



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 R43:1976**

*Handwritten notes:*  
KLA  
L. P. F  
S  
L  
as

**Djupinfiltration av  
vatten i jord**

**Bearbetning av  
erfarenheter från  
praktiska prov**

**Christer Gedda  
Per Riise**

**Byggforskningen**

R43:1976

DJUPINFILTRATION AV VATTEN I JORD

Bearbetning av erfarenheter från praktiska prov

Christer Gedda  
Per Riise

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740545-1 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Kjessler & Mannerstråle  
AB, Göteborg.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm  
ISBN 91-540-2612-1

LiberTryck Stockholm 1976

## INNEHÅLL

1	INLEDNING .....	1	6	EFFEKT PÅ TRYCKET I GRUND- VATTENMAGASINET .....	15
1.1	Bakgrund .....	1	6.1	Allmänt .....	15
1.2	Urval och redovisning .....	2	6.2	Resultat inom olika områden ...	16
2	ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING .....	3	6.2.1	Område A .....	16
2.1	Topografi och geologi .....	3	6.2.2	Område B .....	17
2.2	Geohydrologi .....	3	6.2.3	Område C .....	18
2.3	Uppföljning av variationer i grundvattennivå och grund- vattentryck .....	4	6.2.4	Område D .....	18
2.3.1	Mätarnas placering .....	4	6.3	Kommentarer till resultaten ...	19
2.3.2	Redovisning av mätningar .....	5	6.4	Sammanfattning .....	19
2.4	Infiltrationsprov .....	5	7	EFFEKTER I LERLAGRET .....	21
3	TEORETISKT UNDERLAG .....	7	7.1	Princip .....	21
3.1	Allmänt .....	7	7.2	Mätningar .....	23
3.2	Avsänkning .....	7	8	ERFARENHETER FRÅN DRIFTEN .....	24
3.3	Infiltration .....	9	8.1	Infiltrerade vattenmängder ...	24
3.4	Sammanfattning .....	10	8.2	Vattenkvalitetens betydelse ...	24
4	PRAKTISKA FÖRUTSÄTTNINGAR .....	11	8.3	Påverkan på grundvattnet .....	26
4.1	Jordlager och grundvatten- förhållanden .....	11	8.4	Påverkan på jordlagren .....	26
4.2	Mark- och vattenfrågor .....	11	8.5	Ekonomi .....	27
5	UTFÖRANDE AV INFILTRATIONS- ANLÄGGNINGARNA .....	12	9	SAMMANFATTNING .....	28
5.1	Infiltrationsrören .....	12	BILAGA: Figurblad		
5.2	Vattenförsörjning .....	12	Fig A:a - A:i	Blad	1
5.2.1	Anslutning .....	12	" B:a - B:i	"	2
5.2.2	Infiltrationstryck .....	13	" B:k - B:l	"	3
5.3	Mätningar och uppföljning .....	13	" C:a - C:i	"	4
5.4	Data för anläggningarna .....	14	" C:k	"	4 <sup>a</sup>
			" D:a - D:i	"	5
			Detaljer av infiltra- tionsanläggning C I-C II" 6-7		



## 1 INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Bergrum och tunnlar påverkar som många har erfårit, ofta grundvattenförhållandena genom att vatten läcker in från omgivande berg och jord. Redan vid små vattenmängder kan grundvattentrycket minska avsevärt och i kompressibla jordlager leda till betydande sättningar. Numera göres stora ansträngningar för att undvika läckage, vanligen genom cementinjektering före och efter utsprängningen. I de fall då dylika tätningssåtgärder inte ger full effekt, ligger det nära till hands att försöka upprätthålla grundvattenbalansen genom att infiltrera vatten i bergets spricksystem eller i jordlagren.

En relativt enkel infiltration kan åstadkommas genom att tillföra vatten med visst övertryck i rör som nedföres i jorden. Sådan djupinfiltration har provats på flera håll, och erfarenheterna har ibland varit goda och ibland mindre goda. Den största svårigheten har i allmänhet varit att finna jordlager som kan föra det infiltrerade vattnet ut i omgivningen där man önskar höja trycket.

Under utbyggnaden av Televerkets kabeltunnlar i Göteborg under åren 1968-1975 har djupinfiltration av vatten provats på närmare 20 ställen. En del av anläggningarna har avslutats på grund av utebliven effekt eller på grund av att grundvattentrycket återställt, men större delen är fortfarande igång.

Proven igångsattes med syfte att snabbast möjligt få tillfört vatten inom områden där en trycksänkning i grundvattnet hade påvisats i observationsrören. Mätning av infiltrationskapacitet, tryckändringar m m gjordes i första hand som driftskontroll, och föranledde ofta justeringar av anläggningarna under provens gång.

En stor mängd mätdata erhöles i samband med infiltrationsproven, och vi ansåg det värdefullt att få dessa data systematiserade och sammanställda på ett sätt som kunde vara till nytta även för andra som arbetar med liknande problem. Detta har nu möjliggjorts genom anslag från Statens råd för byggnadsforskning.

Projekteringen av infiltrationsanläggningarna gjordes av Kjessler & Mannerstråle AB, i nära samarbete med Televerkets Anläggningskontor i Göteborg och dess tekniska expert dr Buster Sund, Bergkonsult Sven Tyrén AB. I föreliggande forskningsprojekt har värdefulla synpunkter dessutom lämnats av fil lic Göran Bergman, Bergkonsult och tekn lic Leif Carlsson, Inst för VA-teknik CTH.



Författare till rapporten har varit Christer Gedda och Per Riise, Kjessler & Mannerstråle AB, med den senare som projektledare. Många av våra övriga medarbetare har bidragit med sammanställning och bearbetning av data, uppritning, renskrivning m m. Författarna vill härmed få tacka alla för värdefulla insatser.

## 1.2 Urval och redovisning

Det har visat sig ändamålsenligt att begränsa redovisningen till totalt 9 st infiltrationsanläggningar belägna inom 4 olika områden. Områdena som betecknas A-D, har i huvudsak avgränsats ur geologisk och hydrogeologisk synpunkt. Inom varje område numreras observationsrören X:1, X:2 o s v, respektive infiltrationspunkterna X:I, X:II o s v, där X är områdesbeteckningen.

Redovisningen av alla data om proven har i huvudsak samlats på sex figurlad. Figurerna betecknas X:a, X:b o s v, där X anger området, och :a, :b o s v genomgående avser samma typ av data (t ex X:c - grundvattennivåer)



## 2 ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING

### 2.1 Topografi och geologi

Proven har utförts i huvudsak inom Göteborgs centrala delar, som topografiskt sett omfattar såväl större och mindre bergspartier som planare mark kring kanaler och vattendrag.

Berggrunden av gnejs är starkt kuperad, med en 50-60 m djup öst-västlig dalgång, som korsas av nord-sydgående stråk där markanta sprickzoner förekommer.

Jordlagren domineras av mäktiga lerlager av "göteborgstyp", d v s normalkonsoliderad lös till medelfast lera. Denna vilar i allmänhet på ett lager av friktionsjord som täcker berget. Friktionsjordlagrets mäktighet varierar från nästan noll till 10-20 meter.

### 2.2 Geohydrologi

Friktionsjordlagret under leran består oftast av ett sandigt-grusigt moränmaterial. Beroende på halten sand och grus är dessa lager mer eller mindre permeabla och således grundvattenförande. Om de permeabla lagren har en viss utbredning och mäktighet kan man tala om ett grundvattenmagasin.

I de aktuella områdena av Göteborg har bland annat borrhingsresultaten visat att - där friktionsmaterial kunnat konstateras - mäktigheten ofta överstiger 0.5 m. I de markanta urbergsdalarna kan mäktigheten öka till mer än 10 m (se redovisade tvär- och längdprofiler). Detta medför att det i flera fall återfinns relativt stora grundvattenmagasin under lerlagren ovanpå urbergsytan.

Den överlagrande leran har en mycket låg permeabilitet och är i princip ej vattenförande. Grundvattenmagasinen är därför slutna och grundvattnet står under ett tryck som vanligen motsvarar en nivå några meter under markytan.

Vattenföringen i berggrunden är begränsad till urbergets olika sprick- eller krosszoner. Vid tunneldrivning i urberget kan dessa zoner sägas fungera som dräneringskanaler mellan grundvattenmagasinet och tunneln.

Beroende på mineral- och lerinnehållet i sprick- och krosszonerna är dräneringsförmågan starkt varierande.

Urbergsdalarna är sannolikt tektoniska sprick- eller svaghetszoner vilka fördjupats av landisen. Därför påträffas vanligen markanta sprick- eller krosszoner i dalarnas djupaste partier (se även redovisade profiler). Eftersom dessa dalar ofta är utfyllda av friktionsmaterial uppstår här störst problem med inläckande grundvatten till tunneln.

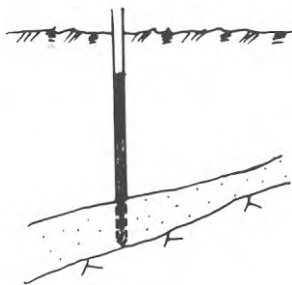
Under naturliga förhållanden sker infiltrationen till - respektive utflödet från - grundvattenmagasinen huvudsakligen i de randområden där friktionslagren når upp till eller i närheten av markytan. En viss vattentransport sker även via urberget.

Vattenomsättningen i de olika lagren styrs av det naturliga kretsloppet med infiltration och utflöde. I samband med tunneldrivning kan detta naturliga kretslopp störas genom att ett vattenläckage uppstår i tunneln. Härvid bortföres mer grundvatten från systemet än vad som naturligt nybildas. Om det bortförda vattnet ej ersättes, t ex genom konstgjord infiltration, kan grundvattenmagasinets trycknivå sjunka.

## 2.3 Uppföljning av variationer i grundvattennivå och grundvattentryck

### 2.3.1 Mätarnas placering

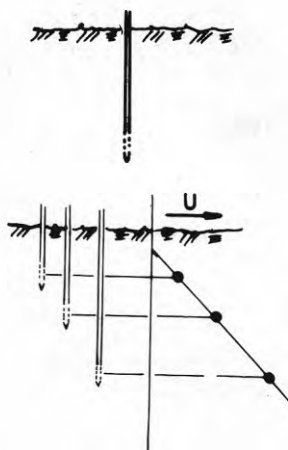
Vid projekteringen av Televerkets tunnelnät i Göteborg ägnades frågorna kring en eventuell påverkan på grundvattnet stor uppmärksamhet. Således nedsattes på ett tidigt stadium ett större antal mätare för grundvattnet, inom de stråk där tunnlar planerades. Mätarna var av flera typer:



1. Öppna rör med perforerad spets som drevs ned till förekommande genomsläppliga jordlager mellan leran och berget. Vattennivån i rören motsvarar således trycknivån i dessa jordlager



2. Öppna rör med perforerad spets, som placerades i ett grövre hål i ytlagren och sedan kringfylldes med grus e d. Vattennivån skulle således motsvara den fria grundvattenytan i de övre jordlagren.



3. Portrycksspetsar (filterspetsar) som placerades på olika nivåer i lerlagren för återkommande avläsningar
4. Portrycksmätare för korttidsobservationer. I regel mättes trycket på ett flertal nivåer för att klarlägga tryckfördelningen genom lerlagret i fråga.

Dessa mätningar igångsattes i regel minst ett år före tunneldrivningen genom området, och avläsningarna gjordes så ofta, att en fullständig kartläggning av årstidsvariationerna kunde göras inom områden som antogs endast vara påverkade av naturlig infiltration och avrinning.

### 2.3.2 Redovisning av mätningar

På figursammanställningarna visas för varje behandlat område tidsförloppet för:

- X:a Tunnelfrontens läge i förhållande till en på planen (fig X:f) angiven 0-punkt.
- X:b Uppmätta läckagevattenmängder (totala) i tunneln. Det bör observeras att mätningarna kan ha påverkats dels av spolvatten under borrningen, dels av tätningsåtgärder som vidtogs efter utsprängningen.
- X:c Trycknivån i rör som är nedförda till friktionslager under leran.

Inom ramen för detta projekt har behandlingen av den stora datamängden som grundvattenobservationerna representerar, kunnat förenklas genom ADB. Ett särskilt program för lagring och uppritning av mätresultaten har utvecklats, vilket möjliggjort en snabb redovisning i önskad skala av mätningarna i ett visst antal punkter under en vald tidsperiod.

## 2.4 Infiltrationsprov

Under framdriften av tunnlarna konstaterades inom vissa områden att trycknivån sjönk i grundvattenmagasinet. I en del fall kunde detta härledas till uppenbara läckor där man kunde insätta koncentrerade tätningsåtgärder i form av efterinjektering. I andra fall var läckorna svårare att lokalisera

och man fick tillgripa systematisk injektering efter ett visst schema.

Dessa åtgärder gav oftast resultat i form av minskat läckage, medan återhämtningen av trycket i grundvattemagasinet ibland dröjde. Fördröjningen ansågs bero på att den naturliga infiltrationen inom vissa områden var liten, varför det där kunde ta lång tid att återställa den vattenmängd som läckt ut. Prov med konstgjord infiltration igångsattes då, främst inom sådana områden där ett långvarigt tryckfall kunde innebära en sättningsrisk.

De enklaste proven utfördes genom att koppla vatten till något av observationsrören, men efterhand visade det sig vara bättre att göra särskilda infiltrationsanläggningar med permanent röruppläggning m m. Dessa anläggningar kunde placeras på platser som ansågs bäst ur såväl geohydrologisk som praktisk synpunkt. Tillvägagångssättet beskrivs närmare i följande avsnitt.

### 3 TEORETISKT UNDERLAG

#### 3.1 Allmänt

Olika parametrars inverkan på tryckförändringsförloppet vid läckage respektive infiltration i ett grundvattenmagasin kan teoretiskt behandlas och utvärderas. Härvid utnyttjas de nyare teorier som föreligger för analys av ett grundvattenmagasins hydrauliska egenskaper vid t ex en provpumpning. För närmare beskrivning av teorierna och den matematiska bakgrunden hänvisas till "Referat av seminarium om geohydrologisk undersökningsmetodik, den 21 maj 1975, BFR:s Programgrupp för geohydrologisk forskning". Nedan ges endast en kortfattad beskrivning av teorierna och dessas användning i föreliggande fall.

För att teoretiskt kunna behandla vad som inträffat i de olika grundvattenmagasinen betraktas ett läckage eller en dränering i tunneln som en bortpumpning av vatten från en brunn. En infiltration betraktas som det motsatta förhållandet till bortpumpning. Härigenom kan de teorier som gäller vid provpumpning tillämpas.

#### 3.2 Avsänkning

Vatten som bortpumpas med en konstant kapacitet  $Q$  från ett grundvattenmagasin orsakar en vattentrycksförändring (avsänkning)  $s$  i magasinet på ett avstånd  $r$  från uttagsbrunnen vid tiden  $t$  efter pumpstart. Med antagande att inga begränsningar av grundvattenmagasinet förekommer i horisontell led, att inget vatten bortgår eller tillföres via läckage samt att de hydrauliska egenskaperna i magasinet ej förändras, kan avsänkningen  $s$  i magasinet tecknas

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} \cdot W(u) \quad (1)$$

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 T t} \quad (2)$$

där  $W(u)$  benämns Theis brunnfunktion, se vidare hänvisad litteratur.

Vid en relativt lång pumptid ( $t$ ) och relativt korta avstånd ( $r$ ) ger sambandet mellan avsänkningen ( $s$ ) och tiden ( $t$ ) i en halvlogaritmisk avbildning en rät linje (Jacobs metod). Den räta linjens läge och lutning bestäms bland annat av de hydrauliska egenskaperna, se text figur 3.2:1.



Avsänkning per tidsdekad  $\Delta s_t$  och tiden  $t_0$  ger följande ekvation för beräkning av T och S.

$$T = \frac{3.05 \cdot 10^{-6} \cdot Q}{\Delta s_t} \quad (3)$$

$$S = \frac{1.944 \cdot 10^{+5} \cdot T \cdot t_0}{r^2} \quad (4)$$

där

T = transmissiviteten ( $m^2/\text{sek}$ )

S = magasinskoefficienten

Q = uttagen vattenmängd (l/min)

$t_0$  = tiden vid avsänkning = 0, se fig 3.2:1 (dygn)

r = avstånd mellan uttagspunkt och observationspunkt (m)

$\Delta s_t$  = avsänkning per tidsdekad (m)

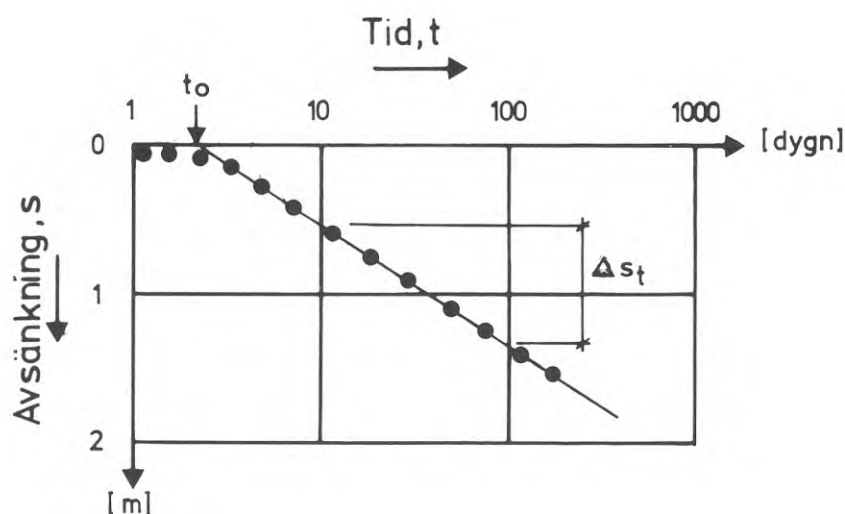


Fig 3.2:1 Avsänkning som funktion av tiden vid ett konstant uttag (Jacobs metod)

Utnyttjas r som variabel i stället för t, se fig 3.2:2 erhålles följande ekvation för bestämning av T och S.

$$T = \frac{6.1 \cdot 10^{-6} \cdot Q}{\Delta s_r} \quad (5)$$

$$S = \frac{1.944 \cdot 10^{+5} \cdot T \cdot t}{r_0^2} \quad (6)$$

där

t = tiden efter pumpstart, (dygn)

$r_0$  = radien för det påverkade området, se fig 3.2:2

$\Delta s_r$  = avsänkning per avståndsdekad (m)

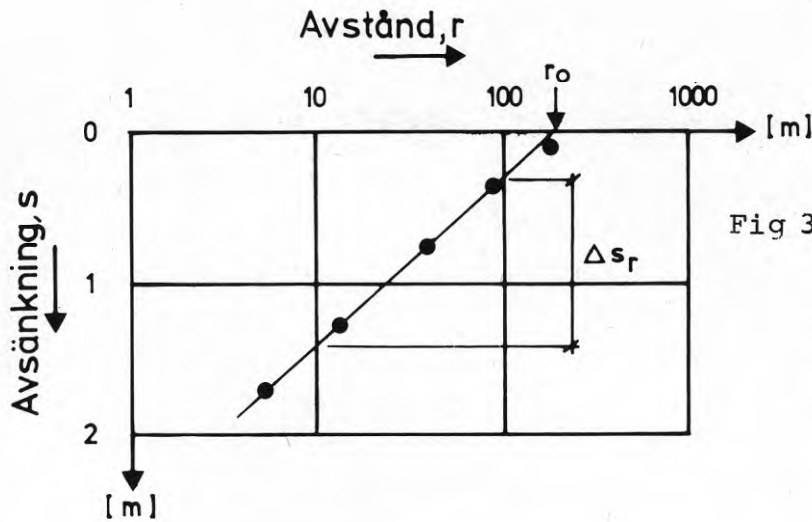


Fig 3.2:2 Avsänkning som funktion av avstånd från uttagsbrunnen vid konstant uttag (Jacobs metod)

### 3.3 Infiltration

Vid infiltration gäller samma ekvationer, se fig 3.3:1 och 3.3:2

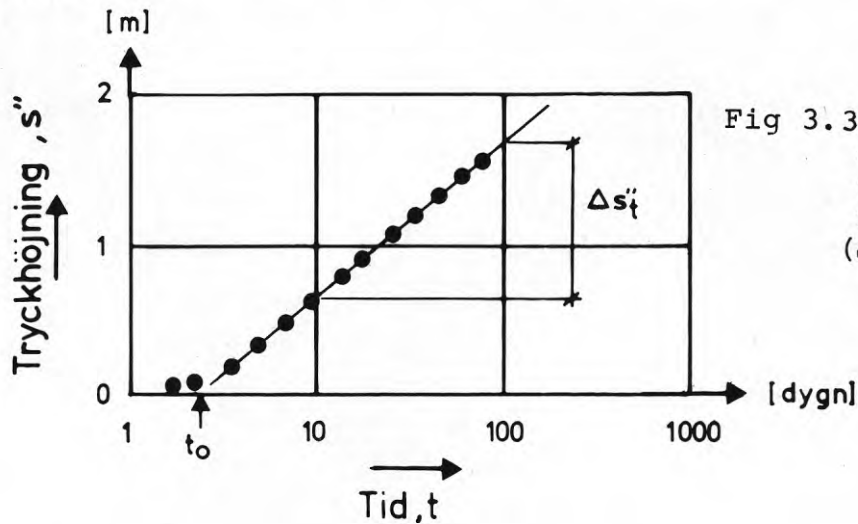


Fig 3.3:1 Tryckhöjningen som funktion av tiden vid konstant infiltration (Jacobs metod)

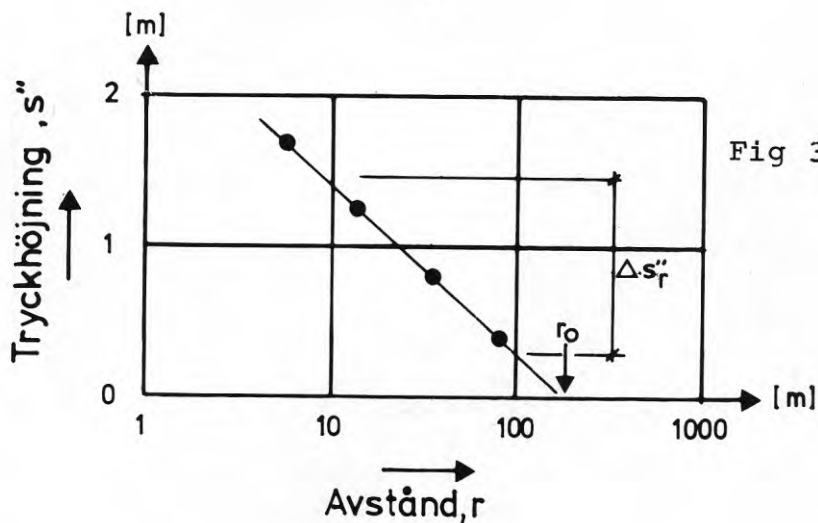


Fig 3.3:2 Tryckhöjningen som en funktion av avståndet vid konstant infiltration (Jacobs metod)



För linjens lutning i de olika figurerna gäller följande samband:

$$\Delta s_r = 2 \cdot \Delta s_t \quad (7)$$

vilket innebär att den räta linjens lutning vid av-sänkning - avstånd är dubbelt så stor som vid av-sänkning - tid.

### 3.4 Sammanfattning

De ovannämnda teorierna kan förenklat sammanfattas enligt följande:

Vid en konstgjord infiltration skall tryckhöjningen uppmätt i olika observationspunkter, teoretisk falla längs räta linjer i en halvlogaritmisk avbildning och lutningen för de olika linjerna skall vara lika. Värdena på tryckhöjningen för de olika observationspunkterna efter en viss tid skall också falla längs en rät linje, vars lutning skall vara dubbelt så stor som vid avsänkningsförloppet.

Detta gäller under förutsättning att gjorda antaganden om magasinets egenskaper och utseende kan uppfyllas samt att infiltrationen sker med konstant kapacitet. I praktiken är detta sällan fallet, vilket medför att erhållna mätdata avviker mer eller mindre från teorierna.

Mätdata från de olika avsänkings- respektive infiltrationsförloppen har bland annat sammanställts och redovisats i halv-logaritmiska diagram (se fig X:h och X:i). Detta dels för att erhålla en överskådlig bild av vad som inträffat, dels för att närmare söka utröna om och i vilken utsträckning teorierna går att använda på de erfarenheter som erhållits i de aktuella praktiska fallen.

Det skall redan nu påpekas, att utförda mätningar och åtgärder ej har varit avsedda för en matematisk-hydraulisk analys, varför det i materialet saknas många viktiga uppgifter för en korrekt analys. Vidare är läckaget till tunneln ej konstant utan beroende på de åtgärder som insattes för att minska detta. Infiltrationen till grundvattenmagasinet har ej heller utförts med konstant kapacitet. Detta medför att förutsättningarna för en korrekt analys är dåliga och flera antaganden måste göras för att överhuvud taget kunna behandla och utvärdera resultaten från de praktiska fallen.

Under punkt 6 följer en översiktlig utvärdering av de redovisade fallen med hjälp av ovanstående teorier.

## 4 PRAKTISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

### 4.1 Jordlager och grundvattenförhållanden

För att få önskad effekt var det nödvändigt att infiltrationen skedde i jordlager som kunde föra vatten ut i ett större område. En första åtgärd blev därför att genom tillgängliga uppgifter kartlägga de geologiska förhållandena mera i detalj. Där så bedömdes erforderligt gjordes även kompletterande sonderingar till berg.

Med ledning av utförda grundvattenmätningar gjordes också en bedömning av strömningsförhållandena i de djupa jordlagren. Därigenom kunde sådana områden väljas ut, som ansågs lämpliga för försök med infiltration. I princip eftersträvades punkter i urbergets djupfårar där såväl lerlagret som friktionslagret hade störst mäktighet. Lerlagrets vikt gav därmed möjlighet att använda ett högt infiltrationstryck, och således skapa en större gradient ut i friktionsjordlagret.

### 4.2 Mark- och vattenfrågor

En stor del av tunnelsträckan går under stadsbebyggelse, där hänsyn till hus, trafik och ledningar har utgjort en stark begränsning i placeringen av infiltrationsanläggningarna. Där så har varit möjligt har man valt att förlägga dessa till parkområden eller liknande allmän mark.

Infiltrationen baserades i början på tillförsel av kommunalt vatten från brandposter, genom uttag i fastigheter, eller på liknande sätt. Det var därför ett önskemål att inte ha för långa tillförselledningar - vilka dels kunde störa gång- och fordonstrafiken, dels löpte risk att skadas genom frost eller åverkan på annat sätt.

## 5 UTFÖRANDE AV INFILTRATIONSANLÄGGNINGARNA

### 5.1 Infiltrationsrören

Det enklaste sättet att snabbt få i gång en infiltration hade varit att utnyttja befintliga 2" observationsrör för grundvatten. I många fall medgav dock inte dessa rörs placering någon ständig anslutning till vattenledningsnätet, varför de i huvudsak endast kunde användas för kortvariga prov under övervakning.

För mera permanent drift nedslogs vid de första proven en grupp om 4-5 stycken 2" galvaniserade vattenledningsrör med perforerade spetsar. Dessa har normalt en tät spetsig plugg i änden, och är försedda med 225 st 3 mm hål över en längd av 58 cm. För att öka utloppsarean lossades spetspluggen och slogs ut när röret nått önskat djup. Neddrivningen av rören skedde med hjälp av hejarböck och 2", 65 kg hejare.

Vid senare prov användes även 5" rör som neddrevs med bergborrtrrustning - typ Roc 600 eller liknande. Rören svetsades ihop, och var försedda med en borkrona som gjorde det möjligt att även borra några meter ned i berget. De nedersta 6 metrarna var perforerade med 3 mm hål, förutom att röret var öppet i änden.

För att uppnå en bättre total genomströmningsarea med mindre öppningar prövades i två senare fall filterrör av typ Johnson Well Screen. Meningen var att den speciellt utformade spaltöppningen på dessa rör skulle hindra fina partiklar från att tränga in i röret. Hittillsvarande erfarenheter från dessa rör visar dock inga större skillnader mot vanliga perforerade rör vad gäller genomströmning och igenslamningsrisk.

### 5.2 Vattenförsörjning

#### 5.2.1 Anslutning

Vattnet till infiltrationerna togs i de flesta fall från vattenledningsnätet - dels genom provisoriskt uttag i brandposter o d, dels genom permanent anslutning över särskild mätare.

En grupp av infiltrationspunkter, som fortfarande är i gång, förses med vatten från tunnelns dräneringssystem. Detta pumpas upp genom ett borrarat hål till en bassäng, där det åter trycks ned i infiltrationsrören till bergytan. Alternativt kan även denna anläggning försörjas med vattenlednings-

vatten. Ritningarna 6 och 7 visar hur anslutningar, ventiler m m är anordnade i denna grupp.

### 5.2.2 Infiltrationstryck

För att infiltrera mesta möjliga vatten per tidsenhet i omgivande jordlager måste infiltrationstrycket vara relativt högt. Samtidigt ökade risken för oönskat läckage utmed själva röret - eller t ex genom närbelägna borrhål - med ökande tryck. Slutligen fick givetvis inte trycket överstiga det totala överlagringstrycket vid infiltrationsspetsen, då jordlagren i så fall kunde lyftas.

De anläggningar som nu är igång har i regel ett tryck vid mätaren av 50-100 kPa (5-10 m vattenpelare). Jämfört med omgivande grundvatten vid infiltrationsspetsen motsvarar detta ett övertryck av 10-15 m vattenpelare.

### 5.3 Mätningar och uppföljning

Uppföljning av infiltrerad vattenmängd och infiltrationstryck skedde i allmänhet veckovis. Trycket reglerades med en enkel, fjäderbelastad tryckreduceringsventil och avlästes på manometer. Vattenmängden avlästes på en vanlig vattenförbrukningsmätare - ibland kompletterad med sub-mätare på de enskilda infiltrationsrören.

Relativt täta kontroller var nödvändiga för att se över funktionen hos kopplingar och kranar, reglera trycket och rensa, eventuellt byta filter.

Mätningresultaten för de i rapporten ingående infiltrationsanläggningarna redovisas i figur X:d på figurbladen och sammanfattas i tabellform under avsnitt 5.4.

5.4 Data för anläggningarna

Anl. nr	Rör		Infiltrationstryck (Mvp)		Inf. mängd	Anm
	antal	dim längd	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>		
AI	1	2" 25.0 m	0	6	1 l/min	Pågår
AII	1	2" 13.6 m	0	3	7.2 "	Avslutad
BI	4	2" 43.1 m	20	30	15-20 l/min	Avsl.läck.
BII	1	5" 44.0 m	13	25	3.5 "	Pågår
BIII	1	2" 45.5 m	20	30	0.7 "	"
BIV	1	2" 31.4 m	9	18	7-3 "	"
CI	5	2" 29 m	10-15	10-20	30-15 l/min	Pågår
CII	1	5" 38 m	0-12	10-20	15- 2 "	"
DI	5	2" 3-5 m	2.5-3.1	7.5	2-3 l/min	Avslutad

Anm Inf. tryck p<sub>1</sub> avser avläst tryck vid markytan  
 " p<sub>2</sub> avser beräknat övertryck vid  
 spetsen, d v s p<sub>1</sub> - grundvatten-  
 tryck



## 6           EFFEKT PÅ TRYCKET I GRUNDVATTENMAGASINET

### 6.1        Allmänt

Nedan följer en kortfattad genomgång och utvärdering av avsänkings- respektive infiltrationsresultaten från de fyra olika delområdena.

Resultaten redovisas i halvlogaritmiska diagram enligt tidigare genomgångna teorier. Detta dels för att erhålla en överskådlig bild av vad som inträffat, dels för att närmare söka utröna om och i vilken utsträckning teorierna går att använda på de erfarenheter, som erhållits i de aktuella praktiska fallen. Vid upprättandet av diagrammen gäller bland annat följande:

Dag 1 för avsänkning är den dag då inverkan av tunneldrängeringen för första gången med någorlunda säkerhet registrerades i en observationspunkt. Vid dag 1 har samtliga observationspunkter "0-ställts" och därefter har mätresultaten lägre än "0-nivån" ansetts som en avsänkning. Någon hänsyn till nederbörd eller grundvattenmagasinets naturliga fluktuationer har ej tagits. Avsänkning redovisas fram till den dag då den konstgjorda infiltrationen startades.

För att kunna upprita ett avstånds-avsänkingsdiagram har läckaget antagits ske vid en viss sektionspunkt, benämnd läckagecentrum. Vid bestämning av läckagecentrum har bland annat erfarenheterna från läckageproblem vid tunneldrivningen utnyttjats.

Läckaget till tunneln redovisas dels i en linjär tidsskala, se fig X:b, och dels i en logaritmisk tidsskala i direkt anslutning till avsänkingsdiagrammet, fig X:h. Som tidigare omtalats är läckaget ej konstant utan beroende dels på tunnelfrontens läge och dels på de åtgärder som insattes för att tätta vatteninläckningen (efterinjektering).

För infiltrationen gäller att dag 1 motsvarar infiltrationsstart varvid samtliga observationspunkter "nollställes". Vattentryck högre än "0-nivån" anses härefter som en tryckhöjning, orsakad av infiltration. Ingen hänsyn har tagits till att läckaget i flera fall fortfarande pågår. Tryckhöjningsförloppet redovisas fram till dess infiltrationen avbryts eller en infiltration påbörjas vid annan punkt. I vissa fall kan infiltration samtidigt ske vid mer än en punkt. Härvid har antagits att erhållna tryckhöjningsvärden enbart hänföres till den senast påbörjade infiltrationen.

I tryckhöjning - avståndsdiagrammet redovisas punkternas avstånd ifrån den aktuella infiltrationspunkten och den maximala tryckhöjningen, vilken oftast erhålls efter en relativt kort infiltrations-tid.

Infiltrerade vattenmängder och infiltrationstryck redovisas i en linjär tidsskala på fig X:d. I avslutning till diagrammen redovisas den infiltrerade vattenmängden i logaritmisk tidsskala.

Det infiltrerade vattnet har ej heller tillförts med konstant mängd, beroende på tekniska och praktiska svårigheter.

I diagrammen har, där så ansetts möjligt, utlagts rätta "tendenslinjer" för tolkning och jämförelse med de tidigare omtalade rät-linje teorierna.

## 6.2 Resultat inom olika områden

### 6.2.1 Område A

Inverkan från tunneldrivningen kunde registreras i punkt A 1 redan då tunnelfronten befann sig på ett förhållandevis stort avstånd (mer än 500 m). Detta tyder på att urberget här är sprickrikt med lång dräneringsförmåga. Det maximala läckaget (>100 l/min) erhöles då tunneln passerade urbergsdalen vid A 1. Härvid erhöles en markant avvikelse i avsänkningsvärdena från de antagna rätta linjerna.

Punkt A 2 uppvisar avsänkningsvärden som väl faller längs en rät linje. En linje med ungefär samma lutning kan läggas vid A 1 om man bortser från det ovan nämnda maximala läckaget.

I avståndsdiagrammet är inlagt en linje med dubbelt så stor lutning som passar väl för samtliga observationspunkter. Denna linjes skärningspunkt med 0-nivån antyder en praktisk influensradie för läckaget på drygt 100 m. Detta värde kan jämföras med avsänkningstrattens utseende i längdprofilen, fig A:g.

Infiltrationen vid A I medförde en snabb tryckökning vid A 1 och A 2 medan övriga punkter först reagerade efter ca 50 dygn. Maximal ökning (omkring 3-4 m) erhöles redan efter 20 dygn, vilket sammanhänger med att infiltrationskapaciteten härefter markant minskades. Sedan följer trycknivån åter en "avsänkningslinje" beroende på att läckaget fortfarande var betydligt större än infiltrationen.



Ett nytt infiltrationsförsök vid punkt A II medförde endast en lokal tryckökning vid A 6. Avsänkningen har dock hejdats vilket innebär att läckaget balanserats eller ersatts av infiltrationen.

#### 6.2.2 Område B

Avsänkingsförloppet i de olika observationspunkterna har i princip likartade utseenden med bland annat en relativt brant linje då läckaget är som störst. Då läckaget minskar och stabiliseras sker en viss utplaning. De redovisade räta linjerna, som utgör ett försök att representera ett medelvärde på avsänkingsförloppet, har likartade lutningar. Lutningen på linjen i avståndsdiagrammet är dubbelt så stor. Omkring dag 360 påbörjas infiltrationen vid B I, vilket också medverkar till utplaningen i avsänkingsförloppets senare del. Någon tryckökning från B I erhålles ej.

Infiltrationen vid B II orsakar däremot en tryckökning i magasinet se fig B:k. Detta trots att kapaciteten och trycket är lägre än vid B I. Orsaken till detta är troligen att B II har fått en bättre kontakt med grundvattenmagasinet. I tryckökningsförloppet kan urskiljas två skilda lutningar på linjerna. Den branta lutningen erhålles i de punkter som befinner sig på urbergsytans djupare delar, medan de flackare linjerna erhålles i punkter belägna vid urbergets branta sida och på en högre nivå.

Liknande tendenser framträder även under infiltrationen vid B III se fig B:l.

Då infiltrationen vid B IV startas pågår fortfarande infiltration vid B II och B III, men tryckökningseffekten från dessa platser har då upphört. För tryckökningsförloppet orsakat av B IV kan, för flertalet av punkterna, upprättas räta linjer med likartad lutning. Punkterna B 2 och B 9 avviker dock från dessa. Infiltrationen vid B IV sker i ett högre liggande parti av magasinet, medan B 2 och B 9 har kontakt med de lägre delarna av magasinet. Vid B 9 är friktionslagret mycket tunt.

Linjen i trycköknings- avståndsdiagrammet har ungefär dubbelt så stor lutning som linjerna i tidsdiagrammet, jämför ekv. (7).

### 6.2.3 Område C

När tunnelfronten nådde fram till sekt -0/120 erhöjls stora läckageproblem och de därav orsakade avsänkningsförloppen i de olika observationspunkterna har likartade lutningar i diagrammet. Den angivna linjen i avståndsdigrammet har ungefär dubbelt så stor lutning. Skärningspunkter vid 0-nivån antyder en relativt stor influensradie, i storleksordningen 400 m. Detta kan jämföras med avsänkningstratten i de två profilerna.

Det första infiltrationsförsöket vid C I medför endast en temporär och relativt liten tryckökning, se fig C:k. Detta trots att kapaciteten är större än läckaget till tunneln. En orsak till detta kan vara att C I har kontakt med ett relativt tunt friktionslager beläget på en betydligt högre nivå än själva huvudmagasinet, se längdprofilen fig C:g.

Infiltrationen vid C II skedde på lägre nivå och med bättre kontakt till "läckagecentrum". De största tryckökningarna erhöjls relativt snabbt vid C 5 medan det närmare liggande C 4 reagerade mycket diffust i tiden. En orsak till detta kan vara att mätningarna i C 4 ej registrerar huvudmagasinet trycknivå. Vid C 1 erhöjls en rät linje fram till ca dag 50. En linje med likartad lutning erhöjls mellan ca dag 100 och 200. Mellan dag 50 och 100 var infiltrationskapaciteten tillfälligt lägre.

Den räta linjen i avståndsdigrammet har ungefär dubbelt så brant lutning som i tidsdigrammet. Även här antyds att influensradien var relativt stor, jfr avsänkningen.

### 6.2.4 Område D

Avsänkningsförloppen för observationspunkterna var likartade fram till omkring dag 60 då en markant ökning erhöjls i tunnelläckaget. Härvid sjönk trycknivån för D 1 och D 2, som båda låg i anslutning till "läckagecentrum".

Infiltrationen vid D I medförde snabbt en likartad tryckökning vid D 1 och D 2. Linjen i avståndsdigrammet har dubbelt så stor lutning som i tidsdigrammet. Punkterna D 5 och D 3 reagerade ej som de tre andra punkterna, sannolikt på grund av sämre kontakt med grundvattenmagasinet.

### 6.3 Kommentarer till resultaten

I det redovisade materialet har det visat sig att "rät-linje-metoden" i flertalet av de beskrivna fallen är användbart för att söka beskriva och kontrollera tryckförändringarna i magasinen. Avvikelse från teorierna har ofta en näraliggande praktisk orsak, varvid ändring av infiltrationskapaciteten är en av de vanligaste. Om ett tryckändringsförlopp markant avviker från flertalet av resultaten vid de andra observationspunkterna kan detta bland annat bero på att punkten har dålig kontakt med grundvattenmagasinet och/eller att de hydrauliska egenskaperna vid punkten ej överensstämmer med övriga observationspunkter.

Det måste påpekas att utförda mätningar och andra åtgärder ursprungligen ej varit avsedda för en matematisk-hydraulisk analys. Detta medför att flera viktiga data saknas för en korrekt analys och vissa antaganden har måst göras för att kunna behandla och utvärdera resultaten från de praktiska fallen.

En preliminär analys av det redovisade materialet antyder dock T-värden i storleksordningen  $5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sek}$  och S-värden i storleksordningen  $10^{-3} - 10^{-4}$ . För att mera exakt kunna bestämma de olika grundvattenmagasinens egenskaper fordras en betydligt mer djupgående analys av de olika faktorer, som påverkar tryckförändringarna. Detta ligger dock utanför ramen för detta arbete.

### 6.4 Sammanfattning

Sammanfattningsvis kan sägas att utnyttjandet av halvlogaritmiska diagram vid uppritandet av tryckförändringarna i ett grundvattenmagasin i samband med tunnelläckage och/eller konstgjord infiltration, har visat sig ge en överskådlig och användbar bild för beskrivning och analys av reagensen i magasinet.

Sambandet, som säger att lutningen för "avståndslinjen" skall vara dubbelt så brant som för "tidslinjen" har i princip visat sig stämma i flera fall. Detta förhållande bör vara till stor nytta vid en preliminär uppskattning av influensområdets ungefärliga utseende och storlek.

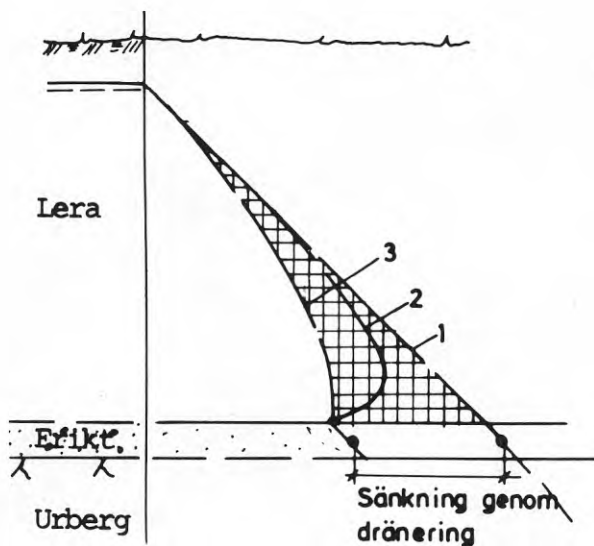
För att redan under planeringsskedet av en tunneldrivning kunna bestämma grundvattenmagasinets hydrauliska egenskaper, bör en kortvarig, noggrant kontrollerad provpumpning, först utföras.

När de hydrauliska egenskaperna sedan är kända föreligger goda möjligheter att på förhand beräkna vad ett läckage kan medföra för trycksänkningar. Man kan även beräkna hur mycket vatten som behöver infiltreras för att motverka ett läckage till en tunnel.

## 7. EFFEKTER I LERLAGRET

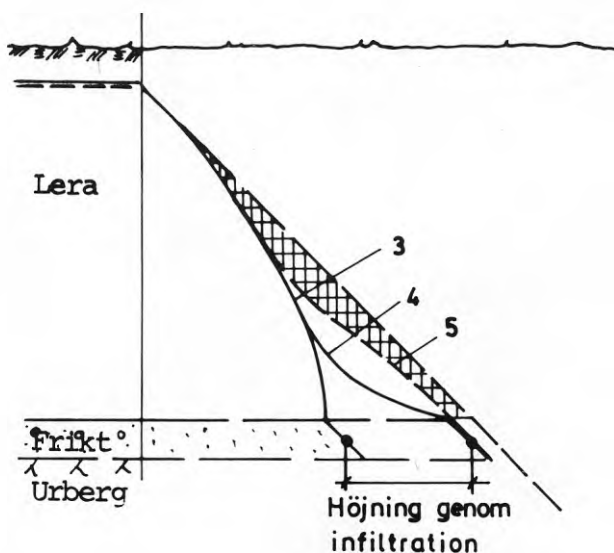
## 7.1 Princip

Det teoretiska förloppet av portrycksförändringen i lerlagret vid avsänkning, respektive tryckhöjning i ett underliggande grundvattenmagasin framgår av figurerna.



Vid avsänkning uppstår en nedåtriktad gradient mot lerlagrets undre gräns. Trycksänkningens spridning uppåt förutsätter utdränering av porvatten, och går således mycket långsamt. På fig 7.1:1 antyder 2 och 3 två stadier i denna utveckling.

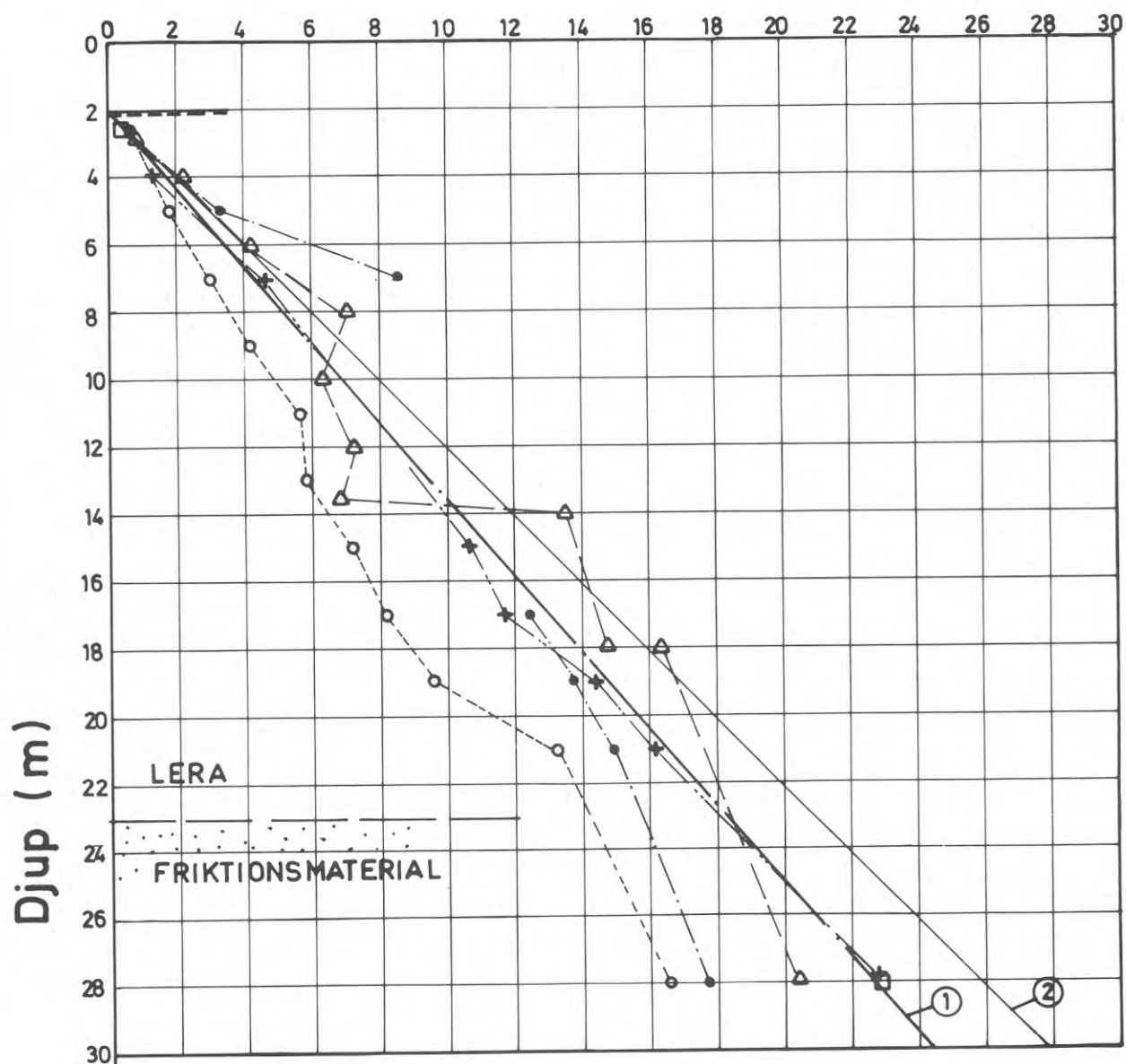
Fig 7.1:1 Tryckförlopp vid avsänkning



Vid tryckhöjning i grundvattenmagasinet sker den motsatta processen, varvid portrycket stiger allt långsammare från underkant lerlager. På fig 7.1:2 antyder 4 och 5 två stadier i denna återhämtning.

Fig 7.1:2 Tryckförlopp vid infiltration

## Tryck (m.v.p.)



① Antagen tryckfördelning  
V 10 1970

② Hydrostatisk trycklinje  
från övre grundvatten-  
ytan

□ Mätning V 10 , 1970  
○ - " - V 19 , 1972  
• - " - V 46 , "  
+ - " - V 33 , 1973  
△ - " - V 52 , 1975

Figur 7.2:1 Portrycksmätning vid punkt B 4



## 7.2 Mätningar

Systematiska portrycksmätningar genom hela lerprofilen har inte utförts rutinmässigt. Däremot har enstaka kontroller gjorts bland annat inom område B. För ytterligare uppföljning har inom ramen för detta projekt gjorts en mätning invid punkt B 4. Resultaten av alla dessa mätserier redovisas i figur 7.2:1.

Som jämförelse har dragits en rak linje mellan värdet för grundvattenmagasinets tryck före avsänkning, och den övre grundvattennivån i samma period. Linjen avviker som synes från den hydrostatiska, vilket kan bero på dränering till andra berganläggningar i närheten.

Den första mätningen (v 19, 1972) gjordes efter 1 1/2 - 2 års trycksänkning, och visar - med reservation för de 4 översta punkterna, som kan vara fel - ett portryck som ligger maximalt 5 m under jämförelselinjen.

De övriga mätningarna är gjorda efter olika perioder av infiltration, och visar - trots en del spridning - en ganska klar tendens till tryckhöjning i lerlagret. Mätresultaten avviker i vissa fall något från den teoretiska tryckfördelningen, men detta kan bero på mätfel eller på störningseffekter i jorden eller mätutrustningen.



## 8 ERFARENHETER FRÅN DRIFTEN

### 8.1 Infiltrerade vattenmängder

Mängden av infiltrerat vatten är i och för sig inte avgörande för effekten av infiltrationen på portrycket i leran. Så länge läckaget inte helt har kunnat stoppas, är det emellertid nödvändigt att tillföra vatten för att kunna höja trycket. Mängden av vatten som krävs för detta beror på läckaget storlek och grundvattenmagasinets kapacitet. I ett tunt siltlager sjunker trycket snabbt vid ett måttligt läckage, samtidigt som små mängder infiltrerat vatten kan återställa läget. Svårigheten är här att verkligen pressa in vatten i sådana jordlager. Vid flera av de utförda proven har detta medfört, att effekten av infiltrationen uteblivit, se t ex B I, fig B:c, B:d.

Gemensamt för flera av anläggningarna har varit att vid oförändrat infiltrationstryck, har den infiltrerade vattenmängden minskat. Detta kan ha två orsaker, dels att tryckhöjningen i grundvattenmagasinet minskar gradienten, dels att utfällningar kring spetsen minskar permeabiliteten. Den förra inträffar relativt snabbt, den senare är en långsammare process. I de här rapporterade proven har de kemiska förutsättningarna för en utfällning inte undersökts på annat sätt än genom vattenanalys, se nedan pkt 8.2.

En höjning av trycket har i regel följts av en kortvarig ökning av vattenmängden, men på längre sikt har den åter sjunkit. Vid många av anläggningarna har dock efter en tid en konstant infiltrationsmängd kunnat upprätthållas vid konstant tryck, även om mängden varit mindre än i början.

### 8.2 Vattenkvalitetens betydelse

Det infiltrerade vattnet erhålls från det kommunala vattenledningsnätet. I fig 8.2:1 redovisas fysikalisk-kemiska analyser på detta vid några av de olika infiltrationspunkterna.

Av analysresultaten framgår bland annat att infiltrationsvattnet har ett pH-värde på mellan 6.9 och 7.9, att vattnet är saltfattigt samt att vattnet har mycket hög järnhalt. Den höga järnhalten, som normalt ej bör finnas i ett kommunalt vatten, beror tro-

Plats: Infiltrationspunkt	A I	B II	B II	B IV	B IV	C II	C II	C II
Datum: År/vecka	75/50	75/40	75/50	75/40	75/50	73/35	75/40	75/50
Temperatur vid provtagning:(enl. uppg.).								
Temperatur vid uppäckningen								
Färgvärde ..... mg/l Pt	50	5	10	20	< 5	15	70	140
Grumlighet ..... FTU	17	1,7	0,9	3,2	0,45	3,2	24	43
Lukt (styrka, art) .....								
Smak (styrka, art) .....								
Bottensats .....	stor	ingen	ingen	t. stor	ingen	t stor	t stor	stor
Permanganatförbrukning ..... mg/l KMnO <sub>4</sub>	10	9		14	8	12	15	8
Glödningsrest (beräkn.) ..... mg/l								
Specifik ledningsförmåga 20°C ..... µS/cm	148	145	147	152	147	145	148	150
pH, pot. ....	6,9	7,4	7,8	6,9	7,9	7,9	7,0	6,9
Ammonium, .....NH <sub>4</sub> ..... mg/l								
Totalhårdhet ..... mg/l Ca								
Totalhårdhet, tyska grader	2,9	2,8	2,7	2,8	2,7	2,5	2,9	2,8
Järn, ..... Fe, ..... mg/l	2,2	0,64	0,53	2,6	0,35	1,5	12	9
Mangan, ..... Mn, ..... "	0,06	0,07	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05	0,07	0,20
Aluminium ..... Al, ..... "								
Bikarbonat, ..... HCO <sub>3</sub> , ..... "	18	18	16	17	16	61	16	13
Klorid, ..... Cl, ..... "	12	16	12	16	12	18	12	13
Fluorid, ..... F, ..... "								
Sulfat, ..... SO <sub>4</sub> , ..... "	39	40	40	43	39	36	41	40
Nitrat, ..... NO <sub>3</sub> , ..... "	2	< 2	2	< 2	3	< 2	< 2	2
Nitrit, ..... NO <sub>2</sub> , ..... "								
Fosfat, ..... PO <sub>4</sub> , ..... "	0,2	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	0,1
Aggressiv kolsyra, ..... CO <sub>2</sub> , ..... "	3	2	3	4	3	1	3	3
Anm:								

Fig 8.2:1 Analys av infiltrationsvatten

Plats: Sektion i tunneln	A -0/283	A -0285	A -0/435	A -0/742	B +0/180	B +0/200	B -0/100
Datum: År/vecka	75/40	75/50	75/40	75/40	75/40	75/50	75/40
Temperatur vid provtagning:(enl. uppg.).							
Temperatur vid uppäckningen							
Färgvärde ..... mg/l Pt	5	10	5	5	5	10	15
Grumlighet ..... FTU	0,75	1,0	1,0	0,95	0,83	0,40	1,0
Lukt (styrka, art) .....							
Smak (styrka, art) .....							
Bottensats .....	t. stor	liten	t. stor	liten	liten	ingen	liten
Permanganatförbrukning ..... mg/l KMnO <sub>4</sub>	9	7	9	14	20	13	23
Glödningsrest (beräkn.) ..... mg/l							
Specifik ledningsförmåga 20°C ..... µS/cm	1230	1040	1600	1640	5175	2850	4190
pH, pot. ....	7,6	9,1	8,3	8,5	7,9	9,4	8,1
Ammonium, .....NH <sub>4</sub> ..... mg/l							
Totalhårdhet ..... mg/l Ca							
Totalhårdhet, tyska grader	11,9	2,2	2,1	6,4	17,9	1,5	19,7
Järn, ..... Fe, ..... mg/l	0,05	< 0,05	0,09	< 0,05	< 0,05	0,06	0,19
Mangan, ..... Mn, ..... "	0,13	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05
Aluminium ..... Al, ..... "							
Bikarbonat, ..... HCO <sub>3</sub> , ..... "	238	176	273	214	308	284	570
Klorid, ..... Cl, ..... "	265	230	380	360	1700	850	1350
Fluorid, ..... F, ..... "							
Sulfat, ..... SO <sub>4</sub> , ..... "	70	69	39	160	55	63	21
Nitrat, ..... NO <sub>3</sub> , ..... "	6	2	< 2	3	15	5	< 2
Nitrit, ..... NO <sub>2</sub> , ..... "							
Fosfat, ..... PO <sub>4</sub> , ..... "	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	0,8	0,2	< 0,1
Aggressiv kolsyra, ..... CO <sub>2</sub> , ..... "	0	0	0	0	0	0	0
Anm:							

Fig 8.2:2 Analys av utläckande grundvatten i tunneln

ligen på ledningsnätets beskaffenhet. I det centrala Göteborg är servisledningarna av järn och ofta mycket gamla. Rostflagor och dylikt borde dock vara bortspolade, då proverna är tagna där vattnet har runnit kontinuerligt i flera år.

Prov på grundvattnet har erhållits från utläckningspunkter i tunneln. Analysresultaten framgår av fig 8.2:2. Härav framgår bland annat, att grundvattnet är mera basiskt med ett pH-värde på mellan 7.6 och 9.4, att salthalten är hög eller mycket hög samt att järnhalten är låg.

Till följd av den konstaterade höga järnhalten på infiltrationsvattnet är riskerna för en igensättning av infiltrationsspetsarna stor. Till denna igensättning medverkar skillnaden i vattnens pH-värde. Det järn som finns löst i det något sura vattenledningsvattnet, faller ut som järnhydroxid, då pH-värdet ökar vid kontakten med det basiska grundvattnet. Detta förhållande är troligen en av orsakerna till att infiltrationskapaciteten efter en viss tid avtagar för flertalet av infiltrationsförsöken.

### 8.3 Påverkan på grundvattnet

I de fall då infiltrationsvattnet är kommunalt dricksvatten, skiljer sig detta säkert från grundvattnet på större djup. Någon undersökning av vad detta kan ha för effekt i grundvattenmagasinet har inte ansetts nödvändig, då inga grundvattentäcker finns inom de aktuella områdena.

Vid infiltration av läckagevatten från tunnlar skulle normalt inga skillnader i vattenkvalitet uppstå. Under sprängnings-, tättnings- och monteringsarbetena i tunneln kan emellertid vissa föroreningar tillföras läckagevattnet, varför anläggningar som avses att drivas på detta sätt, även bör kunna förses med kommunalt vatten.

### 8.4 Påverkan på jordlagren

Jordlagren i grundvattenmagasinet genomströmmas av avsevärda vattenmängder i närheten av infiltrationsrören. Därvid kan risk uppstå för dels borttransport av jordpartiklar, dels för påverkan på de krafter, som verkar mellan jordpartiklarna.

Någon närmare undersökning av dessa frågor har inte gjorts, då man har bedömt riskerna som små jämfört med fördelarna med infiltrationen. Det har heller inte i något fall uppträtt sådana deformationer eller sättningar i närheten av infiltrationsanläggningarna, som kan tyda på en kompression i de djupare jordlagren.

#### 8.5 Ekonomi

Kostnaderna att utföra en infiltrationsanläggning varierar inom vida gränser. I de här redovisade 9 fallen kostade den enklaste som får vatten via en privat fastighet, uppskattningsvis högst 5.000 kr, medan anläggningen som infiltrerar läckagevatten, sannolikt kostade över 50.000 kr.

Av stor betydelse är också vattenförbrukningen, som varierar mellan ca 0.7 och ca 15 l/min. Med ett pris per m<sup>3</sup> kommunalt vatten av 1:20 kr (exklusive avloppsavgift) blir förbrukningskostnaden per månad ca 36 kr för den förra och 780 kr för den senare. Det kan således vara god ekonomi att använda läckagevatten för infiltration.

## 9 SAMMANFATTNING

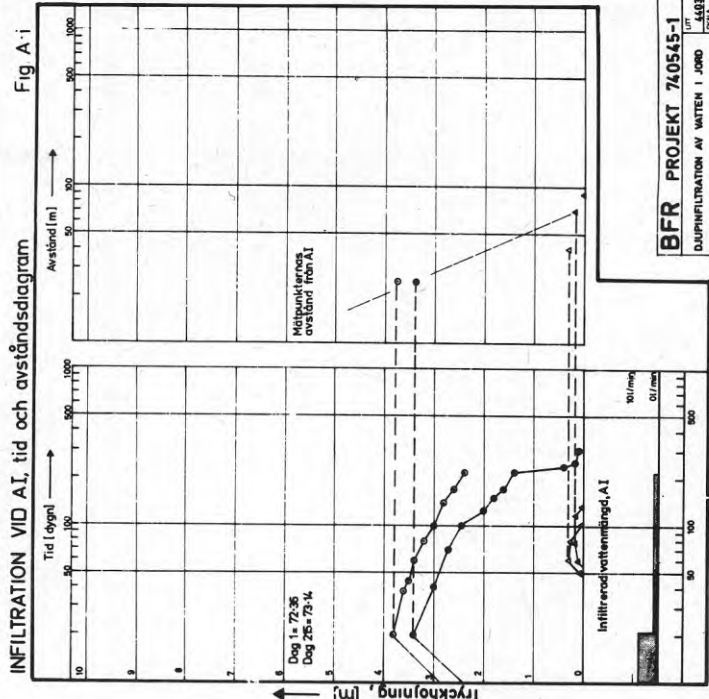
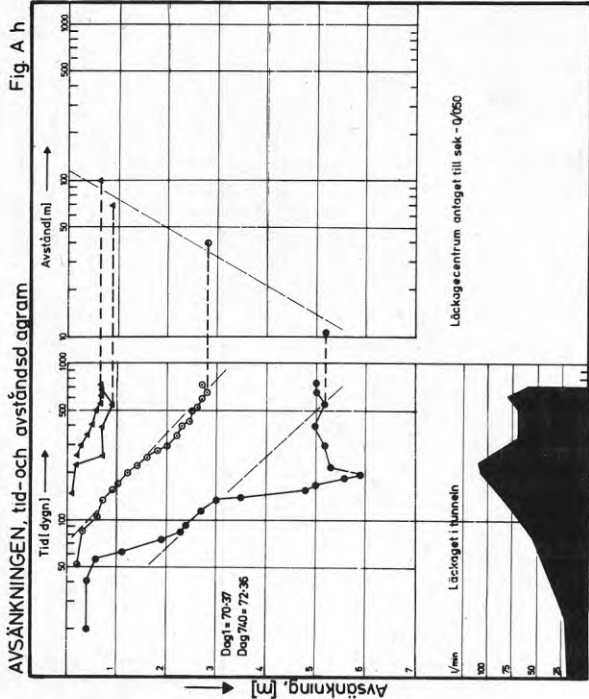
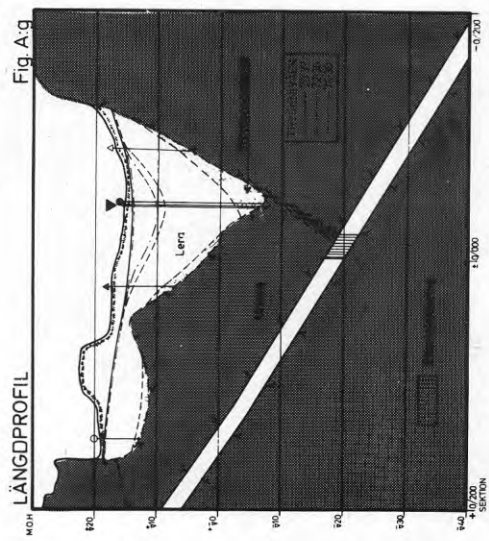
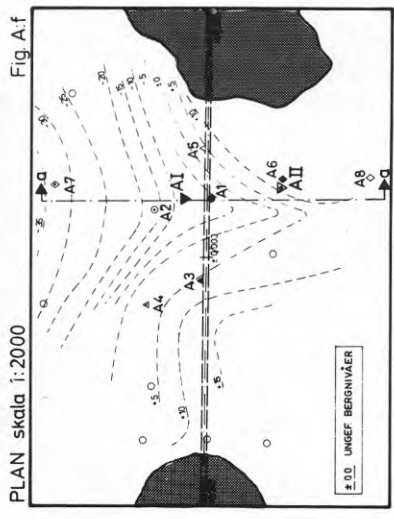
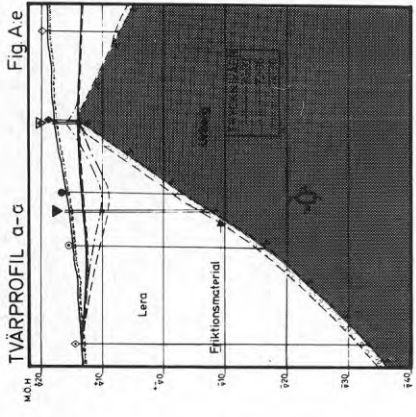
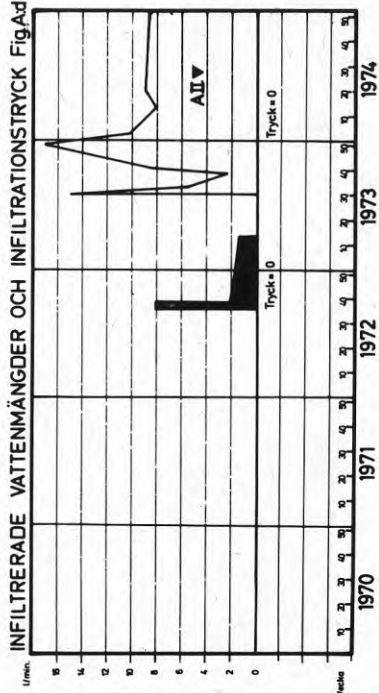
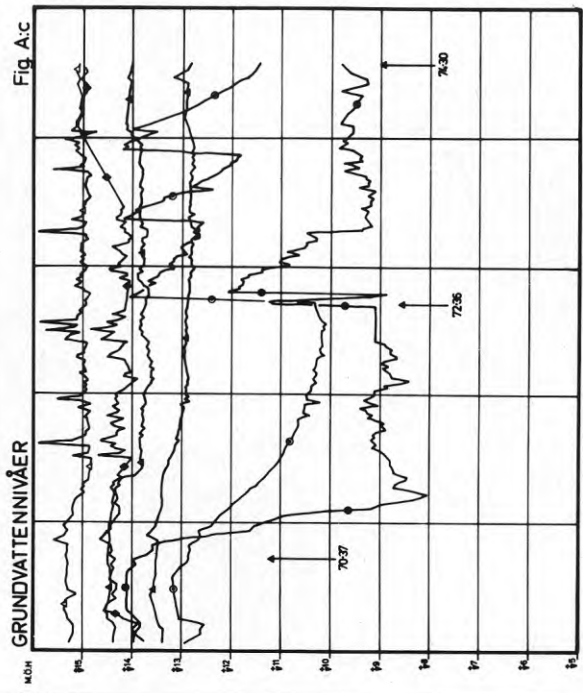
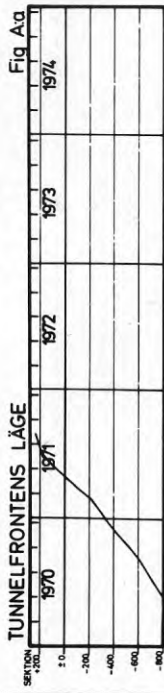
Rapporten redovisar prov med djupinfiltration av vatten i jord inom fyra områden i Göteborg. Totalt behandlas 9 olika anläggningar inom dessa områden. En del har varit kortvariga och har avslutats, medan andra är gjorda för permanent drift.

Geologiskt utgöres områdena av lerfyllda urbergsdalar, med djup ned till 50-60 m, där rörligt grundvatten endast förekommer i friktionsjordlager mellan leran och berget. I samband med tunneldrivning i urberget har viss dränering av grundvattenmagasinet ägt rum, vilket medfört ett tryckfall i friktionsjordlagret och efterhand även i lerlagret.

Genom att tillföra vatten med övertryck i rör ned till grundvattenmagasinet, har tryckfallet i regel kunnat bromsas, och inom något område även upphävas. Det har i rapporten visats, hur tryckändringarna i grundvattenmagasinet kan behandlas teoretiskt, vilket gör det möjligt att i förväg bedöma nödvändig kapacitet på en infiltrationsanläggning.

Från ett område redovisas även tryckändringarna i lerlagret vid avsänkning respektive tryckhöjning i grundvattenmagasinet. Det synes här klart, att infiltrationsansträngningarna har givit resultat i form av en återhämtning av portrycket i lerlagren.



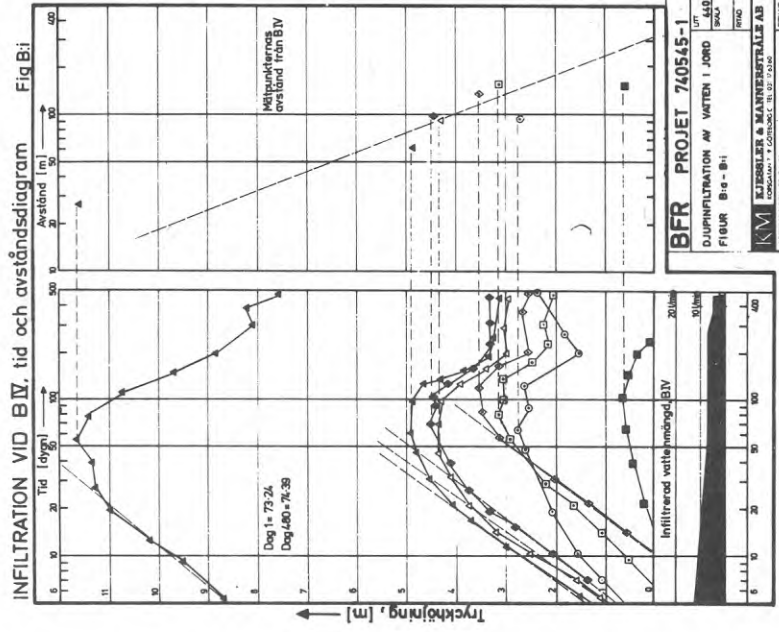
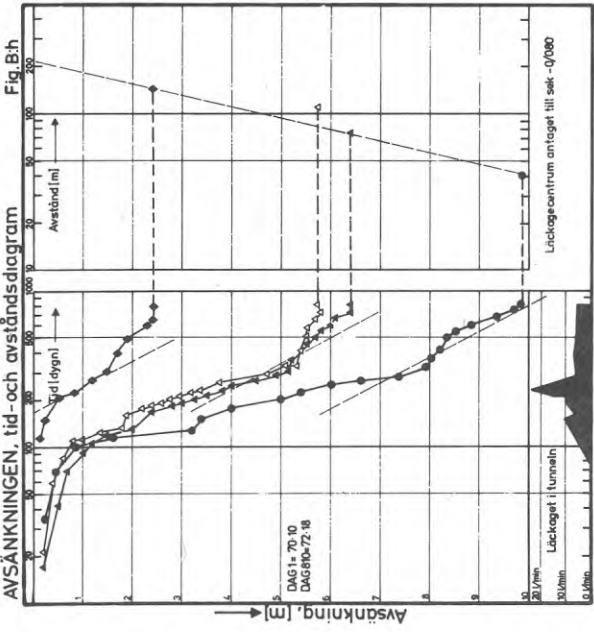
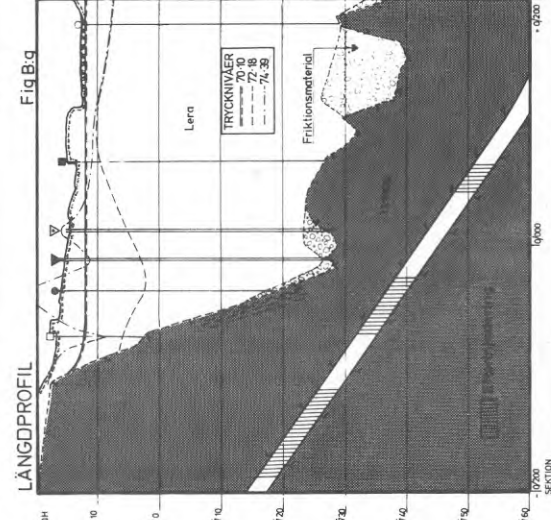
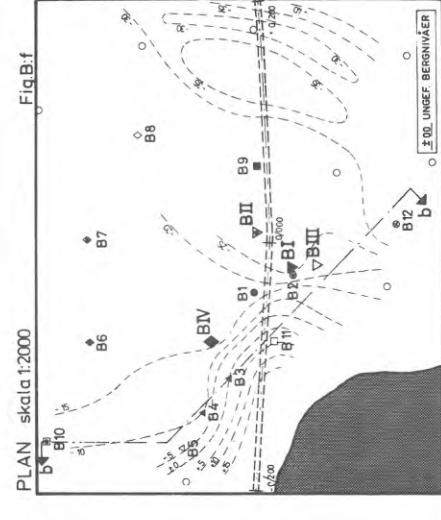
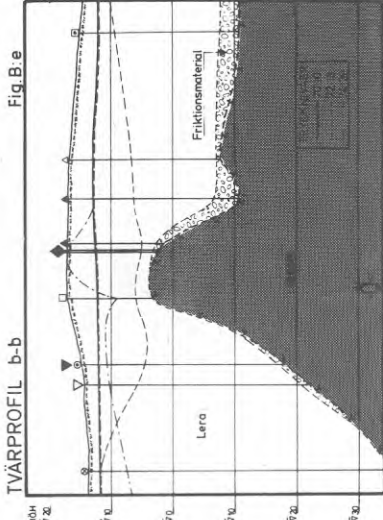
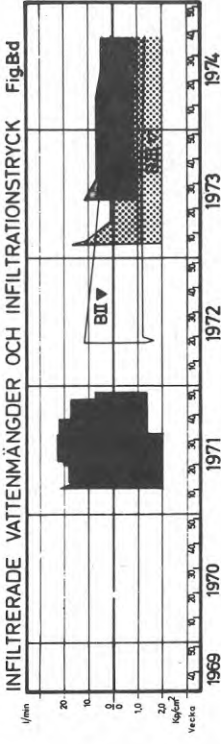
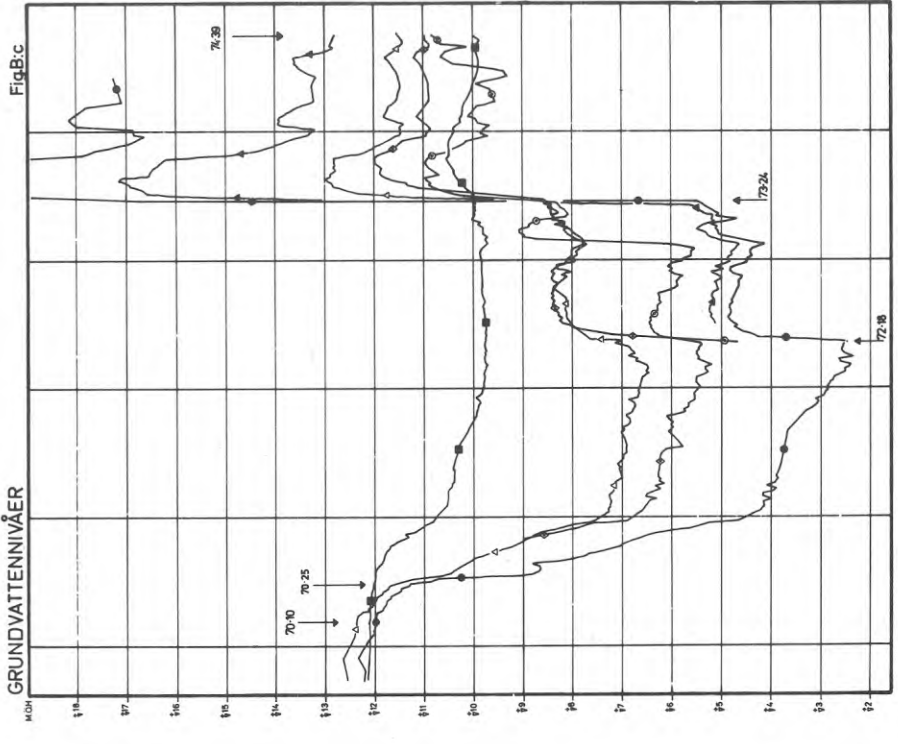
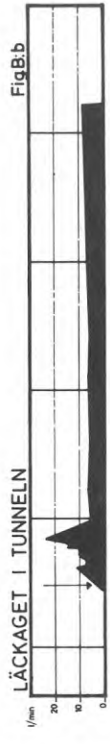
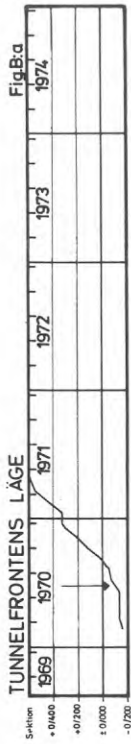


**BFR PROJEKT 740545-1**

DUPPLIKATION AV VATTEN I JORD

FIGUR A.g - A.i

KM EKSJELLER & MANNERSTÄLLE AB  
 ÖSTERÅKERGATAN 74-82-88  
 191 00  
 1



**BFR PROJET 740545-1**

UTVÄRDERING AV VATTEN I JORD

FLÖDE BIV - BII

KM BÄSKÖL & MÅNTERSTRÅLE AB

UNDERSÖKNING 1969-1974

REVISOR *Carl Sjö*

REV 2



INFILTRATION VID B II, tid och avståndsdigram

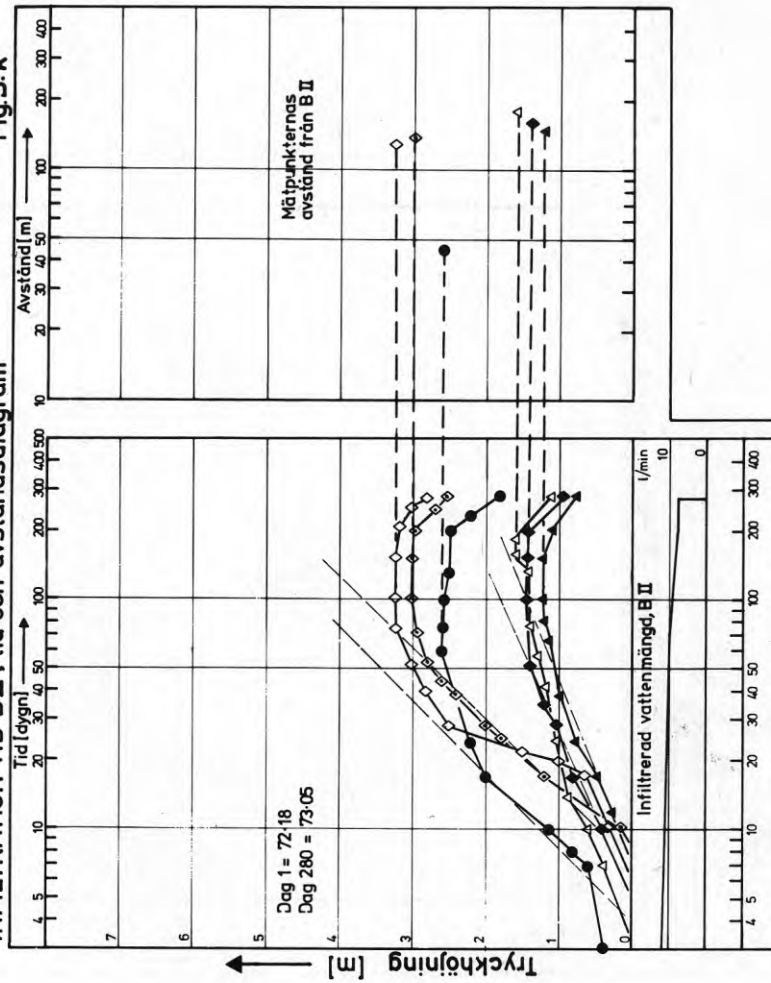


Fig.B:k

INFILTRATION VID B III, tid och avståndsdigram

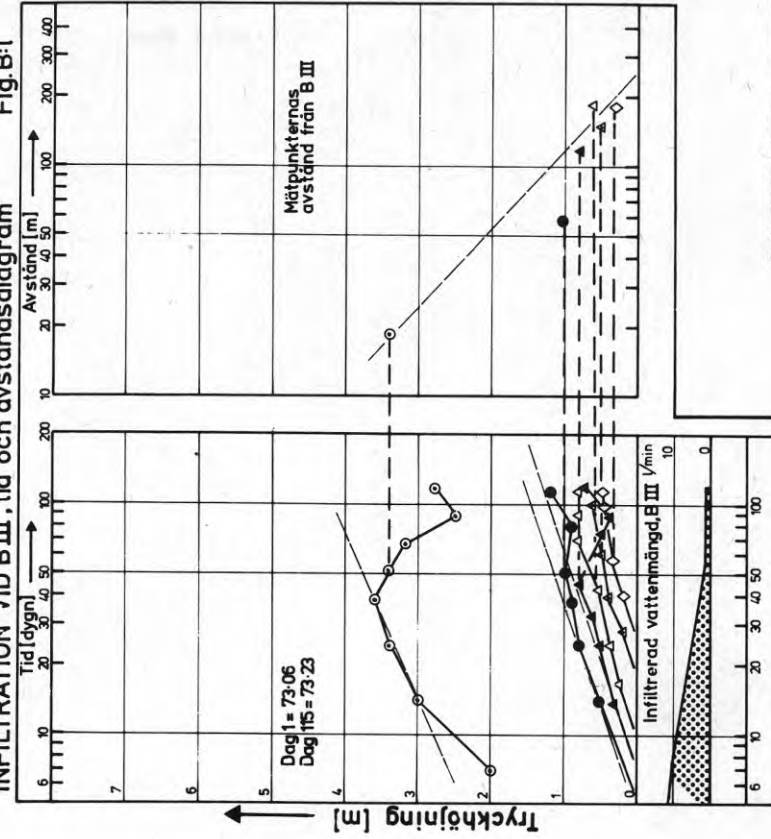


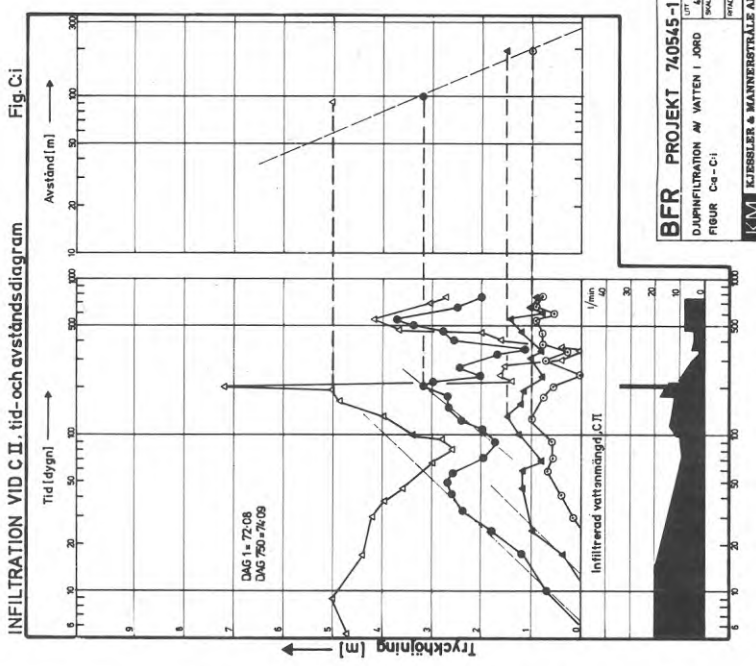
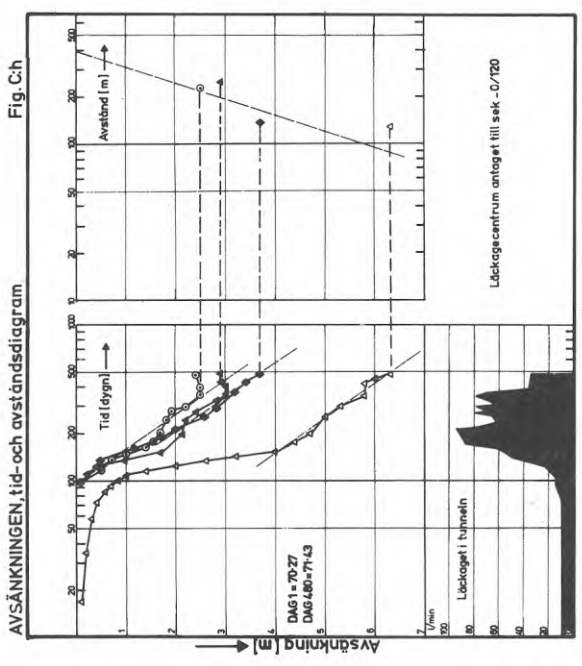
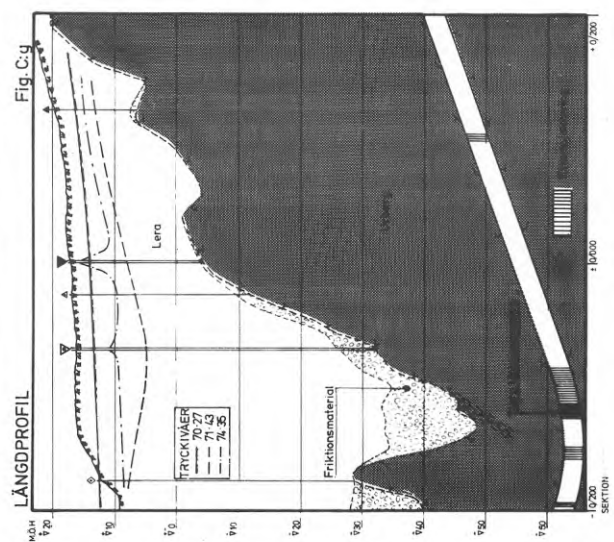
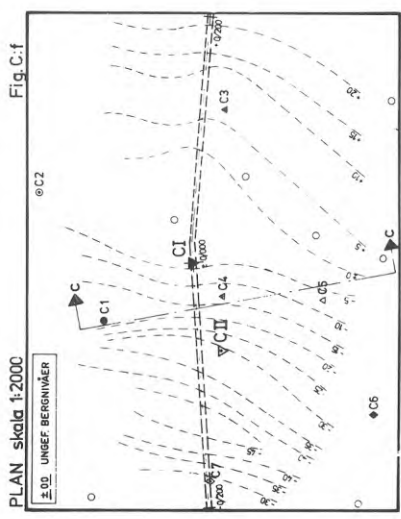
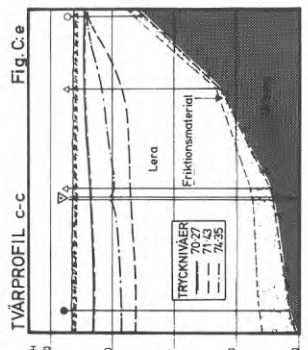
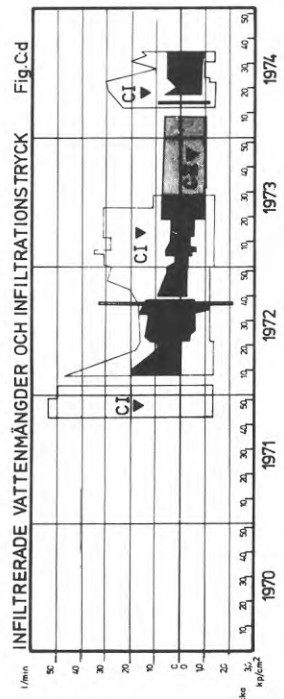
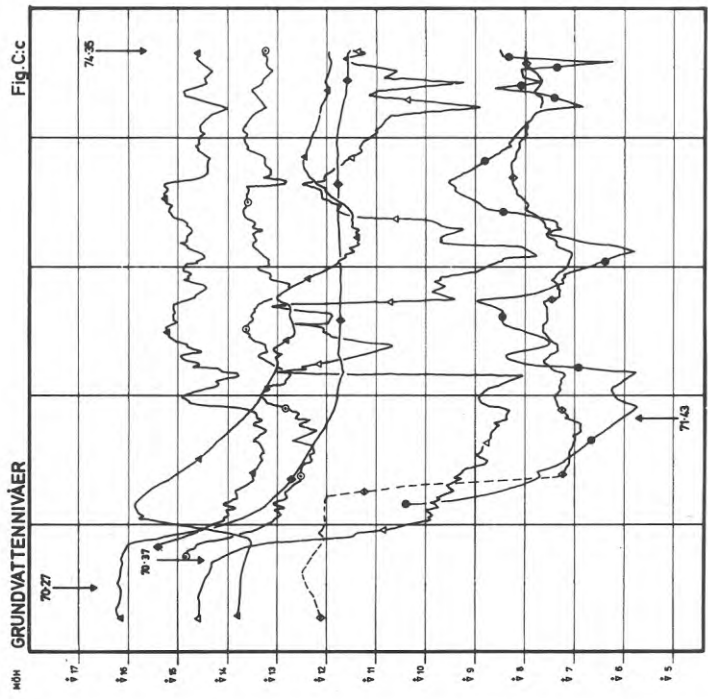
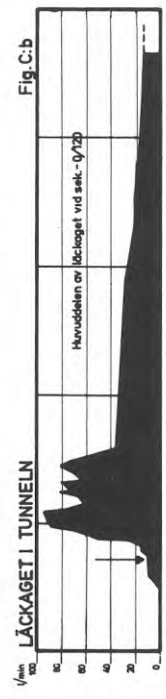
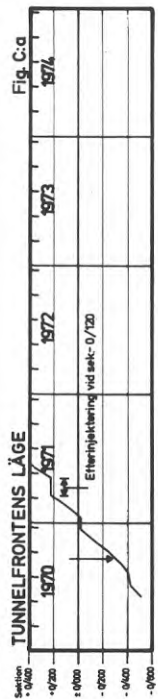
Fig.B:l

**BFR** PROJEKT 740545-1

LUTT. 440392  
SKALA  
RITAD ✓

**KM** KJESSLER & MANNERSTRÅLE AB  
FORSÅGAN 7-9 41116 GÖTEBORGS C. TEL. 031 172800  
GÖTEBORGS DEN 74-05-01

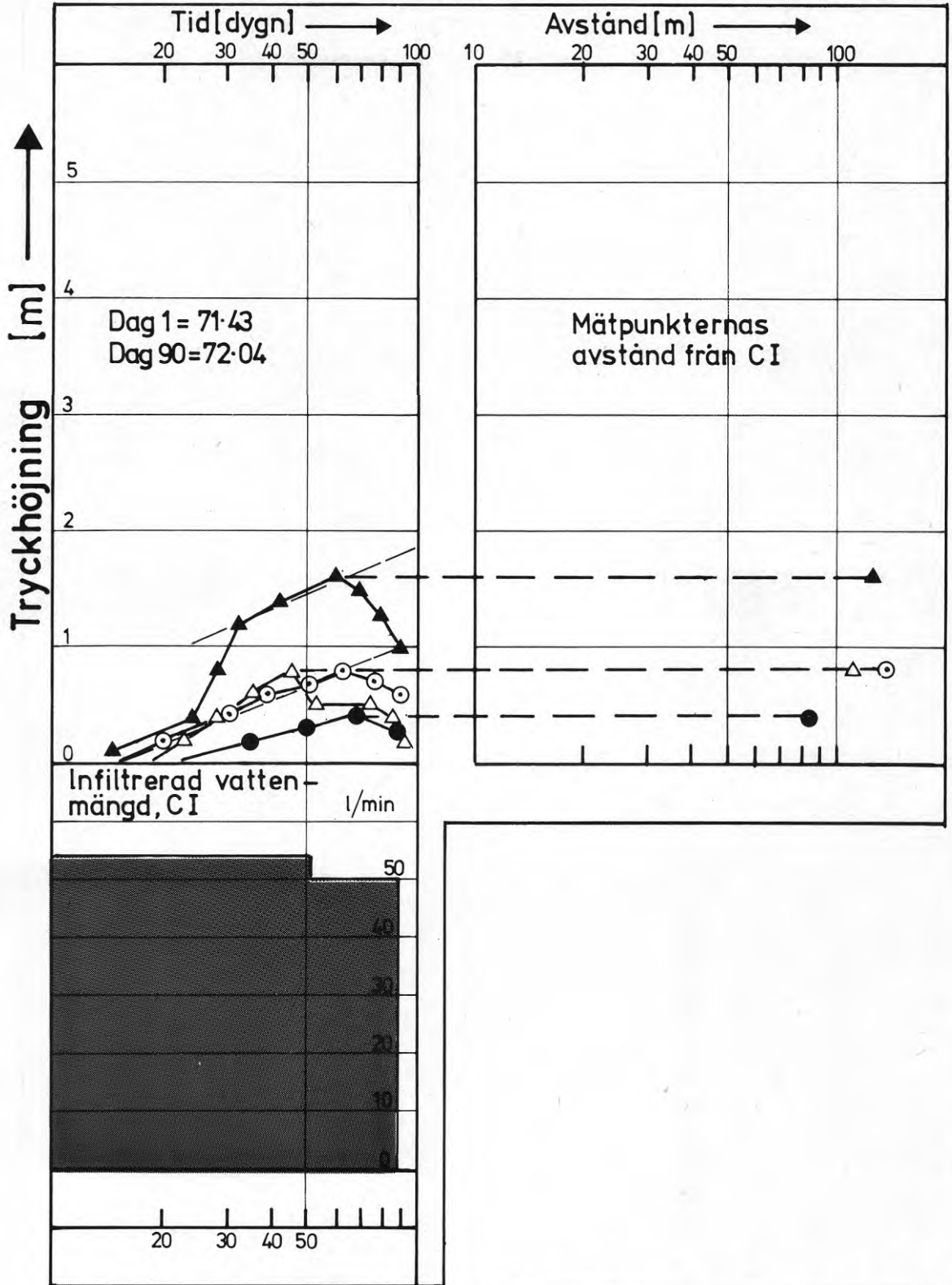
REV 3



# INFILTRATION VID CI, tid och avståndsdigram

4a

Fig. C:k



**BFR PROJEKT 740545-1**

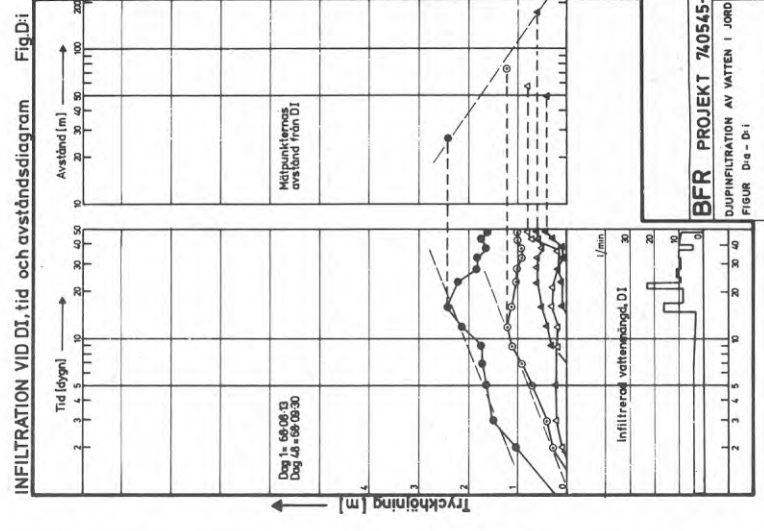
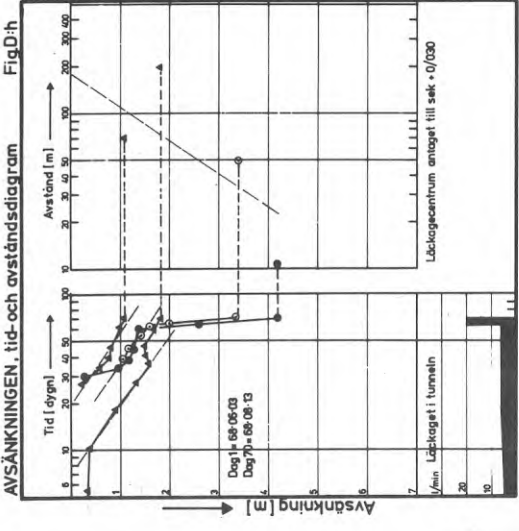
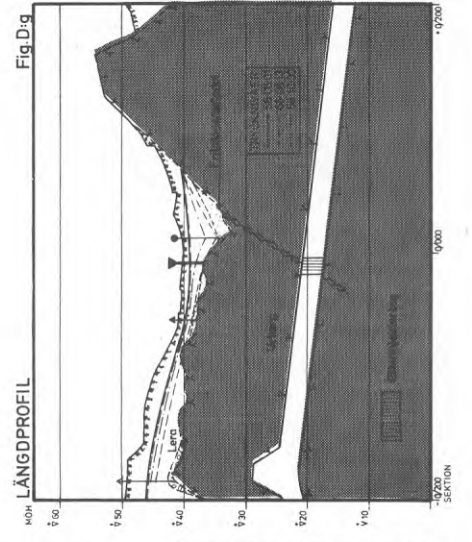
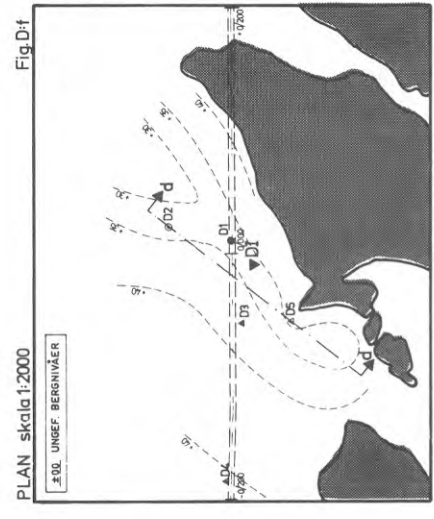
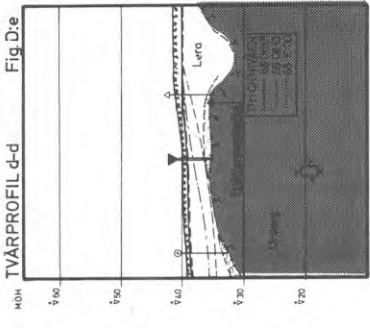
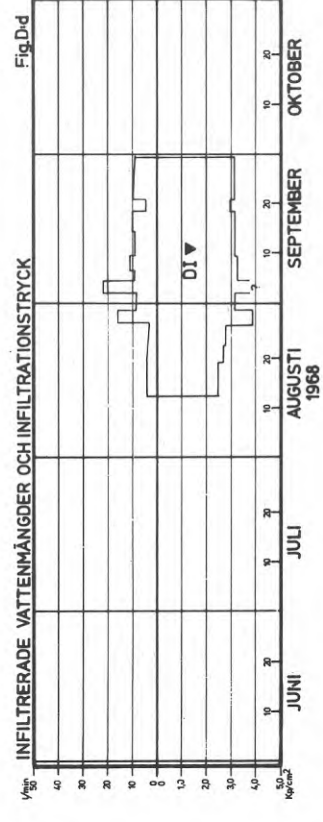
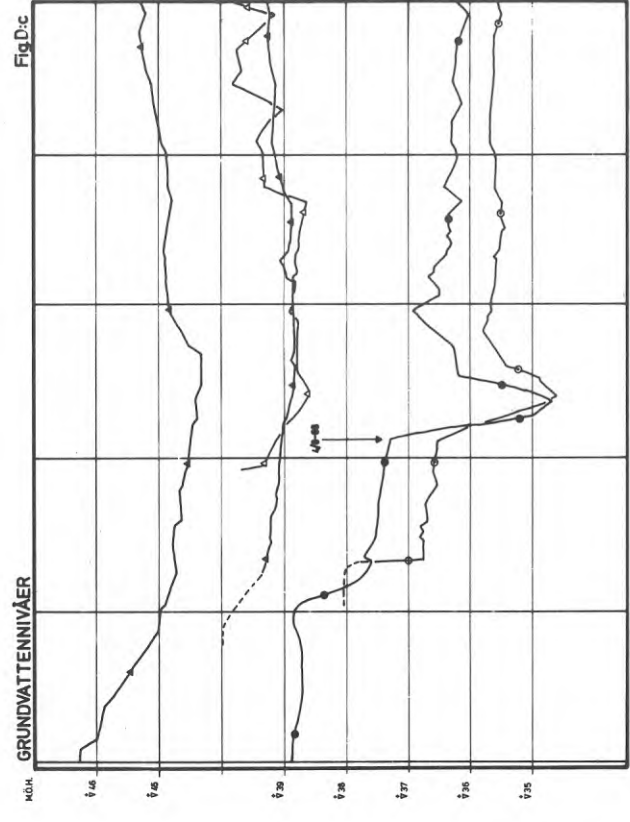
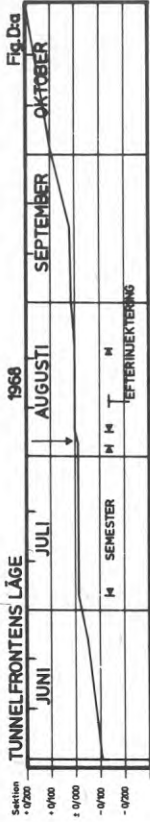
DJUPINFILTRATION AV VATTEN I JORD

FIGUR C:k

LITT. 440392

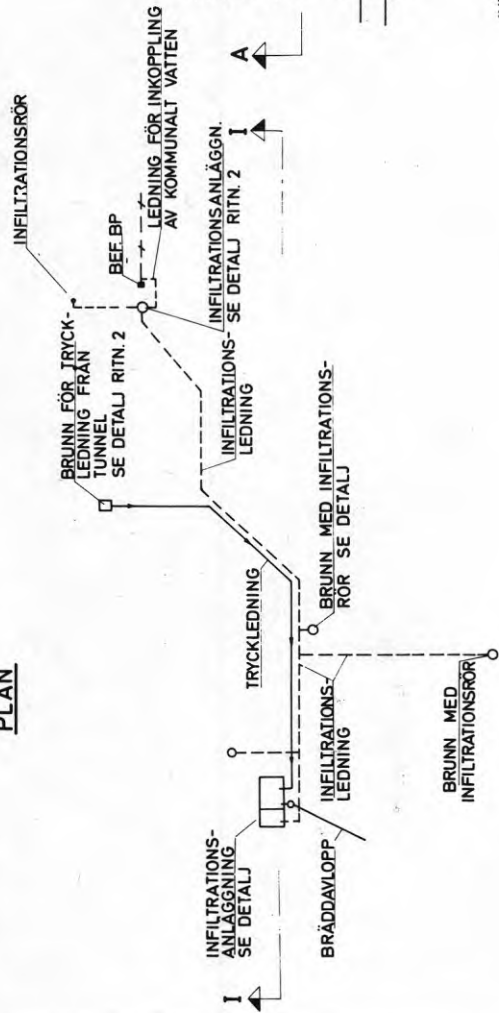
GÖTEBORG DEN 76-03-01

*P. Andersson*

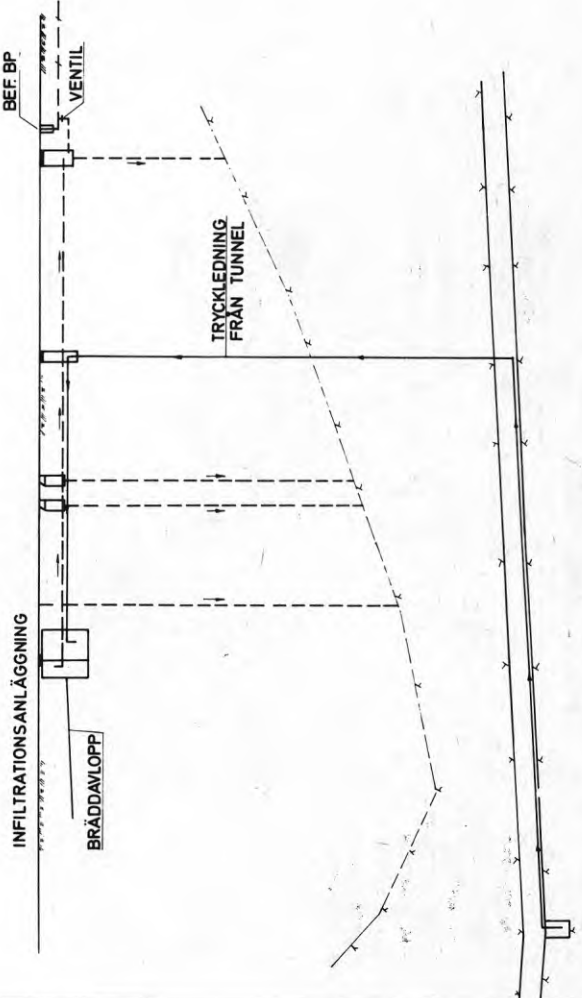




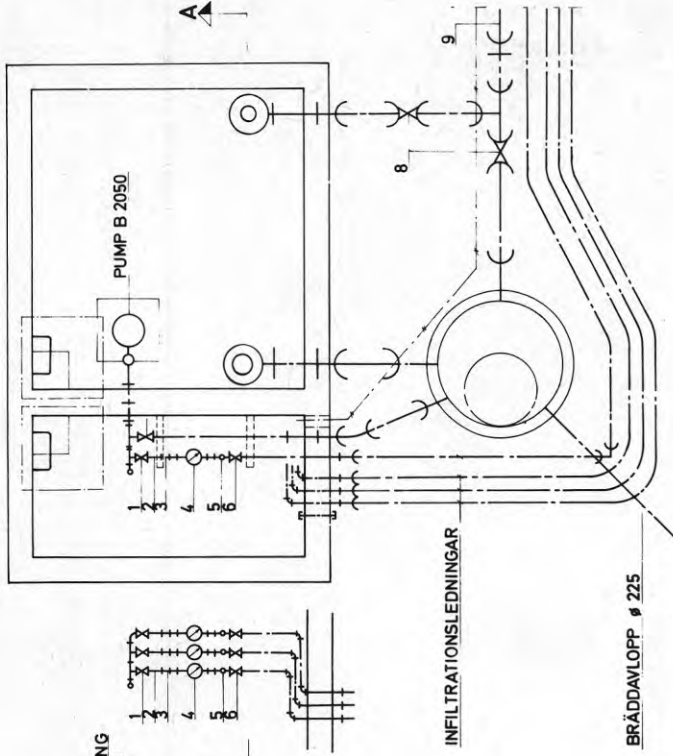
**PLAN**



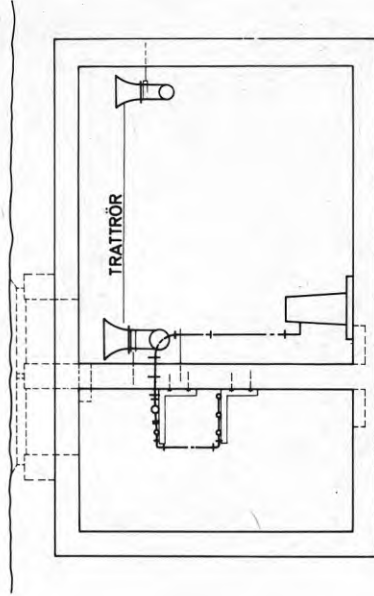
**SEKTION I-I**



**PLAN**



**SEKTION A-A**



- 1 SKJUTVENTIL
- 2 SMUTSFILTER
- 3 REDUCERVENTIL
- 4 VATTENMÄTARE
- 5 MANOMETER
- 6 STOPPVENTIL
- 7 SKJUTVENTIL
- 8 SLUSSVENTIL
- 9 TRYCKAVLOPP





**R43:1976**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740545-1 från  
Statens råd för bygnadsforskning till Kjessler & Mannerstråle AB,  
Göteborg.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm  
Grupp: konstruktion**

**Pris: 20 kr + moms**