



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.



Norra Botkyrka — infiltration för att motverka grundvattensänkning

Torgny Agerstrand
Gunnar Gustafson

| | |
|-------------------------------------|---------|
| INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION | |
| Accnr | 80-0424 |
| Plac | ser |

R/n
50

R24:1980

NORRA BOTKYRKA
INFILTRATION FÖR ATT MOTVERKA GRUNDVATTENSÄNKNING

Torgny Agerstrand
Gunnar Gustafson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
730510-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till VIAK AB, Vällingby.

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

R24:1980

ISBN 91-540-3185-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 050823

| | |
|--|----|
| INNEHÅLL | |
| FÖRORD | 5 |
| 1 BAKGRUND | 7 |
| 2 UNDERSÖKNINGSOMRÅDET | 9 |
| 2.1 Avgränsning | 9 |
| 2.2 Berggrunden | 9 |
| 2.3 Jordlagren | 9 |
| 2.4 Bebyggelseutveckling | 13 |
| 2.5 Geohydrologi | 16 |
| 3. GEOHYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR 1973-74 | 19 |
| 3.1 Omfattning | 19 |
| 3.2 Provpumpning | 19 |
| 3.3 Infiltrationsförsök 1973 | 23 |
| 3.4 Bestämning av infiltrationsvattenmängden | 24 |
| 3.5 Infiltrationsförsök 1974 | 26 |
| 4. UTBYGGNAD AV INFILTRATIONSANLÄGGNINGEN | 29 |
| 4.1 Principförslag | 29 |
| 4.2 Kostnadsberäkning | 30 |
| 4.3 Utbyggnad | 31 |
| 5. INFILTRERADE MÄNGDER - GRUNDVATTENNIVÅER | 33 |
| 5.1 Övervakningsprogram | 33 |
| 5.2 Infiltrerade mängder | 33 |
| 5.3 Grundvattennivåer | 35 |
| 5.4 Portryck | 36 |
| 5.5 Sättningar | 37 |

| | |
|---|----|
| 6. FUNKTIONSKONTROLLER - IGENSÄTTNINGAR | 39 |
| 6.1 Uppföljningsprogram | 39 |
| 6.2 Kapacitetsbestämningar | 39 |
| 6.3 Hydrauliska parametrar | 39 |
| 6.4 Igensättningar i grundvattenmagasinet | 41 |
| 6.5 Igensättningar i infiltrationsbrunnen | 43 |
| 6.6 Vattenkvalitet | 45 |
| 6.7 Rensning med sulfaminsyra | 46 |
| 6.8 Behandling av infiltrationsvattnet | 47 |
| | |
| 7. OMRÅDETS HYDROGEOLOGI | 49 |
| 7.1 Provpumpningsresultat | 49 |
| 7.2 FEM-analys | 49 |
| 7.3 Modelloptimering | 50 |
| 7.4 Elementnät | 51 |
| 7.5 Egenskapsområden | 52 |
| 7.6 Modellens tillförlitlighet | 53 |
| 7.7 Naturlig grundvattenbildning | 56 |
| 7.8 Inverkan av infiltrationsanläggningen | 58 |
| | |
| 8. SAMMANFATTNING | 59 |
| | |
| 9. REFERENSER | 61 |

F Ö R O R D

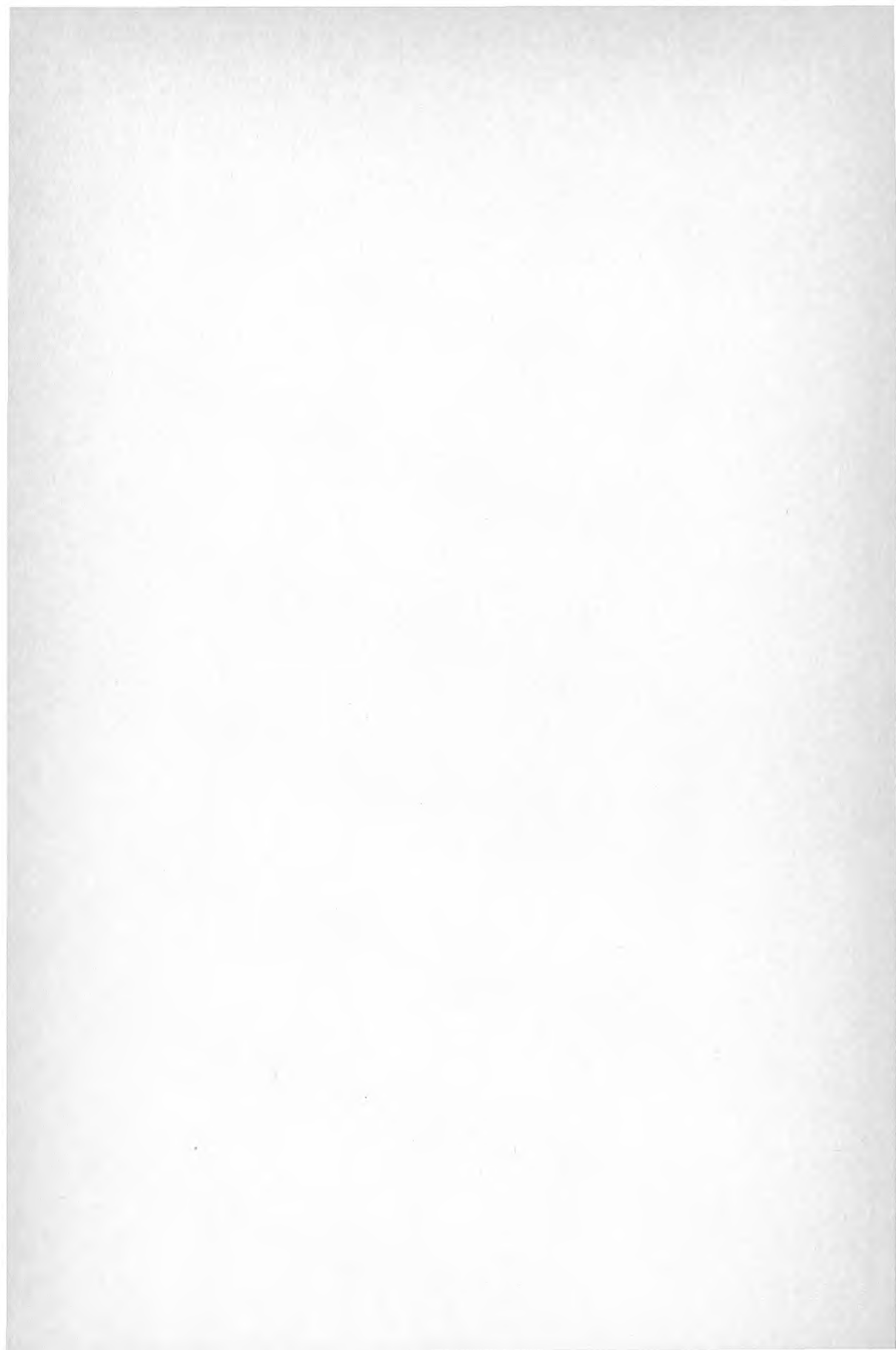
Skadlig sänkning av grundvattnets trycknivå kan motverkas genom infiltration eller injektion av vatten i jord och berg. För att denna teknik skall kunna tillämpas och önskade resultat uppnås, krävs en ingående kännedom om geologiska och geohydrologiska egenskaper hos de grundvattenmagasin, som ger upphov till grundvattenstrycket. När infiltrationen sker på brunnar, krävs vidare att brunnstekniken är väl anpassad till geologin och att infiltrationsvattnets fysikalisk-kemiska egenskaper inte medför besvär genom igensättningar av infiltrationsbrunnar och akviferer.

Föreliggande rapport har utarbetats efter undersökningar och utvärderingar av en infiltrationsanläggning i Hallunda, Norra Botkyrka. Ändamålet med anläggningen är att motverka den sänkning av grundvattnets trycknivå, som främst orsakas av läckage till bergtunnlar i området. Rapporten, som helt utarbetats av tekn dr Gunnar Gustafson, VIAK AB, Göteborg, omfattar de flesta parametrar, som är av betydelse för att en brunnsinfiltration under lång tid skall kunna fungera på ett tillfredsställande sätt.

Undersökningar och utredningsarbete har helt bekostats av Statens råd för byggnadsforskning.

Stockholm den 19 september 1979

Torgny Agerstrand
Projektledare



1 BAKGRUND

1974 erhö11 VIAK AB uppdraget av AB Svenska Bostäder att undersöka möjligheterna att kontrollera grundvattennivån vid Hallunda med infiltration på brunnar. Undersökningsområdet omfattade de centrala delarna av Norsborg-Fittjadalgången i Norra Botkyrka sydväst om Stockholm, figur 1.1.

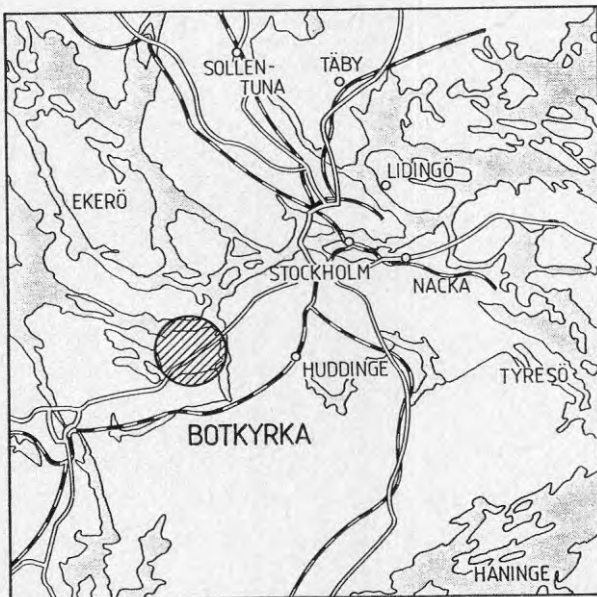


FIG 1.1 UNDERSÖKNINGSOMRÅDETS BELÄGENHET

Området bebyggdes huvudsakligen under perioden 1966-1973 och under hela denna period har geohydrologin följts av STEGA-gruppen (se bl a Lindskoug et al 1974 och Bergman et al 1978). Redan tidigt framkom att vissa delar av området var känsligt för grundvattensänkringar och sättningar och stor hänsyn togs till dessa förhållanden vid den slutliga utformningen av exploateringsplanerna.

Emellertid kvarstod vissa ur grundvattensynpunkt känsliga områden, som t.ex detta vid Hallunda. Orsaken är dels att olika tunnlar skär igenom den krosszon, som skiljer Albyberget från Eriksberg och som kan dränera grundvattenmagasinen i dalgångarna norr och söder därom. Dels korsar motorväg E4 Stockholms huvudvattenledningar mitt i dalgången och stora marksättningar kan här få allvarliga konsekvenser.

I samband med och efter det att tunnlar genom Albyberget byggts sänktes också grundvattennivån i området drastiskt och marksättningar konstaterades. I detta sammanhang diskuterades två möjliga åtgärder: Antingen en ombyggnad av korsningen mellan vattenledningen och motorvägen eller infiltration för att höja grundvattennivån så att fortsatta sättningar undviks. En kostnadsjämförelse visade att infiltration hade förutsättningar att bli billigare även i ett långtidsperspektiv, dessutom kunde man vinna minskade sättningar kring infiltrationspunkten, vilket skulle medföra lägre justerings- och underhållskostnader för det bebyggda området i helhet. Med hänsyn till detta beslöts att infiltrationsalternativet skulle utredas.

Undersökningen påbörjades med kompletterande rörborrningar följt av en provpumpning under augusti 1973. Under september och första delen av oktober utfördes sedan en provinfiltration med vatten från Botkyrka kommuns ledningsnät.

Resultatet av undersökningen blev positivt och man förordade att infiltrationen skulle fortsätta på prov under en sexmånadersperiod för att vinna ytterligare erfarenheter och för att under tiden utreda hur infiltrationsvatten skulle anskaffas.

Det fortsatta infiltrationsförsöket utfördes under perioden juni-december 1974. Även under denna infiltrationsperiod användes infiltrationsvatten från kommunens nät. Erfarenheterna från denna period blev även de positiva och man beslöt följande år att en permanent anläggning skulle byggas. Infiltrationsvatten skulle tas från tunnelpäslag F1 vid Eriksbergs industriområde, där ett inläckage till tunneln sker, och sedan ledas genom befintliga tunnlar fram till infiltrationsbrunnen. Som reservmöjlighet skulle anslutningen till kommunens ledningsnät behållas.

Som en följd av beslutet om utbyggnad beviljade Byggforskningsrådet medel för en driftuppföljning under tre år och för en fördjupad analys av infiltrationsförloppet.

Anläggningen blev färdig under sommaren 1976 och efter en del igångkörningsproblem kom den i full drift hösten 1976.

2. UNDERSÖKNINGSOMRÅDET

2.1 Avgränsning

Botkyrkaområdet är beläget ca 20 km sydost om Stockholm. Under slutet av 1960-talet och början av 1970-talet var det ett av de största utbyggnadsområdena kring Stockholm och flera nya stadsdelar som Norsborg, Alby och Hallunda växte upp på kort tid inom ett tidigare relativt orört område. Med bebyggelsen följde olika försörjningssystem, som el, vatten, avlopp och kommunikationer, som till stor del förlades i tunnlar.

Exploateringen och framför allt tunnelbyggandet medförde en avsevärd påverkan på grundvattensituationen inom området. Det undersökta avsnittet av dalgången ligger i anslutning till en tunnelgenomgång av en av områdets större sprickzoner. Denna är tydligt synlig på markytan, som det bergpass, som skiljer Albyberget och Eriksberg, se fig 2.1.

Undersökningsområdet omfattar således de centrala delarna av Norsborg-Fittjadalgången. Genom området löper motorväg E4 och på ömse sidor om denna finns en omfattande bebyggelse i stadsdelarna Hallunda och Fittja. Vidare följer Stockholms huvudvattenledningarna området från Norsborg i väst till Albysjön i öst.

2.2 Berggrunden

I det undersökta avsnittet är Norsborg-Fittjadalgången 1 km bred. Dalgången har ost-västlig riktning. Dalgången är betingad av en förkastning med samma riktning, som markeras av nordsidorna på Albyberget och Eriksberg, se figur 2.2.

Området genomkorsas även av flera sprickzoner med nordost-sydvästlig riktning, som tydligast framträder i bergområdena söder och norr om dalgången, figur 2.2. Sprickzonernas lägen kan även skönjas på borrhningsskarta, där jorddjupen anges med cyklogram, figur 2.3.

Berggrunden är av svekofennisk ålder och utgörs av gnejs och gnejsgranit (Stålhös 1968).

2.3 Jordlagren

Jordlagrens uppbyggnad är känd genom ett stort antal borrhningar, som utförts före och under områdets exploatering. I samband med förberedelserna för infiltrationsförsöket utfördes dessutom fyra kompletterande rörborrhningar för att lokalisera ett lämpligt läge för en infiltrationsbrunn. De utförda rörborrhningarna redovisas i form av cyklogramkarta i figur 2.3.

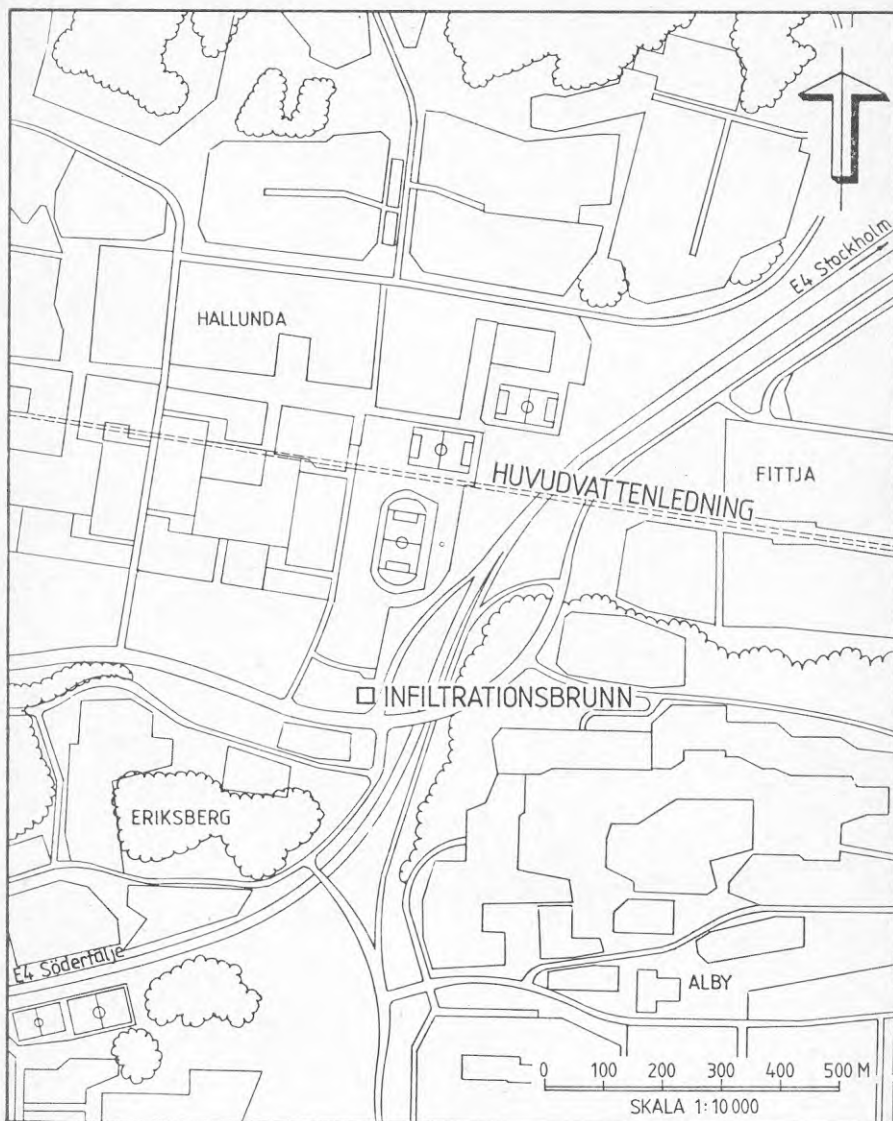


FIG 2.1 KARTA ÖVER UNDERSÖKNINGSOMRÅDET

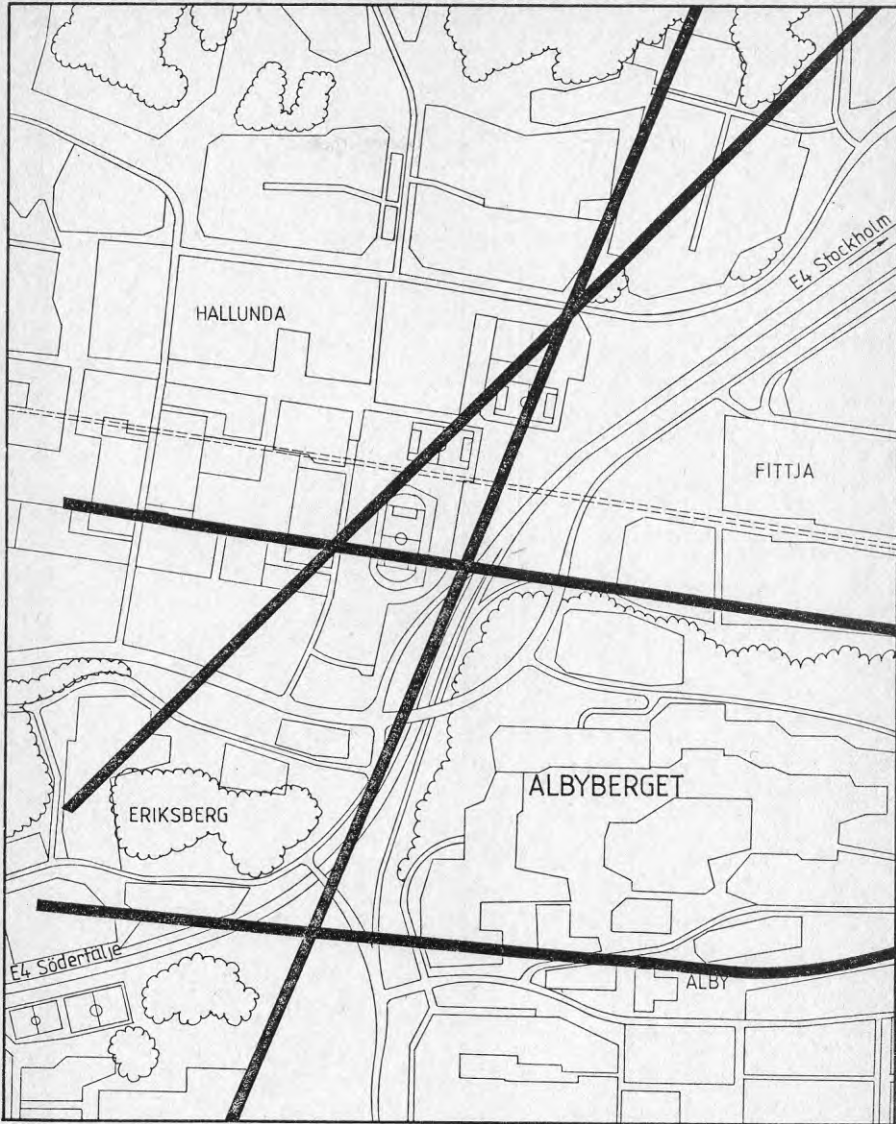


FIG 2.2 OMRÅDETS STÖRRE SPRICKZONER

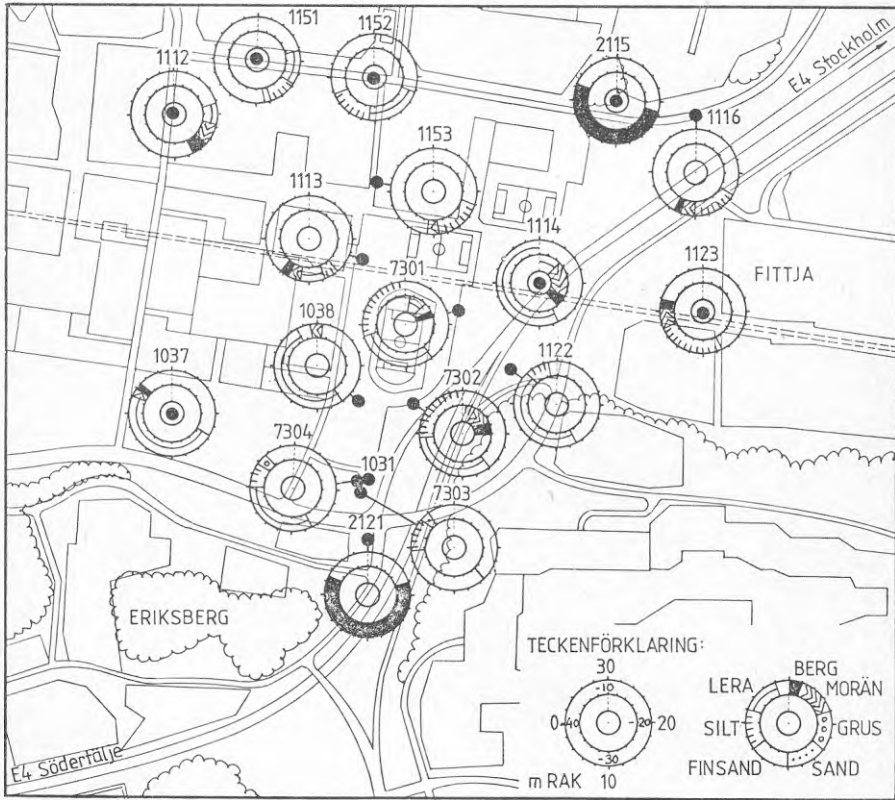


FIG 2.3 BORRNINGAR

Berggrunden i dalgången täcks av ett moränlager med varierande mäktighet. Mot dalsidorna och över höga berggrundslägen understiger den vanligen två meter, medan i dalmitten mäktigheten överstiger 5 m, Rb 1114. På moränen har sediment avsatts med en mäktighet av upp till 30 m, sedimenten utgörs huvudsakligen av lera, men de undre delarna har mot djupet tilltagande skikt av friktionsmaterial. Närmast moränen består jordlagren således inte sällan av sand.

Vid infiltrationsbrunnen (Rb 7303) utgörs de understa delarna av lagerföljden av ett ca 1 m mäktigt skikt av grovt material med mycket hög permeabilitet. Materialet visade sig i upptagna prover vara kantigt och ofullständigt sorterat och har närmast karaktären av krossat berg.

Områdets ytjordarter har karterats i samband med STEGA-gruppens arbete, se bl.a. Lindskog et al 1974. Den omfattande exploateringen har emellertid medfört att markkaraktären väsentligt förändrats och förutsättningarna för grundvattenbildning är annorlunda än under jungfruliga förhållanden. Ytjordarterna redovisas översiktligt i fig 2.4.

2.4 Bebyggelseutveckling

I STEGAs byggforskningsrapport (Lindskog et al 1974) har redovisats hur områdets utbyggnad har skett, både beträffande markarbeten, dagvatteninlag och tunnelarbeten.

Ur geohydrologisk synpunkt har området klassats med hänsyn till exploateringsgrad. Följande indelningsgrund har använts (Bergman et al 1977):

- O Naturmark, som ej nämnvärt berörts av exploateringen
- I Delar av insprängda park eller naturområden, äldre villabebyggelse - hårdgjorda ytor förekommer endast sporadiskt
- II Områden med tätbebyggelse, hårdgjorda ytor, rikt förgrenat ledningsnät.
- III Lerområden med lermäktighet större än 1,5 m, där exploateringen ej förväntas spela någon roll för grundvattenbildningen.

Utom att instämna i synsättet på grundvattenbildningsprocessen och exploaterings inverkan på denna, som redovisas i Bergman et al (1978), har indelningen bibehållits i denna rapport. En karta över exploateringsförhållandena redovisas i Figur 2.5.

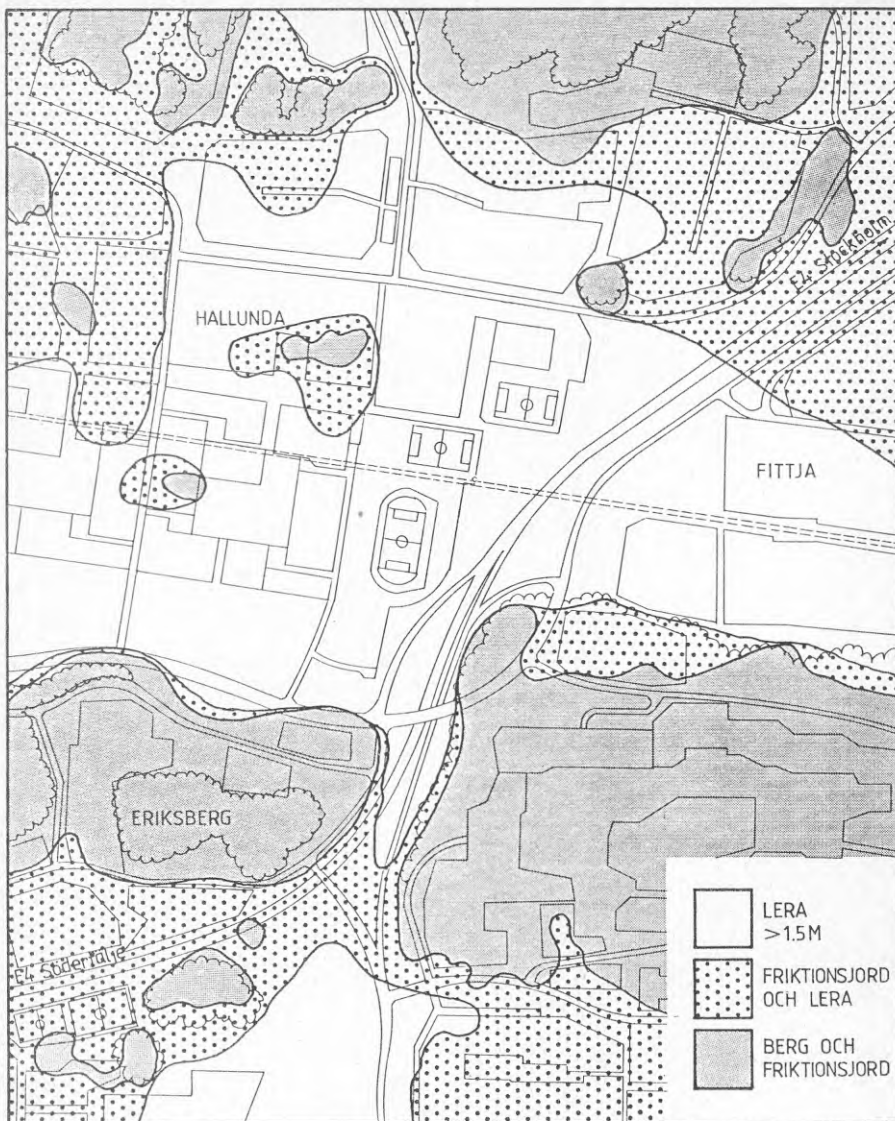


FIG 2.4 UNDERSÖKNINGSOMRÅDETS YTJORDARTER EFTER STEGA 1974

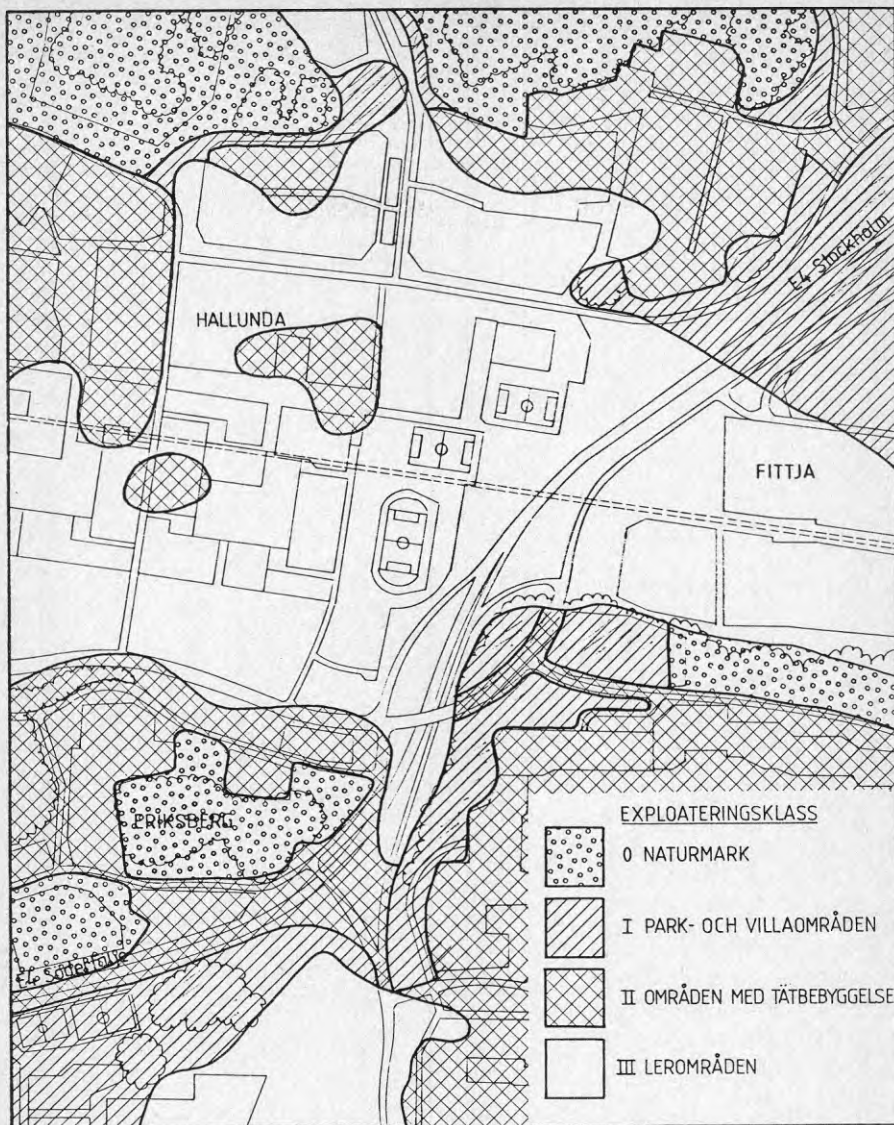


FIG 2.5 EXPLOATERINGSFÖRHÅLLANDEN 1976 (EFTER BERGMAN ET AL 1978)

2.5 Geohydrologi

Före exploateringen var grundvattenmagasinet i Norsborg-Fittjadalgången artesisk i de centrala delarna. Grundvattennivån upprätthölls av nederbördsinfiltration i dalsidornas berg-moränområden, vilka således svarar för den grundvattenbildning, som ger tillflöden till det slutna magasinet.

Grundvattenbildningen var större än det tillflöde, som kunnat mottagas av magasinet och en del av grundvattnet har avbördats vid lergränsen som källor eller utflödeszoner, se figur 2.6.

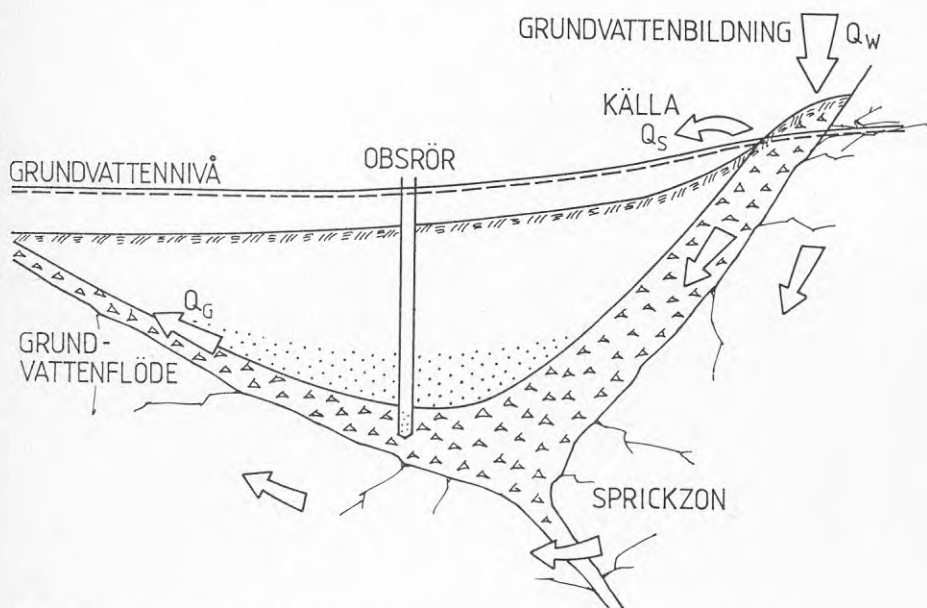


FIG 2.6 GRUNDVATTENOMSÄTTNING I DALGÅNGEN FÖRE EXPLOATERING, PRINCIPBILD

Avflödet från grundvattenmagasinet har skett genom ett uppåtriktat läckage genom de tätande finsedimenten och som ett grundvattenflöde österut längs dalgången mot Albysjön i jordlager och berggrund.

Den exploatering som utförts, har medfört stora konsekvenser för den hydrologiska balansen i området. Dels har hårdgöring av stora ytor inom grundvattenbildningsområdena medfört ökad ytavrinning och en något minskad grundvattenbildning, dels har de tunnelsystem, som utsträckt i Albyberget, medfört en dränering av grundvattenmagasinet genom bergets spricksystem, se figur 2.7. En kombination av dessa orsaker har medfört en allmän sänkning av grundvattennivån i Hallundaavsnittet. Sänkningsförloppet och den partiella återhämtning, som skett sedan 1972, då nivån var som lägst finns utförligt redovisad i Grundvattnet i Botkyrka 1972-76, Bergman et al 1978.

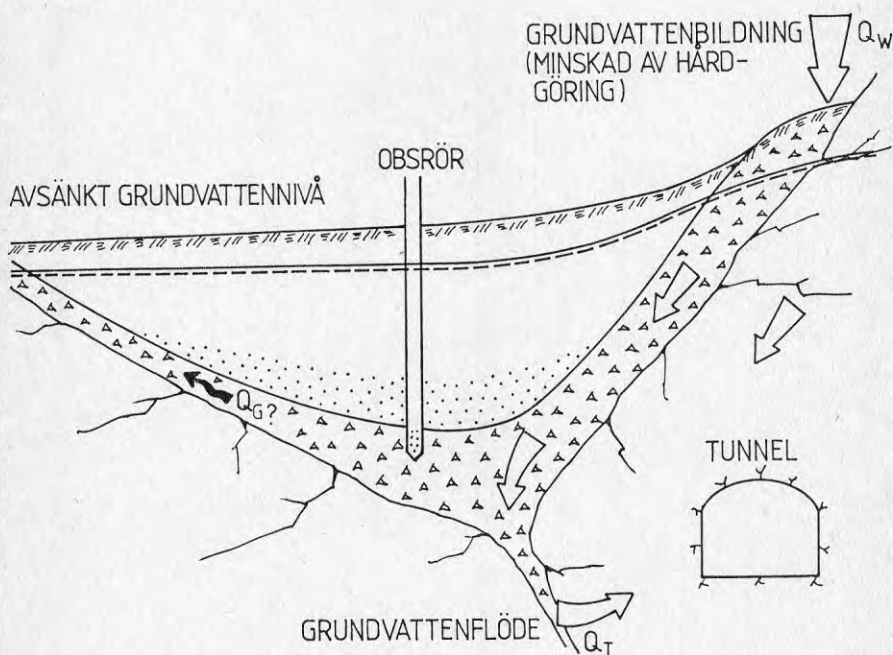
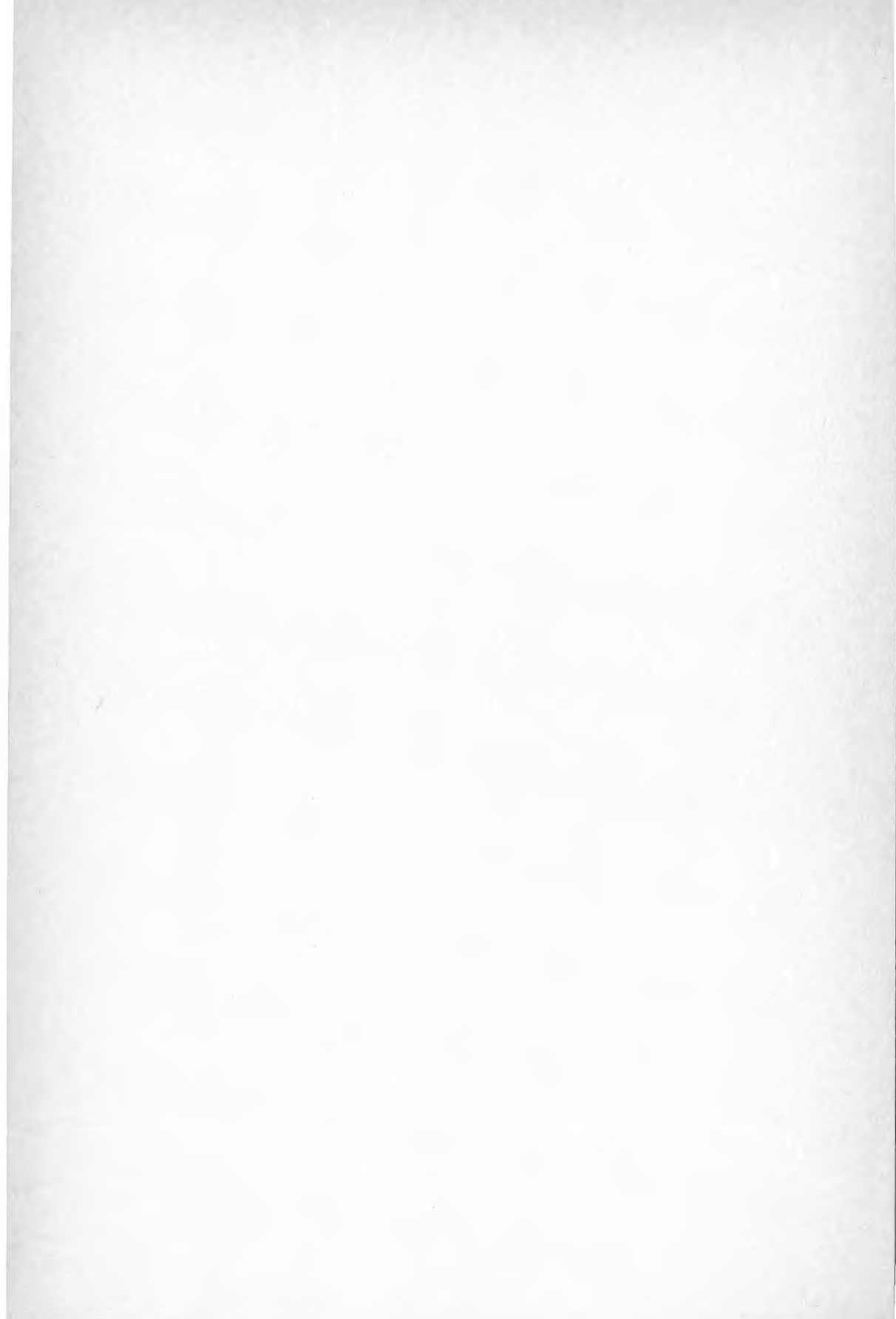


FIG 2.7 GRUNDVATTENOMSÄTTNING I DALGÅNGEN EFTER EXPLOATERING, PRINCIPBILD



3. GEOHYDROLOGISKA UNDEKSÖKNINGAR 1973-1974

3.1 Omfattning

Undersökningarna för en framtida infiltrationsanläggning inleddes sommaren 1973 med kompletterande rörborrningar för att finna ett lämpligt läge för en brunn. Som tidigare nämnts visade sig Rb 7303 vara så gynnsam att den sedan lämpade sig som permanent brunn.

I mitten av augusti samma år utfördes en provpumpning vid Rb 7303, som sedan följdes av ett ca 6 veckor långt infiltrationsförsök.

Denna del av undersökningarna redovisades i januari 1974.

Sommaren 1974 startade sedan ett förnyat infiltrationsförsök, som pågick under 6 månader, medan bl.a. infiltrationsvattenfrågan utreddes. Detta försök redovisades i september 1975.

3.2 Provpumpning

Provpumpningen utfördes under perioden 13-20.8 med ett uttag av 2.21/s. Uttaget gjordes med en markuppställd centrifugalpump, som anslöts direkt till röret, Rb 7303.

3.2.1 Observationsnät

Under pumpningen och efterföljande infiltrationsförsök användes de nya obsrören Rb 7301-4 samt fungerande äldre observationsrör, 1031, 1113, 1114, 1122, 1123 och 1153, samt bergborrhålen 2115 och 2121.

Obspunkterna observerades regelbundet under pumpningstiden, med mycket täta intervall, 1 min, vid pumpstart för att sedan avläsas 2 gånger per dag då pumpningen avbröts.

Grundvattennivån före pumpstart och obspunkternas lägen finns redovisat i figur 3.1.

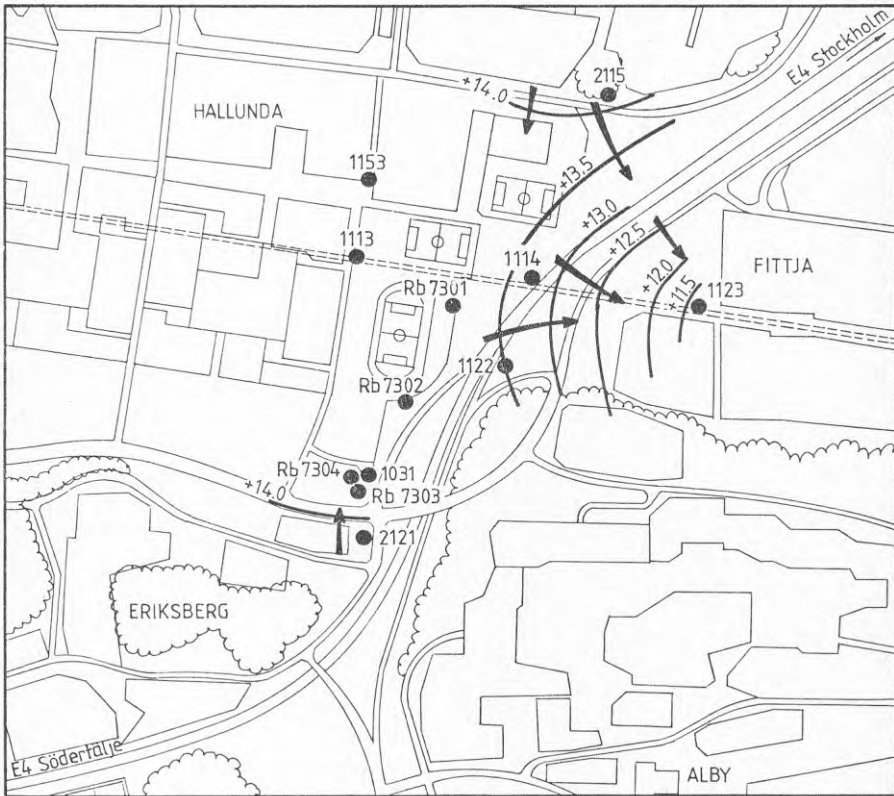


FIG 3.1 GRUNDVATTENNIVÅ FÖRE PUMPSTART, OBS-RÖR

3.2.2 Avsänkingsförlopp

Vid pumpstopp kunde en avsänkning märkas i samtliga obspunkter. Grundvattenmagasinet omfattar således både berggrunden och jordlagren.

Grundvattennivån vid pumpning finns redovisad tillsammans med det första infiltrationsförsöket på Figur 3.4. För att göra en utvärdering av områdets hydrauliska egenskaper plottades data i en logaritmisk datakurva, se Figur 3.2.

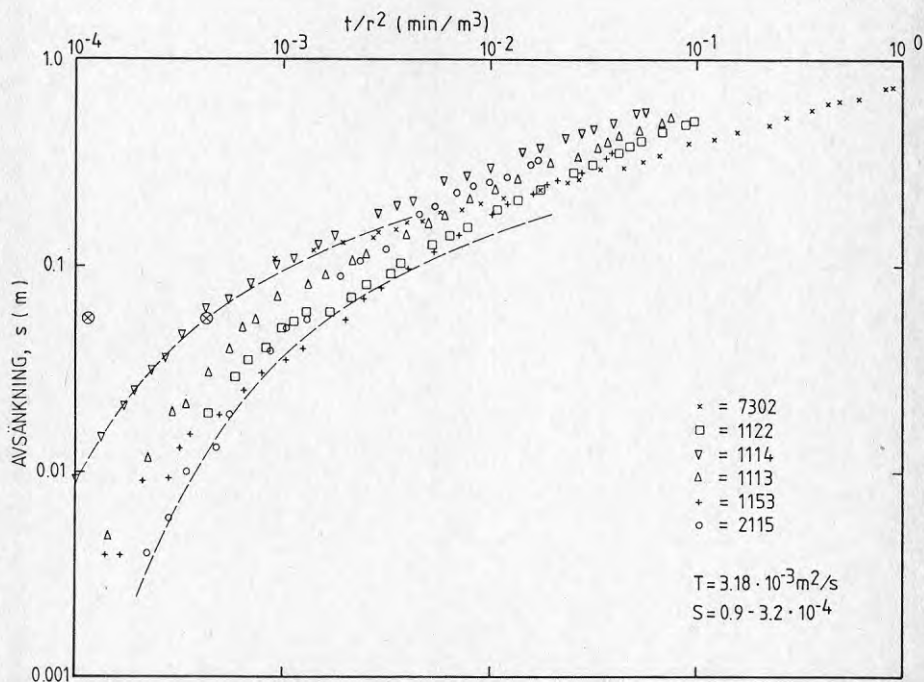


FIG. 3.2 DATAKURVOR VID PROVPUMPNINGEN

För att kontrollera grundvattenmagasinets homogenitet har pumpningstiden för varje rör dividerats med avståndet till pumpbrunnen i kvadrat.

3.2.3 Analys av provpumpningsdata

Som framgår av datakurvorna för avsänkingsförloppet visar dessa en förvånansvärt homogen bild. För samtliga kurvor kan åtminstone under de inledande delarna en Theiskurva motsvarande transmissiviteten $T=3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ passas. Den utvärderade magasincoeffcienten varierar något mer, $S = 0,9 - 3,2 \cdot 10^{-4}$, men ger ändå förvånansvärt homogena resultat.

Under den senare delen av pumpningen avviker kurvorna från Theiskurvan, vilket indikerar att grundvattenmagasinet är begränsat.

En uppritning av avsänkningstratten vid pumpningstopp, Figur 3.3 visar att avsänkningstratten är utdragen längs den sprickzon, som konstaterats vid den tektoniska analysen av området. Man kan därför utgå från att sprickzonen ingår som en viktig del i grundvattenmagasinet.

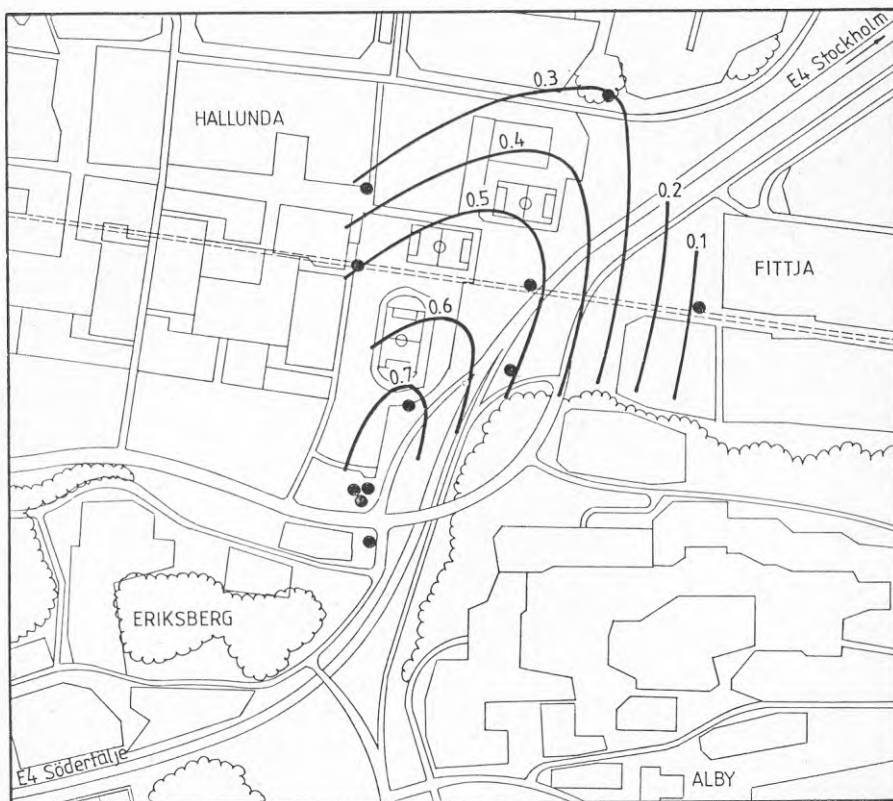


FIG 3.3 AVSÄNKNINGSTRATTEN VID PUMPSTOPP

Pumpningen visade vidare att stora områden kunde påverkas genom infiltration från den valda punkten vilket gav ytterligare motivation för infiltrationsförsöket.

3.3 Infiltrationsförsöket 1973

Provpumpningen följdes efter fyra dagars återhämtning av ett infiltrationsförsök. Brunnen Rb 7303 anslöts till en brandpost och via en vattenmätare och en avluftningsventil startade infiltrationen med en kapacitet av 2,35 l/s. Den pågick under perioden 23.8 - 18.10 utan avbrott. Under infiltrationsförsöket mättes nivån i samma obspunkter, som under pumpningen varje vardag. Höjningsförloppet finns tillsammans med nivåförändringarna under provpumpningen visade i figur 3.4.

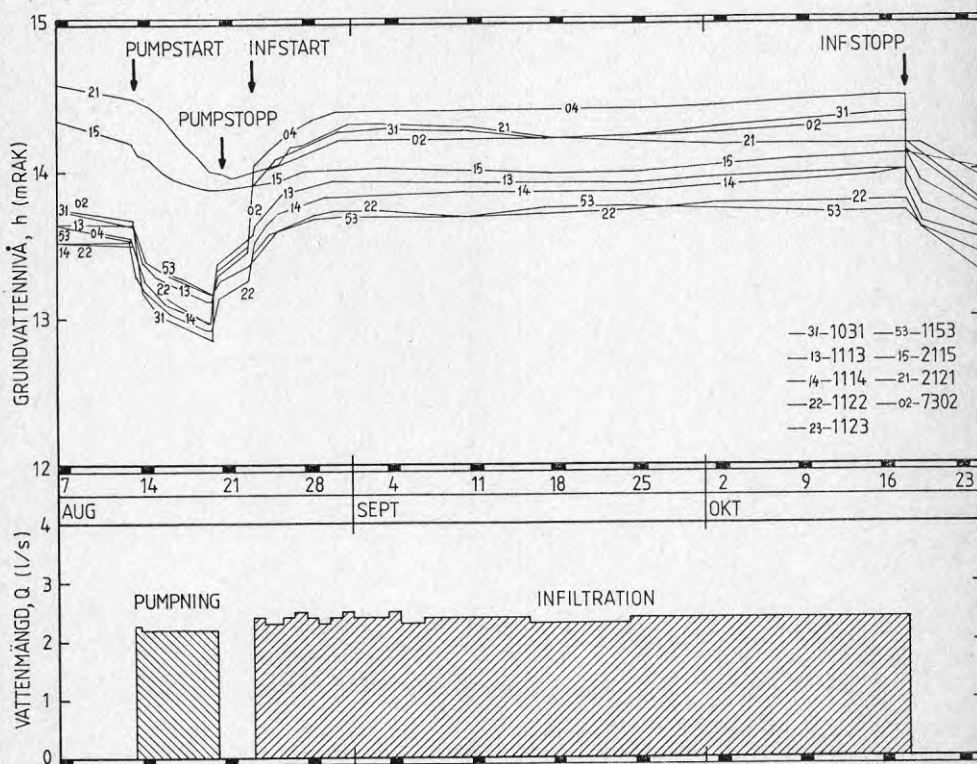


FIG 3.4 PROVPUMPNING OCH INFILTRATIONSFÖRSÖK 1973

En jämförelse med avsänkingsförloppet under provpumpningen visar att höjningarna vid infiltrationen har ett nära nog identiskt förlopp. Som ett exempel ges höjningar och avsänkningar efter ca 1100 min, dvs något mindre än ett dygn, i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Nivåförändringar vid pumpning och infiltration

| Obspunkt | Pumpning 2.21 l/s | Infiltration 2.35 l/s |
|----------|------------------------|-----------------------------|
| | Avs efter 1060 min (m) | Höjning efter 1 200 min (m) |
| 1031 | 0.43 | 0.48 |
| 1113 | 0.21 | 0.24 |
| 1114 | 0.26 | 0.28 |
| 1122 | 0.19 | 0.19 |
| 1153 | 0.09 | 0.11 |
| 2115 | 0.09 | 0.02 |
| 7302 | 0.39 | 0.43 |

Ett undantag utgör berghålet 2121, detta har emellertid det största avståndet till brunnen av samtliga obspunkter.

Av figur 3.4 framgår vidare att ett i stort sett stationärt tillstånd uppstår efter några veckors pumpning. Detta tyder på att ett jämviktsläge utbildats och att infiltrationen balanseras av avflödena. Flödesbilden vid infiltrationsstopp, Figur 3.5 antyder ett utflöde dels mot sprickzonen som skär igenom Albyberget, dels mot öster i Norsborg-Fittjadalgången.

Då avflödet är laminärt kan bortsett från årstidsvariationerna en höjning prognostiseras för en godtycklig infiltrationsvattenmängd med enkel proportionalitet.

3.4 Bestämningar av infiltrationsvattenmängden

Vid en genomgång av geotekniska undersökningar från området fann man att leran i dalen var överkonsoliderad med ca 20 kPa relativt en referensgrundvattennivå i maj 1969. Denna stämmer relativt väl med den referens som av Bergman et al (1978) angivits för de aktuella grundvattenrören, se Figur 3.6. Med hänsyn till överkonsolideringen, skulle således en grundvattensänkning med 2 m under referensnivån medföra risk för sättningar. Rapporterade sättningarna vid Stockholms vattenledningar stämmer mycket väl i tiden med ett sådant antagande om förkonsolidering. Grundvattennivån bör hållas betryggande över denna risknivå för att framtida sättningar skall undvikas.

För att hålla området utanför sättningsrisker av grundvattensänkning bör man således ha möjlighet att höja grundvattennivån ca 1 m om man undantar det extrema året 1972, se Figur 3.6, där både tunnelsprängning och låg nederbörd samverkat.

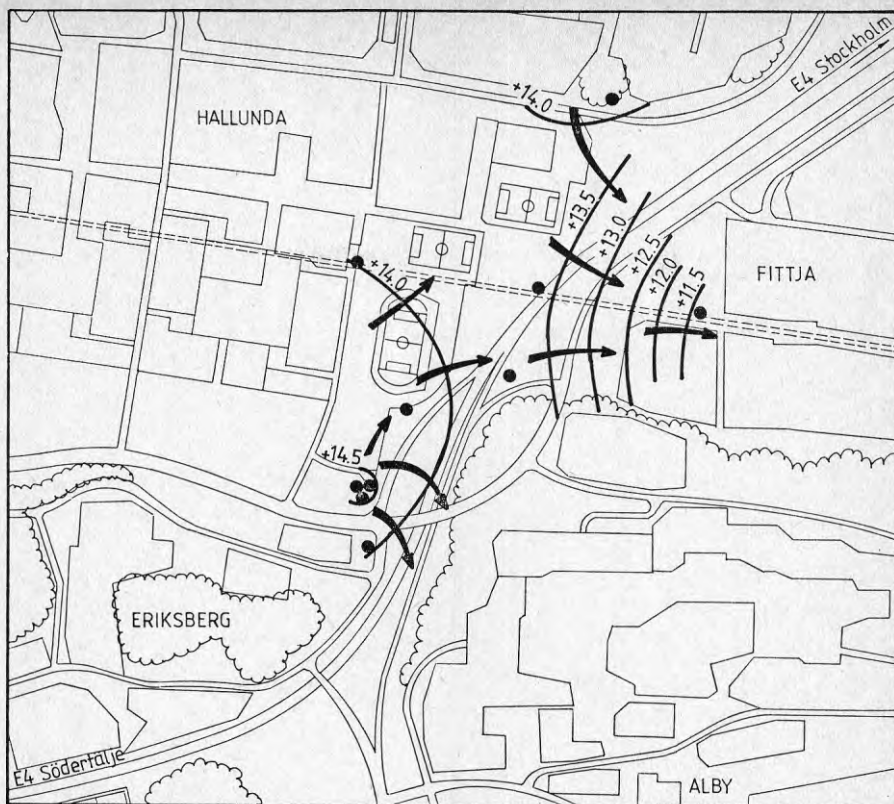


FIG 3.5 GRUNDVATTENNIVÅ VID INFILTRATIONSSTOPP

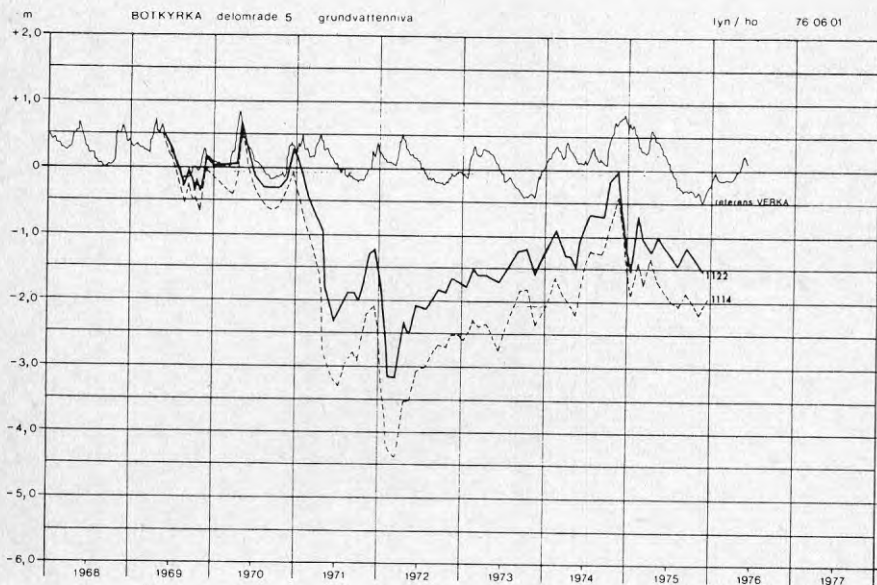


FIG 3.6 GRUNDVATTENNIVÅER I BOTKYRKA (BERGMAN ET AL 1978)

Med användande av enkel proportionalitet från infiltrationsförsöket innebär detta att anläggningen bör ha en kapacitet av 5 l/s för att ge den önskade höjningen. Med denna enkla metod är det självfallet inte möjligt att säga om en kontinuerlig infiltration med lägre kapacitet kommer att innebära att extremt låga nivåer undviks. Detta får följa av erfarenheten eller en förfinad modellstudie av grundvattenmagasinet.

För att minska infiltrationsvattenmängden, föreslogs emellertid att man dels skulle injektera läckagepunkter i de olika tunnarna genom Albyberget. Detta blev aldrig utfört. Dessutom föreslogs att den pumpning, som pågått söder om Albyberget sedan 1969, för att om möjligt konsolidera områdets finsediment, skulle avbrytas.

3.5 Infiltrationsförsök 1974

För att vinna ytterligare erfarenheter om drift och inverkan av infiltrationen i Norra Botkyrka utfördes en längre tids provinfiltration mellan 12 juni och 10 december 1974. Vid försöket tog man vatten från kommunens ledningsnät och i medeltal infiltrerades 3,8 l/s ($330\text{m}^3/\text{d}$), således något mindre än vad som med bakgrund av de tidigare försöken ansågs vara önskvärt.

Under infiltrationen höjdes grundvattennivån i influensområdet 1,7-2,0 m. Till viss del, kan detta hänföras till den rika nederbörden hösten 1974. Under försöket observerades samma obrör som år 1973. Höjningsförloppet redovisas i Figur 3.7.

Som figuren visar får man en initialhöjning i samband med att infiltrationen startas. Därefter höjs grundvattennivån trappstegsvis i samband med nederbördsrika perioder i juli och oktober november, för att vid försökets slut ligga mellan +15 och +16 m i det aktuella området.

Ett försök att skilja ut hur mycket av höjningen, som beror på konstgjord infiltration och hur mycket som kan hänföras till nederbördsinfiltrationen har gjorts med utgångspunkt från en enkel analytisk modell, som uppställts på grundval av provpumpningsdata 1973. Under dessa förutsättningar skulle för obrör 1114 ca 0,3 av 1,7 m orsakats av hög nederbörd och för Rb 7304 ca 0,4 av 2,1 m.

Före infiltrationsstart låg grundvattennivån under markytan i hela området, medan då försöket avbröts artesiska förhållanden rådde vid samtliga observationspunkter.

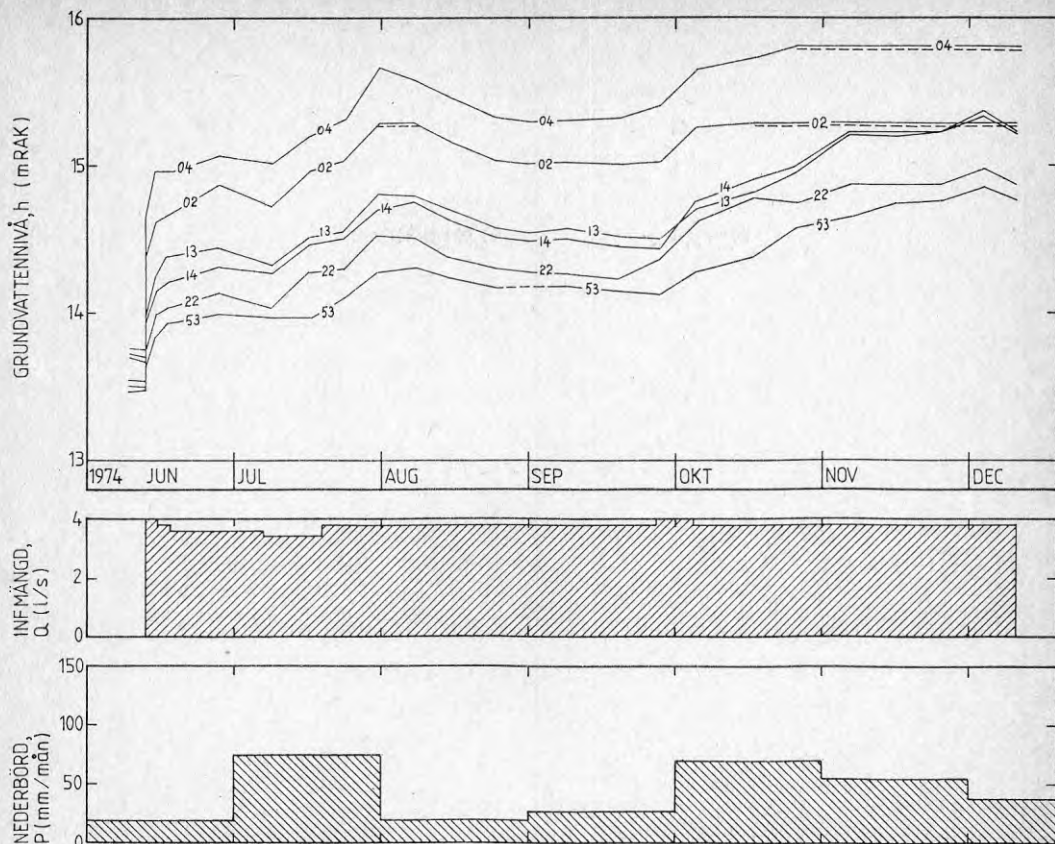
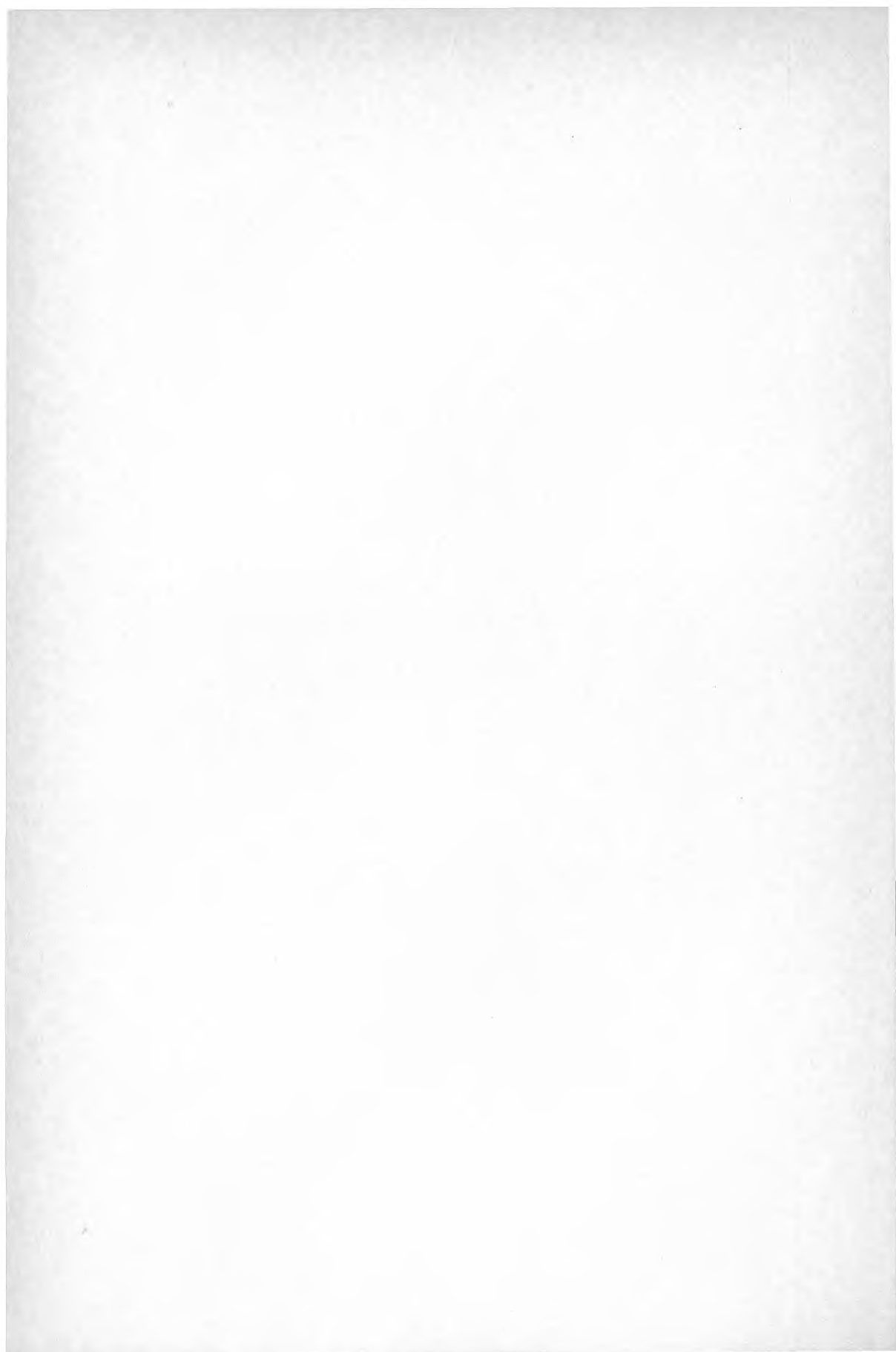


FIG 3.7 INFILTRATIONSFÖRSÖK 1974

Under försöket utfördes portryckmätningar vid tre tillfällen på en mätgrupp placerad ca 150 m nordost om korsningen mellan E4 och huvudvattenledningarna. Mätarna var placerade 22,4, 13,5 och 6,5 m under markytan i kohesjonsmaterial. Under perioden höjdes portrycket 1,75 m i den understa, 0,5 m i den mellersta och 0,05 i den översta mätaren. Infiltrationen påverkar således trycket främst i lagerföljdens under delar, medan de övre lagren styrs av förhållandena vid markytan.

Under infiltrationsperioden hölls den infiltrerade vattenmängden så konstant som möjligt. Någon igensättning av brunnen kunde ej konstateras när försöket avbröts. I samband med detta utfördes en kort pumpning och två vattenprov för analys togs ut. I det första av dessa kunde en förhöjd grumlighet noteras, som i stort sett var försvunnen i det senare provet.

Som sammanfattande omdöme om infiltrationsförsöket 1974 kan sägas att det förlöpte problemfritt och gav det önskade resultatet. Som följd av detta rekommenderades en permanent utbyggnad av anläggningen.



4 UTBYGGNAD AV INFILTRATIONSANLÄGGNINGEN

4.1 Principförslag

I utredningen 1975 gavs ett principförslag till utformning av den färdiga infiltrationsanläggningen. Förslaget innebar att vatten skulle tas från tunnelpåslag FI och ledas i ledning genom befintliga tunnlar fram till infiltrationspunkten. Vid denna skulle en brunnsöverbyggnad med erforderlig armatur anläggas. För att få valfrihet skulle en permanent anslutning till kommunens ledningsnät utföras, se Figur 4.1.

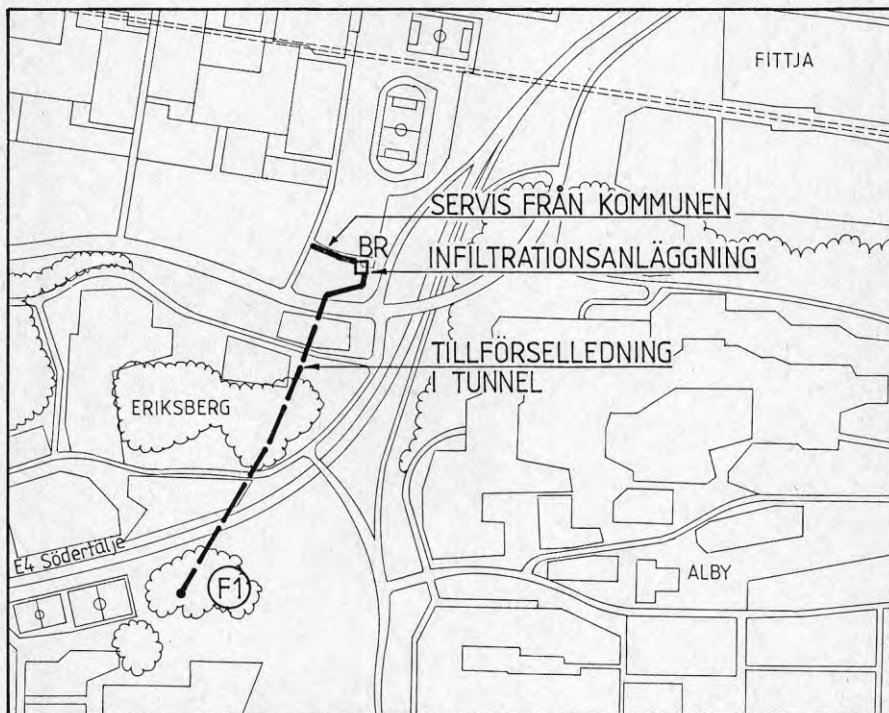


FIG 4.1 VATTENTILLFÖRSEL TILL INFILTRATIONSANLÄGGNINGEN

4.2 Kostnadsberäkning

Inför utbyggnadsbeslutet utfördes en kostnadsberäkning av en utbyggnad enligt det redovisade alternativet. Kalkylen visade en total kostnad av 100 000:- kr i 1975 års kostnadsläge fördelat på följande huvudposter:

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| Intagsanordningar vid FI | 18 000:- |
| Ledning till infiltrationsplatsen | 37 000:- |
| Överbyggnad vid infiltrationsplatsen | 10 000:- |
| Ledning från kommunens nät | 20 000:- |
| Framdragnin av elkraft | 10 000:- |
| Projektering | 15 000:- |
| Summa | 110 000:- |

Vidare gjordes en kostnadsjämförelse för en 30-års period för byggande och drift av en anläggning utförd enligt två alternativ:

- A Infiltration av vatten från tunnelpåslag FI
- B Infiltration av vatten från kommunens ledningsnät

Vid beräkningen förutsattes att kostnaden för skötsel, elektricitet och vatten i stort sett följer inflationen, varför nuvärdet beräknats som 30 gånger dagskostnaden. Med dessa förutsättningar visar kalkylen följande siffror:

Alternativ A

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Utbyggnad | 110 000:- |
| skötsel och el 30x7000 = | 210 000:- |
| Förnyelse av inf.brunn 3x10000 = | 30 000:- |
| | 350 000:- |

Alternativ B

| | |
|--------------------------------|-------------|
| Utbyggnad | 20 000:- |
| Skötsel 30x5000 = | 150 000:- |
| Vatten 30x110376x0,6 = | 1 986 768:- |
| Förnyelse av inf.brunn 3x10000 | 30 000:- |
| Summa | 2 186 768:- |

Dessa siffror, skall ställas i relation till kostnaden för de förstärkningar, som erfordrats om grundvattennivån tillåtits sjunka ytterligare. Dessa uppskattades vid undersökningstillfället grovt till 2 - 4 milj. kr.

4.3 Utbyggnad

Infiltrationsanläggningen byggdes ut under våren 1976 och startades i juli samma år. Efter en del igångkörningsproblem och modifieringar kom driften igång i augusti 1976. Installationerna vid brunnen i det nuvarande skicket redovisas i Figur 4.2.

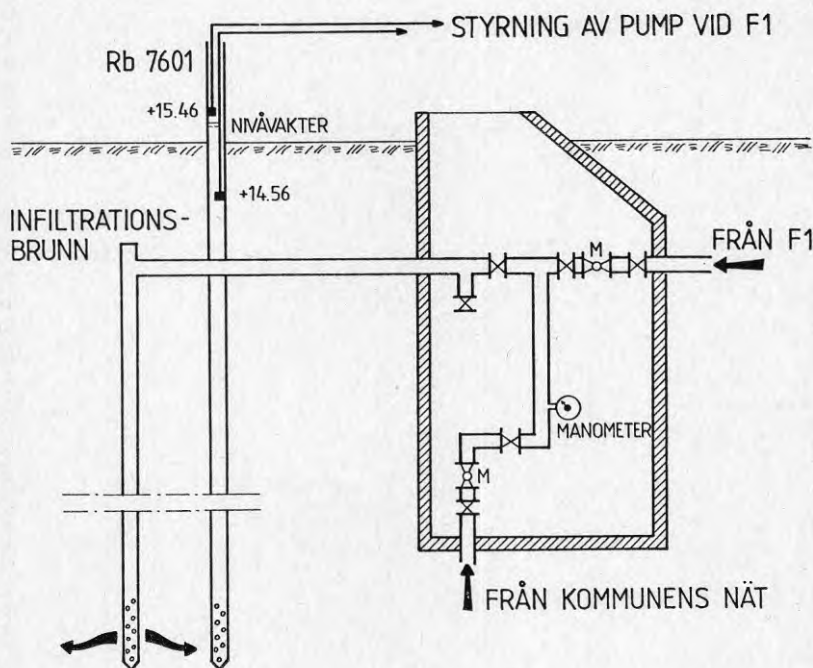
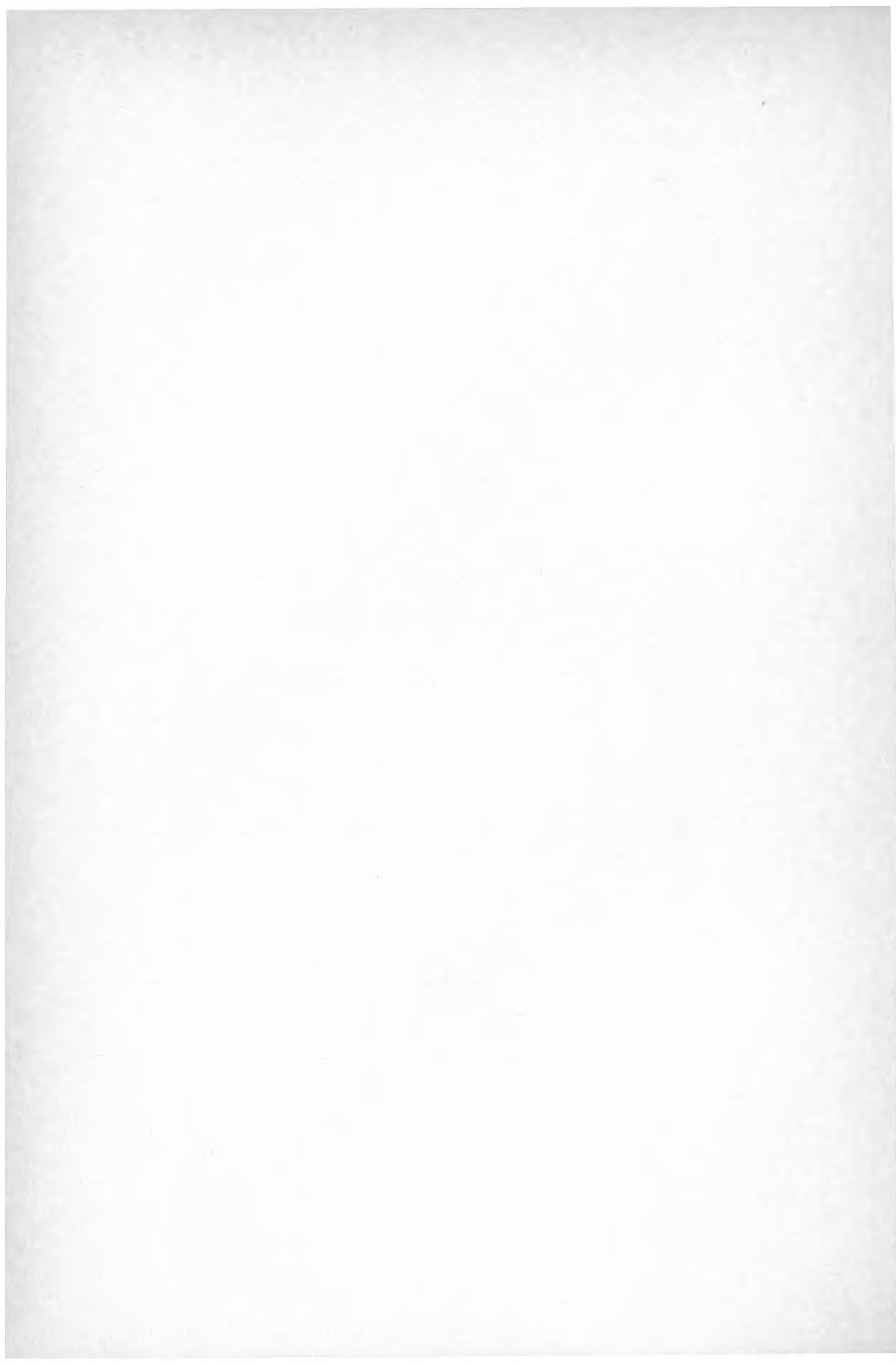


FIG 4.2 UTFORMNING AV INFILTRATIONSANLÄGGNING, PRINCIPBILD

Styrning av pumpningen från FI sker med hjälp av nivåvaktelektroder i det intilliggande obsröret Rb7601. För närvarande är elektroderna placerade på nivåerna +14,56 och +15,46. Dessa är kopplade så att infiltration av tunnelvatten sker tills nivån i Rb7607 för den övre elektroden nås.

Inkommande vatten från FI går via en vattenmätare direkt till infiltrationsbrunnen. På ledningen finns dessutom en avtappningsventil för vattenprovtagning och en manometer för att mäta trycket i brunnen. Tillförselledningen från det kommunala nätet är via en vattenmätare och avstängningsventil ansluten till infiltrationsbrunnen.



5. INFILTRERADE MÄNGDER - GRUNDVATTENNIVAER

5.1 Övervakningsprogram

Då infiltrationen startade på den färdiga anläggningen i juli 1976 föreslogs ett övervakningsprogram, som uppställdes av VIAK AB för den första driftperioden. Övervakning och mätningar skulle ske av kommunens personal och för rådgivning och om speciella problem skulle uppstå skulle VIAK finnas i beredskap.

Vid igångkörningen uppstod en del problem, som orsakades av en felkoppling i armaturen i brunnsöverbyggnaden. Sedan dessa avhjälpes startade driften på allvar i augusti. Mätprogrammet, som fastlades i september innebär också att en portryckmätargrupp 150 m nordost om korsningen mellan E4 och huvudvattenledningen skall kontrolleras.

Mätningarna har vad beträffar grundvattennivåerna fungerat mycket bra. För denna typ av mätningar fanns redan tidigare välutbildade rutiner och mätningarna för infiltrationsanläggningen kunde lätt fogas in i dessa. Övervakningen av de infiltrerade vattenmängderna har fungerat mindre bra. Detta har delvis orsakats av tekniska fel, vattenmätarna har måst bytas flera gånger, men även på att mätpersonalen sannolikt saknat rutin för mätningar av denna typ. Av dessa orsaker är uppgifterna om infiltrerade mängder osäkra och har måst skattas.

Portryckmätningarna har utförts av VIAK AB och har fungerat utan anmärkning.

Ett diagram över infiltrerade mängder grundvattennivåer och nederbörd vid Norsborg redovisas i Figur 5.1.

5.2 Infiltrerade mängder

Under perioderna med försöksfiltration i augusti - septemeber 1973 och hösten 1974 infiltrerades totalt 109 000 m³ vatten genom rörbrunnen. Under försöket 1974 var kapaciteten i medeltal 2.41/s och under det senare försöket 3.81/s. Infiltrationsvattnet togs vid dessa försök från kommunens ledningsnät.

Vid den permanenta driften från och med 1976 har mängderna varit mycket svåra att uppskatta. Framför allt beroende på att vattenmätarna inte fungerat och måst bytas ut flera gånger.

Av data framgår emellertid att infiltrationen varit störst under sommaren och höstperioderna, medan under framför allt tjällossningsperioden på vårarna endast obetydlig infiltration fordrats för att hålla nivån i grundvattenmagasinet.

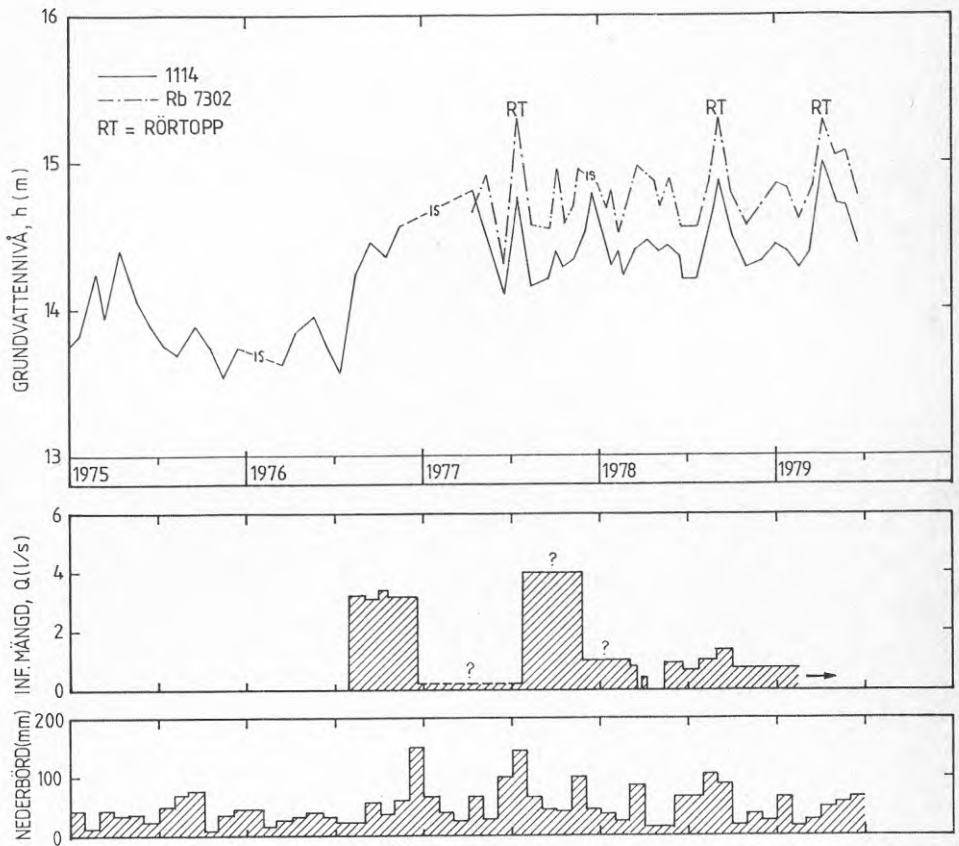


FIG 5.1 INFILTRERADE MÅNGDER, GRUNDVATTENNIVÅ OCH NEDERBÖRD

Totalt har under perioden augusti 1976 till februari 1979 ca 65 000 m³ infiltrerats, huvudsakligen vatten från tunnelpåslag F1.

5.3 Grundvattennivåer

Som en beskrivning av grundvattennivån i det påverkade området redovisas uppmätta nivåer under driftperioden i obrören 1114 och Rb7302 i Figur 5.1. 1114 ligger omedelbart intill korsningen mellan E4 och Stockholms huvudvattenledning och visar således nivån i det kritiska området. Som framgår av figuren sker i samband med infiltrationsstarten i juli 1976 en markerad höjning av grundvattennivån, som sedan består under driftperioden.

Då infiltrationsmängden styrs av grundvattennivån kan man förvänta att amplituden på nivåvariationerna minskar efter det att anläggningen tagits i drift. Det direkta intrycket av nivåkurvan styrker ett sådant antagande, men en statistisk behandling ger möjlighet att analysera detta närmare.

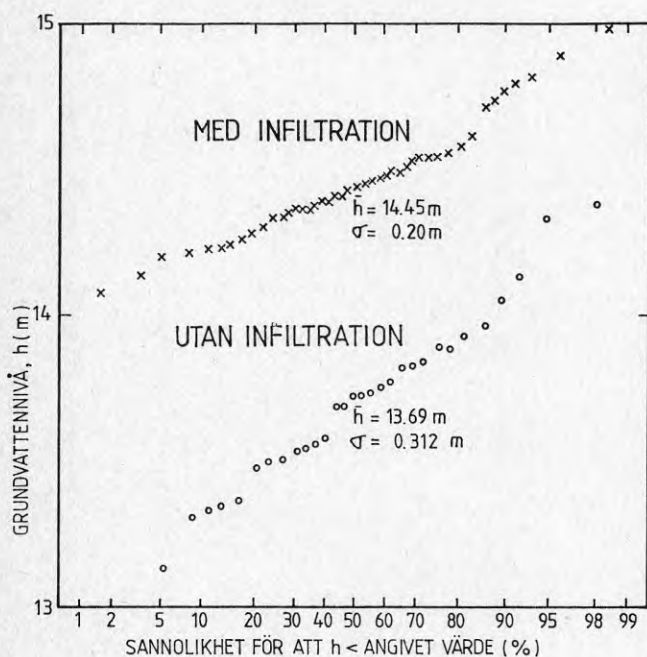


FIG 5.2 GRUNDVATTENNIVÅN I 1114 MED OCH UTAN INFILTRATION

I figur 5.2 redovisas grundvattennivåerna i rör 1114 med och utan infiltration i ett sannolikhetsdiagram för perioden 1973 - 79. Som framgår höjs medelnivån vid infiltration från +13.69 till 14.45 m eller 0,76 m. Som ett mått på amplituden kan standardavvikelsen för fördelningarna användas. Den har minskat från 0,31 m till 0,20 m eller med en 35%.

Infiltrationen har således medfört både en höjning och en stabilisering av grundvattennivån.

5.4. Portryck

Sedan 1973 har en portryckmätargrupp varit placerad vid en gångbro ca 150 m nordost om obrör 1114, se Figur 5.3. Mätargruppen består av tre portryckmätare placerade 6.5, 13 och 22.4 m under markytan. Innan mätarna placerades utfördes en viktsondering, som visar att jorddjupet är mer än 26 m, huvudsakligen lera.

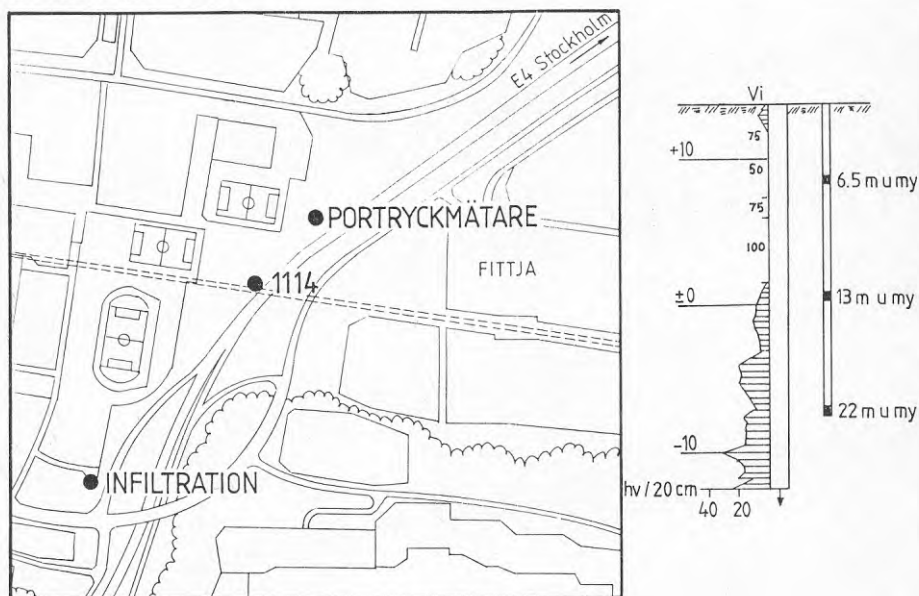


FIG 5.3 PORTRYCKMÄTARNAS PLACERING

Portryckmätningarna visar således att portrycken i större delen av lagerföljden följer förändringarna i grundvattennivån. Det är således möjligt att genom infiltrationen kontrollera lerans portryck och att förhindra en menlig portryckssänkning.

5.5 Sättningar

För att kartlägga marksättningarna finns längs huvudvattenledningen en kedja markpegel, som regelbundet avvägts. Några av dessa har blivit förstörda under exploateringen, men omedelbart intill korsningen med E4 finns en punkt, 150, som avvägts under hela undersökningsperioden. I Figur 5.5 redovisas sättningarna vid punkt 150 åren 1971-1978.

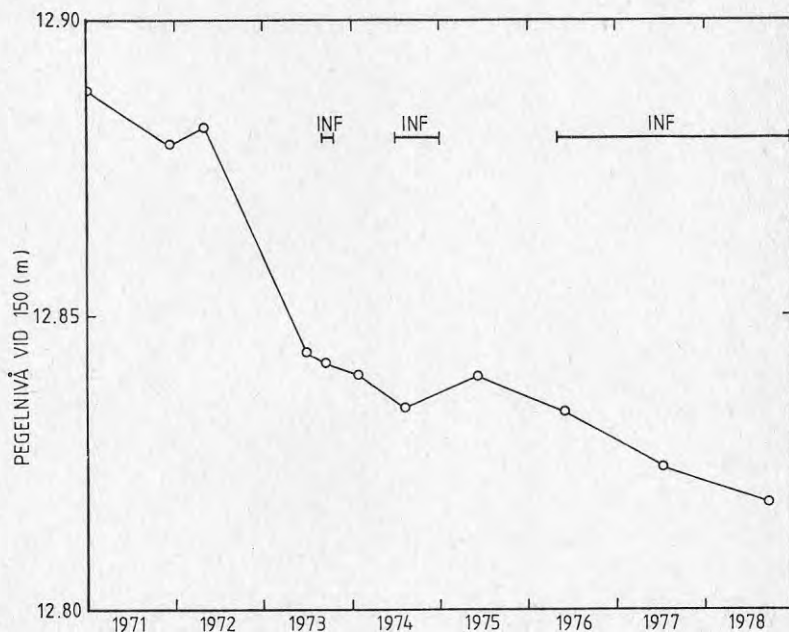
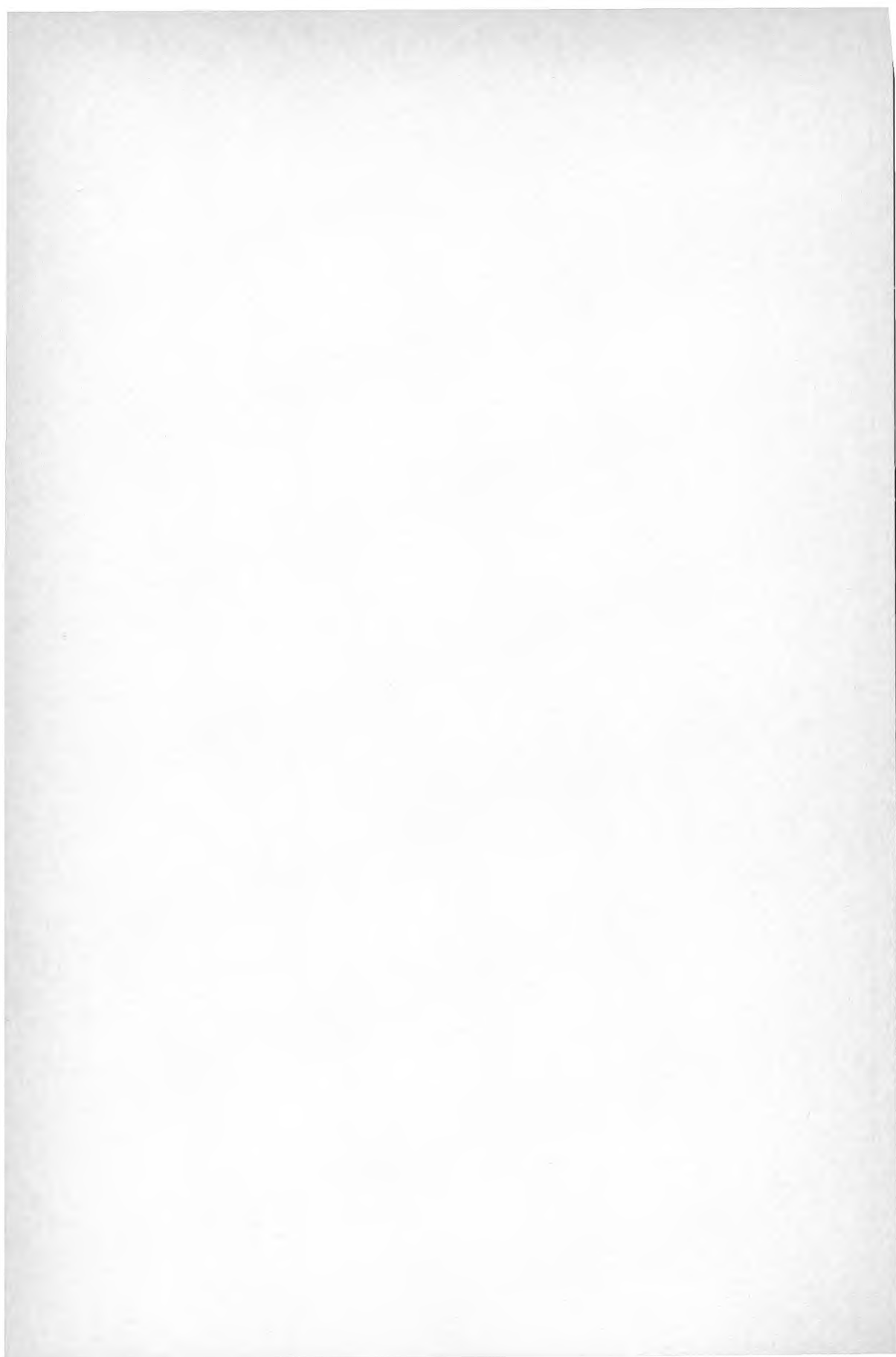


FIG 5.5 SÄTTNINGAR

Som framgår av figuren har sättningarna fortlöpt under hela perioden. Hastigheten var störst under 1972, då mycket låga grundvattennivåer rådde. Under försöksinfiltrationerna 1973 och 1974 hejdades sättningarna delvis. Under den fortsatta driften från och med 1976 har sättningarna fortsatt i en takt av ca 1 cm/år.

Som framgår av Figur 5.4 har emellertid inte portrycken sjunkit sedan infiltrationen igångsatts, varför man kan anta att sättningarna orsakats av andra åtgärder i samband med exploateringen än de som orsakat grundvattensänkringen. Mot dessa kan inte infiltrationen råda bot. De av grundvattensänkringar orsakade sättningarna har dock förhindrats.



6. FUNKTIONSKONTROLLER - IGENSÄTTNINGAR

6.1 Uppföljningsprogram

För att kontrollera anläggningens funktion har årliga driftkontroller utförts. Dessa har omfattat en kontroll av brunnsens egenskaper genom vattenflödesmätningar, samt provtagning av infiltrationsvatten och av vattnet i grundvattenmagasinet.

I februari 1979 utfördes en rensning av brunnen genom tillsats av sulfaminsyra.

6.2 Kapacitetsbestämningar

Kapacitetsbestämningarna utfördes så att infiltrationen avstängdes och provtagningsventilen i brunnskammaren öppnades, se Figur 4.2. Vatten från infiltrationsbrunnen kunde således avrinna fritt på grund av att grundvattennivån i magasinet är högre än ventilnivån. Vid avtappningen mättes vattenmängden och avsänkningen i nivåvaktröret. Rb7601.

Förfarandet medför att testerna är enkla att genomföra i fält, men medför att utvärderingen kompliceras, då systemet påverkas dels av tidigare tillförd infiltrationsvattenmängd, dels av avflödet från infiltrationsbrunnen.

6.3 Hydrauliska parametrar

Vid infiltration styrs grundvattennivån kring brunnen främst av grundvattenmagasinets transmissivitet, T , och infiltrerad mängd, Q . Vidare har infiltrationstiden och grundvattenmagasinets randvillkor betydelse.

Höjningen från infiltrationsstart kan därför skrivas som:

$$s = \frac{Q}{2 \pi T} \cdot \sigma \quad (6.1)$$

I denna formel sammanfattas tids- och randvillkorsberoendet i parametern σ , som vanligtvis benämnes dimensionslös avsänkning, på grund av att man oftast sysslar med uttagsbrunnar.

I infiltrationsbrunnen påverkar även brunnskonstruktionen och eventuella igensättningar nivån. Graden av igensättning kvantifieras oftast med skinfaktorn, ξ . Om denna införes kan höjningen i brunnen beräknas som (se Figur 6.1).

$$s_w = \frac{Q}{2 \pi T} (\sigma + \xi) \quad (6.2)$$

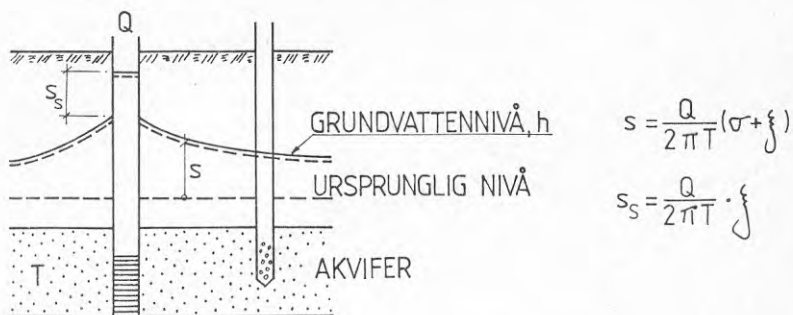


FIG 6.1 GRUNDVATTENNIVÅER VID INFILTRATION

För en perfekt fullständig brunn är skinfaktorn noll, $\xi = 0$.

Brunnens effektivitet kan enklast mätas genom en jämförelse med avsänkningen i en perfekt brunn, swp. Med hjälp av skinfaktor och dimensionslös avsänkning kan brunnens effektivitetstal definieras som:

$$\eta = \frac{s_{wp}}{s_w} = \frac{\sigma}{\sigma + \xi} \quad (6.3)$$

För korta infiltrations och uttagstider då randvillkoren inte påverkar förloppet kan den dimensionslösa avsänkningen för obsrör nära brunnen skrivas som:

$$\sigma = 0.5 (0.8091 + \ln \theta) \quad (6.4a)$$

$$\theta = \frac{Tt}{r^2 s} \quad (6.4b)$$

I dessa formeler benämnes, θ , dimensionslös tid. Denna styrs förutom av transmissiviteten, T, och verklig tid, t, även av magasincoeffcienten, S, och avståndet från brunnen till observationspunkten, r.

Höjningen vid infiltration beskriver sålunda en rät linje i ett halv-logaritmskt diagram och transmissiviteten kan enkelt utvärderas från dess lutning i diagrammet.

Om som i detta fall kapacitetstesten utförs så att infiltrationen först stängs av och brunnen sedan får flöda är förhållandena mer komplicerade, då flera kapaciteter, Q , påverkar nivån. Man kan emellertid visa (Earlougher 1977) att för varje tillfälle, j , och varje kapacitet, Q_N , gäller

$$\frac{s}{Q_N} = \frac{1}{2\pi T} \sum_{j=1}^N \frac{(Q_j - Q_{j-1})}{Q_N} \cdot 0.5(0.8091 + \ln \frac{T(t_N - t_{j-1})}{r^2 S}) \quad (6.5)$$

En plottning av $\frac{s}{Q_N}$ mot $\sum_{j=1}^N \frac{(Q_j - Q_{j-1})}{Q_N} \log(t_N - t_{j-1})$ i ett halvlogaritmiskt diagram medger således en transmissivitetsbestämning vid korta försökstider.

6.4 Igensättningar i grundvattenmagasinet

Obsrör Rb7601 är placerat 2.4 m från infiltrationsbrunnen. En analys av avsänkningarna i detta rör ger således möjlighet att bestämma igensättningar i grundvattenmagasinet i brunns närhet. I Figur 6.2 redovisas i diagramform specifika avsänkningar i Rb7601 vid funktionskontroller 771118 och 780806 samt 790220 före rensning och 790222 efter rensning.

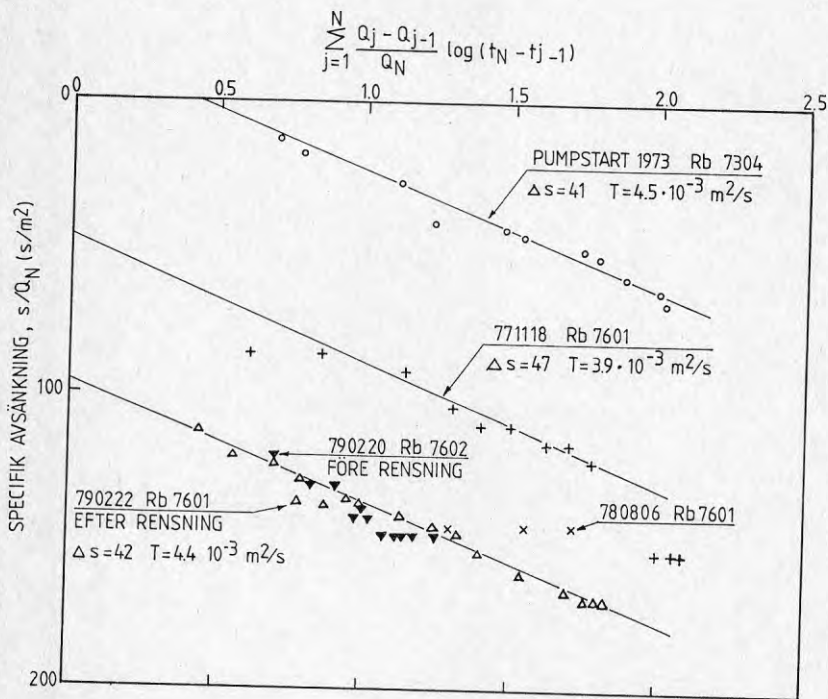


FIG 6.2 AVSÄNKNINGEN I Rb 7601 VID FUNKTIONSKONTROLLER

I Figur 5.4 visas portryckvariationerna i de tre mätarna under perioden 1975 - 78 tillsammans med grundvattennivån i rör 1114.

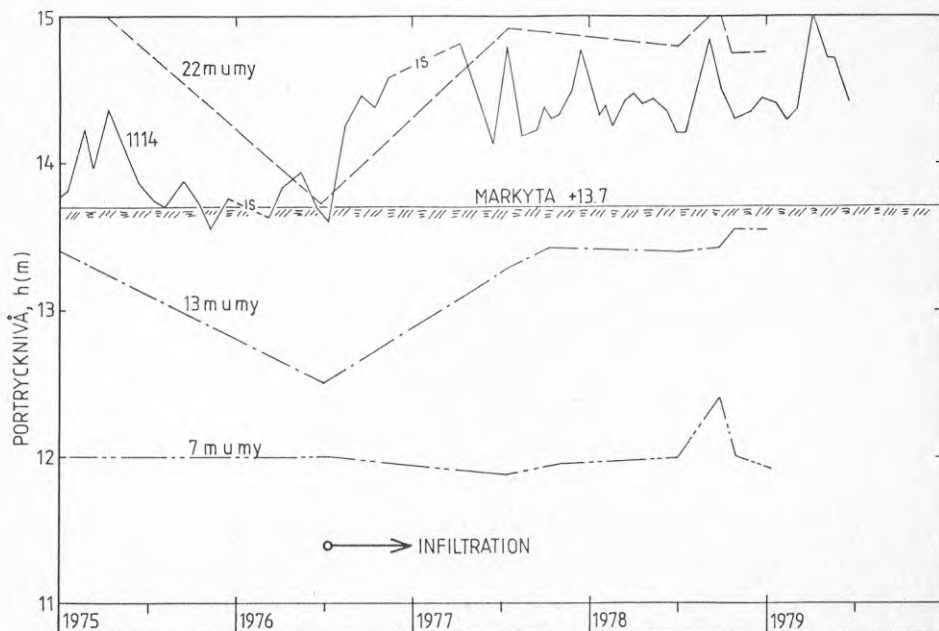


FIG 5.4 PORTRYCK

Som figuren visar råder de högsta portrycken i den undre delen av profilen. De uppmätta trycken i mätaren 22 m under markytan följer mycket nära grundvattennivån i obsrör 1114. Genom att portryckmätningarna utförts mera sällan har portryckkurvan inte obsrörens detaljskärpa. Vidare framgår av figuren att portrycket är lägre ju högre upp i lagerföljden man kommer. Detta indikerar ett uppåtriktat läckage av porvatten genom leran.

Av figuren framgår vidare att de två undre mätarna reagerar tydligt på infiltrationen. Det höga startläget vid årsskiftet 1974 - 75 är orsakat av den infiltration, som utfördes hösten 1974. Höjningen motsvarar vidare i stort sett den höjning av grundvattennivån, som infiltrationen medfört.

Den översta portryckmätaren har inte reagerat på motsvarande sätt. Orsaken är sannolikt dels att förhållandena vid markytan påverkar trycket, dels att man får en tidsfördröjning av tryckhöjningen genom lagerföljden.

Som framgår av figuren har avsänkingslinjerna i stort sett identiskt lutning. Denna motsvarar en transmissivitet α ca $T = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{2/3}$ i grundvattenmagasinet utanför Rb7601.

Man finner emellertid att den specifika avsänkningen ökar med tiden. Detta indikerar att en igensättning sker. Man finner också att den rensning som utfördes i februari 1979 inte påverkat akviferen på detta avstånd, 2,4 m, brunnen.

Igensättningen i akviferen kan kvantifieras med skinfaktorn, även om detta är en något oegentlig beteckning då man inte studerar själva brunnen. I detta fall får skinfaktorn beteckna inverkan av igensättningar i akviferen utanför Rb7601. För de olika funktionskontrollerna har följande resultat erhållits, se även Figur 6.3:

| Datum | Infiltrerad mängd (m^3) | Skinfaktor ξ |
|----------|---------------------------------------|---------------------|
| 77 11 18 | 147 000 | -2.4 |
| 78 06 08 | 157 500 | -1.8 |
| 79 02 20 | 174 300 | -1.2 |

Den negativa skinfaktorn förklaras av att brunnen står i ett område med väsentligt bättre hydrauliska egenskaper än akviferen i övrigt. Detta medför en lägre verklig avsänkning än den teoretiskt beräknade.

Vad som emellertid framgår är att man fått en måttlig igensättning av akviferen utanför Rb7601. Detta innebär att man så småningom får räkna med en ersättning av infiltrationsbrunnen, som också förutsetts i den ekonomiska bedömningen av projektet, se kapitel 4.2.

6.5 Igensättningar i infiltrationsbrunnen

Avsänkningen i infiltrationsbrunnen har inte varit möjlig att direkt mäta vid funktionskontrollerna. En bestämning av skinfaktorn har därför skett med utgångspunkt från uppmätt infiltrationstryck före stopp och den vattenmängd, som avrunnit vid flödestesten. Förfarandet ger en lägre noggrannhet än en direkt mätning, men då resultaten är entydiga kan detta accepteras. Vid de olika funktionskontrollerna har följande resultat erhållits:

| Datum | Infiltrerad mängd (m ³) | Skinfaktor ξ | effektivitetstal ζ |
|----------|--|---------------------|-----------------------------|
| 77 11 18 | 147 000 | 9.3 | 0.53 |
| 78 06 08 | 157 500 | 19.2 | 0.35 |
| 79 02 20 | 174 300 | 33.3 | 0.23 |
| 79 02 22 | efter rensning | 12.8 | 0.44 |

I figur 6.3 redovisas skinfaktorns ökning under infiltrationsförloppet. Som framgår av kurvan är igensättningarna mycket små fram till dess att mer än 100 000 m³ infiltrerats. Under denna period har huvudsakligen renvatten från kommunens ledningsnät infiltrerats vilket följaktligen inte ger några igensättningar. Tunnelvattnet ger med tiden ökande igensättningar, som till stor del kan avhjälpas med rensning. Igensättningen har emellertid inte medfört någon svårighet att infiltrera önskade vattenmängder.

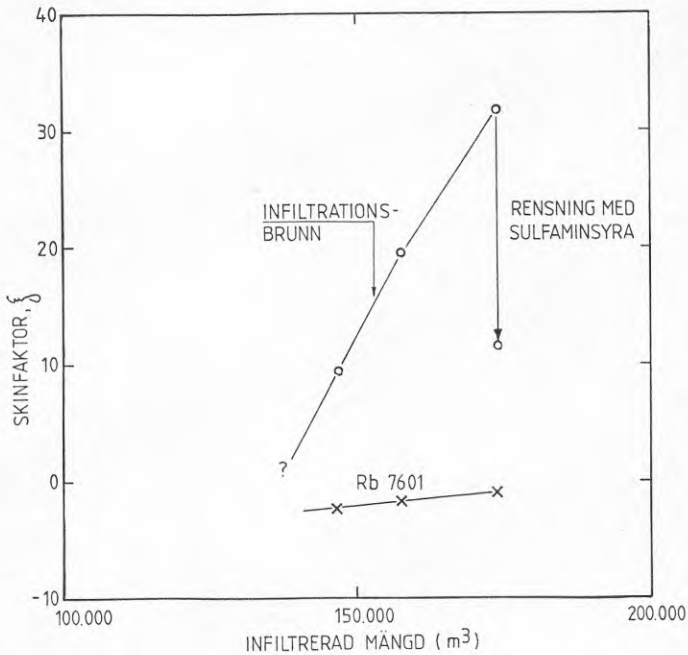


FIG 6.3 IGENSÄTTNINGSFÖRLOPP

6.6 Vattenkvalitet

Under de inledande försöken 1973 och vid försöksdriften 1974 användes vatten från kommunens ledningsnät. Detta vatten är behandlat med fällning med aluminiumsulfat, snabbfiltrering och långsamfiltrering. Slutresultatet är ett vatten av mycket hög kvalitet, vilket har resulterat i att igensättningarna under infiltration varit mycket små.

Vid den permanenta driften av anläggningen har grundvatten från tunnelpåslag FI uttryckts. Detta vatten har typisk grundvattenkaraktär med hög hårdhet och relativt höga järn- och manganhalter.

I samband med kapacitetstesterna har prov på infiltrationsvattnet tagits.

De viktigaste konstituenterna redovisas i tabell nedan:

| Provtagn | Gruml Zp | pH | Fe mg/l | Mn mg/l | Ca mg/l | Mg mg/l | HCO ₃ mg/l | SO ₄ mg/l | Cl mg/l |
|----------|-------------|-----|------------|------------|------------|------------|--------------------------|-------------------------|------------|
| Kommun | 7.5 | 8.5 | <0.05 | <0.05 | 26 | 6 | 47 | 51 | 13 |
| 77 11 18 | 30/8 | 6.8 | 1.0 | 0.52 | 110 | 19 | 270 | 120 | 44 |
| 78 06 08 | 49/11 | 6.8 | 0.45 | 0.58 | 110 | 17 | 270 | 92 | 45 |
| 79 02 22 | 490/11 | 6.9 | 1.2 | 0.45 | 110 | 18 | 280 | 120 | 47 |

Grumlighetsbestämning har utförts utan/och med tillsättning av syra för att lösliga beståndsdelar, t ex järnhydroxid, skall kunna registreras.

Vid funktionskontrollerna har vidare vattenprov tagits på det avrunna vattnet efter 10 min, 30 min och 1 tim för att ge möjlighet att kontrollera om någon kvalitetsförändring, som kan förklara igensättningar och andra fenomen, sker i grundvattenmagasinet. Provtagningarna har visat att det vatten man erhåller har samma sammansättning som infiltrationsvattnet med undantag för järn och mangan. Dessa halter har regelbundet sjunkit vid avflödet och tyder på att vattnet i akviferen har lägre järn- och manganhalter än infiltrationsvattnet, se Figur 6.4.

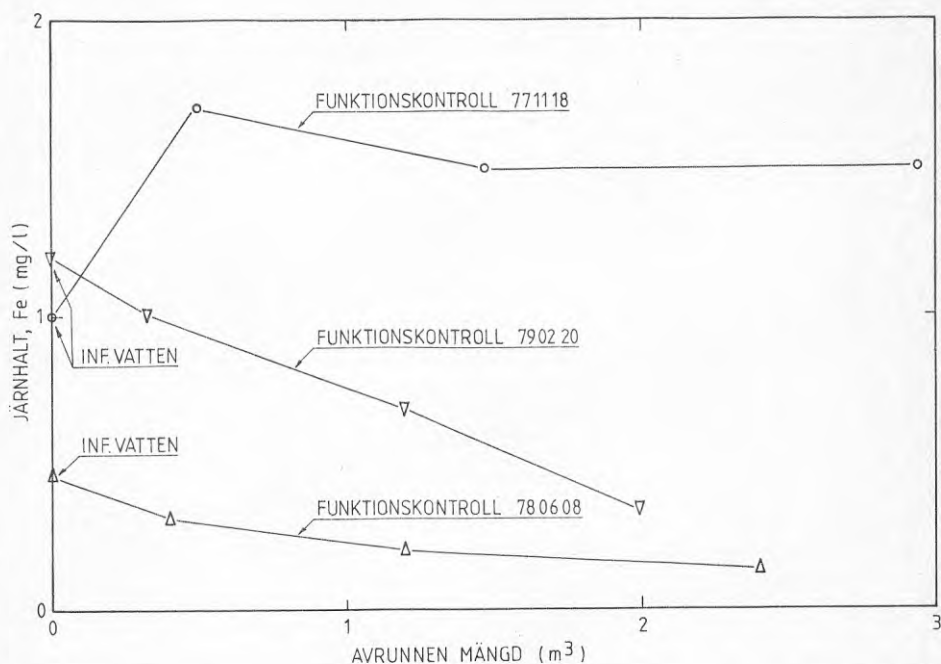


FIG 6.4 JÄRNHALTENS FÖRÄNDRING VID FUNKTIONSKONTROLLER

Detta tyder på att järn och mangan lagras upp i akviferen och sannolikt är orsaken till igensättningarna. I vilken form järnet upplagras är inte känt. Någon ökad grumlighet jämför med infiltrationsvattnet har inte konstaterats, varför det är tveksamt om järnet lagras som hydroxidflockar.

6.7 Rensning med sulfaminsyra

Med hänsyn till att igensättningarna sannolikt består av utfällt järn och mangan bör en rensning kunna ske med syrabehandling av brunnen. Behandlingen kan ske med flera i handeln förekommande syror, som saltsyra eller ättiksyra. För rensning av brunnar finns emellertid ett sulfaminsyrapreparat med inhibitortillsats för att motverka korrosion. Preparatet saluförs i granulatform och är lättare att hantera och dosera än starkare syror varför det utnyttjades för rensningen av infiltrationsbrunnen.

Tillsats av 7 kg sulfataminsyra utblandat i 120 l vatten utfördes den 20 februari 1979. Därefter fick brunnen vila under ett dygn varefter vatten avtappades till dess pH stigit från 0 - 6, vilket motsvarade en vattenmängd av ca 1 m³. Efter avtappningen utfördes en funktionskontroll, som visade att brunnens effektivitetstal stigit från $\eta = 0.23$ till $\eta = 0.44$. Rensningen hade således mycket god effekt på brunnen, men som tidigare nämnts kunde inte akviferen påverkas på längre avstånd från denna, se Figur 6.3. För att åstadkomma detta fordras sannolikt en avsevärt större syratillsats.

6.8 Behandling av infiltrationsvattnet

Kapacitetstesterna på infiltrationsbrunnen, kontrollen av vattenkvaliteten och syrarensningen av brunnen har visat att igensättningarna i akviferen främst uppstår av utfällt och/eller utfallande järn och mangan i det utnyttjade vattnet från tunnelpåslag FI. En väsentlig minskning av igensättningshastigheten skulle därför kunna uppnås, om vattnet filtrerades före infiltration. När utläckande vatten uppsamlas i tunnelpåslaget sker en syreupptagning genom atmosfärskontakt och järn- och manganflockar börjar utbildas. Denna process fortgår under vattnets uppehållstid i ledningen fram till infiltrationsbrunnen och huvuddelen järn och mangan finns sannolikt i utfälld form, när vattnet når denna. Detta bestyrks av grumlighetsbestämningar utan och med syratillsats.

För att senarelägga utbyggnad av en ny infiltrationsbrunn och minimera igensättningarna i akviferen synes det vara lämpligt att installera ett filter i brunnsöverbyggnaden och låta vattnet passera detta före infiltration. Sannolikt kan ett enkelt patronfilter användas.



7. OMRÅDETS HYDROGEOLOGI

7.1 Provpumpningsresultat

Den 1973 utförda provpumpningen visade att grundvattenmagasinet hade en transmissivitet $T = 3.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ och en magasin-koefficient $S = 0.9 - 3.2 \times 10^{-4}$. Pumpningen visade vidare att magasinet var begränsat.

Genom de utförda borrhningarna, se Figur 2.3, framgår att området är heterogent uppbyggt och att de hydrauliska egenskaperna varierar väsentligt mellan dess olika delar. Vidare framgår av utförda grundvattenobservationer att berggrunden utgör en väsentlig del av grundvattenmagasinet.

På grundval av provpumpningen uppställdes en enkel analytisk modell av grundvattenmagasinet, som användes för att prognosticera inverkan av infiltrationsanläggningen. Modellen gav acceptabel noggrannhet för några enkla prognosfall, men för att föra analysen vidare måste en förfinad modellteknik användas. För detta ändamål har modellberäkningar utförts med finita-element-metoden. Inledningsvis utfördes dessa med ett temperaturberäkningsprogram, men fortsattes med ett grundvattenberäkningsprogram, som framtagits vid Chalmers Tekniska Högskola (GEOFEM-G, Runesson et. al. 1978).

7.2 FEM-analys

Finita elementmetoden bygger på en lösning av differentialekvationen för grundvattenflöde inom begränsade delar av grundvattenmagasinet, finita element. I GEOFEM-G användes den tvådimensionella formen:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} + T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W \quad (7,1)$$

För varje element måste således indata ges för transmissivitet, T_x och T_y , magasin-koefficient, S , och grundvattenbildning, W . Dessa måste vara konstanta inom elementen, men kan variera fritt mellan dessa. Dessutom måste uttag och infiltrationsmönster samt randvillkor anges.

Elementnätet är i GEOFEM-G uppdelat i ett i princip rektangulärt mönster. Fyrhörningarna behöver inte ha raka sidor utan kan ges relativt fri form, se figur 7.1.

Analysen kan utföras både för stationära förhållanden och transienta förlopp. Resultatet ges i form av grundvattennivåer för hörnnoderna.

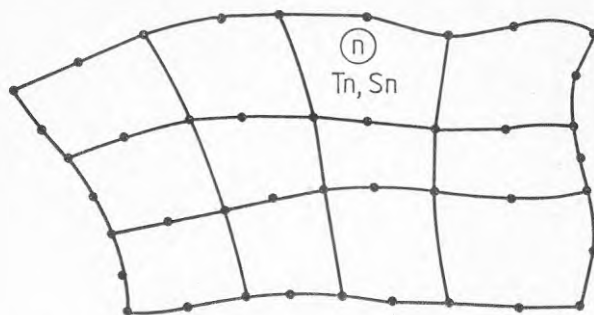


FIG 7.1 EXEMPEL PÅ ELEMENTNÄT

7.3 Modelloptimering

En optimering av en FEM-modell måste ske i flera steg. Utgångsdata är därvid den bild av geologin som erhållits från borrhningar och geologisk kartering av området. Som ett första steg upprättas ett elementnät som är så beskaffat att indelningen är tät i de områden där stora nivåförändringar förväntas, d.v.s. intill brunnen, eller där geologin förändras snabbt inom en begränsad sträcka. Om möjligt anslutes elementgränserna till en förenklad karta över de geologiska förhållandena.

Optimeringen bör sedan utföras mot pumpningsdata och bör omfatta successivt längre tidsförlopp. Orsaken till detta är att en pumpning genom avsänkings-trattens utbredning ger information från allt större akvifervolymer. Man kan således bestämma egenskaperna från brunnen och utåt. Som en avslutning kan sedan randvillkoren bestämmas med stationära modeller mot en längre tids infiltration eller uttag. Modelloptimeringen är således en omfattande process, som kan kräva ett stort antal delmodeller för att ett gott resultat skall erhållas.

7.4 Elementnät

Elementnätet för den slutliga modellen över Botkyrkaområdet visas i Figur 7.2.

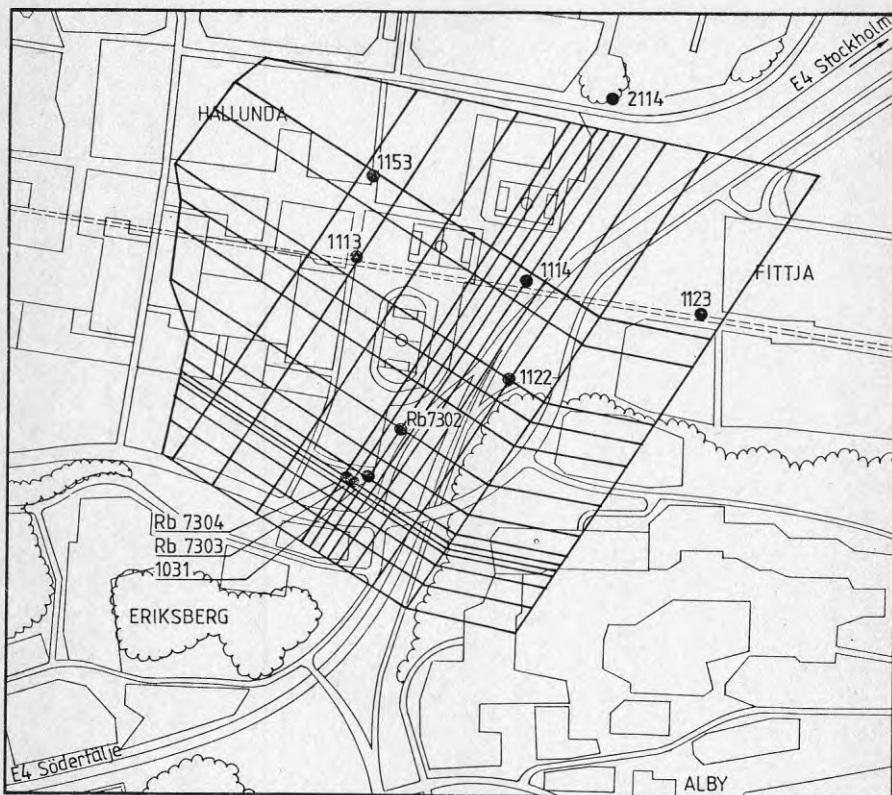


FIG 7.2 ELEMENTNÄT VID MODELLMÄTNINGAR

Det område nätet täcker omfattar i princip det som påverkats av infiltration och uttag vid försöken 1973 och 1974. Modellen har avslutats vid dalsidorna och åt väster och öster vid de trösklar, som konstaterats vid borringarna. Som framgår av figuren har nätet förtätats kring infiltrationsbrunnen, Rb 7303.

7.5 Egenskapsområden

För att slippa tilldela varje element speciella egenskaper, något som det dessutom inte finns data för, brukar man sammanföra element med samma egenskaper till egenskapsområden. En sådan indelning för den slutliga modellen redovisas i Figur 7.3.

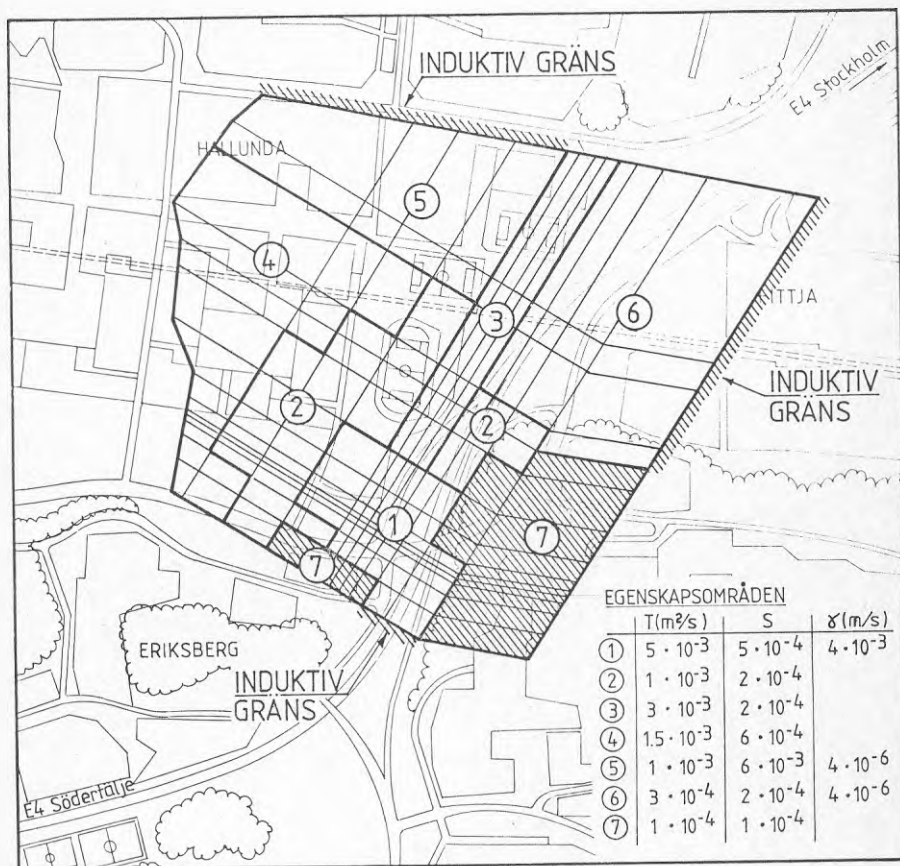


FIG 7.3 EGENSKAPSORMÅDEN FÖR DEN SLUTLIGA MODELLEN

Indelningen betingas av de geologiska förhållandena. Närmast brunnen, där de genomsläppliga jordarterna har störst mäktighet, är transmissiviteten $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, för att sedan avta utåt. Den höga transmissiviteten i egenskapsområde 3 betingas sannolikt av en sprickzon i berget med ungefär samma sträckning som området. Berget har för övrigt låg genomsläpplighet, som framgår av egenskapsområde 7.

Magasinskoefficienten är högst i egenskapsområdena 4 och 5 där en relativt stor del består av friktionsmaterial i dagen, se Figur 2.4.

Området avgränsas av induktiva gränser, dels i passet mellan Albyberget och Eriksberg, dels i nordväst och öster. Genom dessa kan utläckage ske.

7.6 Modellens tillförlitlighet

Modellen har optimerats mot uppmätta avsänkings- och höjningsförlopp vid uttag och infiltration. Som ett exempel ges höjningskurvan för obrörd Rb 7302, Figur 7.4. Då provpumpningen utfördes med i stort sett samma kapacitet som infiltrationen har även avsänkingskurvan för samma rör inlagts. Som framgår ansluter sig de olika kurvorna mycket väl till varandra.

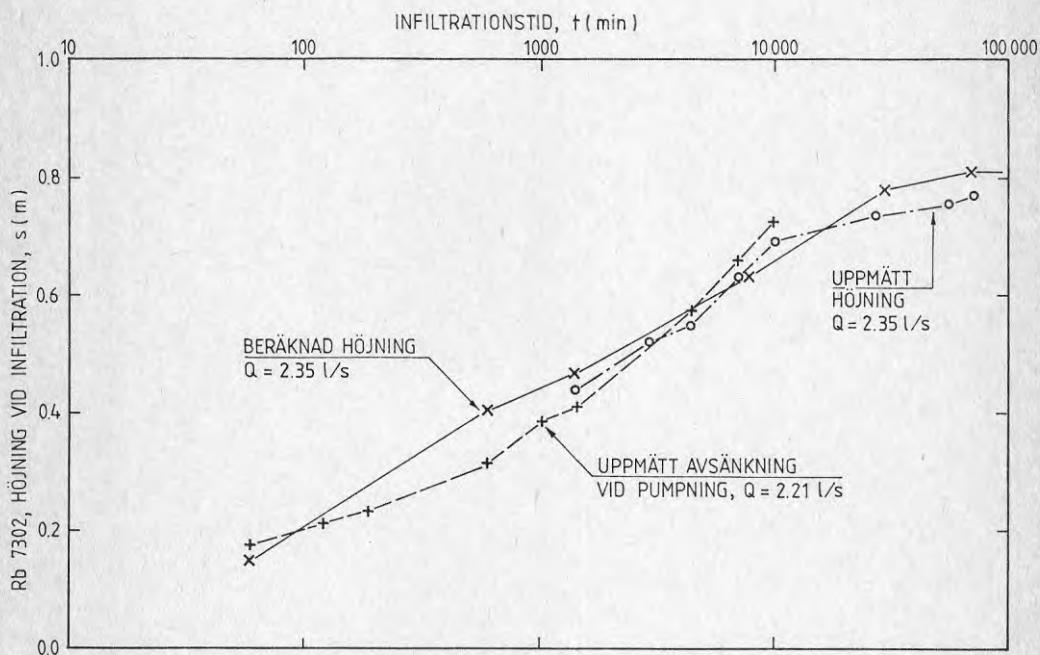


FIG 7.4 HÖJNINGSFÖRLOPP VID INFILTRATIONSFÖRSÖK

För att göra en jämförelse möjlig inom hela det påverkade området har beräknad och uppmätt höjning redovisats som funktion av avståndet till brunnen i figur 7.5.

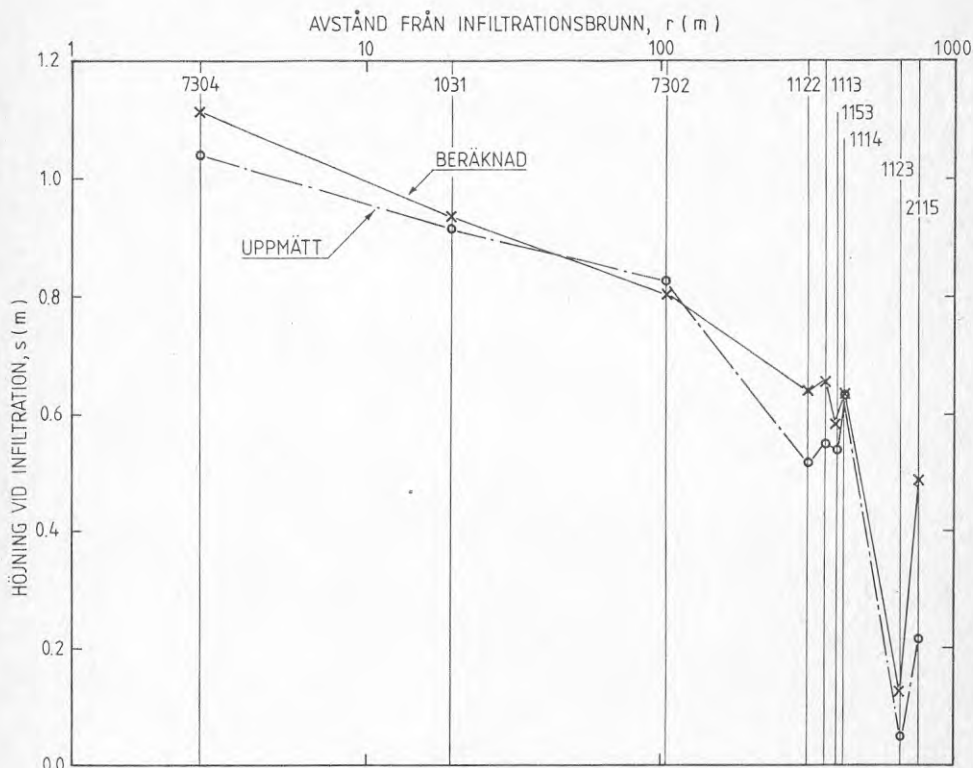


FIG 7.5 JÄMFÖRELSE MELLAN BERÄKNADE OCH UPPMÄTTA HÖJNINGAR VID INFILTRATIONSFÖRSÖK

Även i detta fall är som synes överensstämmelsen mycket god inom hela modellområdet. Ett undantag utgör möjligen 2121, som är borrade i berget omedelbart intill modellgränsen.

Plottingar av denna typ för både tidsförlopp och stationära förhållanden har använts vid optimeringsprocessen. För att öka överskådligheten kan samma data presenteras i kartform. Figur 7.6 visar beräknade och uppmätta höjningar vid infiltrationsförsöket 1973. Som framgår finns uppmätta data inom de centrala delarna av området och höjningskurvorna har här konstruerats genom rätlinjig interpolation. Inom detta område är överensstämmelsen god. Utanför detta område är nivån inte känd, men man kan från optimeringen mot tidsförloppen förmoda en rimlig noggrannhet.

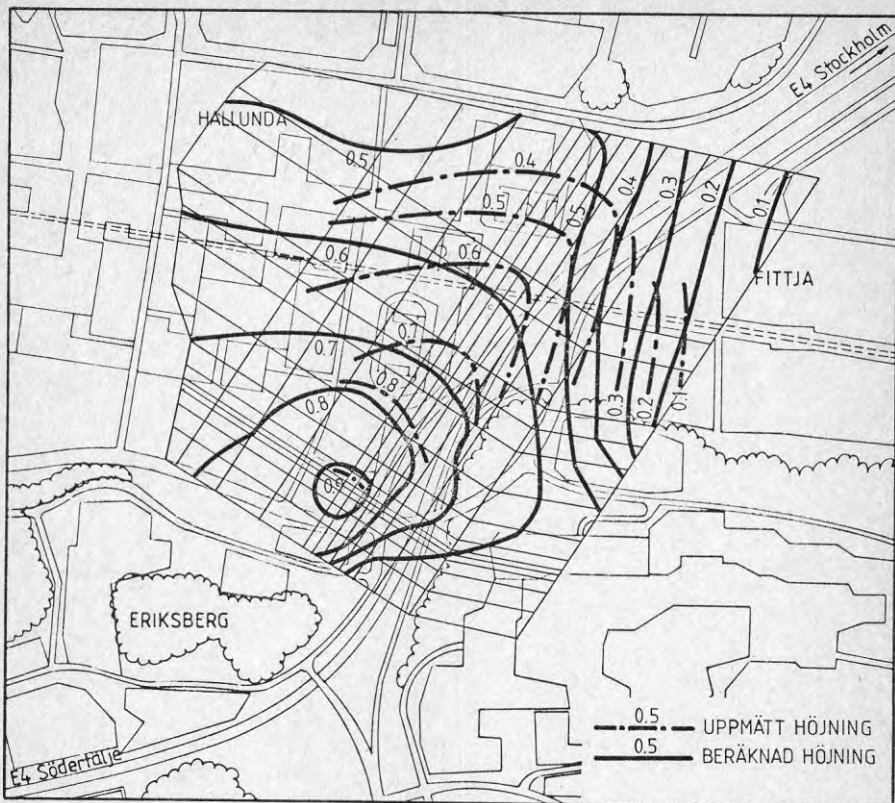


FIG 7.6 BERÄKNADE OCH UPPMÄTTA HÖJNINGAR VID INFILTRATIONSFÖRSÖK

Genom det valda optimeringsförfarandet har således en noggrann modell erhållits, som väl beskriver områdets hydrogeologiska egenskaper. Processen är emellertid både tidsödande och kostnadskrävande. För att förenkla processen krävs främst transmissivitetsdata från fler punkter i grundvattenmagasinet. Man kan därför rekommendera att korta pumpningar utföres på så många punkter som möjligt för att ge ett förenklat modellarbete.

7.7 Naturlig grundvattenbildning

Den naturliga grundvattenbildningen till området kan främst äga rum vid dalsidorna i norr och söder, samt vid de uppstickande moränpartierna i västra delen av området, se Figur 2.4.

Genom att avstämma modellen mot kända nivåer kan grundvattenbildningen beräknas vid olika tillfällen. Med hänsyn till modellens utsträckning gäller detta främst områdena i söder och väster, då den norra dalsidan endast tangeras av modellen. Grundvattenbildningen simuleras i modellen genom att ett konstant vattentillskott lägges på randelementen i väster och söder, som ett exempel visas uppmätta grundvattennivåer i en nord-sydlig profil genom infiltrationsbrunnen, vid två tillfällen jämfört med en modellberäkning där 3.8 l/s förts på längs den södra randen och 0,4 l/s längs den västra. Se Figur 7.7.

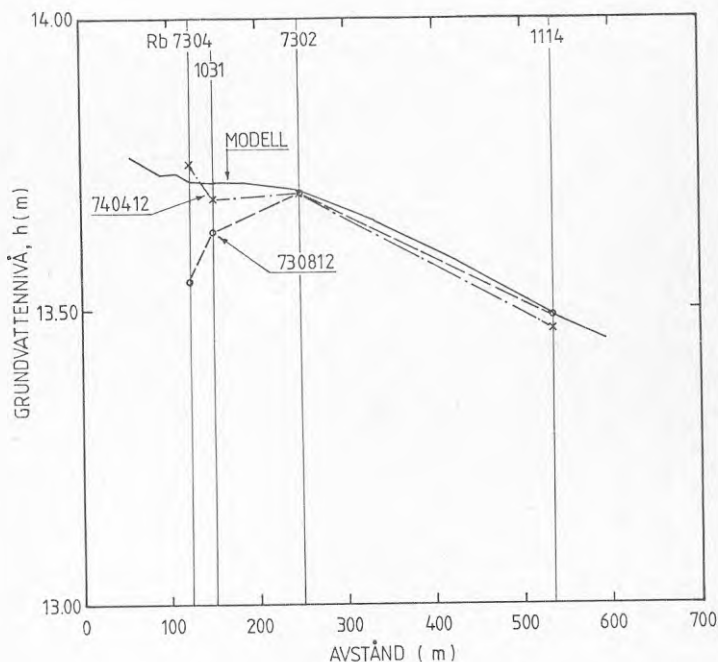


FIG 7.7 NIVÅPROFIL TVÄRS DALGÅNGEN

Genom en analys av de uppmätta grundvattennivåerna kan således grundvattenbildningen under naturliga förhållanden bestämmas. Detta har utförts genom bestämningar mot stationära modeller, då modellanalysen visar att grundvattenmagasinet svarar snabbt på tillförda vattenmängder, vidare har grundvattenbildningen i det västra området satts proportionell mot grundvattenbildningen i det södra för att förenkla analysen. Med utgångspunkt från den statistiska analys av grundvattennivån, som redovisas i figur 5.2 kan medelgrundvattenbildningen, som kommer magasinet tillgodo, bestämmas till 4.6 l/s i det södra området och 0,5 l/s i väster eller totalt ca 5.1 l/s. Av denna mängd pekar modellstudier på ett läckage av ca 25 % till tunnlarna i Albyberget, medan återstoden går ut i Albysjön.

Då nederbörden varierar mellan olika år kommer också grundvattenbildningen att variera. Man kan emellertid konstatera att det är en avsevärd tidsfördröjning mellan det att nederbörden fallit och det att den kommer magasinet tillgodo. Denna fördröjning orsakas av uppehållstiden i markvattenzonen, snömagasinering etc. För detta område har en förvånansvärt hög korrelation $R = 0,97$, erhållits mellan halvårsnederbörden och grundvattenbildningen för nästföljande halvår, se Figur 7.8. Detta gäller för alla studerade år utom 1972 då extremt låga grundvattennivåer rädde sannolikt beroende på att tunnelarbetena i Albyberget slutfördes under detta år, se Lindskoug et. al, 1974. Sedan dess har inte några signifikanta förändringar i grundvattenbildningen annat än de nederbördsberoende varit möjliga att konstatera.

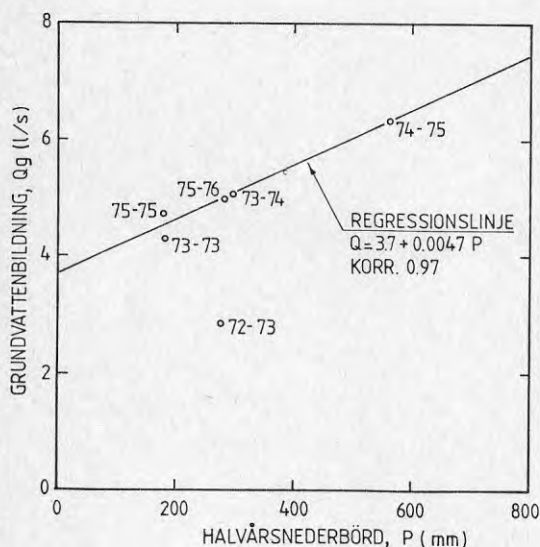


FIG 7.8 GRUNDVATTENBILDNING OCH NEDERBÖRD

7.8 Inverkan av infiltrationsanläggningen

Infiltration av vatten vid Rb 7303 medför, som tidigare visats en höjning av grundvattennivån i hela området. Höjningen vid obsrör 1114 kan vid stationära förhållanden beräknas till ca 0,25 m/(l/s). Detta medför att relativt stora vattenmängder går åt för att höja vattennivån väsentligt. Någon större betydelse har detta dock inte så länge infiltrationsvattnet från tunnelpåslag F1 är tillfyllt. Den nuvarande anläggningen är utformad så att grundvattennivån styr infiltrationsmängden.

Modellanalysen har emellertid visat att man från nederbördsdata kan förutsäga när en extra stor infiltrationsmängd behövs för att hålla den önskade nivån. När nederbörden under 6 sammanhängande månader understiger 200 mm bör således en kontroll av infiltrationsanläggningen och tillgången på infiltrationsvatten göras för att möta ett förväntat lågt grundvattenstånd.

8 SAMMANFATTNING

Infiltrationsanläggningen i Norra Botkyrka anlades för att motverka den grundvattensänkning, som blev följd av den exploatering av området, som gjordes under början av 1970-talet. Sänkningen medförde sättningar i områdets leror och speciellt inom Norsborg-Fittjadalgången bedömdes dessa kunna få menliga konsekvenser för bland annat Stockholms stads huvudvattenledning, som är förlagd centralt i dalgången.

Föreliggande studie omfattar dels en beskrivning av områdets hydrogeologi och en analys av hur effektiv infiltrationen har varit, dels en analys av driftresultat och driftsäkerhet hos anläggningen.

Studien visar att man genom infiltrationen fått både en höjning och stabilisering av grundvattennivån. Vidare har portrycket i de sättningsskänsliga delarna höjts till nivåer som förhindrar sättningar orsakade av grundvattensänkning. Driftresultaten visar att en anläggning av denna typ är möjlig att driva till rimliga insatser under en lång driftsperiod. Vissa igensättningar av infiltrationsbrunnen har konstaterats men dessa kan åtgärdas med kemisk rensning.

Vidare har områdets hydrogeologiska egenskaper analyserats med finita elementmetoden. Detta har gjort det möjligt att med god noggrannhet prognosticera inverkan av olika ingrepp i grundvattenbalansen. En analys av grundvattennivåer och nederbörd har gjort det möjligt att korrelera grundvattenbildning och nederbörd. Detta ger direkt anvisningar för hur infiltrationen skall drivas under längre torrperioder.

Göteborg den 26 september 1979

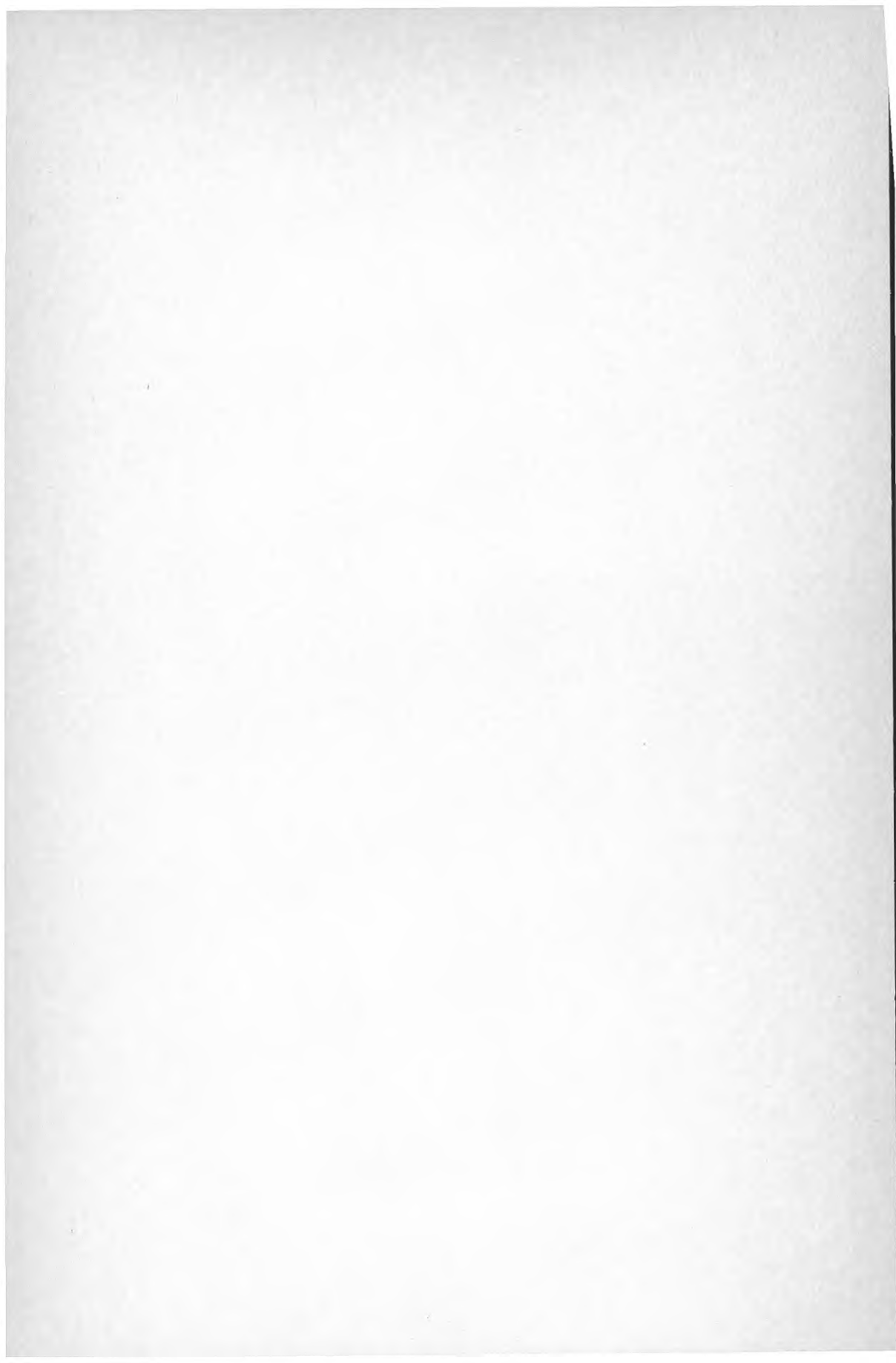
VIK AB

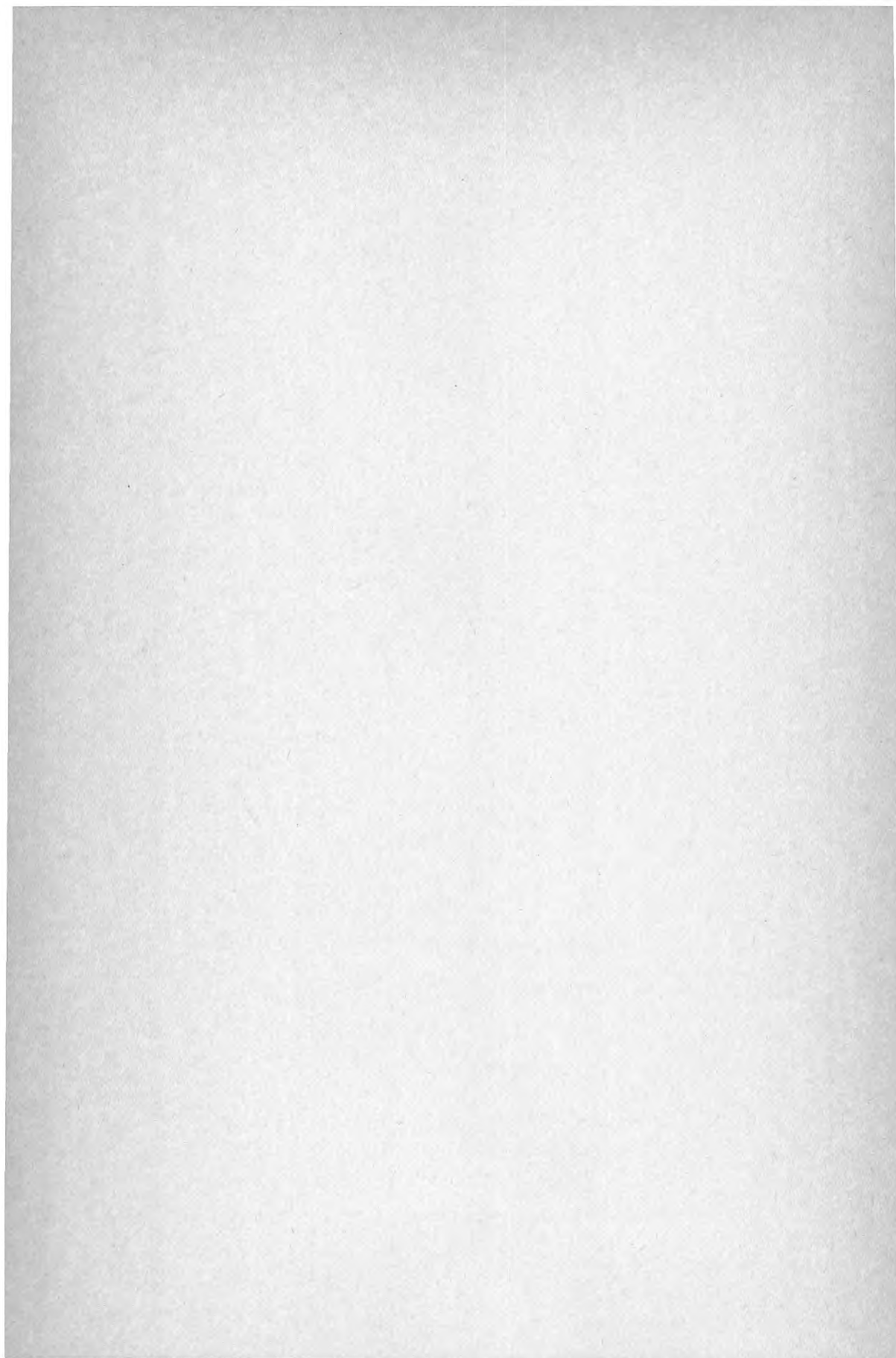
Gunnar Gustafson

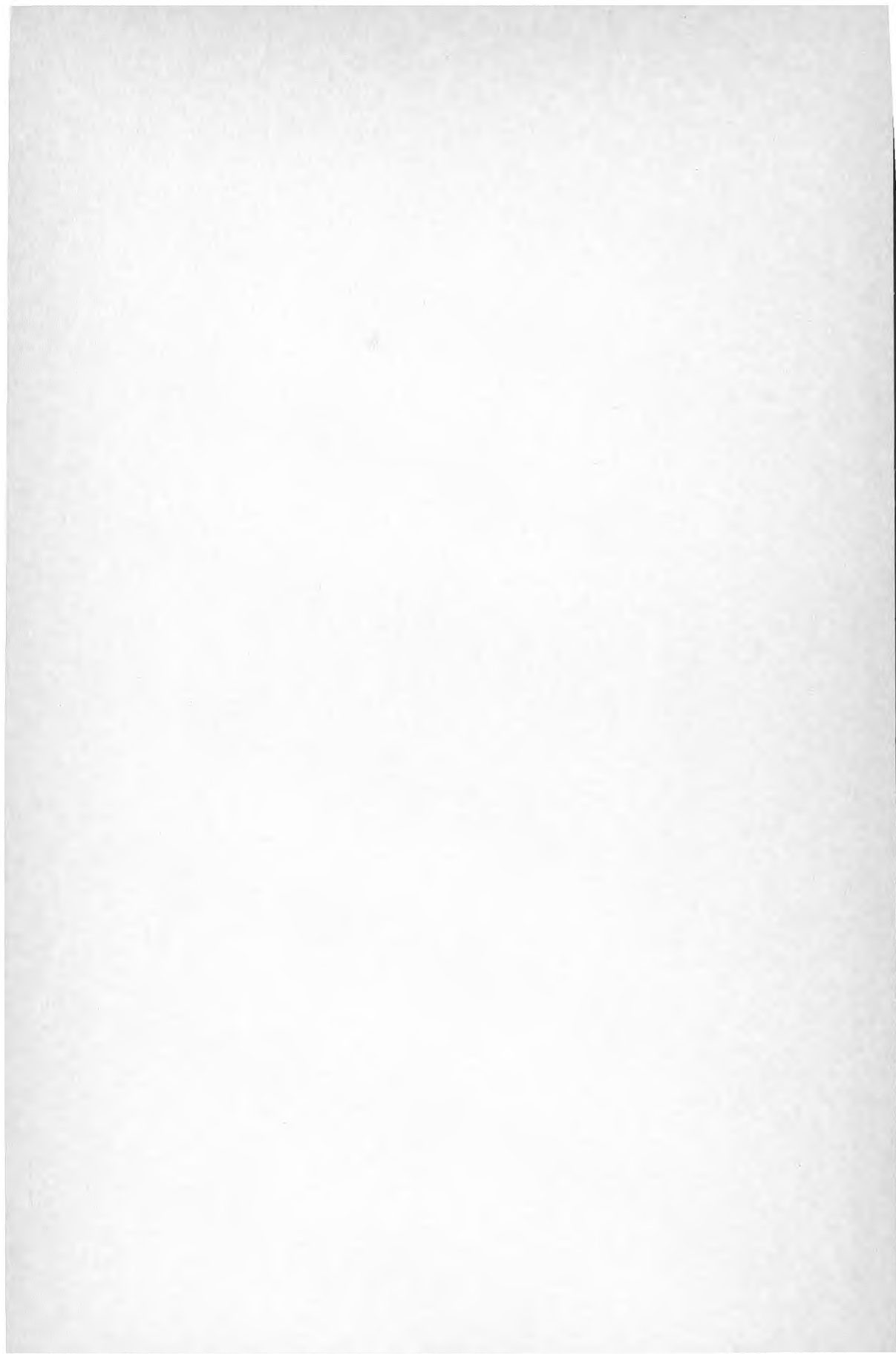


9 REFERENSER

- Bergman, G et al: Grundvattnet i Botkyrka 1972-76. BFR T16:1978, Stockholm.
- Earlougher R C: Advances in well test analysis, SPE of AIME, Dallas 1977.
- Lindskoug N-E et al: Grundvatten och byggande, BFR R20:1974, Stockholm.
- Runesson, K et al: GEOFEM-G, Computer program for ground water seepage including confined aquifer analysis. Chalmers University of Technology. Department of Structural Mechanics. Skrift 78:24, Göteborg 1978.
- Stålhös G: Stockholmstraktens berggrund, SGU Ser Ba Nr 24, Stockholm 1968.
- VIAK AB: AB Svenska Bostäder, Norra Botkyrka, Infiltrationsförsök i Norsborg-Fittjadalgången, Rapport, Vällingby 1974.
- VIAK AB: AB Svenska Bostäder, Norra Botkyrka, Försöksdrift med infiltrationsanläggning. Rapport, Vällingby 1975.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730510-5 från
Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB, Vällingby**

R 24: 1980

ISBN 91-540-3185-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700124

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirkapris: 30 kr exkl moms