i injektionsbrunnen. Detta ger upphov till en avkylningszon runt injektionsbrunnen, vilken efterhand närmar sig uttagsbrunnen.

Temperaturmätningarna i kontrollbrunnarna har medfört att man har kunnat studera avkylningsförloppet på olika djup samt på olika avstånd från injektionsbrunnen. Dessa temperaturmätningar skall här jämföras med datorsimuleringar med de modeller, som utvecklats vid LTH.

Akviferen består av skikt med olika permeabiliteter. För att kartlägga dessa har kapacitetstest och annan geofysisk borrhålsloggning utförts i samtliga brunnar. Dessa loggningar indikerar flödesprofiler ur vilka man har kunnat uppskatta de relativa permeabiliteterna på olika djup i varje brunn.

Den termohydraliska problematiken för den aktuella typen av grundvattenvärme-system behandlas i kapitel 9 i Claesson 1985. De använda datormodellerna redovisas i manualerna Hellström 1987 och Bennet, Hellström 1987.

Det termiska förloppet har simulerats för tiden 8308-8704. Vid beräkningarna har två olika datormodeller använts. Den första modellen är en radiell modell som enbart tar hänsyn till injektionsbrunnen, medan den andra modellen även tar hänsyn till inverkan från uttagsbrunnen. Den radiella modellen har använts vid beräkningarna av temperaturförloppet vid kontrollbrunnarna 1 och 2. Dessa kontrollbrunnar ligger relativt nära injektionsbrunnen och påverkas därmed endast svagt från uttagsbrunnen. För beräkningarna av uttagstemperaturen och temperaturförloppet i kontrollbrunn 3 har den mer komplicerade tvåbrunnsmodellen använts.

Vid beräkningarna har permeabiliteterna i de olika skikten samt de effektiva värmeledningstalen varierats. Syftet har varit att finna en skiktning samt effektiva värmeledningstal i akviferen som ger hygglig överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta temperaturer i kontrollbrunnarna, och att jämföra de passade permeabilitetsfördelningarna med de uppmätta från borrhålsloggningarna.



## 2 Indata

### 2.1 Geometri

Brunnarnas lägen visas i figur 2 i del I. Detta ger följande koordinater för tvåbrunnsmodellen:

|                 | x(m)   | y(m)   |
|-----------------|--------|--------|
| Injektionsbrunn | -18,85 | 0      |
| Uttagsbrunn     | 18,85  | 0      |
| Kontrollbrunn 1 | -10,57 | 4,36   |
| Kontrollbrunn 2 | -4,56  | 8,24   |
| Kontrollbrunn 3 | 14,94  | -11,32 |

Tabell 1. Koordinater för de fem brunnarna

### 2.2 Formationen

Enligt avsnitt 4 i del I består formationen av ett lerlager som sträcker sig ned till ett djup av 30 m. Den utnyttjade akviferen ligger mellan 30-80 m. Formationen fr o m 80 m och nedåt består av tätare berg.

### 2.3 Permeabiliteter

Akviferen sträcker sig från 30-80 m och består av skikt med olika permeabiliteter. Dessa permeabiliteter har grovt uppmätts i injektionsbrunnen, uttagsbrunnen samt i de tre kontrollbrunnarna vid kapacitetstesterna. Dessa mätningar ger olika resultat. Således fås fem olika permeabilitetsfördelningar, se bilaga 2 och figur 16 i del 3.

För var och en av de fem permeabilitetsfördelningarna har datorsimulering av förloppet gjorts. Samtliga fem simuleringar ger kraftigt avvikande temperaturer i kontrollbrunnarna 1 och 2 jämfört med de uppmätta värdena. Simuleringar har därför gjorts även för andra permeabilitetsfördelningar än de från kapacitetstesterna. Målet har varit att finna en permeabilitetsfördelning, vars beräknade temperaturförlopp liknar det, som uppmätts i kontrollbrunnarna 1-3.

Resultaten redovisas för de två antagna permeabilitetsfördelningar, som gav bäst överensstämmelse med uppmätta värden samt för den permeabilitetsfördelning som erhöles från kapacitetstesten i injektionsbrunnen. Dessa tre permeabilitetsfördelningar redovisas i tabell 2. Endast relativa permeabiliteter  $K'$  anges, eftersom strömningen beror på förhållandena mellan skikten men inte på de absoluta värdena av permeabiliteterna. Värdet på  $K'$  har satts till 100 för det översta högpermeabla skiktet. Transmissiviteten  $T'$ , räknad som andel av den totala transmissiviteten, anges också. Denna anger då hur stor del av det totala vattenflödet som rinner i respektive skikt.

| Permeabilitetsfördelning 1 (passad) |            |             | Permeabilitetsfördelning 2 (passad) |            |             |
|-------------------------------------|------------|-------------|-------------------------------------|------------|-------------|
| 30-32 m                             | $K' = 100$ | $T' = 0.61$ | 30-32 m                             | $K' = 100$ | $T' = 0.49$ |
| 32-50 m                             | $K' = 2$   | $T' = 0.11$ | 32-50 m                             | $K' = 2$   | $T' = 0.09$ |
| 50-60 m                             | $K' = 5$   | $T' = 0.15$ | 50-60 m                             | $K' = 10$  | $T' = 0.25$ |
| 60-70 m                             | $K' = 3$   | $T' = 0.09$ | 60-70 m                             | $K' = 5$   | $T' = 0.12$ |
| 70-80 m                             | $K' = 1$   | $T' = 0.03$ | 70-80 m                             | $K' = 2$   | $T' = 0.05$ |

| Permeabilitetsfördelning 3 (kapacitetsmätning) |            |             |
|--|------------|-------------|
| 30-32 m  | $K' = 100$ | $T' = 0.20$ |
| 32-47 m  | $K' = 13$  | $T' = 0.20$ |
| 47-49 m  | $K' = 35$  | $T' = 0.07$ |
| 49-76 m  | $K' = 14$  | $T' = 0.39$ |
| 76-80 m  | $K' = 34$  | $T' = 0.14$ |

Tabell 2. Passade permeabilitetsfördelningar (1 och 2), samt fördelning enligt kapacitetstest (3) för injektionsbrunnen.

## 2.4 Termiska egenskaper

I tabell 3 anges använda värden på värmekonduktivitet och värmekapacitet i formationen. Vattnets värmekapacitet har satts till  $4,18 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ .

|                 | $\lambda \text{ (W/mK)}$ | $C \text{ (J/m}^3\text{K)}$ |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------|
| 0-30 m          | 1,0                      | $2,5 \cdot 10^6$            |
| 30-80 m         | 2,5                      | $2,5 \cdot 10^6$            |
| 80 m - $\infty$ | 2,5                      | $2,5 \cdot 10^6$            |

Tabell 3. Värmeledningstal och värmekapaciteter för formationen.

I akviferen kan det förekomma s k hydrodynamisk dispersion beroende på olika inhomogeniteter i akviferen. Denna effekt ger ett extra bidrag till temperaturspridningen och höjer därmed det effektiva värmeledningstalet. Bidraget är genomgående större parallellt med strömriktningen än vinkelrätt mot denna. Dispersionen i strömriktningen kan i vissa fall höja det "effektiva" värmeledningstalet en tiopotens. I beräkningarna har genom passningsräkning bestämts ett effektivt värmeledningstal i akviferen på  $8 \text{ W/mK}$  parallellt med strömriktningen och  $3 \text{ W/mK}$  vinkelrätt mot denna.

## 2.5 Rand- och begynnelsestemperaturer

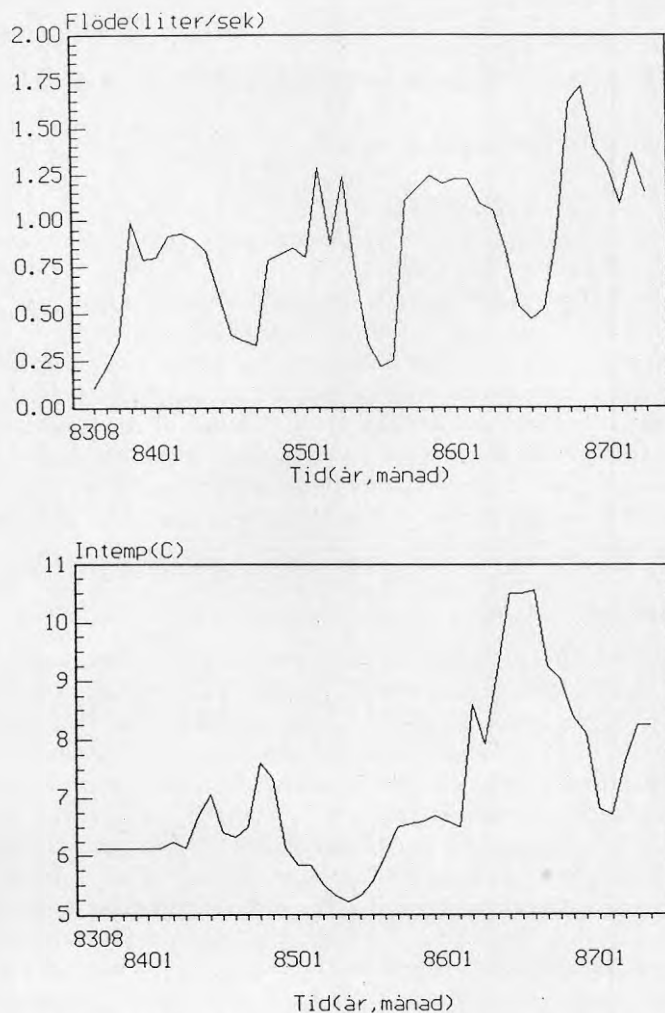
Vid markytan antages årsmedeltemperaturen vara  $10,7^\circ\text{C}$  med en amplitud på  $5^\circ\text{C}$  för årstidsvariation. Influensen från markytan sträcker sig ned ungefär 10 meter. Akviferens överyta ligger på 30 meters djup, och därmed är inverkan av yttemperaturens variation försumbar.

De uppmätta begynnelsestemperaturerna i kontrollbrunnarna 1 och 2 är ca  $10,7^\circ\text{C}$ , med undantag för nivån  $z = 34 \text{ m}$  i kontrollbrunn 1, där begynnelsestemperaturen är  $9,5^\circ\text{C}$ . Vid beräkningarna har begynnelsestemperaturen satts till  $10,7^\circ\text{C}$ , utom för ett

område 0-12 m från injektionsbrunnen mellan nivåerna  $z = 27$  och  $z = 40$  m, där begynnelsestemperaturen har satts till  $9,5^{\circ}\text{C}$ . Denna anomali i begynnelsestemperaturen påverkar endast mätbrunnarna 1 och 2 under maximalt första året. Uttagstemperaturen påverkas ej eftersom nedkyllningen har lång tidsfördröjning.

## 2.6 Vattenflöden och injektionstemperaturer

I figur 10 redovisas månadsmedelvärden för vattenflödet och injektionstemperaturen under tiden 8308 till 8704. Dessa värden har använts som indata vid datorsimuleringarna.



Figur 10. Månadsmedelvärden för vattenflödet och injektionstemperaturen under tiden 8308-8704

## 2.7 Simuleringstid

Injektion av kallvatten påbörjades 8308. Vattenflöden och inmatningstemperaturer har uppmätts kontinuerligt. För tidpunkter fr.o.m. 8705 finns endast värden på injektionstemperaturen varför simuleringstiden sträcker sig fram till 8704. Dock har en långtidssimulering fram till 9808 gjorts. För denna långtidssimulering har årscykeln för injektionstemperaturen och vattenflödet fr.o.m 8705 antagits vara desamma som för år 8405-8504. Vid långtidssimuleringen har använts permeabilitetsfördelning 1 med hydrodynamisk dispersion.

## 3 Jämförelse mellan beräkningar och mätningar

### 3.1 Kontrollbrunnarna 1 och 2

#### 3.1.1 Resultat

I diagram 1-10 i bilaga 8 ges temperaturfördelningarna som funktion av tiden vid kontrollbrunnarna 1 och 2 för fem nivåer i akviferen. Dessa nivåer är  $z = 34, 47, 57, 66$  samt  $73$  m. I varje figur ges de uppmätta temperaturkurvorna samt beräknade temperaturkurvor från de tre permeabilitetsfördelningarna enligt tabell 2.

I diagram 1 och 2 ges dessutom temperaturkurvor från beräkningsfall, där permeabilitetsfördelning 1 har använts utan hydrodynamisk dispersion (dvs  $\lambda = 2,5$  i st f 8 parallellt med vattenflödet och 3 vinkelrätt mot detta). Permeabilitetsfördelningarna 1 och 2 ger hygglig överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade temperaturer i kontrollbrunnarna 1 och 2, medan permeabilitetsfördelning 3 från kapacitetstesten ger ett betydligt större temperaturfall i kontrollbrunnarna 1 och 2 än vad mätningarna ger. Se diagram 3 och 4.

#### 3.1.2 Slutsatser

Permeabilitetsfördelningen enligt kapacitetstesten i injektionsbrunnen (och mätbrunnarna 1 och 2) ger för kraftiga temperatursänkningar i kontrollbrunnarna 1 och 2. Denna mätmetod har således överskattat flödet i de nedre skikten och i synnerhet underskattat det mycket kraftiga flödet i det översta skiktet. Detta skikt antages vara 2 m tjockt. Enligt kapacitetstesten skulle c:a 20% av vattnet strömma i detta övre skikt. Genom att antaga att 50-60% av vattnet går i det övre skiktet kan hygglig överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade temperaturer i kontrollbrunnarna 1 och 2 uppnås.

Värmeledningsförmågan i akviferen antages vara  $2,5$  W/mK. Används denna värmeledningsförmåga i beräkningsmodellen fås för kraftiga temperaturvariationer i kontrollbrunnarna 1 och 2. Se diagram 1 och 2 i bilaga 8. Av detta kan slutsatsen dras att det förekommer hydrodynamisk dispersion i akviferen, vilket höjer det effektiva värmeledningstalet. Genom att ansätta en horisontell värmeledningsförmåga på  $8$  W/mK samt en transversell värmeledningsförmåga på  $3$  W/mK, dvs ett dispersionsbidrag på

5,5 resp 0,5 W/mK fås en temperaturvariation i kontrollbrunnarna 1 och 2 som stämmer hyggligt överens med de uppmätta värdena.

I samtliga beräkningsfall fås en kraftig temperaturhöjning i kontrollbrunnarna 1 och 2 vid slutet av beräkningsperioden (maximum ungefär vid 8609). Någon motsvarande höjning har emellertid inte uppmätts. Enligt indatalistan är injektionstemperaturen under sommaren 1986 ca 10°C. Under somrarna 1984 och 1985 har injektionstemperaturen legat kring ca 7-8°C. Man kan därigenom misstänka att ett för högt värde på injektionstemperaturen har simulerats under sommaren 1986 vilket då skulle förklara denna extra temperaturhöjning. För uttagstemperaturen, vilken senare redovisas, har denna extra höjning av inmatningstemperaturen emellertid hunnit dämpas ut och är således av ringa betydelse.

## 3.2 Kontrollbrunn 3

### 3.2.1 Resultat

Vid beräkningarna har tvåbrunnsmodellen använts. Endast permeabilitetsfördelning 1 har simulerats. Mätdata från kontrollbrunn 3 finns fr o m 8503 och framåt. Influens från injektionsvattnet ses enbart i den översta mätpunkten ( $z = 30$  m). Se bilaga 7. Mätvärdena samt de beräknade värdena på temperaturen i kontrollbrunn 3 på nivåerna  $z = 30$  och 55 m finns redovisade i diagram 11 resp 12 i bilaga 8. Dessutom redovisas den beräknade temperaturen på nivån  $z = 35$  m, dvs 3 m under huvudsprickans underkant.

### 3.2.2 Slutsatser

Enligt beräkningarna sker ingen nämnvärd avkylning på nivån  $z = 55$  m. Detta är konsistent med att det finns en huvudspricka överst i akviferen.

Beräkningarna ger en klar skillnad mellan nivån  $z = 30$  m och nivån  $z = 35$  m. Eftersom sprickan sannolikt inte ligger helt horisontellt över hela det aktuella akviferområdet, vet vi inte exakt på vilket djup det kallaste högpermeabla skiktet ligger. Därför kan man inte dra några andra slutsatser av jämförelsen mellan uppmätta och beräknade temperaturer i kontrollbrunn 3 än att nivån  $z = 30$  m ligger tämligen nära huvudsprickan.

## 3.3 Uttagstemperaturen

### 3.3.1 Resultat

Vid beräkningarna av uttagstemperaturen har tvåbrunnsmodellen använts. Den uppmätta uttagstemperaturen för tiden 8308-8603 finns redovisad i figur 6 i del I. Uppmätta uttagstemperaturer har för senare tidpunkter hämtats från en datafil.

Beräkningarna har gjorts för de tre tidigare redovisade permeabilitetsfördelningarna. Hydrodynamisk dispersion enligt tidigare har antagits (dvs  $\lambda = 8$  och 3 W/mK i akviferen). De beräknade uttagstemperaturerna samt den uppmätta uttagstemperaturen finns redovisade i diagram 13 i bilaga 8. I samma diagram redovisas också uttagstemperaturen för två extrema permeabilitetssituationer enligt avsnitt 4.1-2.



För bestämning av systemets långtidsbeteende har en långtidssimulering gjorts. Vid denna beräkning har permeabilitetsfördelning 1 använts samt dispersion antagits. Den beräknade lägsta uttagstemperaturen under olika år redovisas nedan i Tabell 4.

|                |      |      |       |
|----------------|------|------|-------|
| $T_{ut}^{min}$ | 9,5  | 9,0  | 8,5   |
| $t$            | år 2 | år 5 | år 15 |

Tabell 4. Lägsta uttagstemperatur under olika år.

### 3.3.2 Slutsatser

Uttagstemperaturen är mycket mindre känslig för permeabilitetsförändringar än temperaturerna i kontrollbrunnarna. Ett visst permeabilitetsberoende kan dock iakttagas. Permeabilitetsfördelningen enligt loggningen ger en något långsammare avkylning av uttagsvattnet än vad som är fallet med permeabilitetsfördelningarna 1 och 2. Detta beror på att strömningen är mer koncentrerad till det översta 2 meter tjocka skiktet i dessa två senare permeabilitetsfördelningar, vilket medför att det tar kortare tid för avkylningszonen att nå fram till uttagsbrunnen.

Avkylningen av uttagsvattnet påbörjades ca sju månader senare än vad beräkningarna ger. Detta kan t ex bero på att det finns regioner med lägre permeabilitet rakt mellan uttags- och injektionsbrunnen, vilket innebär att vattnet inte kan ta närmsta vägen mellan brunnarna. Detta medför att beräkningarna ger en för kort tid för avkylningszonen att nå fram till uttagsbrunnen. En annan möjlig orsak är att det finns en viss variation i grundvattentemperaturerna under året även på 30 meters djup. Det fortsatta förloppet ger dock hygglig överensstämmelse mellan beräkningar och mätningar.

Under sommaren 1986 ökade den simulerade injektionstemperaturen markant. Beräkningarna gav därför en kraftig temperaturhöjning i kontrollbrunnarna 1 och 2. Vid uttagsbrunnen har emellertid denna höjning hunnit dämpas ut p g a värmeledning, varför någon motsvarande höjning av uttagstemperaturen inte förekommer.

## 4 Speciella permeabilitetssituationer

### 4.1 Endast sprickan permeabel

En extrem situation skulle vara att vattnet endast strömmar i den två meter tjocka sprickzonen i akviferens övre del. Uttagstemperaturen har beräknats för ett sådant fall och resultatet redovisas i diagram 13. Systemets livslängd skulle under dessa betingelser vara oacceptabelt kort.

### 4.2 Sprickan blockerad

Det är intressant att se vad som händer om man stryper flödet genom huvudsprickzonen vid 30-32 m. Man kunde misstänka att systemets livslängd därigenom skulle öka. Beräkning har gjorts för detta fall, och den beräknade uttagstemperaturen redovisas i diagram 13. Som synes skiljer sig inte uttagstemperaturen nämnvärt från tidigare



beräkningsfall. Detta beror på att mellan 50-60 m av akviferen ligger ett skikt som är mer permeabelt än övriga delar av akviferen, vilket skulle innebära att huvuddelen av vattnet skulle strömma i detta skikt.

## 5 Diskussion

Både beräkningar och mätningar har visat att temperaturerna i kontrollbrunnarna 1 och 2 beror kraftigt på akviferens skiktning. Dessutom har dispersionen en viss betydelse. Permeabilitetsfördelningarna 1 och 2 har gett hygglig överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade värden i kontrollbrunnarna 1 och 2, medan permeabilitetsfördelning 3 ger för kraftiga temperatursänkningar i akviferens nedre delar.

Den väsentligaste skillnaden mellan permeabilitetsfördelningarna 1 och 2 och de permeabilitetsfördelningar som beräknats ur loggningarna är att enligt de senare skulle ca 20% av vattnet strömma i det översta ca 2 m tjocka sprickplanet, medan enligt permeabilitetsfördelningarna 1 och 2 skulle 50-60% av vattnet strömma i detta övre sprickplan.

Detta visar att kapacitetstesterna inte ger en pålitlig bild av akviferens skiktning. Fel på upp till en faktor 3 kan förekomma. Det skulle vara värdefullt om en mer pålitlig "flowmeter test" kunde genomföras nu i efterhand.

Emellertid påverkas uttagstemperaturen och därmed livslängden för systemet mindre av vilken skiktning som används vid beräkningarna. Detta innebär att den beräknade uttagstemperaturen torde vara betydligt säkrare än de beräknade temperaturerna i kontrollbrunnarna.

En viktig allmän slutsats är att uttagstemperaturerna är tämligen okänsliga för även relativt kraftiga variationer i permeabilitetsfördelningen. Dock måste vattenflödet vara någorlunda utspritt i djupled. Det får inte vara koncentrerat till en enda tunn sprickzon. Trots att kapacitetstesterna gav upp till en faktor 3 fel, så fungerar grundvattensystemet i Tärnan bra. Men detta betyder att man bör ha en marginal, där permeabilitetsfördelningen kan "försämrats" en faktor 3, om beräknad livslängd baserar sig på en kapacitetstest. Man bör allmänt dimensionera dessa grundvattensystem med någorlunda god marginal, eftersom det alltid finns en osäkerhet beträffande vattenströmningen i akviferen.

## DEL III.

### Utvärdering av spårämnesförsök<sup>1</sup>

Thomas Holm

#### 1 Bakgrund

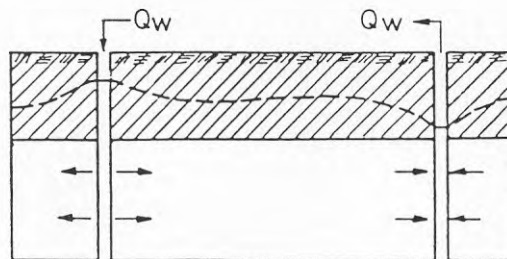
Transport och spridning av värmeenergi via grundvatten, t ex vid ett tvåbrunns grundvattenvärmesystem, kommer till stora delar att styras av hur grundvattenflödet är fördelat i den aktuella akviferen.

Olika undersökningsmetoder för att studera grundvattnets strömning förekommer. En möjlighet är att genomföra spårämnesförsök, i detta fall i form av ett tvåbrunnförsök mellan en infiltrations- och en uttagsbrunn.

Ett spårämnesförsök av denna typ utfördes under ett tidigt skede av Tärnanprojektet, se Gedda och Ejdelling (1982). Försöket utfördes mellan det brunnspar som utnyttjas för grundvattenvärmesystemet. Genom utvärdering av nämnda försök har såväl kvalitativa som kvantitativa egenskaper om kalkstensakviferen sökt erhållas.

#### 2 Utvärderingsmetod för spårämnesförsök för tvåbrunnssystem

För att kunna analysera ett spårämnesförsök utfört i ett tvåbrunnssystem med en uttags- och en infiltrationsbrunn, se figur 11, har en utvärderingsmodell utarbetats. Modellen utnyttjar en kombination av analytiska uttryck för att beskriva såväl flödesgeometri som transport- och spridningsförlopp.



Figur 11. Tvåbrunnssystem med uttags- och infiltrationsbrunn.

<sup>1</sup>Denna del utgör i huvudsak ett utdrag ur publikation A55, Geologiska institutionen, Chalmers Tekniska Högskola/Göteborgs Universitet.

Metoden bygger på att ett komplext flödessystem, med advektion och dispersion i ett bipolärt strömningsmönster, kan ersättas med ett system där varje strömlinje behandlas för sig. Därigenom kan en endimensionell lösning av advektions-dispersionsekvationen utnyttjas för varje strömlinje, varefter bidragen från de olika strömlinjerna summeras i uttagsbrunnen.

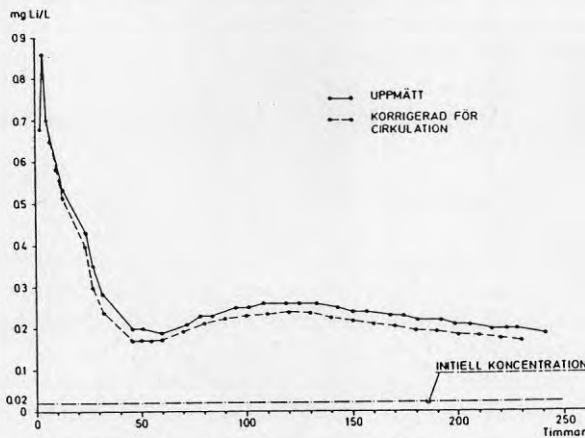
För en närmare beskrivning av utvärderingsmodellen och hur analytiska uttryck för strömningsmönster, flödes hastigheter och transporttider kan kombineras hos olika analytiska lösningar av advektions-dispersionsekvationen hänvisas till Holm (1988).

Själva utvärderingen sker genom passningsberäkningar, där kända värden på pumpflöde och brunnsavstånd kombineras med det grundvattenförande lagrets (eller sprickans) "effektiva mäktighet" (sprickbredd) och dispersivitet.

### 3 Utfört spårämnesförsök och utvärdering

Det aktuella spårämnesförsöket utfördes 1979, se Gedda och Ejdeling (1982). Vatten pumpades ur brunn A med kapaciteten 2,8 l/s, varefter det återinfiltrerades via brunn B. Som spårämne nyttjades litium, varvid initiell (naturlig) koncentration av litium var 0,02 mg/l.

Tio kg LiCl blandades med vatten, varefter lösningen tillsattes infiltrationsbrunnen. Försöket pågick under 10 dygn, under vilka prov togs regelbundet på vatten ur uttagsbrunn för analys av litiumhalten. I figur 12 redovisas hur litiumhalten i det uppumpade vattnet varierar med tiden.



Figur 12. Spårämnesförsök i kalkstensakvifer i Landskrona. Uppmätta värden enligt Gedda & Ejdeling (1982) samt värden korrigerade för recirkulation.

Av resultatet framgår att viss mängd av spårämnet når returbrunnen redan efter ca 2 timmar, med ett maximum efter 3 timmar. Därefter minskar litiumhalten successivt, för att efter ca 60 timmar på nytt öka till ett nytt, men betydligt lägre maximum efter

ca 120 timmar.

Spårämnesförsökets praktiska utförande medför att vissa mängder spårämne kommer att recirkuleras, d v s det kommer att återföras till infiltrationsbrunnen. För att kompensera för recirkulation av spårämne har en bearbetning av de uppmätta värdena utförts. Denna bygger på att en viss mängd erhålls i retur inom vissa tidsintervall, vilket kan utnyttjas för att korrigera uppmätta värden. Detta har utförts m h a en speciell beräkningsteknik, där korrigering av de uppmätta värdena beräknas via tidsstegning. Resultatet av den utförda korrigeringen redovisas i figur 12.

Totalt tillförd mängd litium är 1,64 kg. Om ingen hänsyn tas till att vissa mängder recirkuleras, har totalt ca 585 g erhållits i retur, d v s 36% efter 10 dygn. Om hänsyn tas till recirkulation kommer den "sanna" returmängden att reduceras till ca 500 g, eller 30% av tillförd mängd.

Spårämnesförsöket i kalkstensakviferen tyder på att två olika system av sprickor/-sprickzoner deltar i transporten mellan brunnarna. Ett system har mycket korta uppehållstider, vilket tyder på strömning via enskilda sprickplan med stor uthållighet. Det andra systemet uppvisar betydligt längre uppehållstider, vilket tyder på en zon med viss mäktighet bestående av sprickor och/eller poröst material.

Den ovan angivna utvärderingsmodellen har utnyttjats för att kvantitativt analysera försöket.

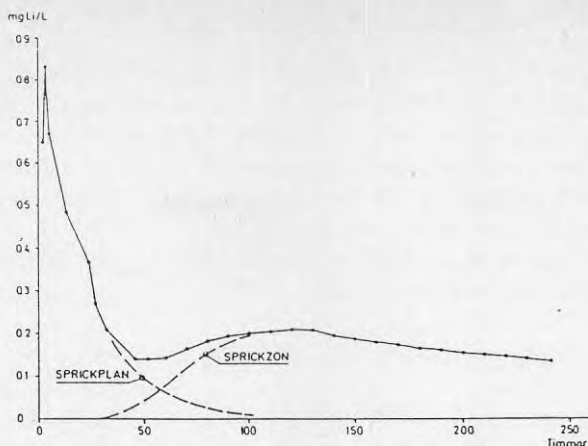
Modellen förutsätter stationära strömningsförhållanden mellan brunnarna. Den tar hänsyn till longitudinell, men ej transversell dispersion. Den kan utnyttjas dels för porösa, homogena medier, dels för enskilda sprickplan. Den aktuella lösningen av advektions-dispersionsekvationen som utnyttjas förutsätter även att spårämnet tillsättes momentant. Om spårämnet tillsätts kontinuerligt med konstant koncentration, eller kontinuerligt med stegvis varierande koncentration, kan andra analytiska lösningar av advektions-dispersionsekvationen utnyttjas.

Brunnsmagasinet i infiltrationsbrunnen uppgick till ca  $1,7 \text{ m}^3$ , varför omsättnings-tiden för hela volymen blir

$$1,7 \cdot 10^3 / 2,8 = 607 \text{ s,}$$

d v s cirka 10 minuter. Detta kan jämföras med spårämnets transporttider (uppehållstider) för de olika flödessystemen. För det system som uppvisar långa uppehållstider, är antagandet om momentan tillförsel av spårämne rimligt, medan det däremot för det snabba systemet är mer tveksamt.

För en matematisk analys med ovan nämnda modell krävs kunskap om hur flödet fördelas mellan de olika flödessystemen. Till en början separeras den erhållna koncentrationskurvan i två olika kurvor, där vardera kurvan representerar transportförloppet i en spricka/sprickzon, se figur 13. Förfarandet är approximativt, men bygger på antagandet att inverkan av transport via det snabbaste systemet på den totala koncentrationen avtar relativt snart. Detta antagande grundar sig på att koncentrationskurvan för detta flödessystem är brant och avtar mycket snabbt med tiden.



Figur 13. Spårämnesförsök. Separation av resulterande koncentrationskurva i två olika förlopp, representerande skilda flödessystem.

Den totala mängd litium som erhållits i retur uppgår enligt ovan till ca 500 g, efter korrigerig för recirkulation. Utifrån ett antagande om kurvseparering enligt figur 13 kan den mängd litium som härrör från transport i enskilda sprickplan beräknas till ca 185 g. För den del av totala vattenflödet  $Q_{tot}$  ( $=2,8$  l/s) som kan hänföras till enskilda sprickplan ( $Q_s$ ), kan därvid följande olikheter uppställas:

$$\frac{M_s(t)}{M(\infty)} \cdot Q_{tot} < \frac{M_s(\infty)}{M(\infty)} \cdot Q_{tot} = Q_s < \frac{M_s(\infty)}{M(240 \text{ tim})} \cdot Q_{tot}$$

där

- $M(\infty)$  = total tillförd mängd litium
- $M_s(t)$  = återförd mängd via spricka fram till tiden  $t$
- $M(t)$  = total återförd mängd fram till tiden  $t$

Sambandet ovan förutsätter att spårämnet tillförs likformigt längs hela brunnens djup, så att den mängd spårämnen som infiltreras i en viss zon är proportionell mot zonen transmissivitet.

Vidare förutsätts att det som infiltreras i en viss spricka/sprickzon påverkas av bl a molekylär diffusion, vilket medför att den mängd som når uttagsbrunnen kommer att reduceras. Slutligen antas att denna reduktion blir större i ett system med långa uppehållstider än i ett med korta uppehållstider.

Med insatta värden kan olikheterna enligt ovan skrivas

$$0,11 \cdot Q_{tot} < Q_s < 0,37 \cdot Q_{tot}$$

Eftersom uppehållstiderna i "sprickzonen" är betydligt längre än för "sprickplanet", samtidigt som större förutsättningar finns för molekylär diffusion i den förstnämnda, är det rimligt att anta att det verkliga värdet på  $Q_{spricka}$  är betydligt lägre än  $0,37 Q_{total}$ . I fortsatta beräkningar antas därför att

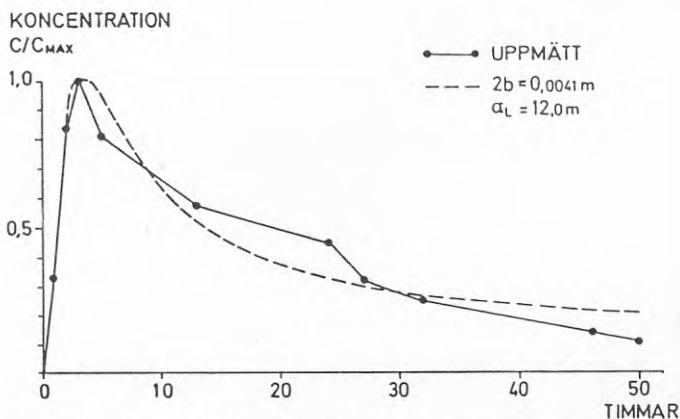
$$Q_s = 0,25 \cdot Q_{tot}, \quad \text{dvs ca } 0,7 \text{ l/s.}$$

Återstående delflöde, dvs  $2,8 - 0,7 = 2,1 \text{ l/s}$ , antas därför fördelat till sprickzonen.

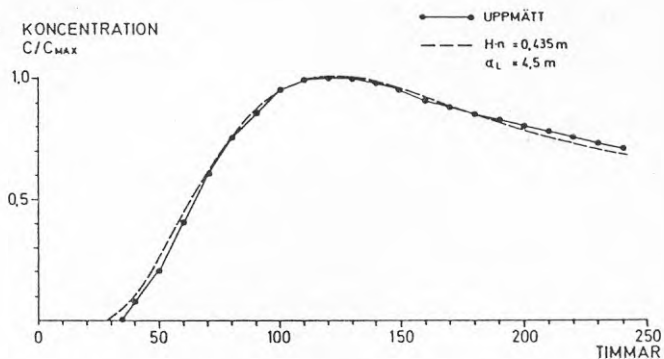
Simuleringen av utfört försök har följaktligen delats upp i två delar, där inverkan av transport via sprickplan och via sprickzon beräknas var för sig.

För sprickplanet, under förutsättning av att  $Q = 0,7 \text{ l/s}$ , visar beräkningarna att för en sprickbredd av  $0,0041 \text{ m}$  och dispersiviteten  $12,0 \text{ m}$ , erhålls en kurva, vilken tämligen väl ansluter till uppmätta värden, se figur 14.

Som framgår av den uppmätta kurvan, uppvisar den flera diskontinuiteter, vilket tyder på att flera sprickor samverkar.



Figur 14. Uppmätta och beräknade värden för spårämnestransport i sprickplan. (Dimensionslös koncentration.)



Figur 15. Uppmätta och beräknade värden för spårämnestransport i (sprick-)zon. (Dimensionslös koncentration.)

Den korta genombrotts tiden kombinerat med det snabba avklingningsförloppet in-



dikerar förekomst av ett fåtal sprickor, med eventuellt en begränsad horisontell utbredning. I stället för ett bipolärt strömningsmönster erhålls då ett flödessystem liknande kanalströmning. Avklingningsförloppet kan även bero av att flera sprickor deltar i förloppet, och att de olika delprocesserna sinsemellan är "fasförskjutna".

För den vattenförande (sprick-)zonen har en liknande simulering utförts. För flödet 2,1 (=2,8 - 0,7) l/s samt med ett värde på  $H \cdot n = 0,435$  och med  $\alpha_L = 4,5$  m erhålls en kurva enligt figur 15.

Den beräknade kurvan ansluter mycket väl till den uppmätta för den antagna (sprick-)zonen.

Slutsatser som kan dras utifrån analys av spårämnesförsöket är följande.

- Viss återföring av spårämnet sker genom recirkulation. Detta har dock kompenseras för vid fortsatt analys.
- Spårämnet transporteras via, i huvudsak, två skilda flödessystem.
- Ett av flödessystemen har mycket snabba transporttider, vilket indikerar ett "sprickplan" sammansatt av ett fåtal sprickor med stor uthållighet.
- "Sprickplanet" har beräknats ta emot ca 0,7 l/s (av totalt 2,8 l/s). Dess effektiva bredd har beräknats till 0,004 m och dess dispersivitet till 12,0 m.
- Det andra flödessystemet har betydligt längre transporttider, vilket indikerar en "zon" med viss mäktighet innehållande sprickor och/eller porer.
- "Zonen" tar emot ca 2,1 l/s av totala flödet. Produkten  $H \cdot n$ , dvs zonen mäktighet gånger effektiv porositet, är 0,43 m och dispersiviteten 4,5 m.

Några kommentarer till analysen av spårämnesförsöket måste dock göras. Analysen förutsätter att hela flödet deltar i den uppmätta transportprocessen. Detta behöver inte vara fallet. Vattenförande zoner med långa omloppstider, jämfört med de registrerade kan förekomma. Om flödet i verkligheten är lägre i de aktuella flödessystemen, innebär detta vid en analys med den redovisade modellen, att den effektiva bredden blir mindre.

Andra faktorer påverkar också analysresultatet. Sprickplanen förutsätts vara plana och ha oändlig utsträckning enligt modellen. Om flödesgeometrin begränsas, kommer den bipolära strömbilden i extremfallet att övergå i kanalströmning. En begränsning av tillgänglig flödesgeometri innebär för modellanalyserna att flödet koncentreras, vilket medför en ökad effektiv bredd (för att erhålla samma omloppstider).

## 4 Spårämnesförsök kontra övriga hydrogeologiska undersökningar

Av största intresse för akviferens termohydrauliska funktion är förekomst och egenskaper hos vattenförande zoner. Dessa indikeras bl a av resultatet från brunnsborrning och

borrhålsundersökning, men även av det utförda spårämnesförsöket.

Den aktuella geologiska formationen utgörs av kritkalksten. Akviferen är sluten, överlagrad av moränlera och glaciärra, och brunnarna penetrerar ca 50 m av akviferens översta del.

Kalkstenen är förfastad, brunnarna är utförda som öppna hål. Sprickbildningar förekommer på olika nivåer i kalkstenen liksom även flintlager. En viss samstämmighet finns mellan dessas uppträdande.

Utifrån resultatet av utförda kapacitetstester, har flödets variation i en vertikal profil fastställts för de olika brunnarna. I figur 16 redovisas att detta flöde varierar kraftigt, dels i varje brunn, dels mellan de olika brunnarna.

Samtliga brunnar har en viss initiell kapacitet för nivån ca 30-32 m, av ca 10-15% av totala kapaciteten.

Brunnarna A och B uppvisar delvis vissa likheter avseende flödesfördelningen. I båda brunnarna är relativa flödet större än för omgivningen vid såväl 45-50 m, som nivån 75-80 m. Brunnarna 1 och 2 har en flödesfördelning som är mer likformad över hela brunnsdjupet än de två övriga.

Från borrhålsloggning (caliper), bilaga 1, framgår att kalkstenen är kraftigt uppsprucken i alla brunnar, från underkant foderrör och ytterligare några meter ner. Kalkstenen förefaller därunder måttligt uppsprucken till och med nivån ca 55 m, varefter indikationer på sprickor ytterligare avtar.

En analys av spårämnesförsöket visar att vattenföringen i kalkstenen är fördelad på två olika flödessystem. Transportförloppet i det ena systemet motsvaras av sprickplan innehållande enstaka, uthålliga sprickor, medan det för det andra motsvaras av en vattenförande zon med viss "effektiv" mäktighet.

Sprickplanet svarar för en mindre del av flödet, ca 25 %, men dess begränsande effektiva bredd, beräknad till 0.004 m, medför ändå korta uppehållstider.

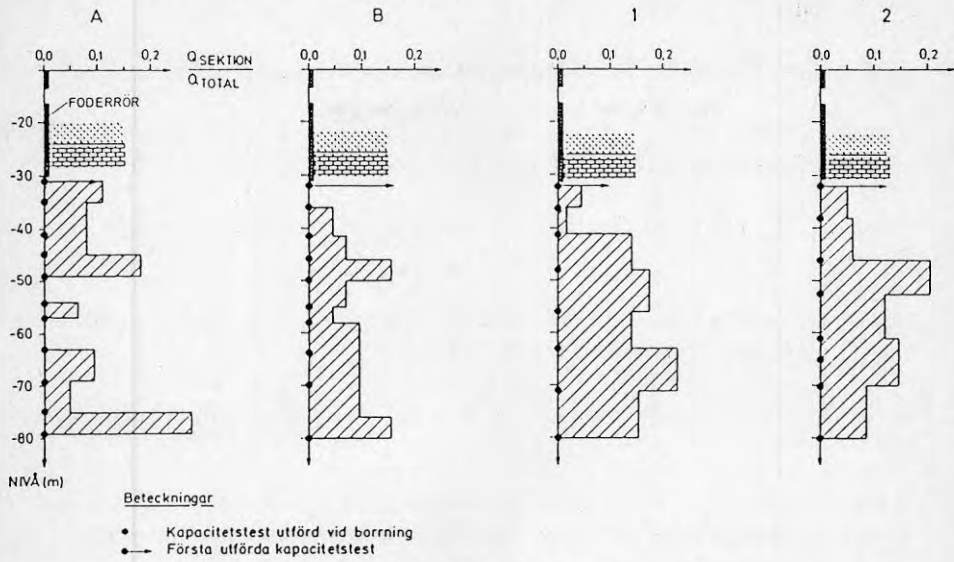
Zonen, som kan vara sammansatt av olika delzoner, med vattenföring orsakad av sprickor och/eller porositet, svarar för huvuddelen av vattenflödet, ca 75%. Produkten  $H \cdot n$  har vid beräkningarna bestämts till 0,435 m. Ett antagande av en effektiv porositet av 2-5 % medför att zonen mäktighet är ca 10-20 m. Vattnets nettohastighet i detta flödessystem är väsentligt långsammare än i det förra.

Sammanfattningsvis sker vattenföringen i kalkstenen i ett flertal olika zoner, vilka sannolikt är fördelade över stora delar av mäktigheten. De olika zonernas utsträckning i horisontal led förefaller osäker, utifrån resultatet från borrhållning och loggning, även om indikationer på detta finns i vissa fall. Däremot visar spårämnesförsöket att akviferen mellan brunn A och B uppvisar ett transportförlopp som motsvaras av två skilda, distinkta flödessystem. Svårigheten härvid är att koppla de analyserade flödessystemen till övrig brunnsinformation.

Översta delen av kalkstenen är uppsprucken och vattenförande. Detta indikeras även av resultat från borrhållning och loggning, och det är sannolikt att "sprickplanet" kan lokaliseras till denna del av akviferen.

Däremot är osäkerheten betydligt större vid en bedömning av det andra flödessystemet, "zonen". Denna kan utgöras av en sammanhängande hydraulisk enhet, med viss mäktighet, samt belägen på en viss nivå. Troligare är dock, vilket indikeras av undersökningarna, att den består av ett flertal olika vattenförande zoner, vilka fördelar

sig över stora delar av mäktigheten. De nivåer som utifrån brunnborrningarna därvid är mest intressanta är 45-50 m, 60-70 m samt 75-80 m.



Figur 16. Relativ kapacitet i brunnar, grundvatten-  
värmesystem i Landskrona.

## Referenser

*Bennet, Hellström, 1987.* Aquifer Storage Model-Douplet Well. D3-87, Byggnadsfysik, LNTH, Lund.

*BFR's Markvärmegrupp, 1984.* MARKVÄRME - Utvinning och lagring, G4:1984

*Broberg, Thulin, 1987.* Överglasad gård samt grundvatten som värmekälla för radhus i kv Tärnan, Landskrona. BFR-rapport; R66:1987

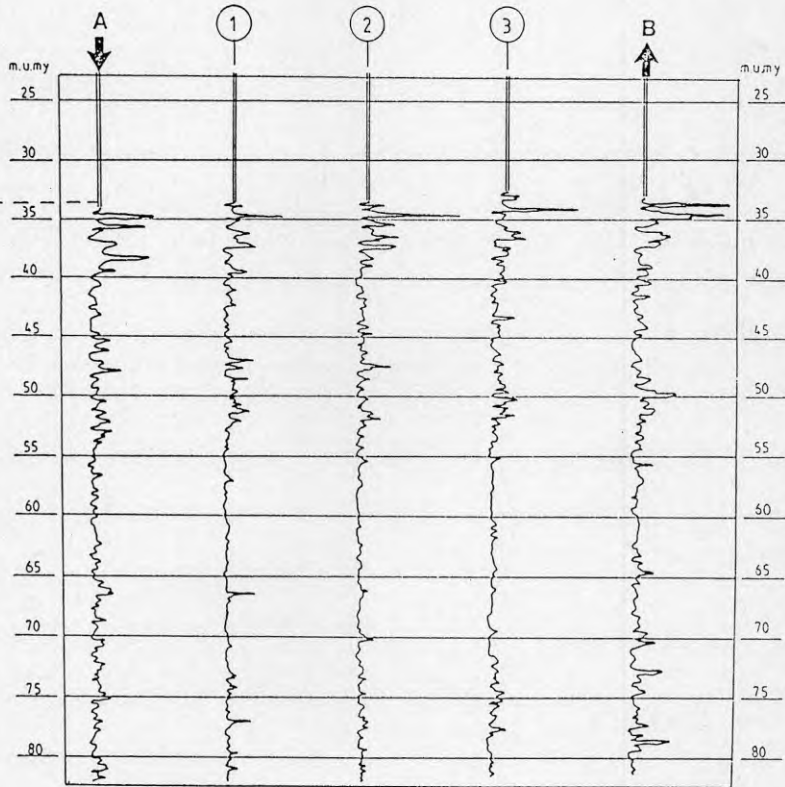
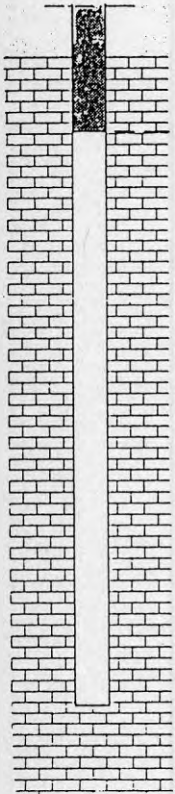
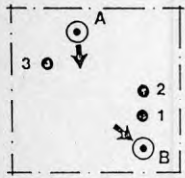
*Claesson mfl, 1985.* Markvärme, en handbok om termiska analyser. BFR T16 - T18:1985

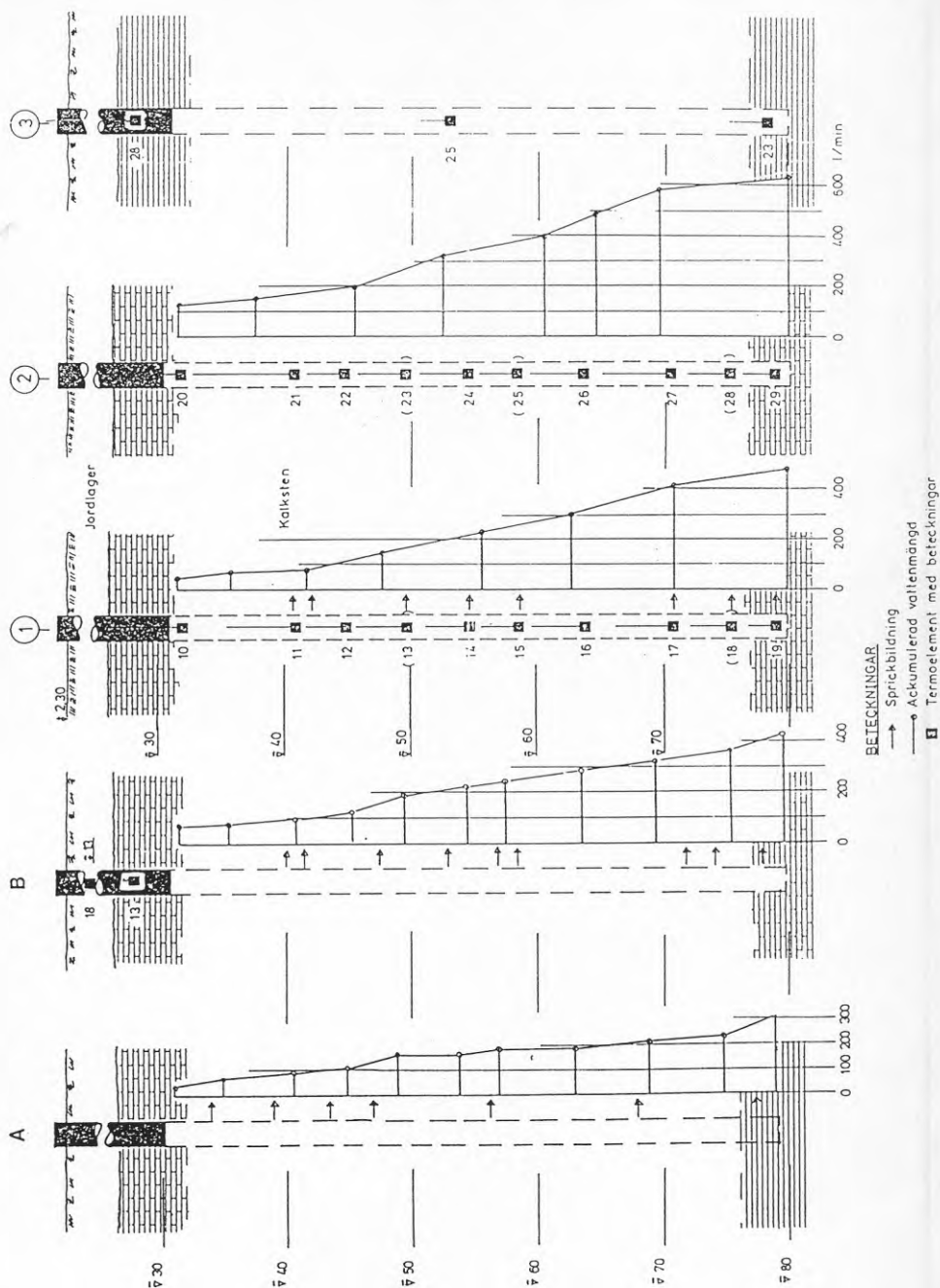
*Gedda, Ejdeling, 1982.* Värmelagring i grundvattenmagasin, fältförsök i kalkstensakvifer, Landskrona. BFR-rapport; R32:1982

*Hellström, 1987.* Aquifer Storage Model-Single Well. D4-87, Byggnadsfysik, LNTH, Lund.

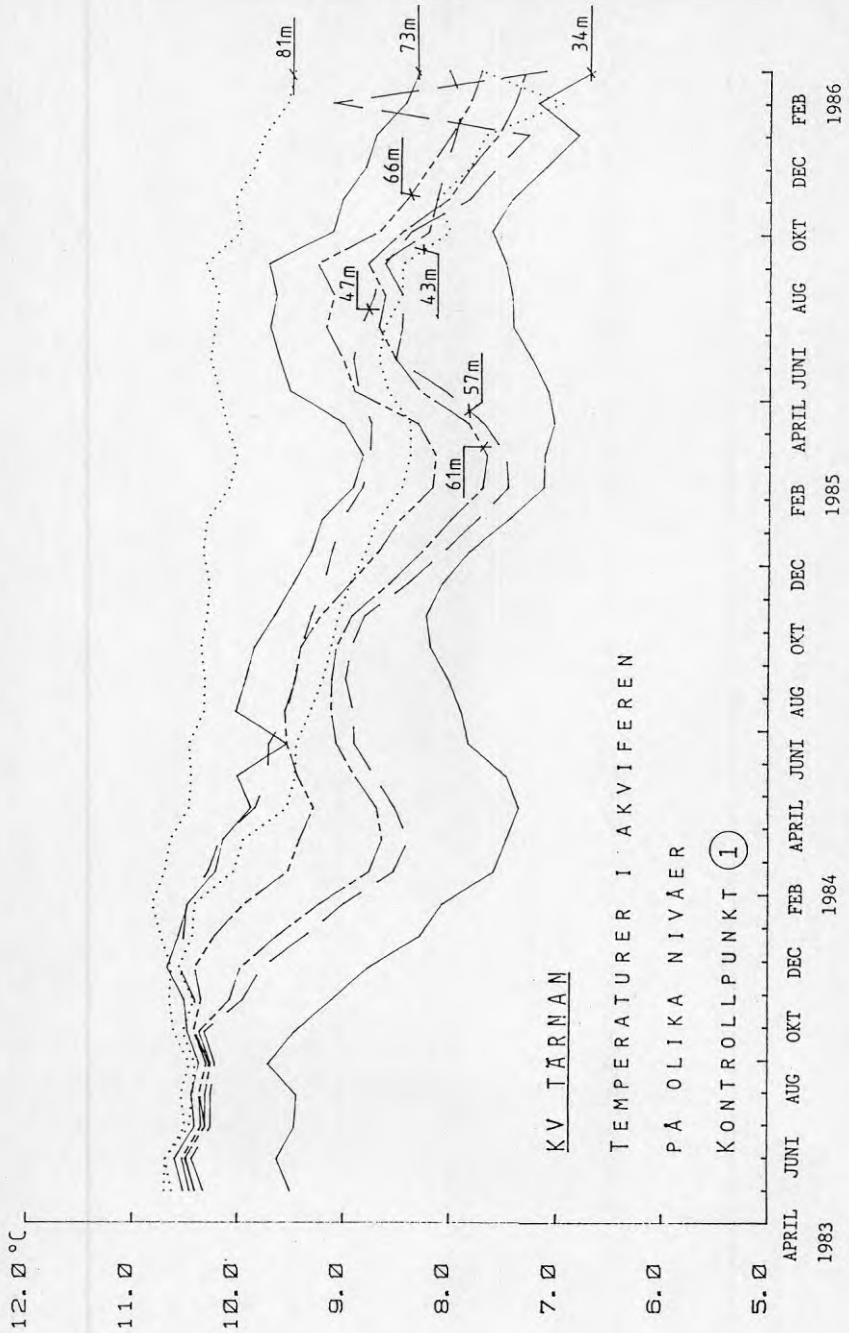
*Holm, T 1988.* Termohydrauliska egenskaper hos några akviferer. Publikation A55, Geologiska Institutionen, Chalmers Tekniska Högskola/Göteborgs Universitet.

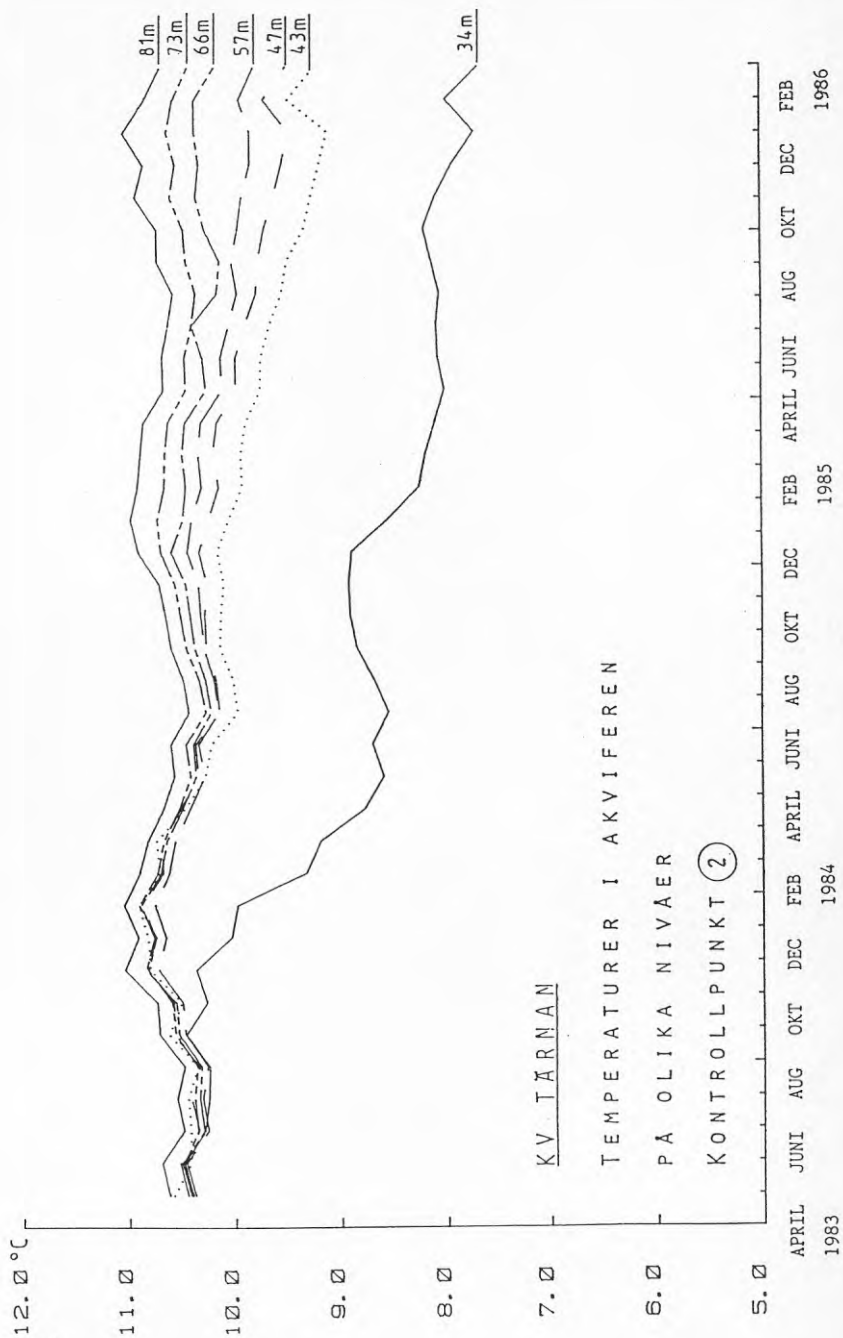
CALIPERLOG











KV TARNAN

TEMPERATURER I AKVIFEREN

PA OLIKA NIVAER

KONTROLLPUNKT (2)

## Bilaga 5

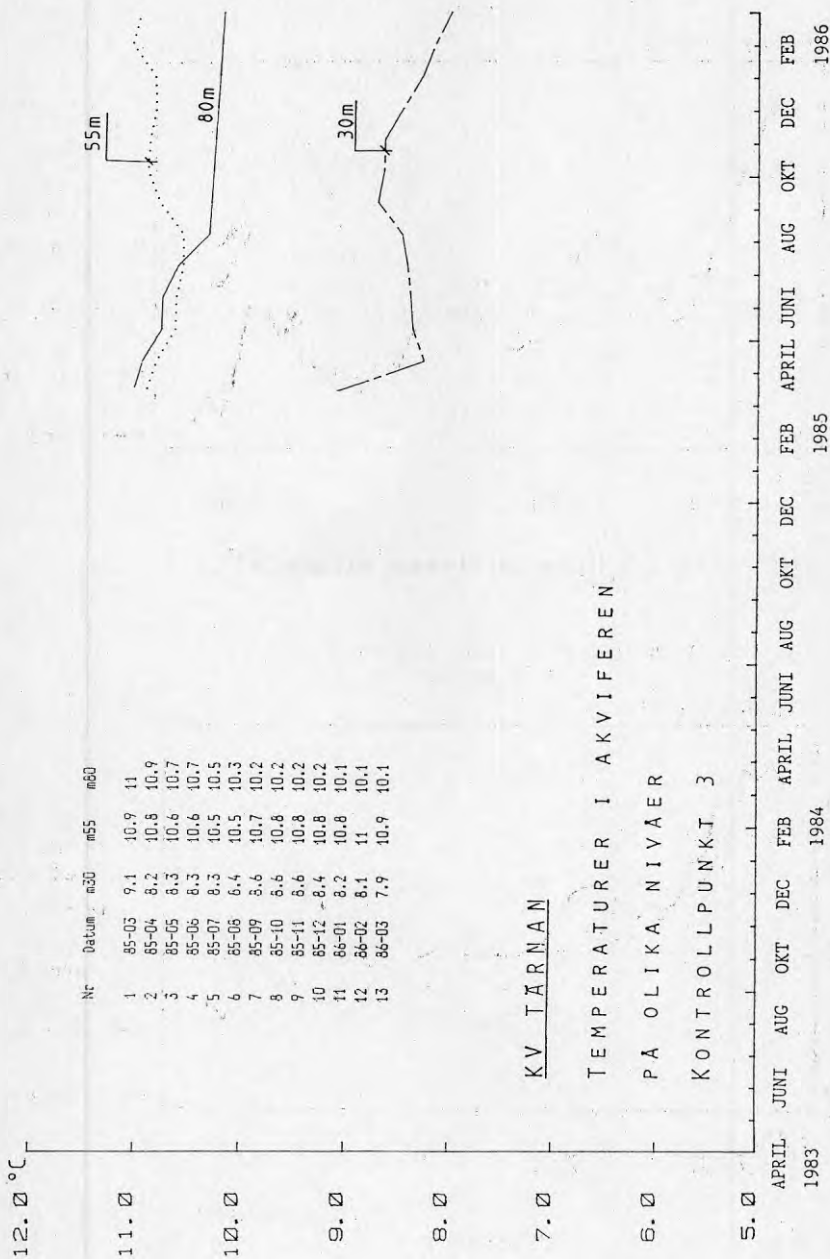
Kv TÄRNAN  
 Temperaturmedelvärden  
 Kontrollpunkt 1

| Nr | Datum | Tid | m34 | m43  | m47  | m52  | m57  | m61  | m66  | m73  | m78  | m81  |
|----|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 83-04 | 1   | 9.5 | 10.7 | 10.4 | 10.4 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.6 |
| 2  | 83-05 | 2   | 9.6 | 10.7 | 10.5 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.6 | 10.7 |
| 3  | 83-06 | 3   | 9.5 | 10.5 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.5 |
| 4  | 83-07 | 4   | 9.4 | 10.4 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.5 |
| 5  | 83-08 | 5   | 9.7 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 |
| 6  | 83-09 | 6   | 9.5 | 10.5 | 10.4 | 10.4 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.6 |
| 7  | 83-10 | 7   | 9.1 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10   | 10.1 | 10.3 | 10.5 | 10.6 | 10.6 |
| 8  | 83-11 | 8   | 8.8 | 10.5 | 10.5 | 10.4 | 9.8  | 10   | 10.4 | 10.7 | 10.8 | 10.6 |
| 9  | 83-12 | 9   | 8.3 | 10.4 | 10.5 | 10.1 | 9.4  | 9.6  | 10.2 | 10.5 | 10.7 | 10.7 |
| 10 | 84-01 | 10  | 8.1 | 10.4 | 10.5 | 10.1 | 9    | 9.2  | 9.9  | 10.5 | 10.7 | 10.8 |
| 11 | 84-02 | 11  | 7.6 | 10   | 10.3 | 9.8  | 8.5  | 8.8  | 9.5  | 10.2 | 10.6 | 10.7 |
| 12 | 84-03 | 12  | 7.4 | 9.9  | 10.2 | 9.6  | 8.4  | 8.6  | 9.4  | 10.1 | 10.6 | 10.6 |
| 13 | 84-04 | 13  | 7.3 | 9.5  | 9.8  | 9.8  | 8.5  | 8.7  | 9.3  | 9.9  | 10.3 | 10.5 |
| 14 | 84-05 | 14  | 7.4 | 9.5  | 9.7  | 9.7  | 8.7  | 8.9  | 9.4  | 10   | 10.4 | 10.4 |
| 15 | 84-06 | 15  | 7.8 | 9.4  | 9.7  | 9.7  | 8.9  | 9.1  | 9.5  | 9.5  | 10.5 | 10.5 |
| 16 | 84-07 | 16  | 7.9 | 9.3  | 9.5  | 9.5  | 8.9  | 9.1  | 9.5  | 10   | 10.3 | 10.3 |
| 17 | 84-08 | 17  | 8   | 9.2  | 9.5  | 9.6  | 9    | 9.1  | 9.5  | 9.9  | 10.3 | 10.3 |
| 18 | 84-09 | 18  | 8.2 | 9.1  | 9.4  | 9.6  | 8.9  | 9.1  | 9.4  | 9.8  | 10.3 | 10.3 |
| 19 | 84-10 | 19  | 8.2 | 9    | 9.3  | 9.5  | 8.8  | 8.9  | 9.2  | 9.6  | 10.2 | 10.3 |
| 20 | 84-11 | 20  | 8.1 | 8.9  | 9.2  | 9.5  | 8.4  | 8.6  | 8.9  | 9.5  | 10.1 | 10.3 |
| 21 | 84-12 | 21  | 7.8 | 8.8  | 9.1  | 9.5  | 8    | 8.3  | 8.7  | 9.3  | 10.1 | 10.3 |
| 22 | 85-01 | 22  | 7.4 | 8.7  | 9    | 9.3  | 7.7  | 8    | 8.5  | 9.2  | 10   | 10.3 |
| 23 | 85-02 | 23  | 7.1 | 8.4  | 8.8  | 9.2  | 7.4  | 7.7  | 8.1  | 8.9  | 9.8  | 10.1 |
| 24 | 85-03 | 24  | 7.1 | 8.4  | 8.7  |      | 7.4  | 7.6  | 8.1  | 8.8  |      | 10   |
| 25 | 85-04 | 25  | 7   | 8.4  | 8.7  |      | 7.7  | 7.8  | 8.3  | 9    |      | 10.1 |
| 26 | 85-05 | 26  | 7.1 | 8.6  | 8.9  |      | 8    | 8.3  | 8.9  | 9.5  |      | 10.2 |
| 27 | 85-06 | 27  | 7.2 | 8.7  | 8.9  |      | 8.5  | 8.5  | 9    | 9.6  |      | 10.3 |
| 28 | 85-07 | 28  | 7.4 | 8.6  | 8.8  |      | 8.4  | 8.7  | 9.2  | 9.7  |      | 10.2 |
| 29 | 85-08 | 29  | 7.4 | 8.4  | 8.7  |      | 8.4  | 8.6  | 9.1  | 9.6  |      | 10.2 |
| 30 | 85-09 | 30  | 7.4 | 8.4  | 8.6  |      | 8.6  | 8.8  | 9.2  | 9.7  |      | 10.3 |
| 31 | 85-10 | 31  | 7.6 | 8    | 8.2  |      | 8.4  | 8.4  | 8.6  | 9.1  |      | 10   |
| 32 | 85-11 | 32  | 7.4 | 8.1  | 8.1  |      | 7.8  | 8    | 8.4  | 9    |      | 10   |
| 33 | 85-12 | 33  | 7.1 | 7.8  | 8    |      | 7.5  | 7.8  | 8.2  | 8.8  |      | 9.8  |
| 34 | 86-01 | 34  | 6.8 | 7.6  | 7.9  |      | 7.2  | 7.5  | 8    | 8.7  |      | 9.7  |
| 35 | 86-02 | 35  | 7.1 | 6.9  | 7.9  |      | 9.1  | 7.4  | 7.8  | 8.4  |      | 9.5  |
| 36 | 86-03 | 36  | 6.6 | 7.7  | 8    |      | 7.1  | 7.3  | 7.7  | 8.3  |      | 9.5  |

## Bilaga 6

Kv TÄRNAN  
Temperaturmedelvärden  
Kontrollpunkt 2

| Nr | Datum | m34  | m43  | m47  | m52  | m57  | m61  | m66  | m73  | m78  | m81  |
|----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 83-04 | 10.4 | 10.6 | 10.5 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.6 | 10.6 |
| 2  | 83-05 | 10.5 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.7 |
| 3  | 83-06 | 10.3 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 |
| 4  | 83-07 | 10.2 | 10.4 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.5 |
| 5  | 83-08 | 10.2 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 |
| 6  | 83-09 | 10.5 | 10.6 | 10.6 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.7 |
| 7  | 83-10 | 10.3 | 10.5 | 10.6 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.7 | 10.7 |
| 8  | 83-11 | 10.4 | 10.6 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 11   | 11   |
| 9  | 83-12 | 10   | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.6 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.9 | 10.9 |
| 10 | 84-01 | 10   | 10.9 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.8 | 10.9 | 10.9 | 11   | 11   |
| 11 | 84-02 | 9.3  | 10.7 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.8 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.9 |
| 12 | 84-03 | 9.2  | 10.7 | 10.6 | 10.6 | 10.5 | 10.6 | 10.6 | 10.8 | 10.7 | 10.8 |
| 13 | 84-04 | 8.7  | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.6 |
| 14 | 84-05 | 8.6  | 10.2 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.5 |
| 15 | 84-06 | 8.7  | 10.2 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.6 |
| 16 | 84-07 | 8.5  | 9.9  | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.2 | 10.2 | 10.3 | 10.4 |
| 17 | 84-08 | 8.6  | 10   | 10.1 | 10.2 | 10.1 | 10.2 | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.4 |
| 18 | 84-09 | 8.8  | 10.1 | 10.2 | 10.3 | 10.2 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.5 |
| 19 | 84-10 | 8.9  | 10.1 | 10.2 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.6 |
| 20 | 84-11 | 8.9  | 10   | 10.2 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.6 | 10.7 |
| 21 | 84-12 | 8.8  | 10.1 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.8 | 10.9 |
| 22 | 85-01 | 8.5  | 10   | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.7 | 10.8 | 10.9 |
| 23 | 85-02 | 8.2  | 9.7  | 10.1 | 10.2 | 10.3 | 10.4 | 10.4 | 10.6 | 10.7 | 10.9 |
| 24 | 85-03 | 8.1  | 9.9  | 10.1 |      | 10.3 |      | 10.4 | 10.6 |      | 10.8 |
| 25 | 85-04 | 8    | 9.8  | 10.1 |      | 10.3 |      | 10.4 | 10.6 |      | 10.8 |
| 26 | 85-05 | 8    | 9.7  | 9.9  |      | 10   |      | 10.2 | 10.4 |      | 10.6 |
| 27 | 85-06 | 8    | 9.7  | 9.9  |      | 10.1 |      | 10.2 | 10.4 |      | 10.6 |
| 28 | 85-07 | 8    | 9.6  | 9.8  |      | 10   |      | 10.3 | 10.3 |      | 10.5 |
| 29 | 85-08 | 8    | 9.5  | 9.7  |      | 9.9  |      | 10.1 | 10.3 |      | 10.5 |
| 30 | 85-09 | 8.1  | 9.4  | 9.7  |      | 10   |      | 10.1 | 10.4 |      | 10.6 |
| 31 | 85-10 | 8.1  | 9.3  | 9.6  |      | 9.9  |      | 10.2 | 10.4 |      | 10.6 |
| 32 | 85-11 | 8    | 9.2  | 9.5  |      | 9.9  |      | 10.3 | 10.5 |      | 10.9 |
| 33 | 85-12 | 7.9  | 9.1  | 9.5  |      | 9.8  |      | 10.3 | 10.5 |      | 10.8 |
| 34 | 86-01 | 7.7  | 9    | 9.4  |      | 9.8  |      | 10.3 | 10.5 | 11   |      |
| 35 | 86-02 | 7.9  | 9.4  | 9.6  |      | 9.9  |      | 10.3 | 10.5 |      | 10.8 |
| 36 | 86-03 | 7.6  | 9.2  | 9.4  |      | 9.7  |      | 10.1 | 10.4 |      | 10.6 |

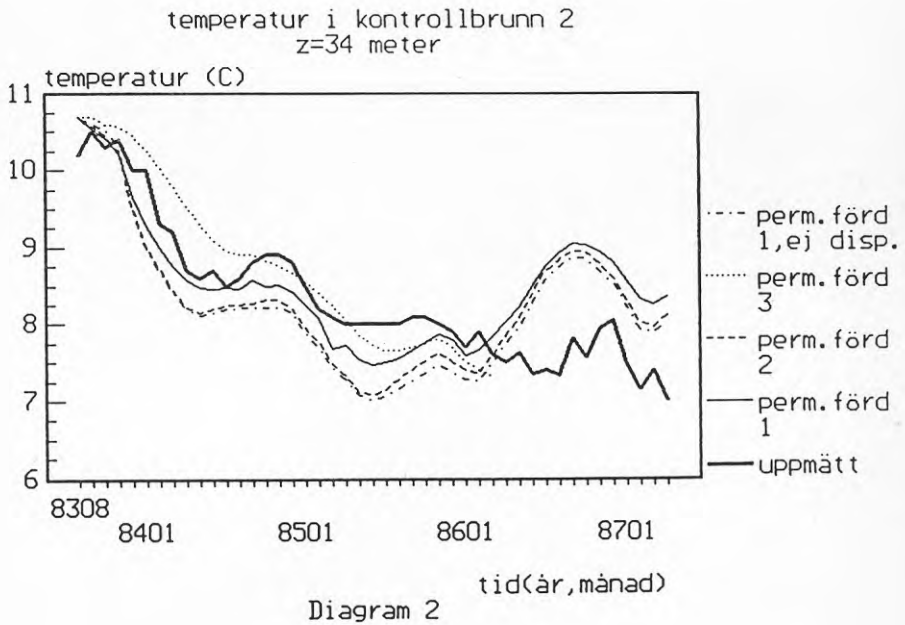
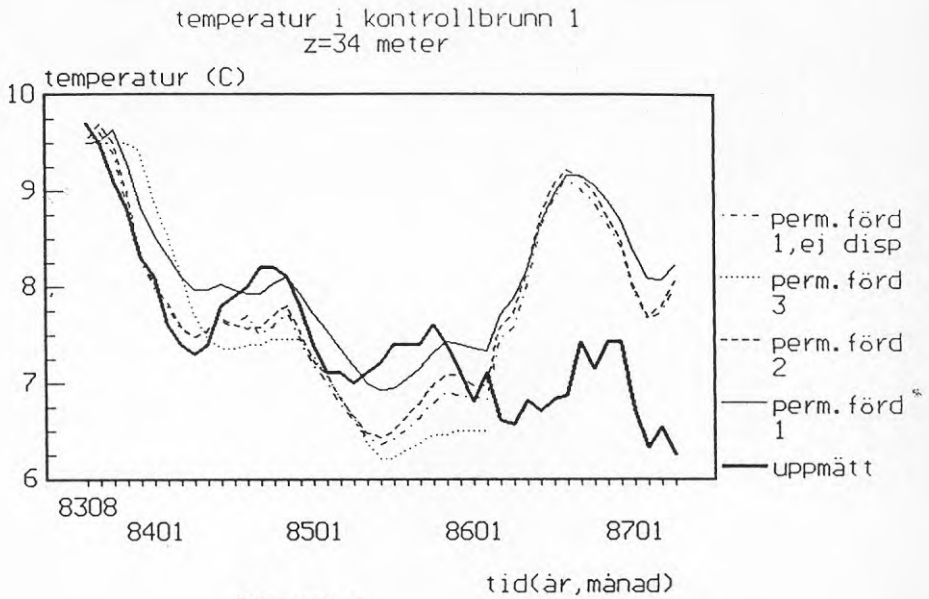


KV TÄRNAN

TEMPERATURER I AKVIFEREN

PÅ OLIKA NIVÅER

KONTROLLPUNKT 3





temperatur i kontrollbrunn 1  
z=47 meter

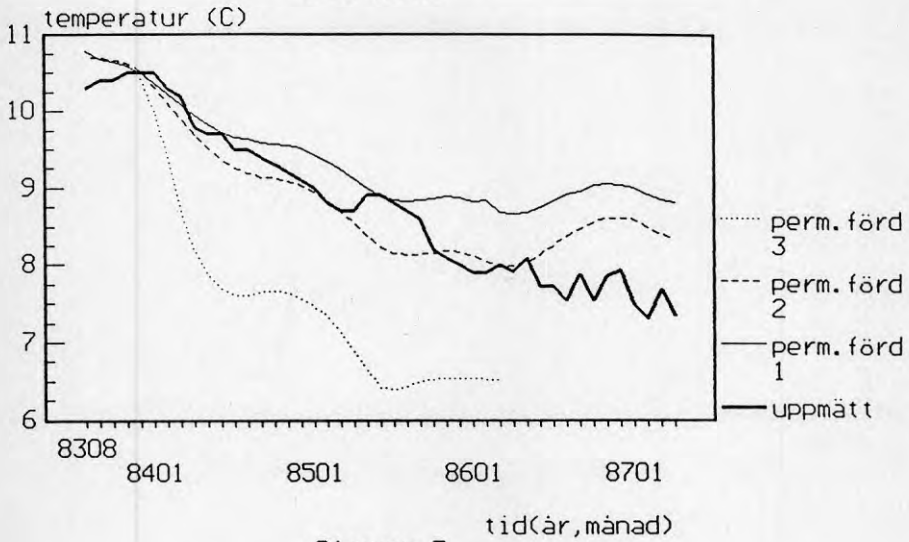


Diagram 3

temperatur i kontrollbrunn 2  
z=47 meter

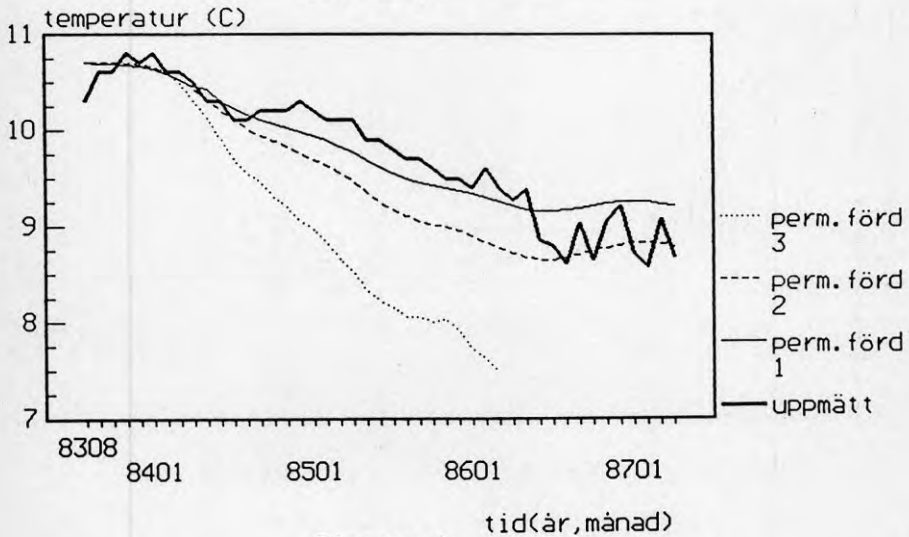
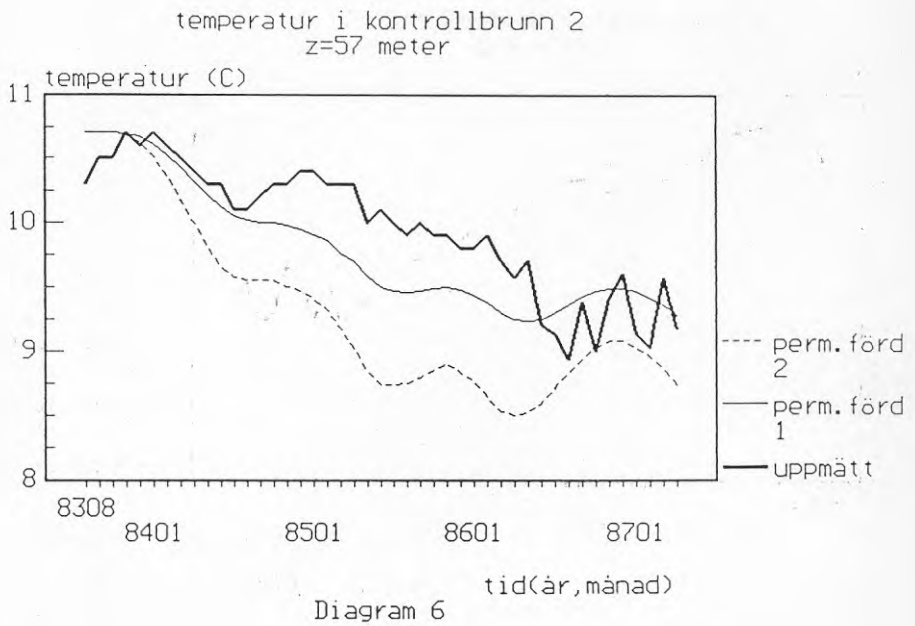
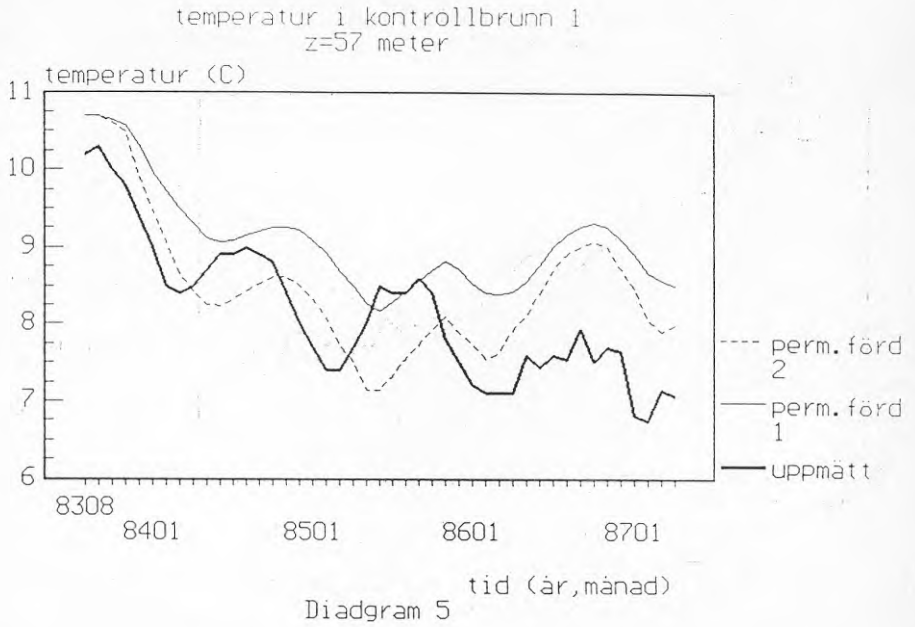


Diagram 4



temperatur i kontrollbrunn 1  
z=66 meter

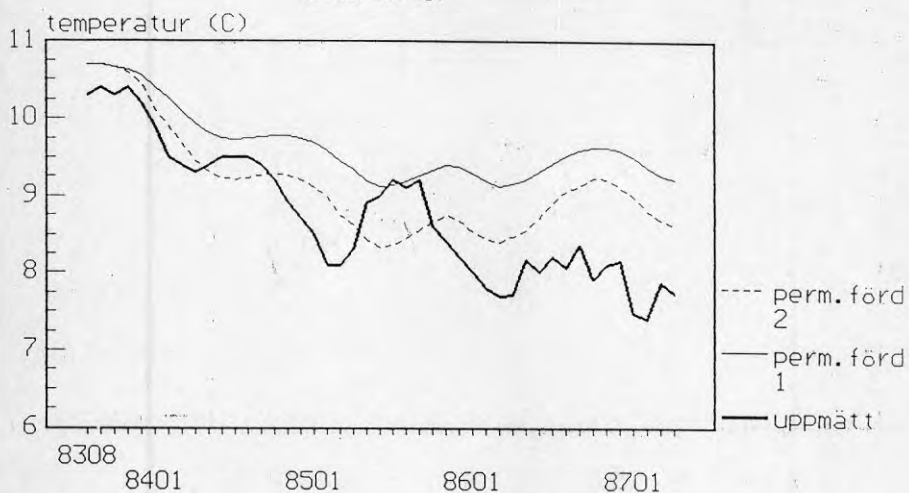


Diagram 7  
tid (år, månad)

temperatur i kontrollbrunn 2  
z=66 meter

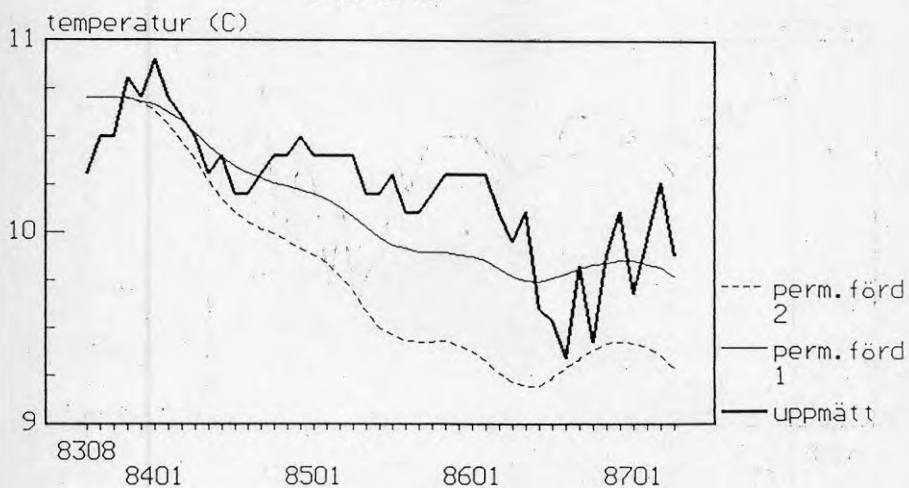
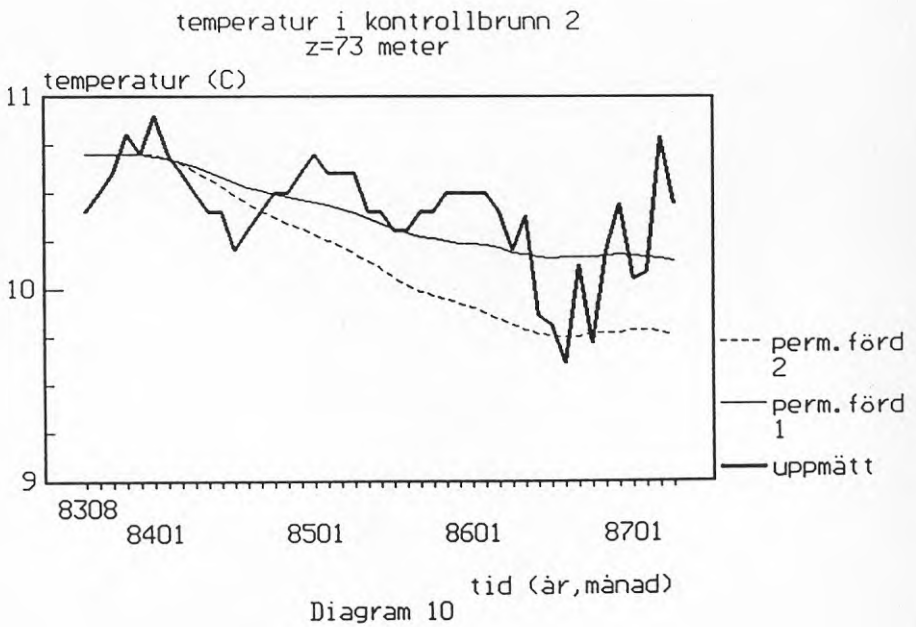
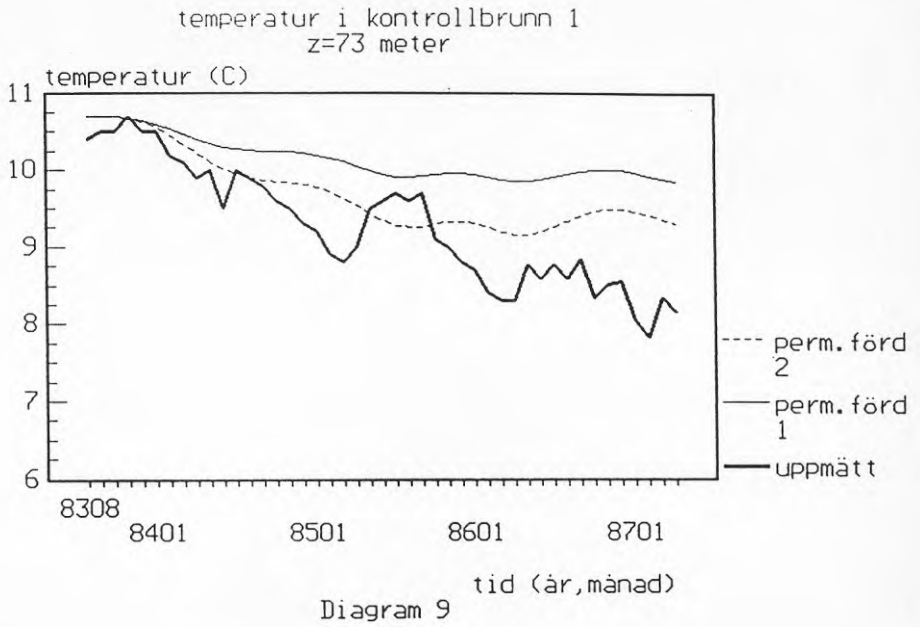
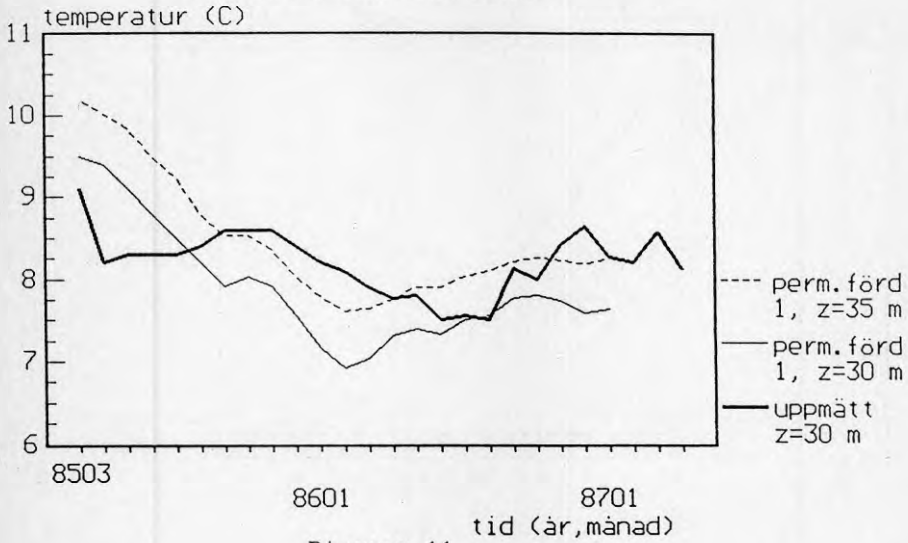


Diagram 8  
tid (år, månad)

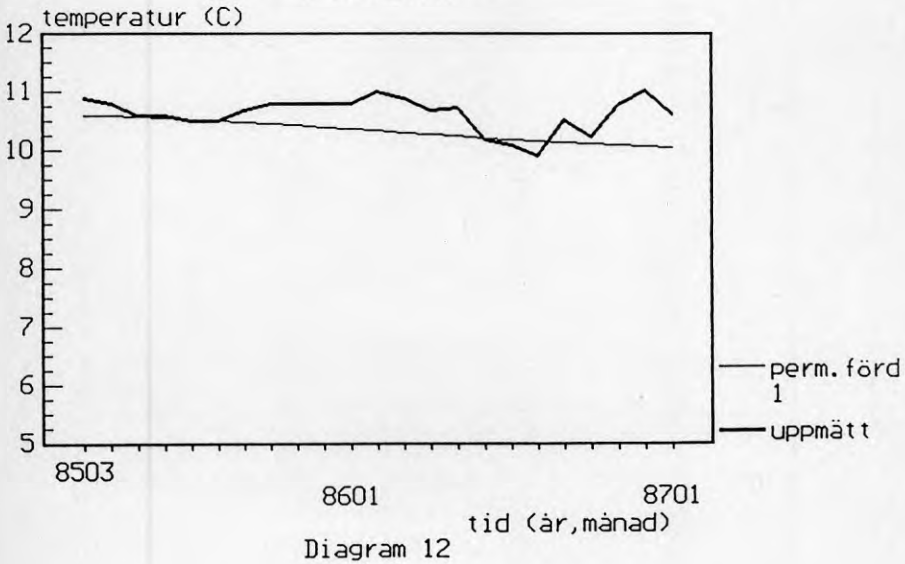


## Bilaga 8 (6)

temperatur i kontrollbrunn 3  
z=30 meter och z=35 meter



temperatur i kontrollbrunn 3  
z=55 meter



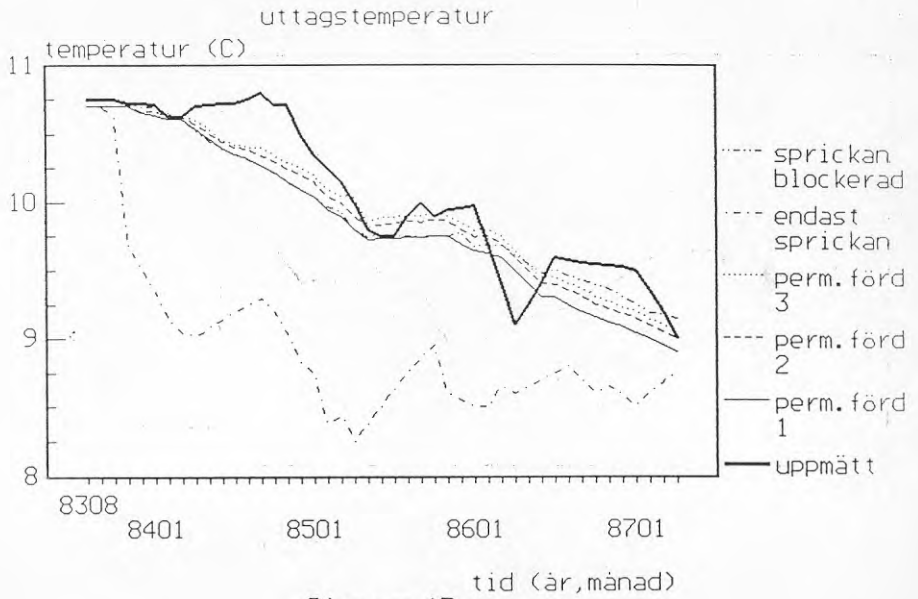


Diagram 13



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810238-4  
från Statens råd för byggnadsforskning till Kjessler &  
Mannerstråle AB, Halmstad.**

**R80: 1989**

**ISBN 91-540-5094-4**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6709080**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna**

**Cirka pris: 37 kr exkl moms**