



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 R58:1977

971

**Kontroll av grund-
vattennivån genom
infiltration via tun-
nel — ett fullskale-
försök**

Byggnadsstatik

**Karl-Gösta Ejerholm
Bengt Spångberg
Per Lennart Svensson**

Byggforskningen

R58:1977

KONTROLL AV GRUNDVATTENNIVÅN GENOM INFILTRATION
VIA TUNNEL - ETT FULLSKALEFÖRSÖK

av Karl-Gösta Ejerholm, Bengt Spångberg och
Per Lennart Svensson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
740378-6 från Statens råd för byggnadsforskning
till Stockholms vatten- och avloppsverk.

Nyckelord:
nederbörd
regn
dagvatten
variabilitet
dimensionering

UDK 556.12
628.22
551.577

R58:1977

ISBN 91-540-2717-9
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1977

INNEHÅLL

FÖRORD	5	
1	BAKGRUND	7
1.1	Projektets syfte	7
1.2	Projektets organisation och ekonomi	15
2	KISTA OMRÅDESBESKRIVNING	17
2.1	Allmänt, topografi	17
2.2	Hydrologi	17
2.3	Berggrundsgeologi	17
2.4	Geoteknik	17
2.5	Bebyggelse	23
3	PROBLEMATIK	27
3.1	Allmänt	27
3.2	Grundvattensänkning	27
3.3	Sättningar	31
3.4	Grundförstärkningar	31
3.5	Förvaltningsåtgärder till följd av sättningar	31
4	INFILTRATIONSTUNNELFÖRSLAG	33
4.1	Allmänt	33
4.2	Förundersökningar	33
4.3	Mätstationer	33
4.4	Tunnelförslag	35
4.41	Tunnelsträckning	35
4.42	Infiltrationsborrhål	35
4.43	Nivåregleringsbrunn	38
4.44	Tätningvägg	38
4.45	Mätbarr	38
5	UTFÖRANDE	41
5.1	Tunneldrivning	41
5.2	Infiltrationsborrhål	41
5.3	Nivåregleringsbrunn	41
5.4	Tätningvägg	42
5.5	Kostnader	42
6	DRIFT	45
7	UPPFÖLJNING, MÄTNINGAR	53
7.1	Grundvattenobservationer	53
7.2	Portrycksobservationer	53
7.3	Sättningsobservationer	55
8	UTVÄRDERING	67
8.1	Grundvattenkontroll	67
8.2	Övrigt	67

9	FRAMTIDA ANVÄNDNING	69
9.1	Exploateringsområden	69
9.12	Grundvattenkontroll	69
9.13	Jordförstärkning - uttagning av sättningarna före utbyggnad av ett område	73
9.2	Saneringsområden	73
9.3	Metodens begränsningar	73
10	EKONOMISKA ASPEKTER	75
11	METODEN SEDD I ETT STÖRRE SAMMANHANG	75
Bilaga 1	KORTFATTAD KRONOLOGISK REDOGÖRELSE FÖR FORSKNINGSGRUPPENS VERKSAMHET	76
Bilaga 2	LITTERATURFÖRTECKNING	78
	SAMMANFATTNING	79

FÖRORD

Forskningsrapporten syftar till att praktiskt utprova och utvärdera en metod att kontrollera och styra grundvattennivån inom ett utbyggt område. Stockholms vatten- och avloppsverk har varit huvudman för projektet och har även svarat för projektering av anläggningen. HSB:s Riksförbunds geotekniska sektion har svarat för mätutrustning, mätningar och utvärdering samt bidragit med rådgivning. Hagconsult har svarat för bergtekniska undersökningar och rådgivning. K O Wikström vid Stockholms gatukontor har bidragit med uppgifter om grundvattennivå och geoteknik. Manuskriptgranskning har utförts av överdirektör L Andréasson och överingenjör G Lindskog vid Statens geotekniska institut samt civilingenjör N Lilja vid HSB:s Riksförbunds geotekniska sektion.

Projektet har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning, Styrelsen för teknisk utveckling, Stockholms vatten- och avloppsverk och Stockholms fastighetskontor.

KONTROLL AV GRUNDVATTENNIVÅN GENOM INFILTRATION VIA TUNNEL - ETT FULLSKALEFÖRSÖK

1. BAKGRUND

1.1 Projektets syfte

Inom bland annat Stockholm och Göteborg har stora skador inträffat till följd av grundvattensänkningar. Orsaken till dessa grundvattensänkningar är till viss del inläckning i utsprängda tunnlar. Grundförstärkningar för stora kostnader projekteras enbart på grund av förväntade grundvattensänkningar orsakade av dessa tunnlar. Det kan ifrågasättas om bergtunnlar kan utföras till rimliga totalkostnader om man i kostnads-kalkylen för tunneln även inkluderar kostnader för tätinjektering, grundförstärkningar och skador orsakade av grundvattensänkningar.

För att komma till rätta med de olägenheter en sjunkande grundvattenyta för med sig startades ett projekt med syfte att påvisa en användbar metod. Metoden innebär att vatten infiltreras från en utsprängd vattenfylld tunnel och därmed återställs eller bibehålls grundvattennivån på ursprunglig nivå. Vattnet går ut i jorden dels via naturliga spricksystem, dels via borrhål genom tunnelns tak (FIG 1). Fullskaleförsöket är utfört inom Kista, Norra Järvafältet, Stockholm, där grundvattensänkningar på upp till 5,5 m uppmätts. Målsättningen har varit att återställa den naturliga grundvattennivån och därmed kunnat undvika sättningar. Försöket med tunneln har utgjort ett för Stockholmstrakten unikt tillfälle att utprova en metod att återställa grundvattenbalansen utan risk att skada befintlig bebyggelse i det kritiska skede innan tunneln vattenfylls.

Inom Sverige har under några år pågått en intensiv forskning inom området. Den forskning som direkt har anknytning till föreliggande anges i BFR:s programgrupp för geohydrologisk forskning, Slutrapport, under mål 2: Kontroll och styrning av de geohydrologiska förloppen, men även mål 1: Geohydrologiskt planunderlag för byggprocessens beslutsfattare.

Vissa infiltrationsförsök från tunnlar har utförts i Stockholm och Göteborg. Föreliggande metod avses att bli kompletterad att genom injektering åstadkomma täta tunnlar. Långt driven tätinjektering blir i de flesta fall kostsam. Erfarenhetsmässigt vet man också att även mycket små inläckande vattenmängder kan orsaka stora grundvattensänkningar. Man har dessutom ännu ej helt lyckats lösa problemet med tätinjektering. Djupinfiltrering genom infiltrationsbrunnar från markytan är ett annat alternativ. Hittills har denna metod icke gett önskat resultat. Fördelarna med föreliggande metod är att man kan tillföra vattnet dels genom vattengenomsläppliga zoner i berget, dels genom borrhål som utförs från infiltrationstunneln

upp till friktionsmaterialet under leran. Anläggningskostnaden för infiltrationstunneln är jämförbar med tilläggskostnader för tätinjektering i befintliga tunnlar.

Skall grundvattenytan kontrolleras genom infiltration och detta skall vara ett alternativ till grundförstärkningar, erfordras ett system, som fungerar till hundra procent. Det är mot den bakgrunden försöket utförs i full skala. Erfarenheter från uppföljning av försöket skall ge kunskaper för projektering av optimala infiltrationsanläggningar. Ovan beskrivna problem och infiltrationstunnelns plats i sammanhanget redovisas på FIG 2-7. FIG 2-5 visar hur utbyggnaden av ett område typ Kista sker i dag med grundvattensänkningar och därav orsakade grundförstärkningar som följd. FIG 6-7 visar hur man med hjälp av infiltrationstunneln kan hålla grundvattenytan på önskad nivå och därmed minimera grundförstärkningar.

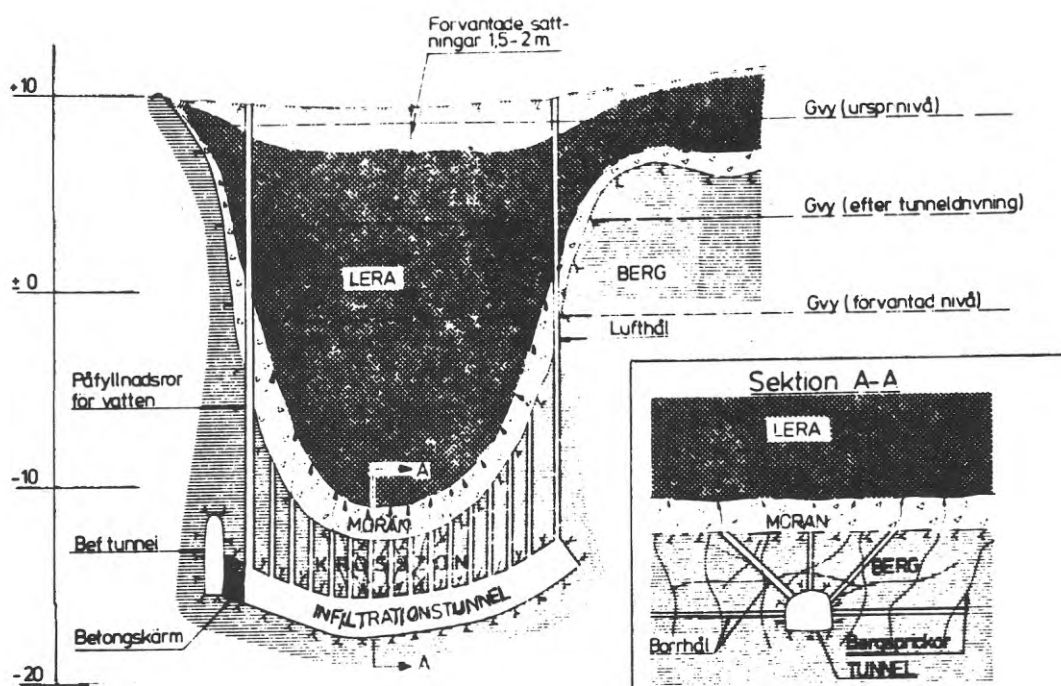


FIG 1. Principskiss över infiltrationstunnel. Vatten fylls i påfyllningsrör och leds via tunneln och borrhålen till sprickor i berget och till moränen. Systemet fungerar enligt principen kommunicerande kärl.

FIG 2. Exploateringsområde. Före exploatering.

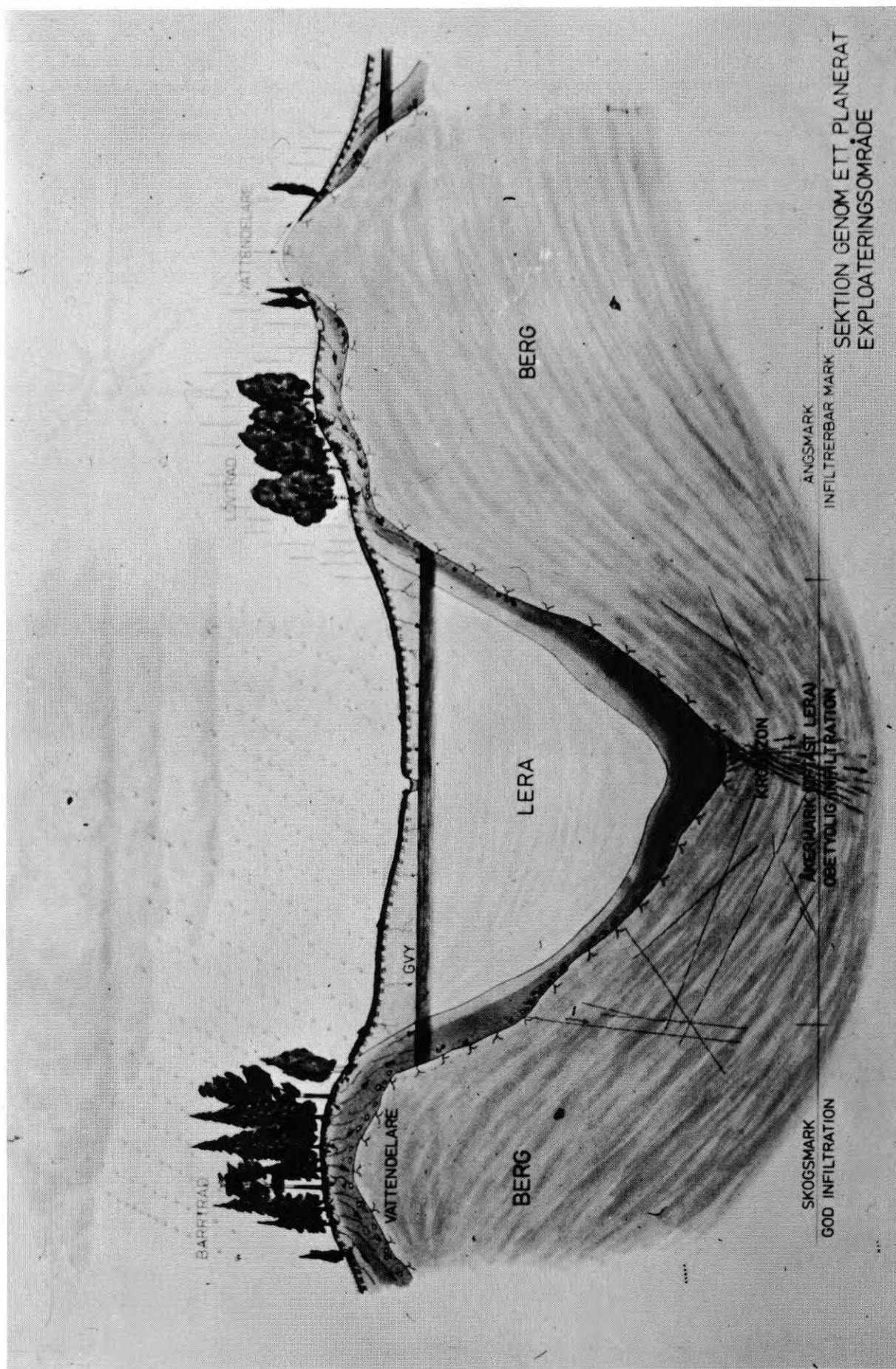


FIG 3. Exploateringsområde. Terrasseringsarbeten påbörjade.

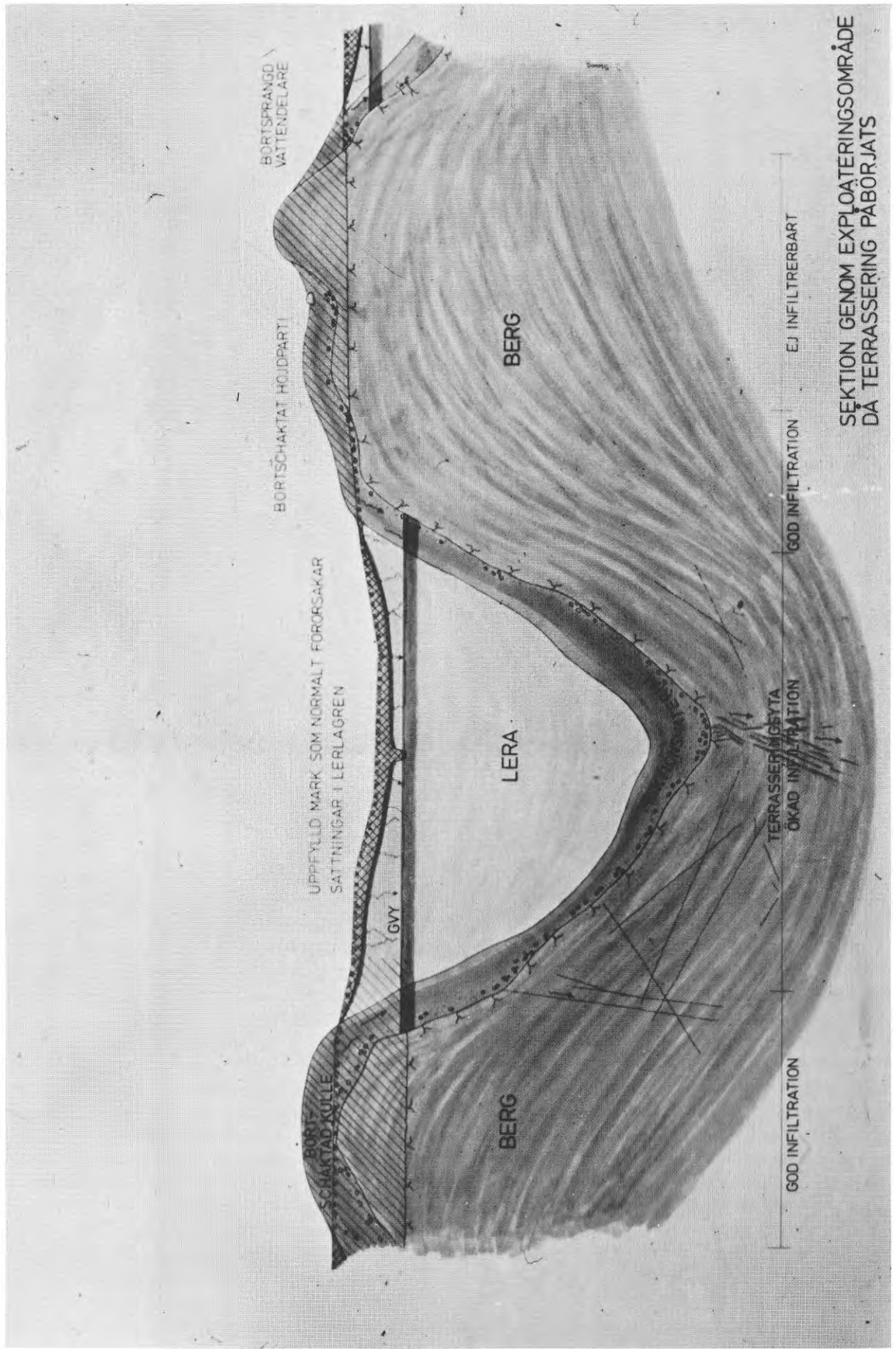


FIG 4. Exploateringsområde. Avloppstunnel har sprängts ut.

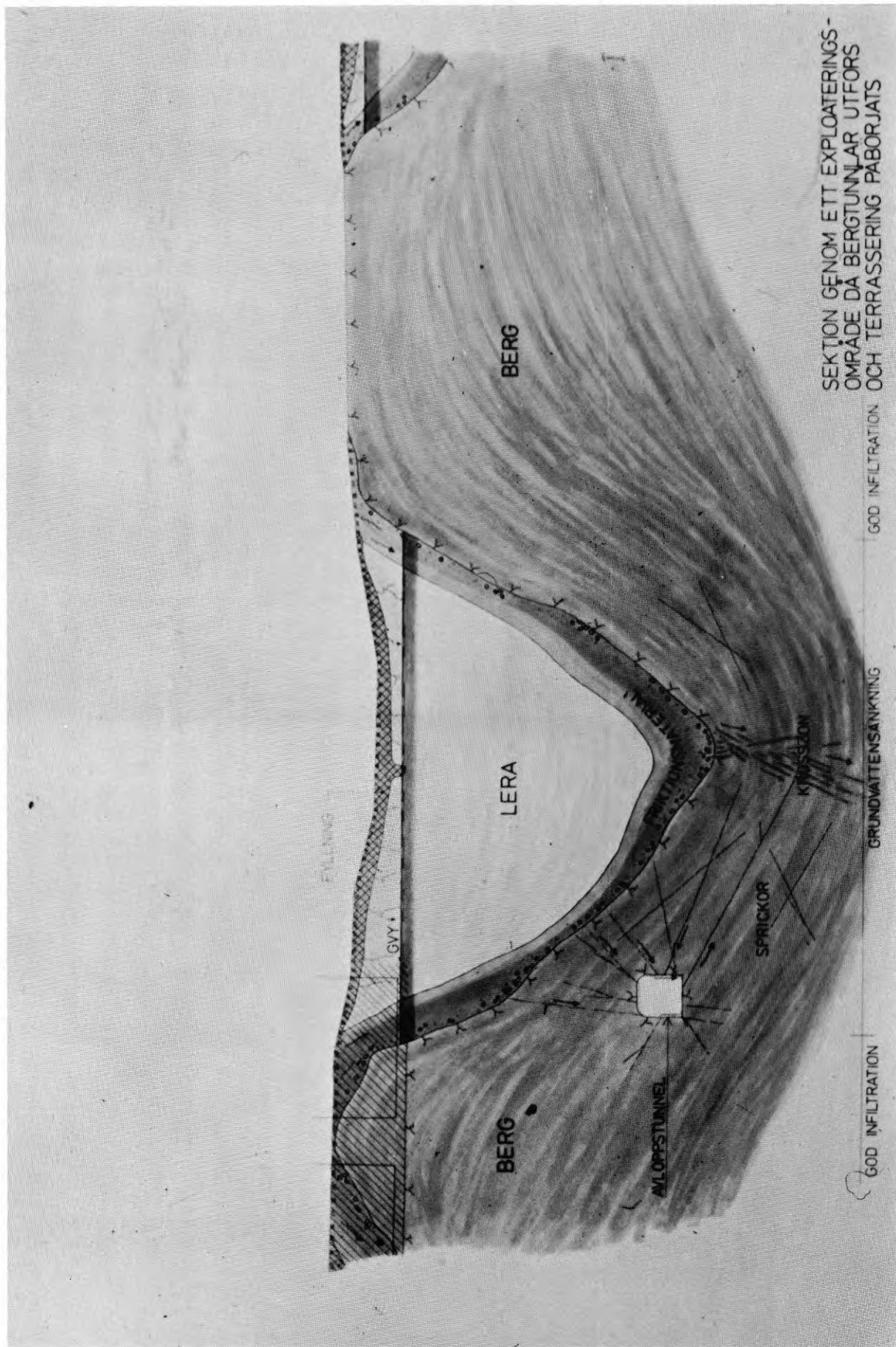


FIG 5. Exploateringsområde. Utbyggt med omfattande grundförstärkningar.

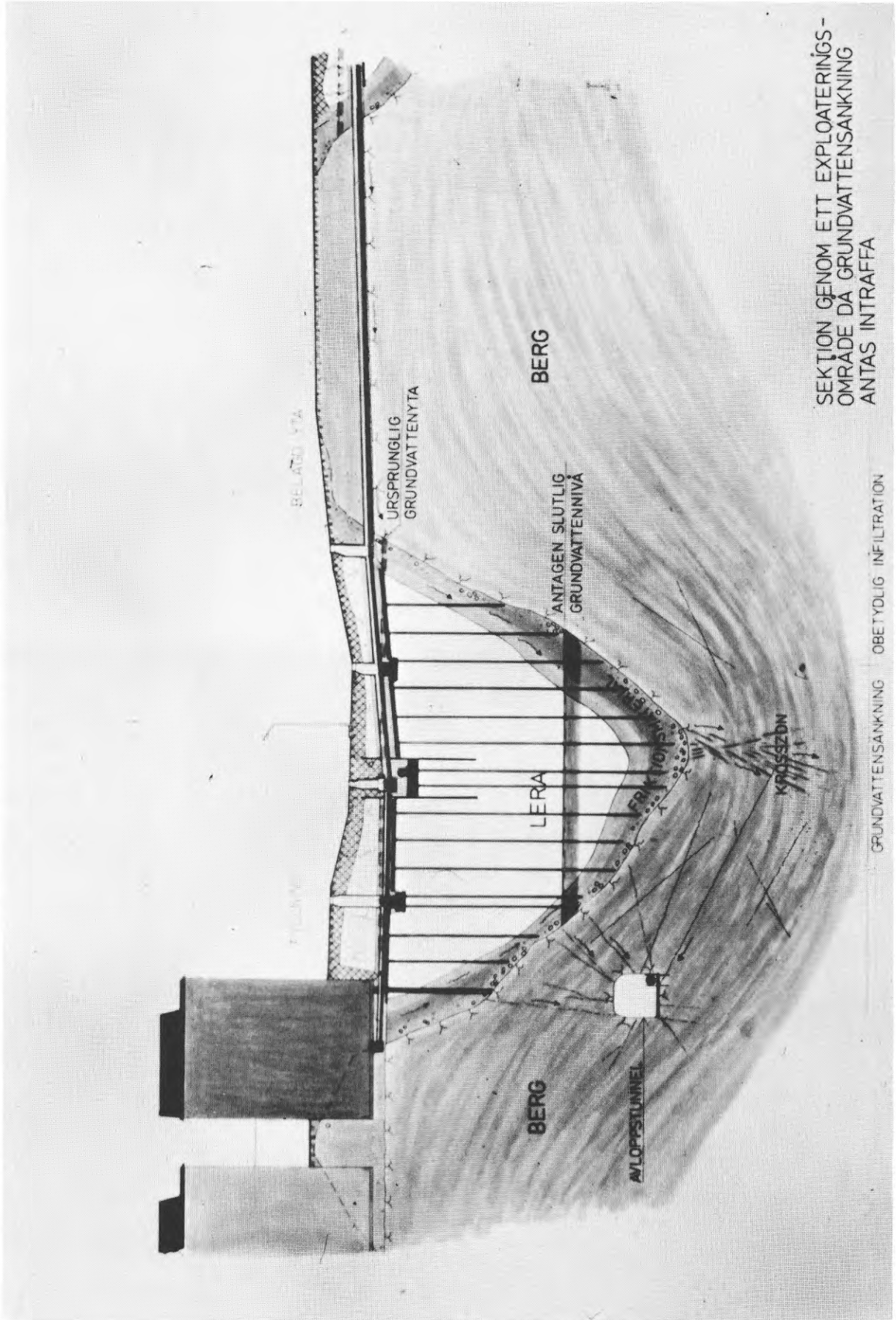


FIG 6. Exploateringsområde. Avloppstunnel och infiltrationsstunnel utförda.

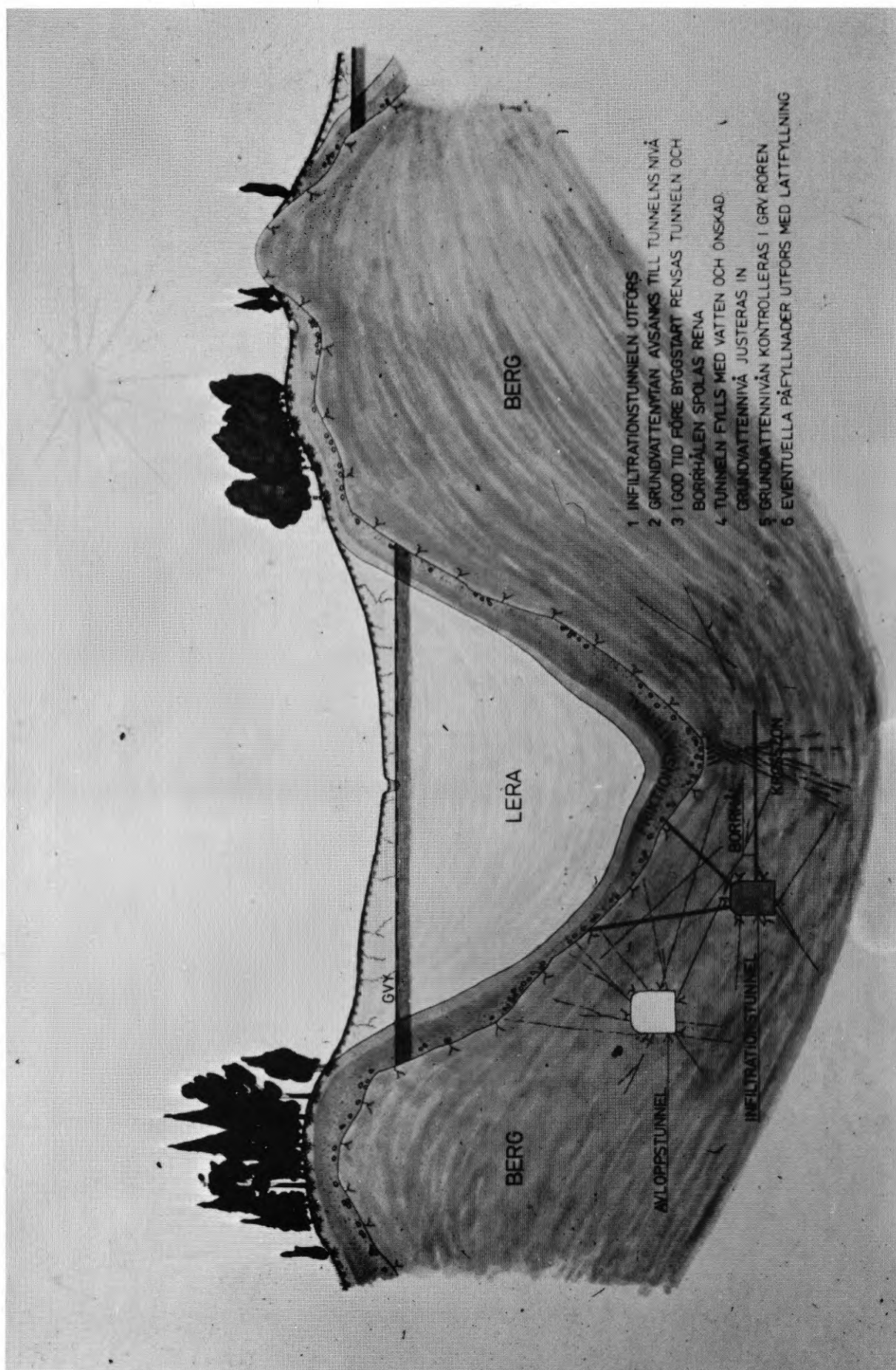
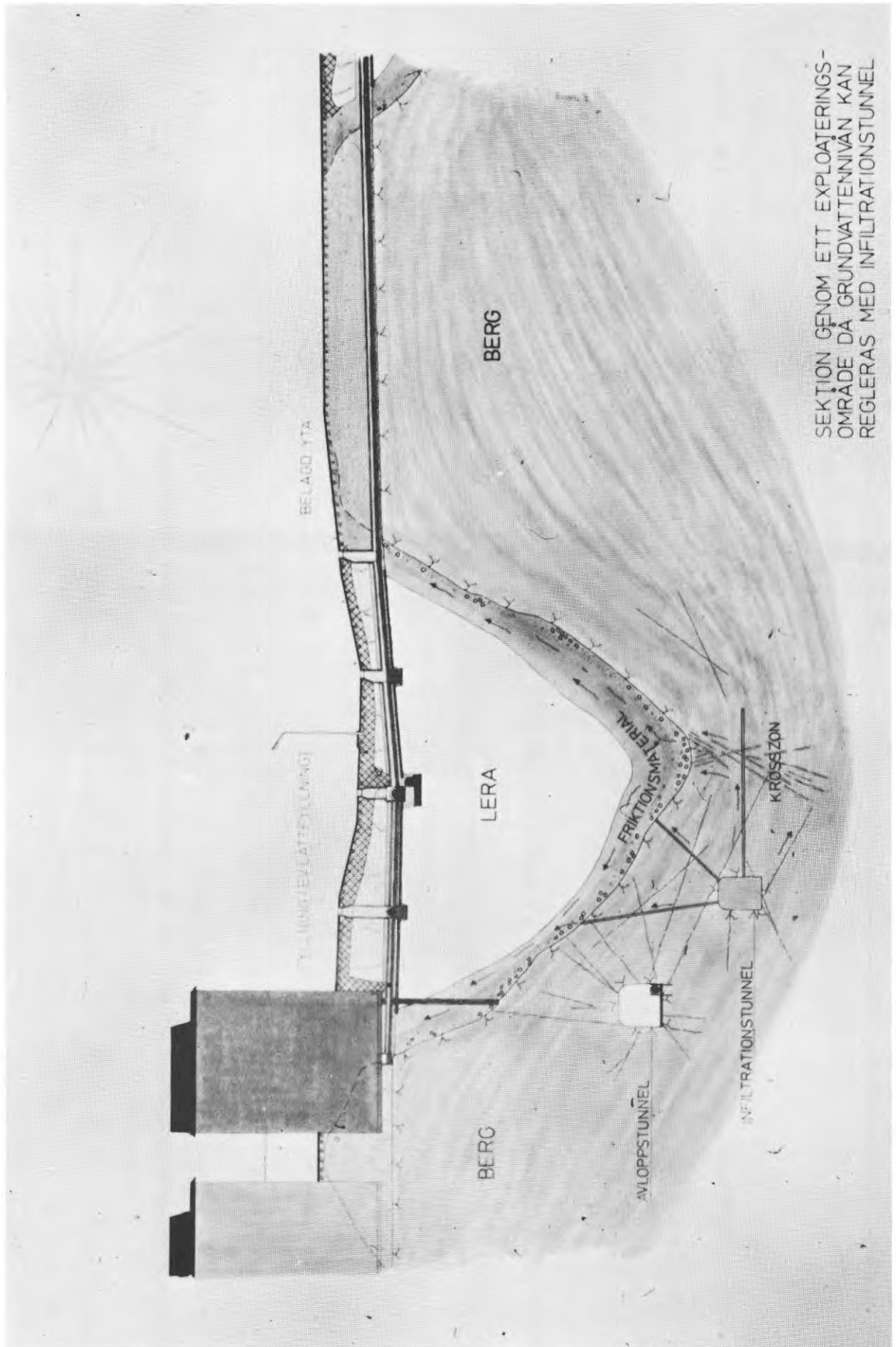


FIG 7. Exploateringsområde. Grundvattenkontroll med infiltrationstunnel.
Grundförstärkningar minimerade.



1.2 Projektets organisation och ekonomi

Idégivare till projektet är ingenjörerna B Spångberg och K-G Ejerholm, Stockholms Stads VA-verk. I april 1974 tog dessa kontakt med P L Svensson, HSB:s Riksförbunds geotekniska avdelning, och man beslöt att bilda en projektgrupp med P L Svensson som projektledare och att söka anslag hos BFR för projektet med VA-verket som sökande.

En ansökan till BFR rörande förstudier till projektet inlämnades 1974-05-16. Den bordlades då. En ansökan rörande hela projektet inlämnades 1974-08-16 till BFR. Det var då kostnadsberäknat till 750.000 kr. Ansökan till BFR löd på 250.000 kr och avsåg uppföljning och utvärdering av projektet. Efter diskussion bl a med medlemmar från tunneltättningsgruppen, där meningarna om projektets genomförbarhet och nytta var delade, reserverade BFR 175.000 kr 1974-10-22. Då VA-verket ej ansåg sig kunna bekosta hela utförandet av experimenttunneln, ansöktes om anslag från STU 1974-12-18. 1975-04-21 beviljades anslag från STU med 250.000 kr. När sedan VA-verket respektive fastighetskontoret tillskjutit 125.000 kr vardera, var projektets finansiering klar och förberedande arbeten kunde påbörjas sommaren 1975.

Projektet administrerades då med P L Svensson som projektledare och ansvarig för uppföljning, mätningar och utvärdering. Mätstationer och mätningar utfördes av HSB:s Riksförbunds geotekniska avdelning. B Spångberg svarade för geoteknik och samordning. K-G Ejerholm svarade för tunnelprojekteringen. Då egen geologisk expertis saknades, anlätades Hagconsult för seismik och övrigt geologiskt arbete. Samtidigt anlätade projektgruppen en referensgrupp bestående av direktör C O Morfelt, Hagconsult AB, professor B Broms, KTH och L Lundström, Hagconsult AB. Jacobson & Widmark inhyrdes för kompletterande jord-bergsondering. Anbudshandlingar utarbetades under hösten 1975 och utsändes vintern 1976. I april 1976 utsågs Skånska Cementgjuteriet som entreprenör och arbetena påbörjades i slutet av april 1976. Gekonsult har fungerat som kontrollant under tunnelbyggandet. Projektets ekonomi har hela tiden varit ansträngd och ambitionsnivån har delvis måst sänkas.

2. KISTA, OMRÅDESBESKRIVNING

2.1 Allmänt, topografi

Kista utgör en del av Järvafältet inom Stockholms stad och är planerad för bostadsbebyggelse och industriområde. Området är beläget mellan E18, Husby, E4 och Inre Tvärleden. Före planeringen av Järvafältet har man utfört översiktliga geologisk-geotekniska undersökningar. Järvafältet är geologiskt sett uppbyggt av berg- och moränkullar, åtskilda av dalgångar med delvis mycket mäktiga lösa lerlager. Dessa dalgångar är besvärliga ur geoteknisk synpunkt. Vid planeringen av bebyggelsen på Järvafältet har man i görligaste mån tagit hänsyn till dessa geotekniska förhållanden. Inom den för infiltrationstunneln aktuella delen, Stadsplanerna Kista III och IV med tunnelbana och anslutande gator, finns en större dalgång med mäktiga lerlager. Dalgången är ca 900 m lång och 200 m bred och orienterad i nordväst-sydostlig riktning, (FIG 8).

2.2 Hydrologi

De utbredda berg- och moränområdena kring dalgången har inneburit goda förutsättningar för naturlig infiltration av regnvatten. Grundvattenytan har under högvattenperioden (vinter-vår) legat ungefär i markytan för att under lågvattenperioden sjunka till ca 2 m under markytan. Detta innebär att grundvattnets trycknivå i friktionsjorden under leran legat på nivån +7 - +9. Trycknivån i dalgången sjunker söderut i samma takt som markytan. Grundvattennivån strax norr om dalgången är +18 - +20, vilket innebär att där finns relativt trånga pass för grundvattnet. Dalgången avbördas åt sydväst genom ett brett pass till Igelbäcken, där grundvattennivån är ca +7,0.

2.3 Berggrundsgeologi

Berggrunden i området utgörs av granit och gnejs. Pegmatitgångar genomsätter berggrunden. Ett antal skärande kross- eller sprickzoner går genom dalgången. De flesta följer dalgångens huvudriktning nord-syd och är belägna där berget ligger djupast (ca 25 m) under markytan. Strax söder om området skär krosszonen i dalens huvudriktning en krosszon i Igelbäckens dalgång. De berggeologiska undersökningar som utförts är dels seismiska undersökningar, dels sprick- och bergartskartering i tunnarna. Resultatet av karteringarna visas på FIG 9-11.

2.4 Geoteknik

De lösa jordlagrens mäktighet inom området varierar mellan 0 och ca 25 m. De utgörs under ett tunt humushaltigt ytlager av ett 0-20 m mäktigt lerlager vilande på ett 0-ca 5 m tjockt friktionsjordlager, troligtvis morän på berg. Under en knapp metertjock torrskorpa



FIG 8. Geologisk karta
Järvafältet
a) Befintlig tunnel
b) Infiltrationstunnel

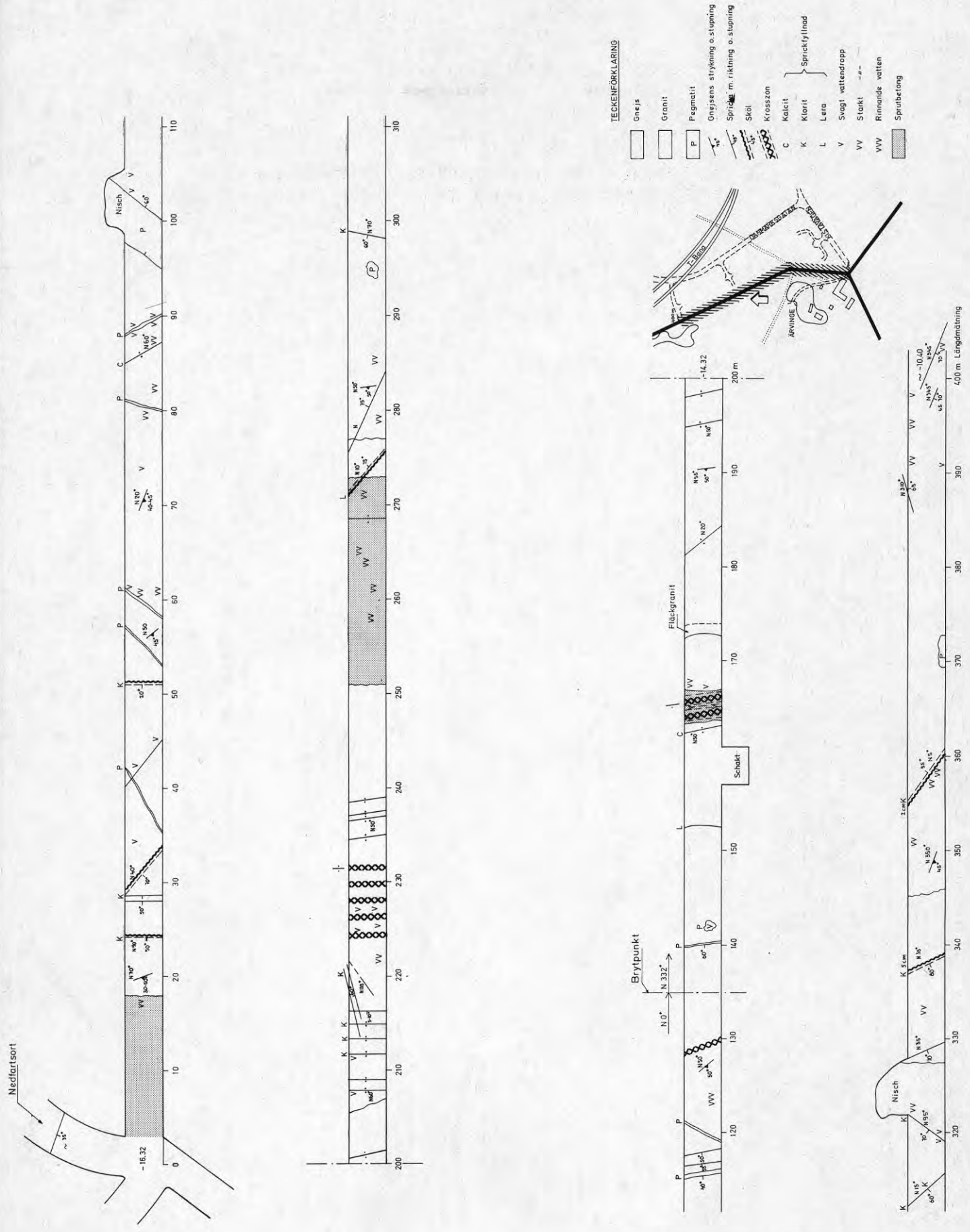


FIG. 9 Sprick- och bergartskartering, befintlig dag- och spillvattentunnel, norra delen.

FIG. 10 Sprick- och bergartskartering, befintlig dag- och spillvattentunnel, södra delen.

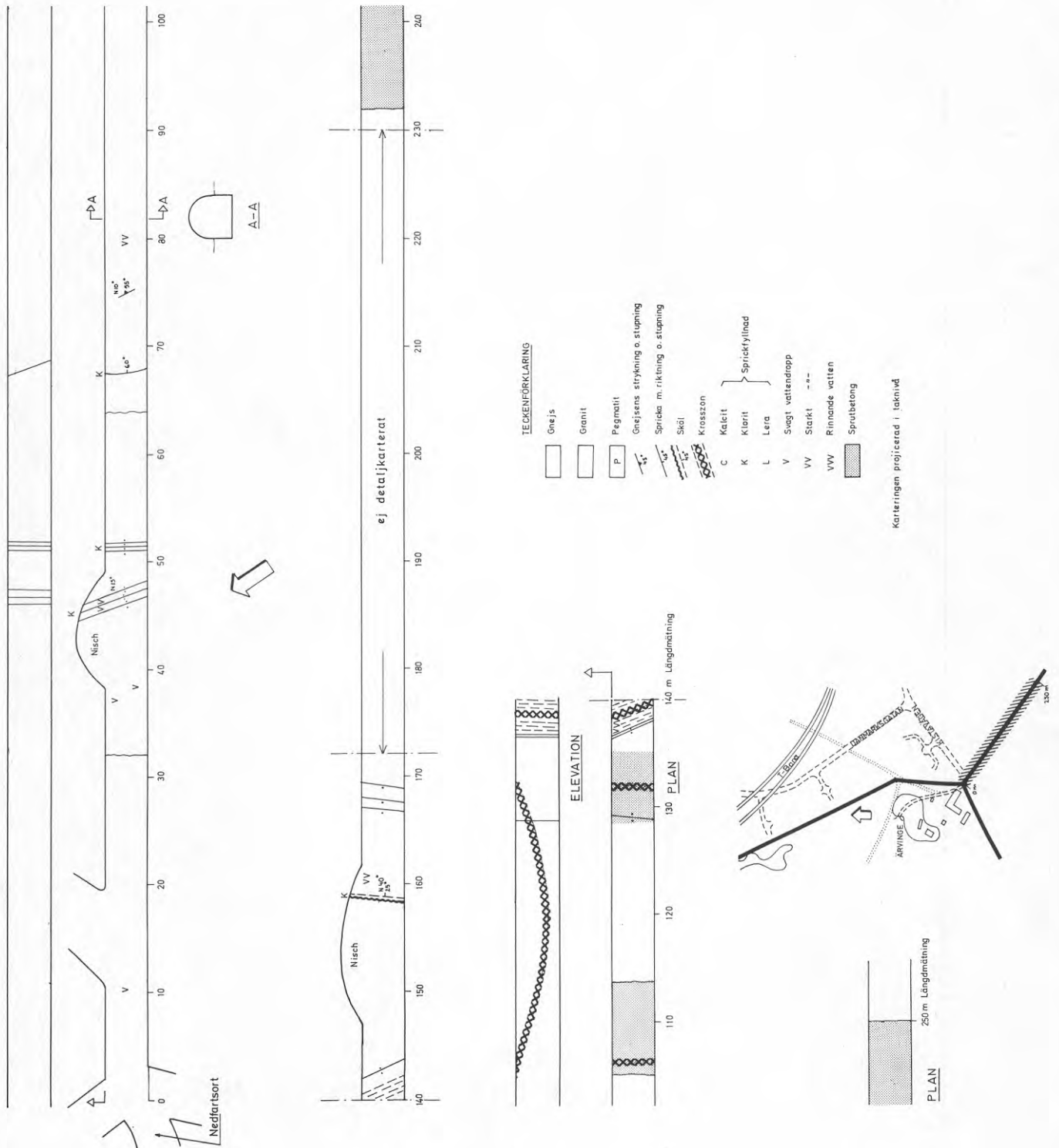
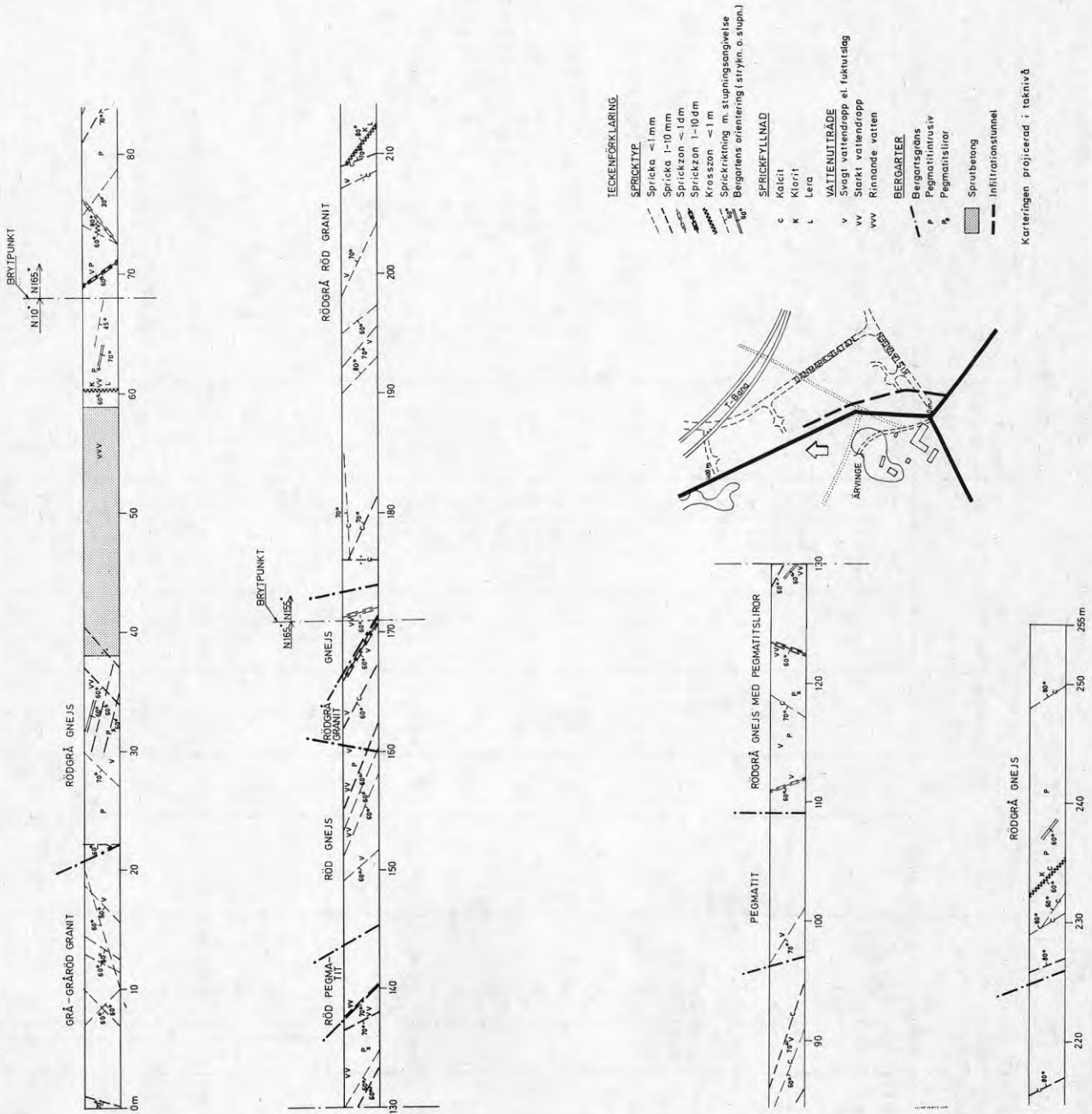


FIG. 11 Sprick- och bergartskartering, infiltrationstunnel.



PROTOKOLL ÖVER JORDPROVSUNDERSÖKNING.

(Standardkolvborr I)

PROVIAGNINGSPLAIS: Kista.. tävlingssområde.....

BORRHÅL NR:	DJUP UNDER MARKYTAN M	HÅLLFASTHETS- TAL H ₃	SENSI- TIVITET St	VATTEN- HALT W %	FINLEKS- TAL F	VOLYMKVIT γ _t / m ³	SKJUV - HÅLLFAST HET τ _{1t} / m ²	GEOTEKNISK BENÄMNING
5948:a	1,0 StI		7	44	49	1,78	2,3	Lera, brun
KK112	1,0					1,74		
	2,0		9	44	42	1,85	1,0	Varvig lera, brungrå
	2,0					1,84		
	3,0		8	36	41	1,79	1,3	Varvig lera, brungrå
	3,0					1,89		
	4,0		13	76	63	1,59	1,1	Varvig lera med sulfidskikt, brungrå
	4,0					1,60		
	5,0		12	57	52	1,67	1,3	Varvig lera med sulfidskikt, brungrå
	5,0					1,68		
	6,0		14	49	47	1,75	1,7	Varvig lera, brungrå
	6,0					1,74		
	7,0		12	44	41	1,75	1,6	Varvig lera, brungrå
	7,0					1,82		Varvig lera med moskikt, brungrå
	8,0		15	40	38	1,85	1,6	Varvig lera med moskikt, brungrå
	8,0					1,79		
	9,0		18	31	32	1,90	1,8	Varvig lera med moskikt, brungrå
	9,0					1,95		
	10,0		15	52	56	1,71	2,6	Varvig lera, brungrå
	10,0					1,61		
	11,0		17	68	64	1,62	2,1	Lera, grå
	11,0					1,62		
	12,0		16	56	48	1,74	2,5	Varvig lera, grå
	12,0					1,72		
	13,0		18	55	52	1,71	2,4	Varvig lera med sulfidskikt, brungrå
	13,0					1,75		
	14,0		17	48	46	1,75	2,4	Varvig lera, brungrå
	14,0					1,75		
	15,0		18	45	49	1,76	2,6	Varvig lera, brungrå
	15,0					1,77		
	16,0		8	40	36	1,76	1,0	Varvig lera med moskikt, brungrå
	16,0					1,76		
	17,0		11	37	24	1,76	0,3	Varvig lera med moskikt, brungrå
	17,0					1,84		

Jordprovundersökning
i punkt KK 112.

FIG 12.

är leran lös. Enligt provtagning i punkt kk 112 är leran en varvig lera med moskikt på nivåerna 7, 8 och 9 m under markytan. Sulfidskikt förekommer på nivåerna 4, 5 och 13 m under markytan. Skjuvhållfastheten varierar från 10 kPa på nivån 2 m till 26 kPa på nivån 15 m. Vattenkvoten varierar mellan 36 och 68% och flytgränsen mellan 24 och 64%. Densiteten är 1,6-1,9 t/m³ och sensitiviteten 8-18 (FIG 12). Leran är normalkonsoliderad eller något överkonsoliderad. Kompressionsindex varierar mellan 6 och 12% med medeltalet 8%. Moränlagret är relativt tjockt (upp till 5 m) och torde vara relativt permeabelt, då vattnets sjunkhastighet i vattenståndsroren var relativt stor. Dess tjocklek minskar mot dalsidorna.

2.5 Bebyggelse

Centralt genom dalgången går en tunnelbaneviadukt och Danmarksgatan (FIG 13). I dalgångens nordöstra gräns går Hanstavägen och öster därom ligger Kista industriområde. Väster om Danmarksgatan bygger man ut bostadsområdena Kista III och IV med angringsgator, parkeringsområden och avloppsledningar. Huvudavloppsledningar övertvårar dalgången. En avloppstunnel går parallellt med dalgången i dess västra begränsning. Tunneln övertvårar anslutande dalgångar. Detaljplan över Kista III och IV visas på FIG 14.



FIG 13. *Vy över dalgången med tunnelbanan och Danmarksgatan. Danmarksgatan är utförd på påldäck. Påldäcksanslutning framgår av bilden.*



FIG 14. Detaljplan över Kista III och IV.
 ■ Infiltrationstunnel
 □ Befintliga dagvattentumlar

3. PROBLEMATIK

3.1 Allmänt

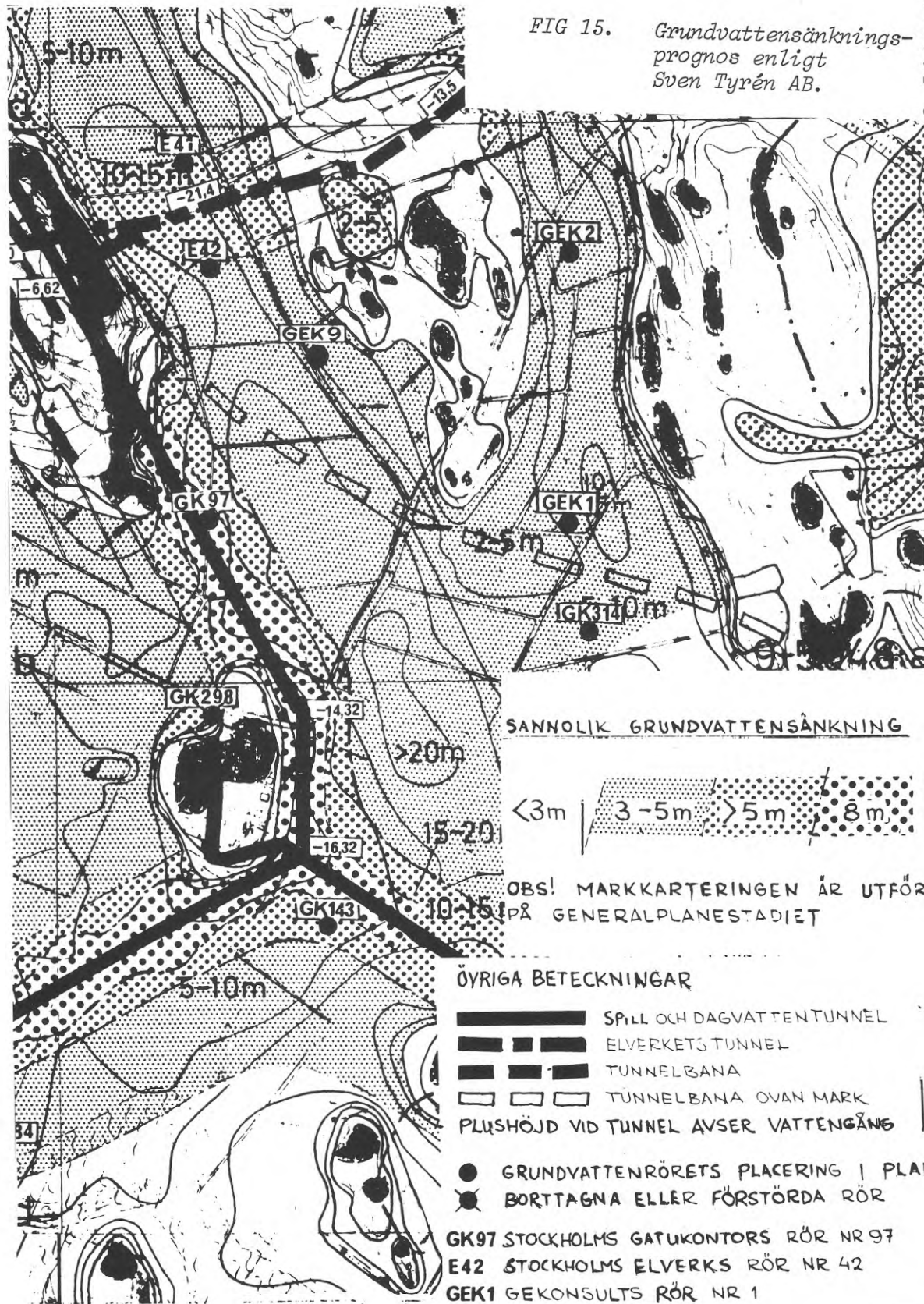
Ett av de stora problemen vid områdets utbyggnad liksom vid liknande områdets utbyggnad har varit kombination av befarade grundvattensänkningar och lös sättningsbenägen lera. Den lösa lerans egenskaper kan man vid projekteringen ta hänsyn till genom att t ex utföra låga vägbankar och små påfyllnader på gårdar m m. Grundvattensänkningar kan man inte eliminera genom liknande åtgärder. En annan olägenhet är, att det är mycket svårt att ställa en säker grundvattenprognos.

3.2 Grundvattensänkning

Flera grundvattensänkingsprognoser har utarbetats under åren före utbyggnaden. Sven Tyrén AB har år 1973 utarbetat en grundvattensänkingsprognos gällande för vattenförande lager under friktionsjorden (FIG 15). Inom aktuellt område ger denna prognos en grundvattensänkning på 3-8 m. Däremot sägs ingenting om portrycksänkningen i kohesionsjorden. Denna skulle vid maximalt ogynnsamma omständigheter vara lika stor eller 3-8 m. I gynnsammaste fall skulle den vara oförändrad i sin övre del. Gatukontoret och fastighetskontoret har i sin prognos räknat med en grundvattensänkning i friktionsjorden under leran på 5 m och en portrycksänkning i lerans övre lager på 2 m. J & W har i sin prognos räknat med en grundvattensänkning i friktionsjorden på 4 m. Portrycksnivån i leran har räknats efter två varianter. En variant med oförändrat portryck i lerans överyta med rätlinjigt fallande portryck ned till trycknivån i lerans underkant. En andra variant har oförändrad trycknivå ned till 7 m djup under markytan och därifrån rätlinjigt fallande till trycknivån i lerans underkant. En sammanställning av prognoser visas på FIG 16.

Sedan avloppstunneln utsprängts har grundvattennivån sjunkit under lågvattenperioder till +3,5 - +6 medan den under högvattenperioder stigit till +8 - +9, d v s oscillationerna har blivit större. Maximala grundvattetrycksänkningar har alltså varit 3-5,5 m i friktionsjordlagret (FIG 17). Portryckssänkningarna i leran har varit mindre; ned till +6 m och större i lerlagrets undre delar. Allt eftersom utbyggnaden av området fortsätter och infiltrationsytorna täcks av hårdgjorda ytor kommer infiltrationen att minska och grundvattensänkningarna blir större och sträcka sig över hela året, likaså kommer portrycken att sjunka även i de övre lerlagren.

FIG 15. Grundvattensänkningsprognos enligt Sven Tyrén AB.



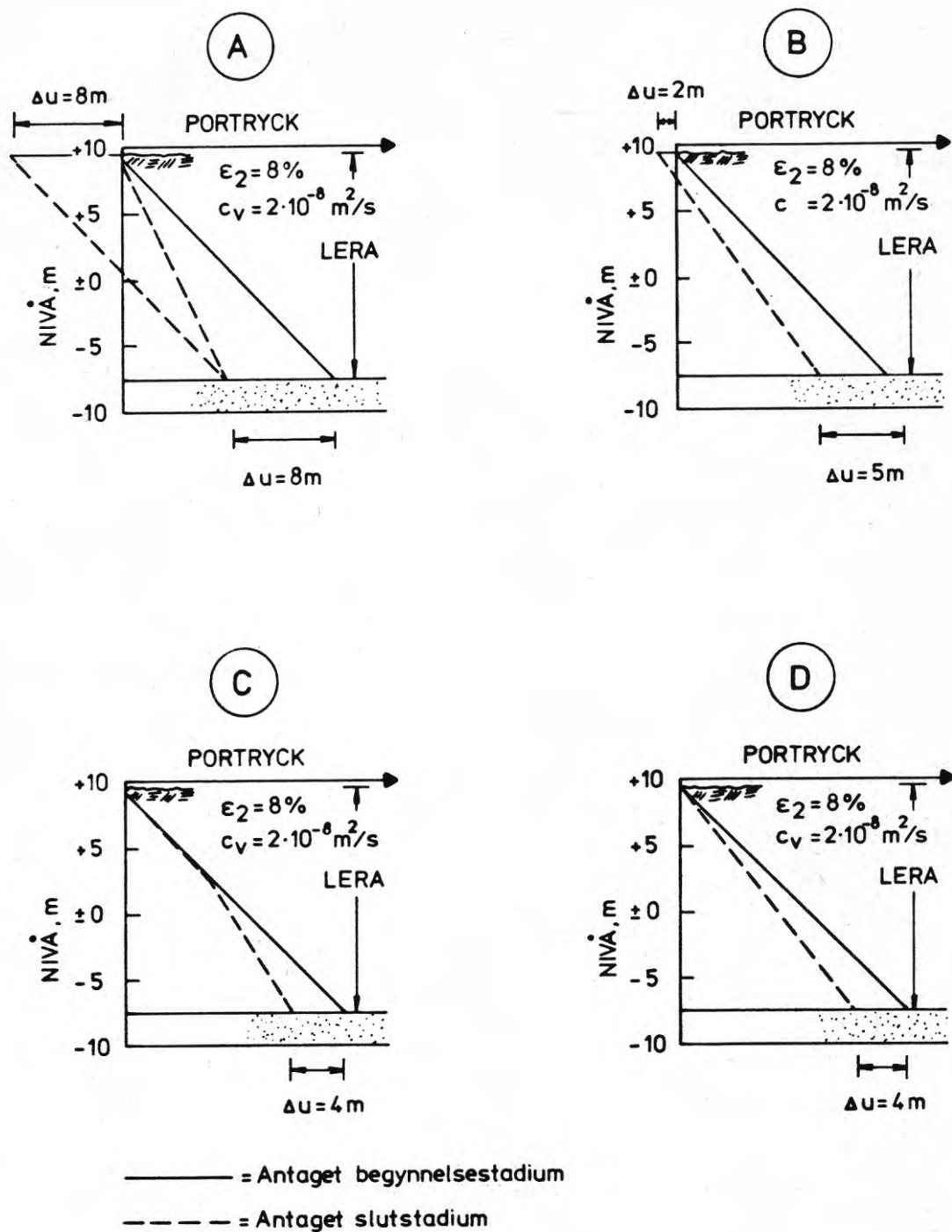


Fig 16. Sammanställning av grundvattensänkningsprognoser. **(A)** Sven Tyrén AB, maximalt ogynnsamt, **(B)** Fastighets- och gatukontorets, **(C)** och **(D)** Jacobson & Widmarks två olika prognoser.

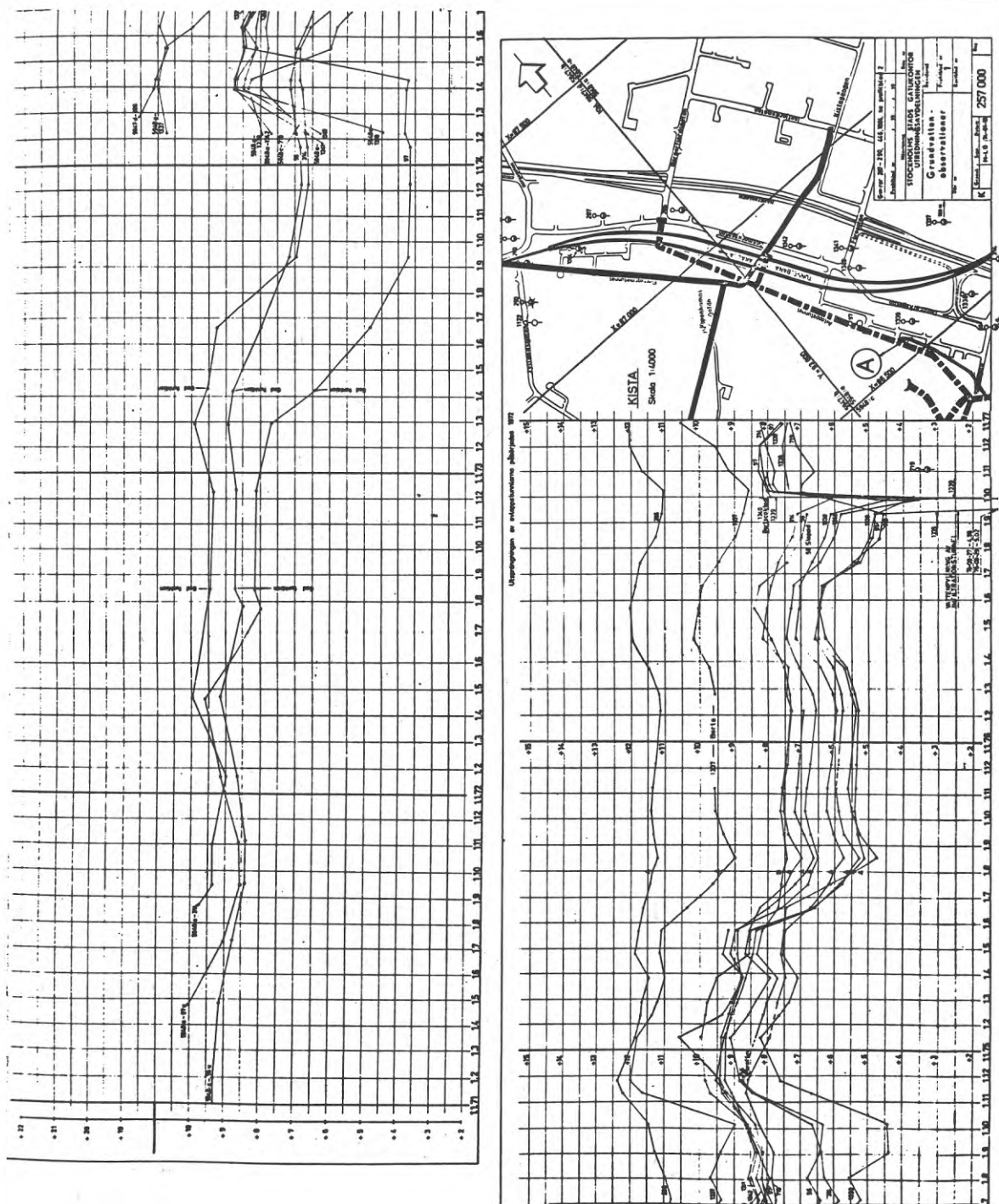


Fig 17. Grundvattnets nivåändringar i gatukontorets grundvattenobservationsrör under perioden 71-01-01--76-12-31. (A=infiltrationstunnel)

3.3 Sättningar

Sättningar uppstår i leran vid belastning (lastökning) från byggnader, uppfyllnader eller grundvattensänkning. I detta område är sättningar orsakade av grundvattensänkning ofta dimensionerande för grundförstärkningsåtgärder i gator, parkeringar eller för ledningar. Beräknade sättningar varierar efter antagen grundvattenprognos. Beräknade sättningar enligt de olika grundvattensänkningsprognoserna visas nedan för ett lerdjup på 17 m och $\epsilon_2 = 8\%$. Leran har antagits normalkonsoliderad

	Sättning cm
Tyréns max grundvattensänkning	154
Gatukontorets och fastighetskontorets prognos	78
J & W fall 1	45
J & W fall 2	24

Sättningarnas beräknade storlek varierar sålunda kraftigt beroende på prognos. Sättningarnas tidsförlopp (med $c_v = 2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) visas i FIG 18. Där har även inlagts den gräns (20 cm) där sättningarna vållar sådana skador att grundförstärkning av mark och ledningar behöver utföras. Enligt J & W:s prognoser synes grundförstärkning ej erfordras men enligt gatukontorets och Tyréns prognoser erfordras sådana. I punkt kk 112 har sättningsmätningar utförts sedan 1973. Totalt sett har inga sättningar uppmätts, men fluktuationer upp till 3 cm har framkommit under tiden. Dessa fluktuationer kan dels bero på mätfel, dels på mindre sättningar och hävningar i samband med portrycksförändringar. Detta torde bero dels på att någon långvarig grundvattensänkning ännu ej inträffat, dels på att leran speciellt på djupet är något överkonsoliderad.

3.4 Grundförstärkningar

Inom området har omfattande grundförstärkningar på grund av väntade sättningar orsakade av grundvattensänkningar utförts. Gator har utförts som påldäck, huvudavloppet är grundlagt på pålar med kvarstående stålspond (FIG 13). Tunnelbaneviaduktens snedpålar är försedda med inspektionsrör för kontroll av sättningarnas inverkan. På kvarteretsmarken har grundförstärkningar på parkeringsplatser och övriga markanläggningar i allmänhet ej utförts. Grundförstärkningarna har kostnadsberäknats till ca 25 milj kr, varav (bedömningsvis) 10-15 milj kr är att hänföra till åtgärder föranledda av väntade grundvattensänkningar.

3.5 Förvaltningsåtgärder till följd av sättningar

För mark som ej är grundförstärkt får man räkna med extra förvaltningsåtgärder om 5-30 år till följd av väntade sättningar. Sådana förvaltningsåtgärder kan vara omläggning av ledningar och hårdgjorda ytor, ibland kombinerat med grundförstärkningsåtgärder. Sådana omläggningar brukar erfarenhetsmässigt kosta 2-3 gånger så mycket som nyanläggning.

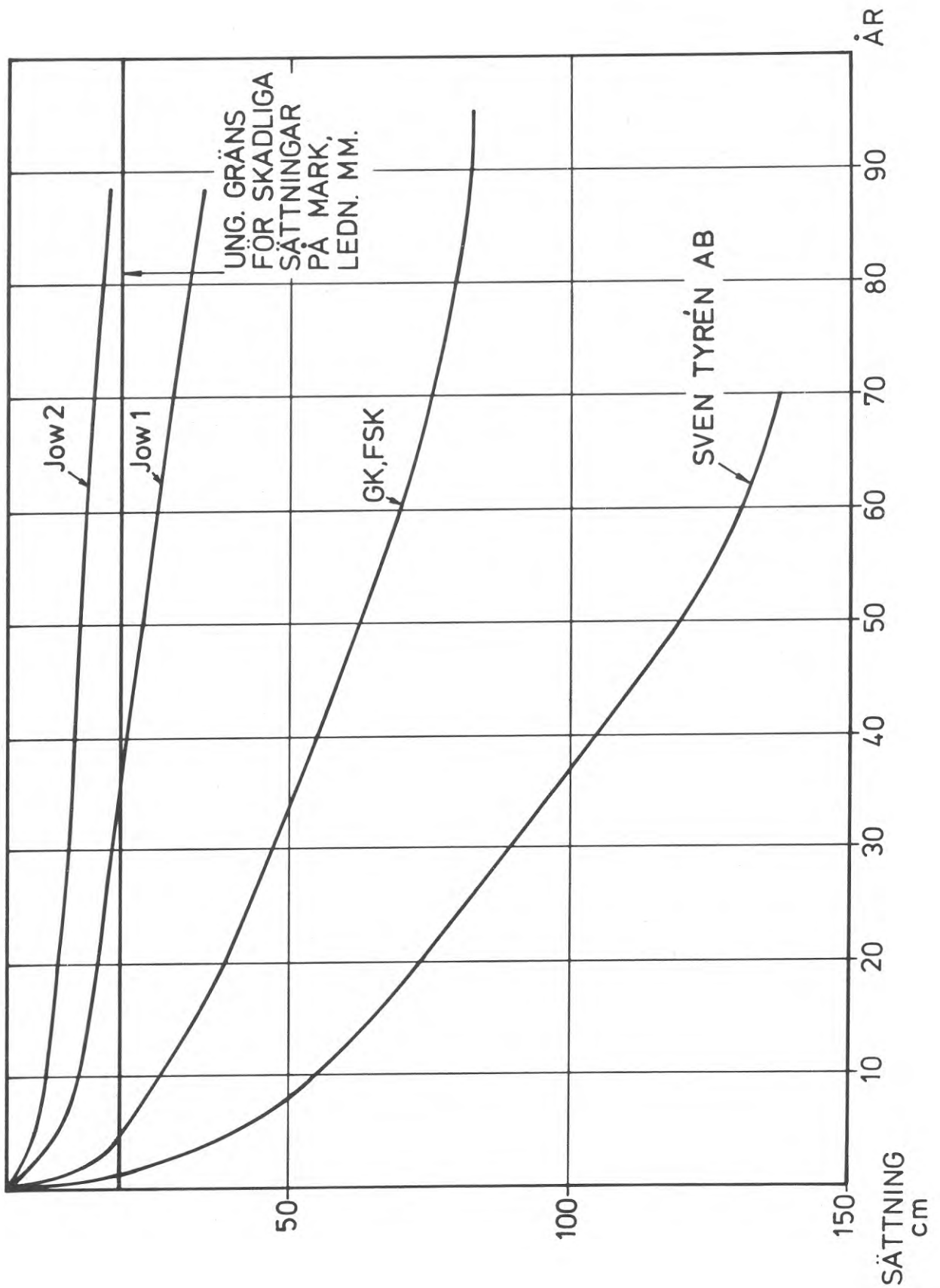


FIG 18. Tidsutveckling av sättningar i punkt kk 112 orsakade av grundvattensänkning enligt olika prognoser. Prognos enligt Tyrén AB är antagen enligt max grundvattensänkning 8 m.

4. INFILTRATIONSTUNNELFÖRSLAG

4.1 Allmänt

Mot bakgrund av ovanstående beslöt man utföra infiltrationstunneln. Vid projektering av tunneln var de viktigaste faktorerna: God förbindelse med sprickor och krosszoner i berget samt med friktionsmaterialet mellan berget och leran. Samtidigt skulle man undvika dels att driva tunneln genom dåligt berg och dels "rundgång" av infiltrationsvattnet till den gamla tunneln. På skisstadiet tänkte man sig en infiltrationstunnel övertvärande dalgången. Efter en del övervägande beslöt man att lägga tunneln någonstans mellan den gamla avloppstunneln och krosszonerna i dalgångens mitt.

4.2 Förundersökningar

För att bestämma bästa läge för tunneln utfördes följande undersökningar.

- a) Sammanställning av geologiska data inom försöksområdet. Detta innebar bl a uppritande av tvärsektioner visande jordlagerföljden med ledning av tidigare undersökningar.
- b) Seismiska tvärsektioner över dalgången samt bergkartering av befintlig tunnel. Dessa undersökningar utfördes av Hagconsult och avsåg att förbättra informationen om läget av bergöverytan samt sprick- och krosszoner i berget (FIG 9-11).
- c) När preliminär sträckning av infiltrationstunnel och infiltrationszoner bestämts utfördes i tunnel-läget kompletterande seismisk undersökning och jord-bergsondering för att mer detaljerat bestämma bergöverytan. Jord-bergsonderingen utfördes av Jacobson & Widmark AB.

4.3 Mätstationer

För att kunna följa infiltrationstunnelns inverkan på omgivningen, grundvattennivå, portryck och sättningar, utlades 10 mätstationer i dalgången numrerade 1 till 10 (se planfig 19). Mätstationerna utlades ca 6 månader före tunnelns utsprängning. I alla stationerna finns ett grundvattenståndsrör nedfört till friktionsjorden under leran. Vattenståndsrören utgörs av skarvade 1 tums vattenledningsrör med perforerad spets fylld med sandplastmassa (Geotechs tillverkning). I de rör som fungerade efter nedsättningen sjönk vattenytan snabbt till ett jämviktsläge. Detta tyder på att friktionsmaterialet är genomsläppligt. Flera rör fick sättas om då de ej fungerade tillfredsställande. Mätstation 5 visas på FIG 20.

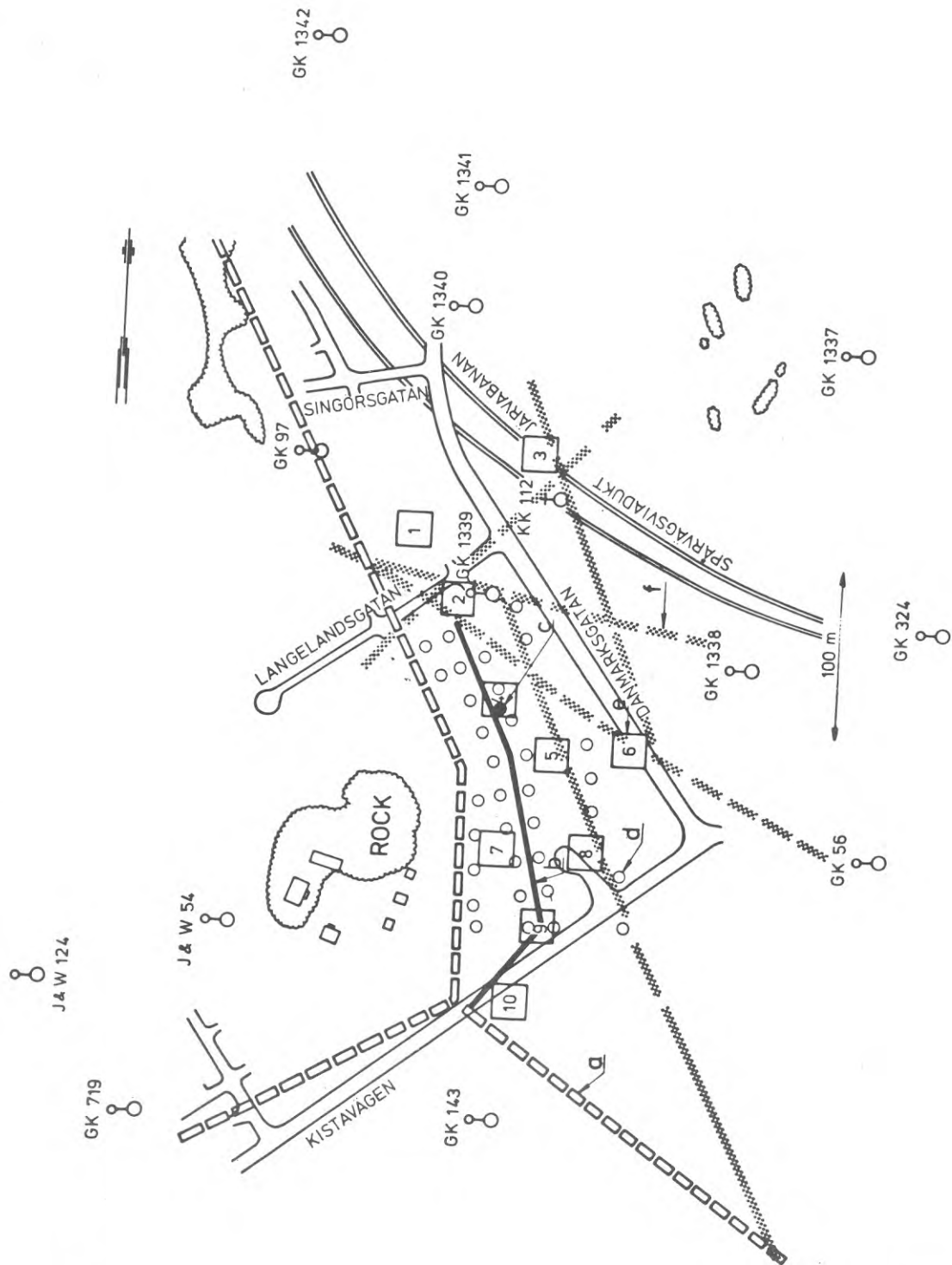


FIG 19. Plan över området visande befintlig tunnel (a), infiltrationstunnel (b), påfyllnadsbrunn (c), slutpunkter för infiltrationshål (d), mätstationer (e), sprickzoner i berg, tunnelbana, gator samt gatukontorets och JoW:s mätpunkter.

Portrycksmätare finns på tre nivåer i mätstation 2, två nivåer i station 5, 3 nivåer i station 6 och 2 nivåer i station 9. Portrycksmätarna är av Jacobson & Widmarks typ med nylonspetsar och med portabel ned-sänkbar mätkropp. Sättningsmätare finns på stationerna 2, 4, 5, 6 och 9. De utgörs av en platta med rör ned-fört till frostfritt djup. Genom röret är asfaltbe-lagda sondstänger nedförda till fast botten. Rörets och sondens överkant är försedda med mät huvuden av mässing. Deras rörelse i förhållande till varandra mäts med portabel mätklocka med noggrannheten 0,01 mm. Förutom dessa mätstationer utför gatukontoret mät-ningar i sina vattenståndsrör liksom J & W utför mät-ningar av portryck, grundvattennivå och sättningar i punkt kk 112 på uppdrag av fastighetskontoret.

4.4 Tunnelförslag

Med utförda geologiska och geotekniska undersökningar som underlag projekterades tunnelsystemet.

4.41 Tunnelsträckning

Tunneln planerades i dalens längdriktning parallellt med befintlig avloppstunnel och krosszoner i dalens mitt. Tunneln förlades på relativt stort djup (se FIG 19 och 21). Tunnelgolvet utgår från den befintliga tunnelns nivå -16,32 i punkt 0/000. Tunneln går där-efter nedåt till nivån -25,50 i punkt 0/106 för att därefter ligga oförändrad på denna nivå. Avsikten med denna sträckning var att man skulle kunna driva tunneln utan att korsa besvärande kross- och sprick-zoner med åtföljande förstärkningsarbeten. En risk med att tunneln låg så nära den befintliga var att någon sprickzon skulle ge direkt vattenströmning mel-lan infiltrationstunnel och befintlig avloppstunnel. Risken för detta bedömdes emellertid som liten. I den befintliga tunneln kan ju kompletterande tätningssar-be-ten utföras vid behov. Tunneln projekterades till punkten 0/347, men skulle i första hand utföras till punkten 0/250. Minsta bergtäckning är ca 13 m mellan 0/000 och ca 0/035. Bergtäckningen är i medeltal ca 15 m.

4.42 Infiltrationsborrhål

Från tunneln projekterades uppåtriktade borrhål dels mot sprickzoner och dels i 20° vinkel snett uppåt mot friktionsjordlagret. Borrhålen projekterades solfjä-dersformigt i sektioner med ett inbördes avstånd av 20 m mellan sektionerna (se FIG 19). Samtliga borrhål avsågs föras genom bergöverytan ut i friktionsjord-lagret ovan berg. Borrhålens längd låg i stort mellan 20 och 50 m.



FIG 20. Mätstation nummer 5: Ett vattenståndsrör, två portrycksmätare samt en sättningsmätare. En "matjordsfabrik" låg alldeles intill mätstationen.

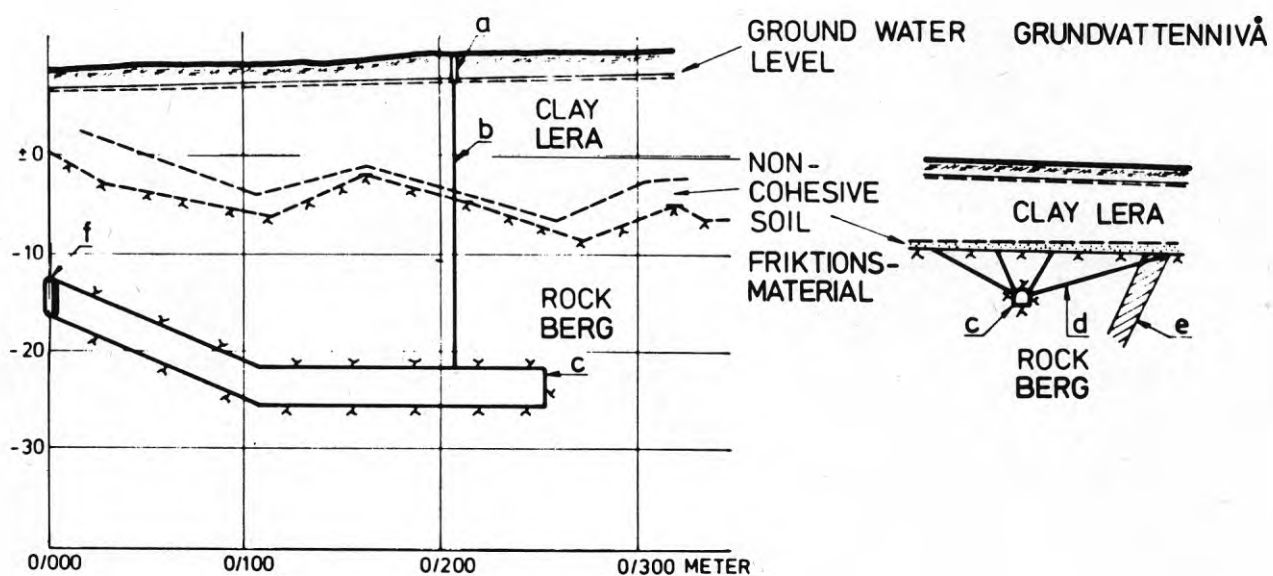


Fig. 21 Profil och sektion genom infiltrationstunnel. Renvatten förs från påfyllningsbrunn (a) genom ett borrhål (b) till infiltrationstunneln (c). Från tunneln trycks vattnet genom borrhål (d) och infiltrerar i sprickigt berg (e) och friktionslager ovan berg. En tätvägg (f) har utförts mellan avloppstunneln och infiltrationstunneln.

4.43 Nivåregleringsbrunn

I sektion ca 0/205 projekterades vattenpåfyllning av tunneln via ett foderrör \varnothing 157, neddrivet i ett borrhål utfört från markytan. För att hindra vattenläckning tätades mellan foderrör och berg. Vid markytan projekterades en nivåregleringsbrunn \varnothing 2500 (FIG 22). Till brunnen leds vattnet från befintlig vattenledning. Vattentillförseln regleras via nivåstyrda magnetventiler. Alternativa frånslags- och tillslagsnivåer kan väljas. Brunnen är försedd med bräddavlopp och larmanordningar, om automatiken strejkar.

4.44 Tätningsvägg

Mellan befintlig tunnel och infiltrationstunnel projekterades en tätningsvägg av betong med tjockleken 90 cm. I väggen finns en öppningsbar ställucka att användas vid inspektion. Nära väggens anslutning mot golvet finns en ventil för att vid behov kunna tömma tunneln till denna nivå. Injektering av berg kring väggen liksom hål för efterinjektering i anslutning tunneltak-vägg projekterades.

4.45 Mätdam

I den befintliga tunneln utfördes en mätdam för att kunna mäta skillnaden i vattenföring före och efter infiltrationstunnelns utförande. Mätdammen är utförd i betong och avbördas genom ett hål i väggen. Mätdammen är belägen uppströms borrhålet där Kistas dagvatten släpps på.

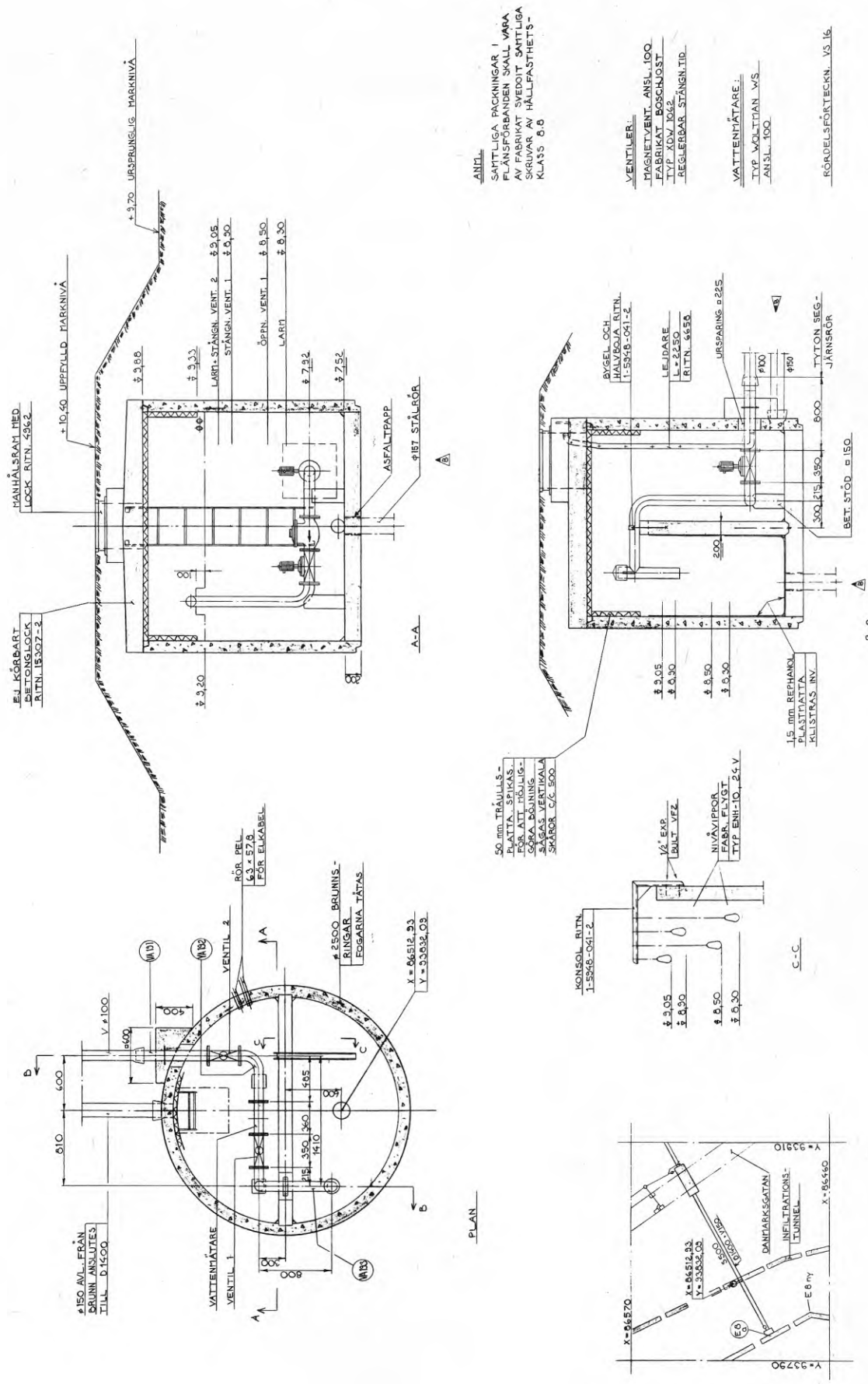


Fig. 22. Ritning över nivåregleringsbrunn.

5. UTFÖRANDE

Tunnelsystemet utfördes av Skånska Cementgjuteriet under tiden slutet på april till slutet av september 1976. Tidsplanen kunde följas utan större avvikelser. Slutbesiktning utfördes den 24 september 1976.

5.1 Tunneldrivning

Tunneldrivningen utfördes till sektion 0/255 och pågick under maj - augusti.

Arbetet kunde fortgå utan nämnvärda störningar och förstärkningsarbeten. Utförda bultförstärkningar respektive betongsprutning visas på FIG 23 och 24. Inläckande vattenmängder var måttliga (ca 36 l/min).

5.2 Infiltrationsborrhål

Infiltrationsborrhålen utfördes i mitten av augusti. Använd utrustning var Atlas Copco BBC 120S.

Uppmätta borrlängder visade mycket god överensstämmelse med beräknade enligt de seismiska sektionerna. I vissa borrhål uppstod kraftig vattenströmning dels i samband med borrning genom berget, dels vid genomborrning av bergöverytan. Från vissa borrhål var vattnet blandat med slam. Vissa borrhål var torra, medan från andra kom en kraftig vattenström under högt tryck. Så fort ett hål var färdigborrat, iskruvades en plastmanschett (FIG 25) som anslöt mot berget med en expanderingsring av gummi. Manschetten var försedd med nätfiliter och kunde tillslutas med ett påskruvat lock. Från vissa hål var vattenstrålen så kraftig att avstängningsventiler fick påskruvas manschetterna. Vattenförlustmätningar utfördes i infiltrationshålen. Dessa plus övriga uppgifter om borrningen redovisas i figurer.

5.3 Nivåregleringsbrunn

Påfyllnadsrör och nivåregleringsbrunn utfördes under augusti - september 1976. Borrningen utfördes med en stötbormaskin i ett foderrör. Då ytberget var löst fastnade foderröret under neddrivandet och borrningen kunde fortsätta först efter några dagars driftstopp. Under losstagningsförsöken spolades åtskilligt med slam upp ur hålet. Då hålet brutit genom tunneltaket forsade en kraftig vattenström in i tunneln. Vattenföringen uppskattades till ca 100 l/min. I samband med tätningen med betong mellan berg och foderrör fick två mindre hål borraras från tunneln in mot det borrarade hålet för att leda vattnet denna väg. Då betongen hårdnat stängdes dessa hål med ventiler. Brunnen med installationer utfördes under senare delen av september 1976 (FIG 28).

5.4 Tätningvägg

Tätningväggen utfördes under senare delen av september 1976 (se FIG 29).

Rör för kontaktinjektering ingjöts i väggens överdel och tunneltak. Betongen fick hårdna 14 dagar innan vattentryck kunde påföras.

5.5 Kostnader

Kostnaderna för utförandet av tunneln blev ca 750.000:- förutom utvecklingskostnader.

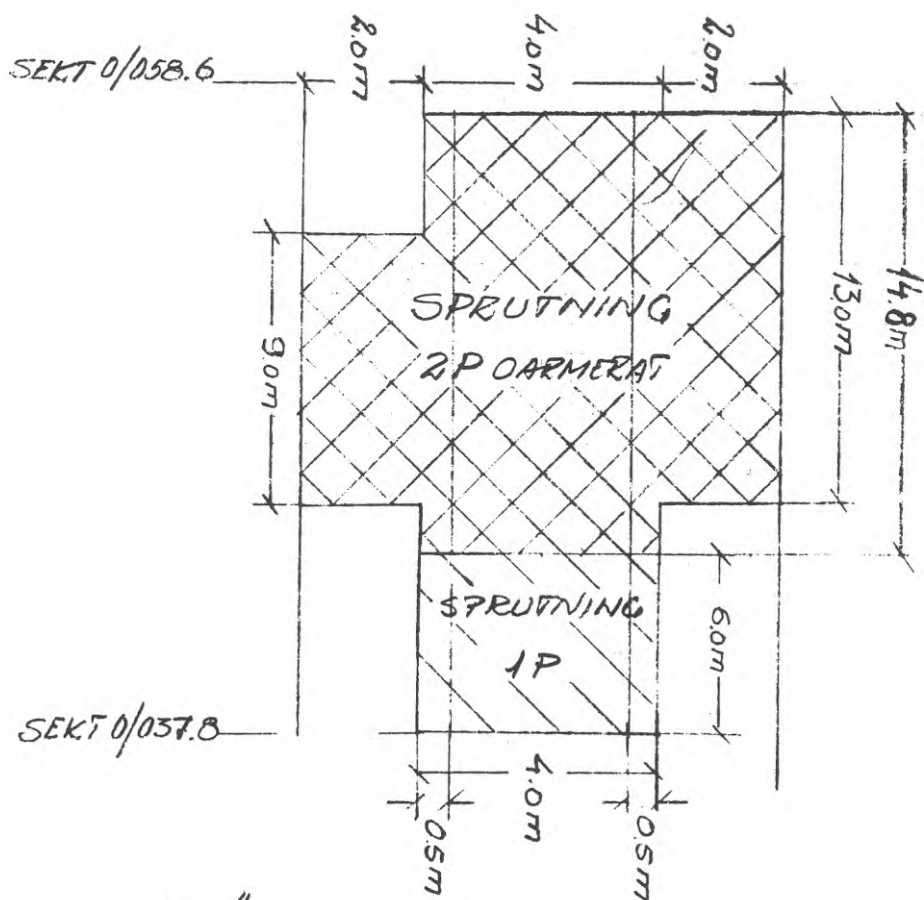
BULTFÖRSTÄRKNING KISTATUNNELN

SEKTION	L m	Si da	LÄGE		
			Vägg	Tak	Anf.
0/190	2.4	V		X	
0/191.5	2.4	H		X	
0/192	2.4	☒		X	
0/193	2.4	V	X		
0/194	2.4	H			X
0/195.5	2.4	V		X	
0/213	2.4	H		X	
0/214.5	2.4	☒		X	
0/214.5	2.4	H		X	
0/216	2.4	H		X	

ANM. SIDA AVSER HÖGER RESP. VÄNSTER OM ☒.

FIG 23. Bultförstärkningar i infiltrationstunnel.

BETONGSPRUTNING KISTATUNNELN



BÄGLÄNGD = 30M

ANFANGSHÖJD = 2.5M

SPRUTBEDDING:

2 PÅSLAG:

$$6 \times 13 + 2 \times 9 + 4 \times 1.8 = 103.2 \text{ M}^2$$

1 PÅSLAG:

$$6 \times 4 = 24.0 \text{ M}^2$$

OMRÄKNAS TILL 1 PÅSLAG:

$$103.2 \times 2 + 24.0 = 230.4 \text{ M}^2$$

FIG 24. Betongsprutning i infiltrationstunnel.

6 DRIFT

Tunneln togs i drift 1976-09-27 genom att den vattenfylldes med grundvatten från de öppnade borrhålen (FIG 30). Efter två dygn var tunneln fylld med vatten, och grundvattenmagasinet höjdes genom att vatten tillfördes genom nivåbrunnen. Till en början läckte avsevärda mängder runt betongväggen som utgjorde tät-skärm till tunneln. Efter injektering var den tät. Efter en vecka installerades nivåregleringsutrustningen i brunnen och vattentillförseln reglerades med tillslag på nivån +8,27 och frånslag på nivån +8,62.

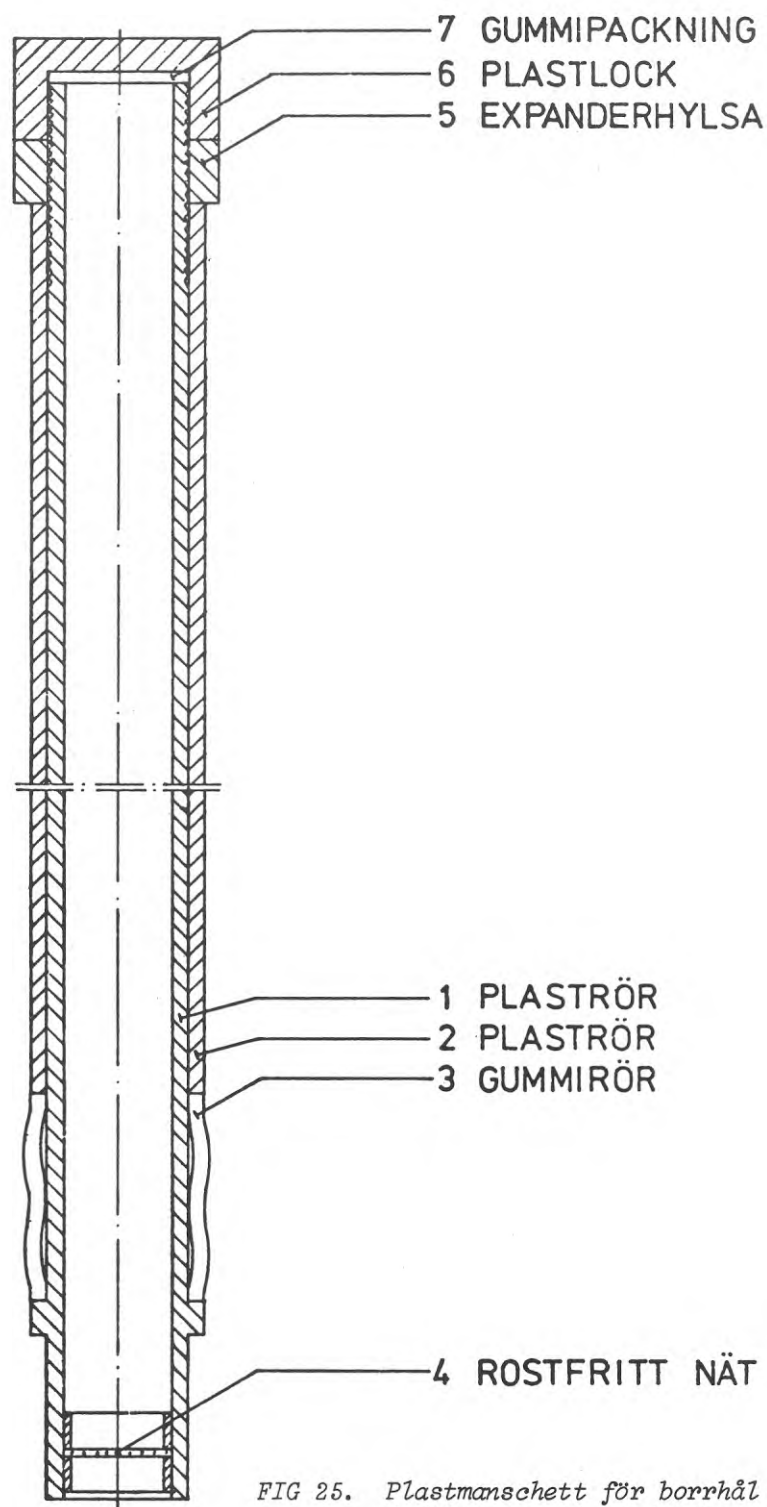


FIG 25. Plastmanschett för borrhål i infiltrationstunnel. Fastskrivas i borrhål omedelbart efter borrhåll. När tunneln tas i drift avlägsnas plastlocket (6).

PLASTMANSCHETT FÖR INFILTRATIONSTUNNEL

Bent Jönsson K. G. Egelund

INFILTRATIONSTUNNEL KISTA

VATTENFÖRLUSTMÄTNING INFILTRA- TIONSHÅL

HÅL NR	VÄTRYCK		VATTENTRYCK		TID MIN	VATTEN- ÅRÅNGÅNG LITER	LIT./ MIN.	ANM.
	1 HÅL kPa	2 HÅL kPa	START kPa	SLUT kPa				
1	147.15		588.6	294.3	5.0	167	33.4	
2	147.15		588.6	294.3	5.0	193	38.6	
3								INGEN MÄTNING
4								" "
5								" "
6	196.2		588.6	372.8	5.0	167	33.4	
7	0		588.6	588.6	5.0	24	4.8	
8	147.15		588.6	392.4	5.0	165	33.0	
9	147.15		588.6	441.5	5.0	97	19.4	
10	147.15		588.6	588.6	5.0	49	9.8	
11	0		588.6	588.6	5.0	22	4.4	
12	196.2		588.6	490.5	5.0	159	31.8	
13	98.1		539.6	441.5	5.0	160	32.0	
14	147.15		588.6	539.6	5.0	104	20.8	
15	127.53		588.6	363.0	5.0	160	32.0	
16	127.53		588.6	343.4	5.0	181	36.2	
17	0		588.6	249.3	5.0	144	28.8	
18	0		588.6	461.1	5.0	124	24.8	
19	147.15		588.6	461.1	5.0	131	26.2	
20	0		588.6	539.6	5.0	133	26.6	
21								INGEN MÄTNING
22								" "
23	78.5		588.6	461.1	5.0	117	23.4	
24								INGEN MÄTNING
25								" "
26	225.6		588.6	392.4	5.0	159	31.8	
27	245.25		588.6	392.4	5.0	159	31.8	
28	147.15		588.6	412.0	5.0	139	27.8	
29	245.25		588.6	490.5	5.0	106	21.2	
30	245.25		637.7	372.8	5.0	157	31.4	
31	245.25		588.6	402.2	5.0	108	21.6	
32	0		588.6	539.6	5.0	144	28.8	
33	235.4		588.6	402.2	5.0	139	27.8	
34	0		588.6	539.6	5.0	98	19.6	
35	245.25		588.6	392.4	5.0	149	29.8	
36	245.25		637.7	392.4	5.0	113	22.6	
37	245.25		588.6	392.4	5.0	200	40.0	
38	245.25		588.6	392.4	5.0	156	31.2	
39	215.8		588.6	392.4	5.0	142	28.4	

ANM: "INGEN MÄTNING" = BACKVENTILER I HÅLEN

KISTA 76.08.24

F.8

FIG 26. Vattenförlustmätning i borrhål.

HALLÄNGDER			Ust-datum	Avd	Reg-nr	Blad nr
hällnr	10m	20m	Utsällare	30m	40m	50m
1					43	
2	19					
3	14					
4					45	
5				36		
6		9.0.5				
7	18.5					
8				34.3		
9					46.40	
10		20.5				
11	16.50					
12					43.20	
13				39.2		
14		23.4				
15	19.60					
16						56.10
17						51.9
18		28.0				
19		21.60				
20					46.5	
21		27.0				
22	16.2					
23				30.0		
24		21.0				
25	18.2					
26				30.40		
27		22.60				
28	19.6					
29		23.1				
30		27.40				
31		20.20				
32	17.6					
33		27.0				
34				30.60		
35	19.8					
36	18.10					
37				37.8		
38						52.5 52.5
39					46.2	

FIG 27. Borrhällängder infiltrationstunnel.



FIG 28. Nivåregleringsbrunn. I den vänstra kammaren regleras vattennivån med nivåvippor. Påfyllnadsrör i botten.

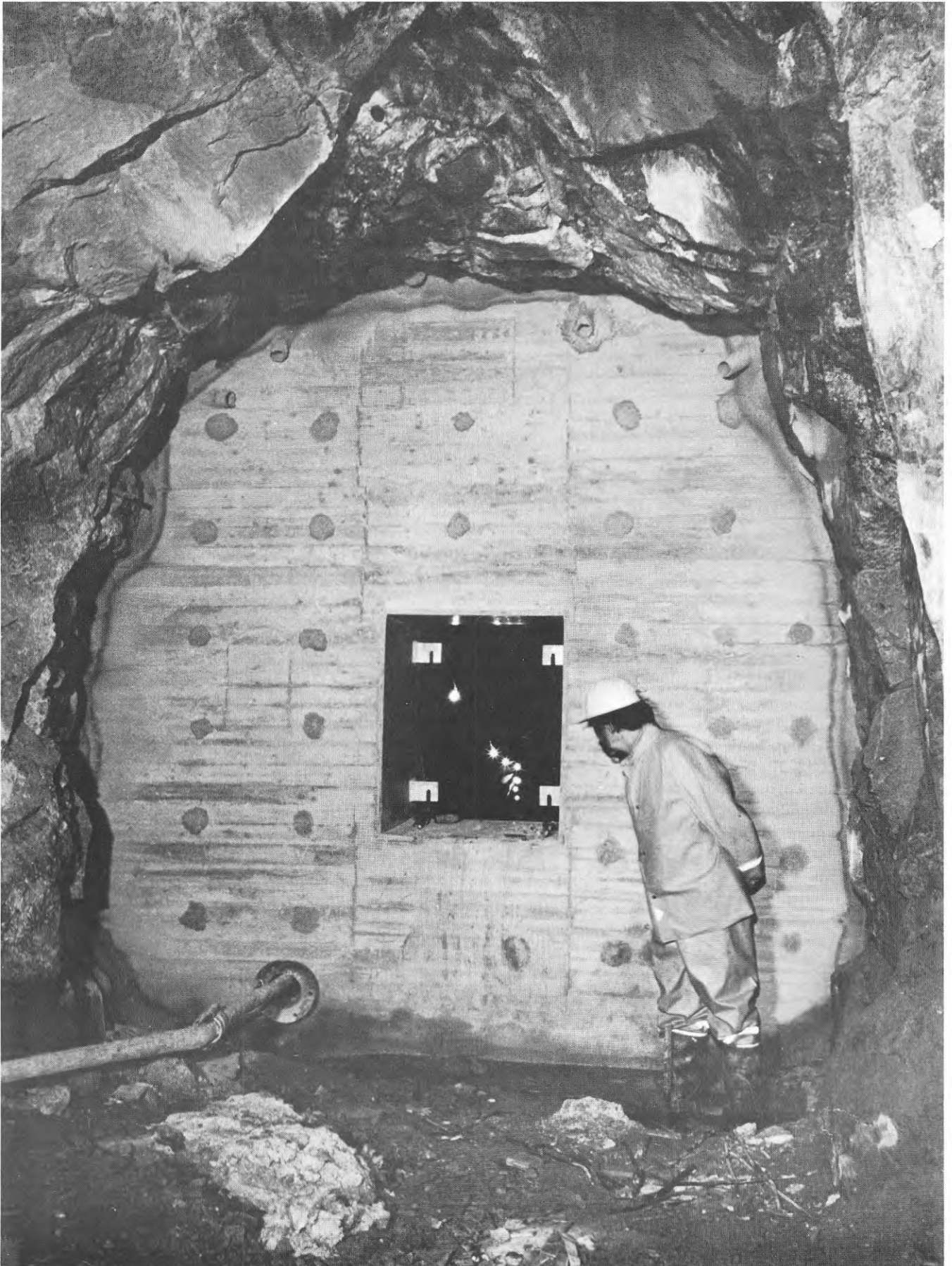


FIG 29. Tättningsvägg 90 cm tjock mellan befintlig tunnel och infiltrationstunnel. Inspektionslucka av stål monteras i gluggen där infiltrationstunneln skymtar. Observera hål för ventil nedtill, där vattnet kan släppas ut och trycknivån snabbt sänkas 25 m.



FIG 30. Infiltrationshål i solfjädersform försedda med back-ventiler. Tunneln vattenfylls genom att öppna ventilerna.

7 UPPFÖLJNING, MÄTNINGAR

Uppföljning och mätning av grundvatten och portryck samt sättningar har utförts inom området i ovan angivna mätstationer under perioden 75-10--76-11. Mätvärdena i en representativ mätpunkt vid tunnelns tagande i drift visas på FIG 31.

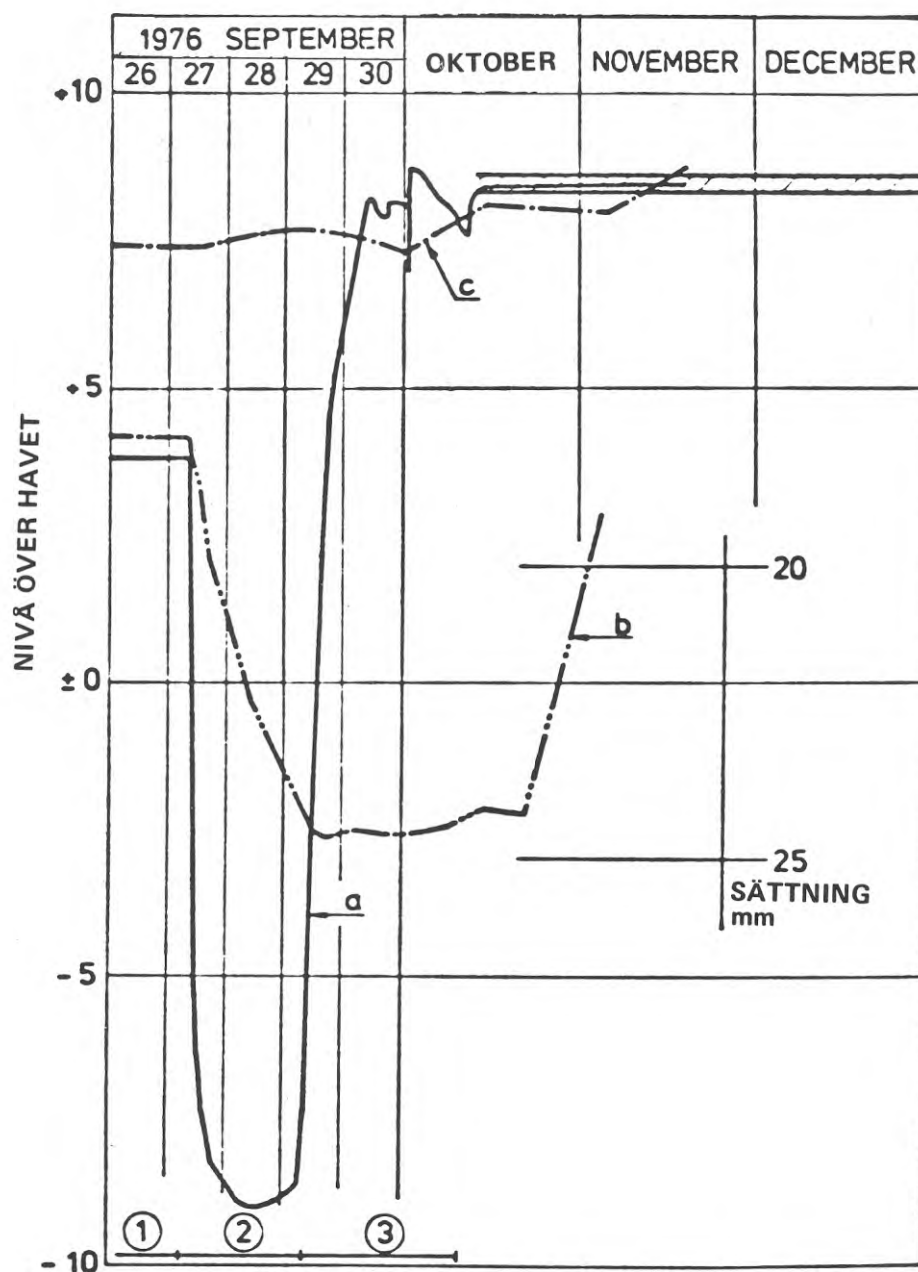
7.1 Grundvattenobservationer

Grundvattenytan i de 10 rören inom området varierade mellan +6 och +7 från november 75 till maj 76 med en topp i maj (se FIG 32-34). Undantaget är rör 4 vars funktion ej var tillfredsställande, varför det sattes om i maj 76. Därefter sjönk grundvattennivån fram till augusti till ca +4 - +5. Denna tendens stämmer väl med mätningar i gatukontorets rör utanför området. I förhållande till den ursprungliga grundvattennivån, vilken kan antagas ligga på +9,0 i området, har alltså grundvattennivån hela perioden varit avsänkt mellan 2 och 5 m (FIG 36-37). Under augusti utfördes vissa studier av grundvattenytans variationer vid öppnandet av vissa borrhål inuti tunneln. Utsläpp av 30 l/min ur två borrhål under några timmar gav kraftiga utslag på 0-4 m grundvattensänkning beroende på avstånd till tunnel, krosszoner och öppnade borrhål. Störst utslag gav rör 4 och minsta gav rör 1. Utslagen från de övriga var 0,5-2,0 m (FIG 38).

I samband med den tidigare nämnda inläckningen vid påfyllnadsröret uppstod en kraftig grundvattensänkning (FIG 39). Maximala sänkningen var 10 m inom ett större område. Sänkningstratten påverkades kraftigt av krosszonerna. Till följd av tunnelns fyllning med grundvatten under 2 dygn skedde en mycket kraftig sänkning på mer än 15 m över ett stort område (FIG 35 och 40). När vatten påfylldes i tunneln, steg grundvattenytan mycket snabbt till önskad nivå. Inget regn föll denna vecka (FIG 35). I ett tomt vattenståndsror (rör 4) hördes ett väsende ljud, då luften pressades ut av det stigande grundvattnet. Vid mätning 76-11-18 (FIG 41) hade grundvattenytan stabiliserat sig på nivå över +8,0 inom hela dalgången. Inom själva infiltrationsområdet låg grundvattenytan på nivå +8,3.

7.2 Portrycksobservationer

Variationen i portryck har av naturliga skäl varit mindre under de korta tidrymder det här varit fråga om. Trycknivån i de övre mätarna har i allmänhet legat mellan +8 och +9, och i de undre mellan +6,5 och +8,3 (FIG 32-34). Vissa variationer i de övre mätarna kan bero på närliggande arbeten, uppfyllningar m m. I samband med den kraftiga grundvattensänkningen när tunneln fylldes, skedde portryckssänkningar i samtliga mätare. När tunneln tagits i drift, steg portrycken åter och vid mätningen 76-11-18 hade samtliga portrycksvärden stigit till nivå med grundvattenytan



IG 31. Representativa mätvärden 76-09-26--11-18.
 Mätvärden vid station 5. a) visar grundvattennivån i friktionslagret mellan lera och berg före (1) och under (2) påfyllningen av tunneln med grundvatten. Vid (3) nåddes det önskade vattentrycket (mellan de två horisontella linjerna) genom påfyllning av renvatten. b) visar sättningar under perioden. Observera skalan! c) visar portrycket i leran på nivån -5,5 m.

eller högre utom i portrycksmätare 6:3, där den stigit till +7,9.

7.3 Sättningsobservationer

Marksättningarna under mätperioden januari - november 1976 var små, 1,3-2,5 cm utom i punkt 4 där de var maximalt 6,3 cm. Det senare värdet är ej representativt, då sättningarna till övervägande delen utspelades i samband med utförandet av borrhålet för påfyllnadsbrunnen alldeles intill mätpunkten. De kunde vara orsakade av urspolning av jordmaterial. Sättningarna i övriga stationer uppkom huvudsakligen dels under grundvattensänkningen i samband med påfyllnadshålet (max 0,5 cm), dels då tunneln vattenfylldes (0,4-0,6 cm). Sedan infiltrationen påbörjats har en viss höjning av marken ägt rum (max 0,5 cm).

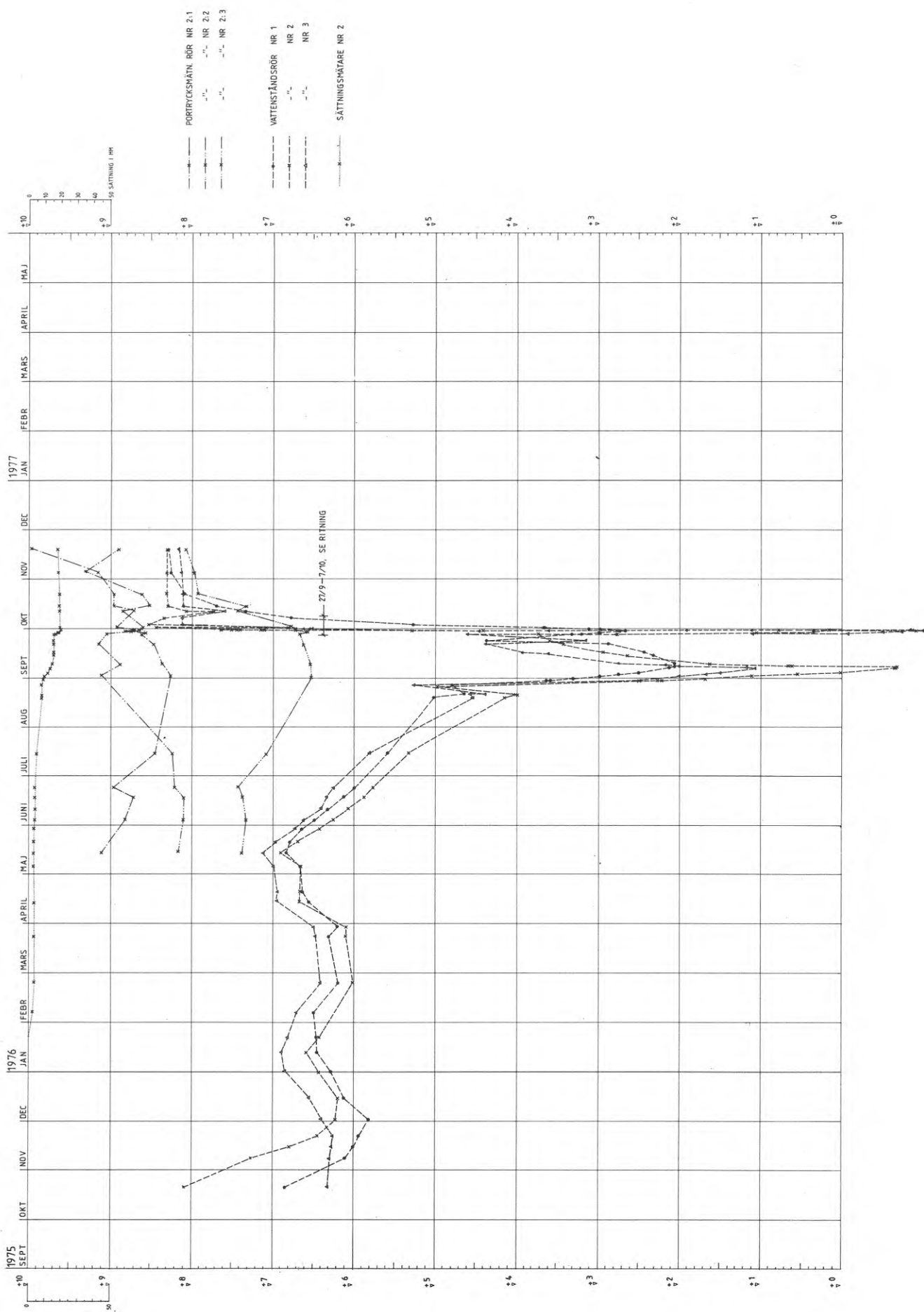


FIG 32. Mätningar i station 1-3
perioden 75-10-20--76-11-18.

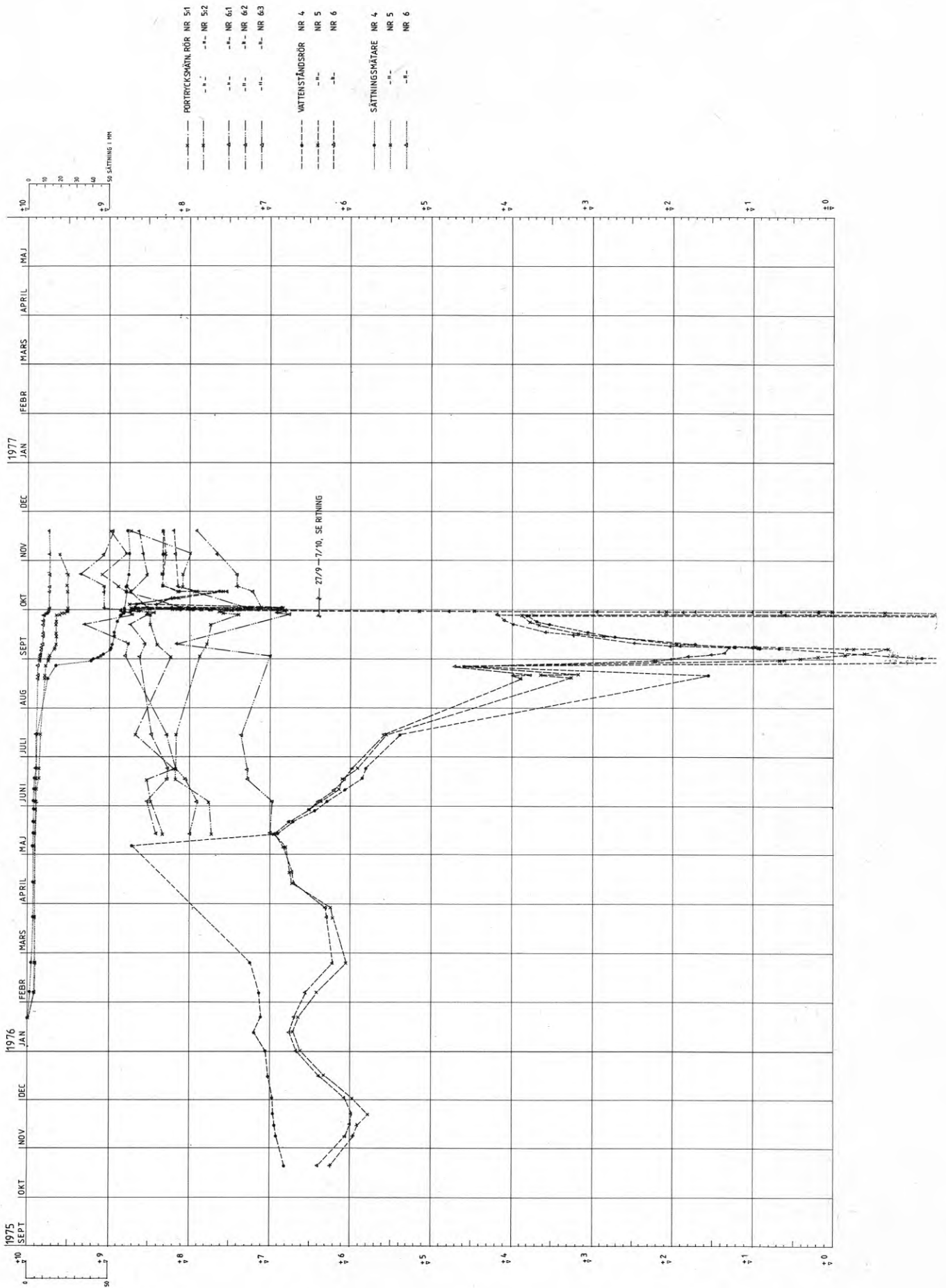


FIG 33. Mätningar i station 4-6 perioden 75-10-20--76-11-18.

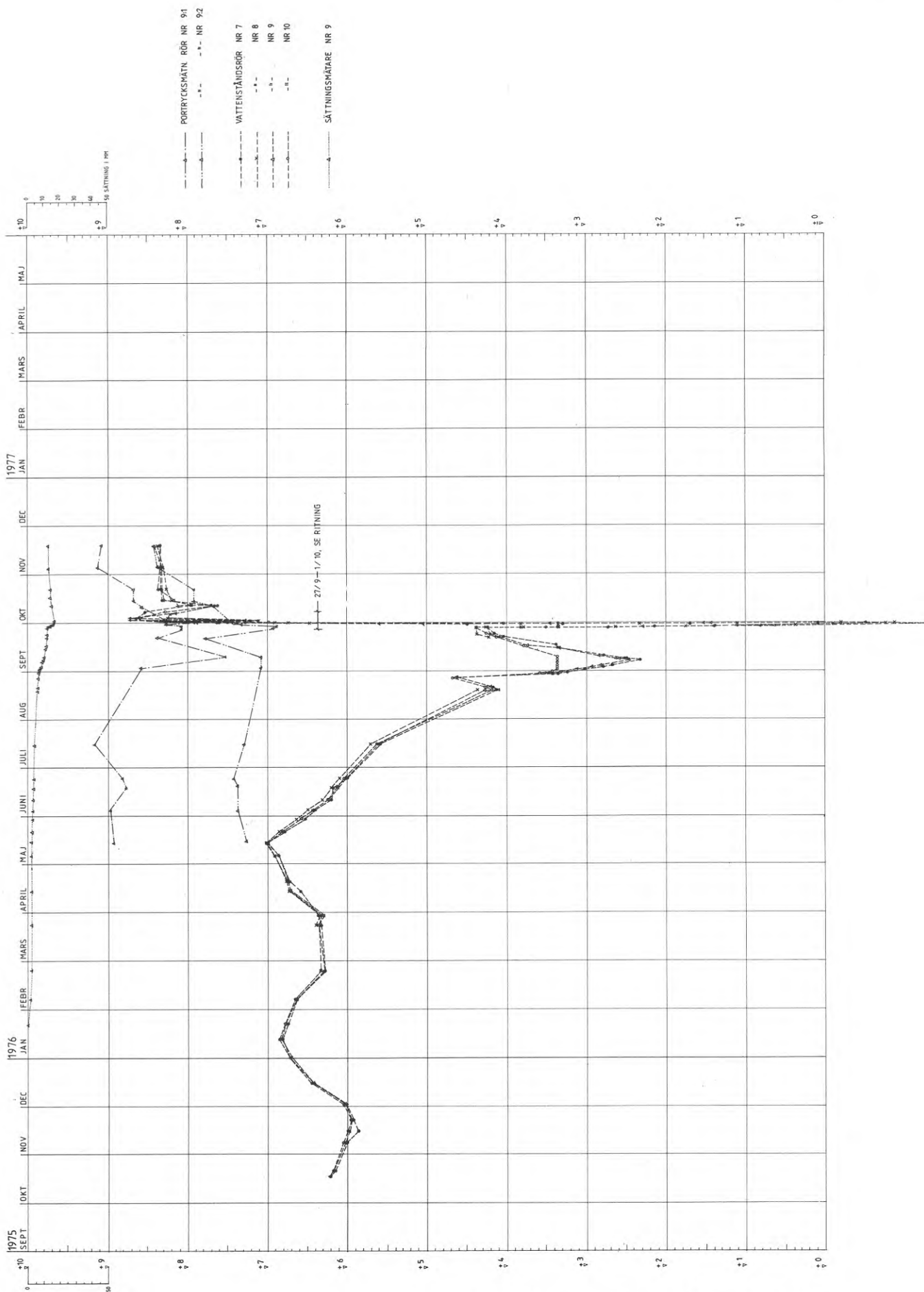
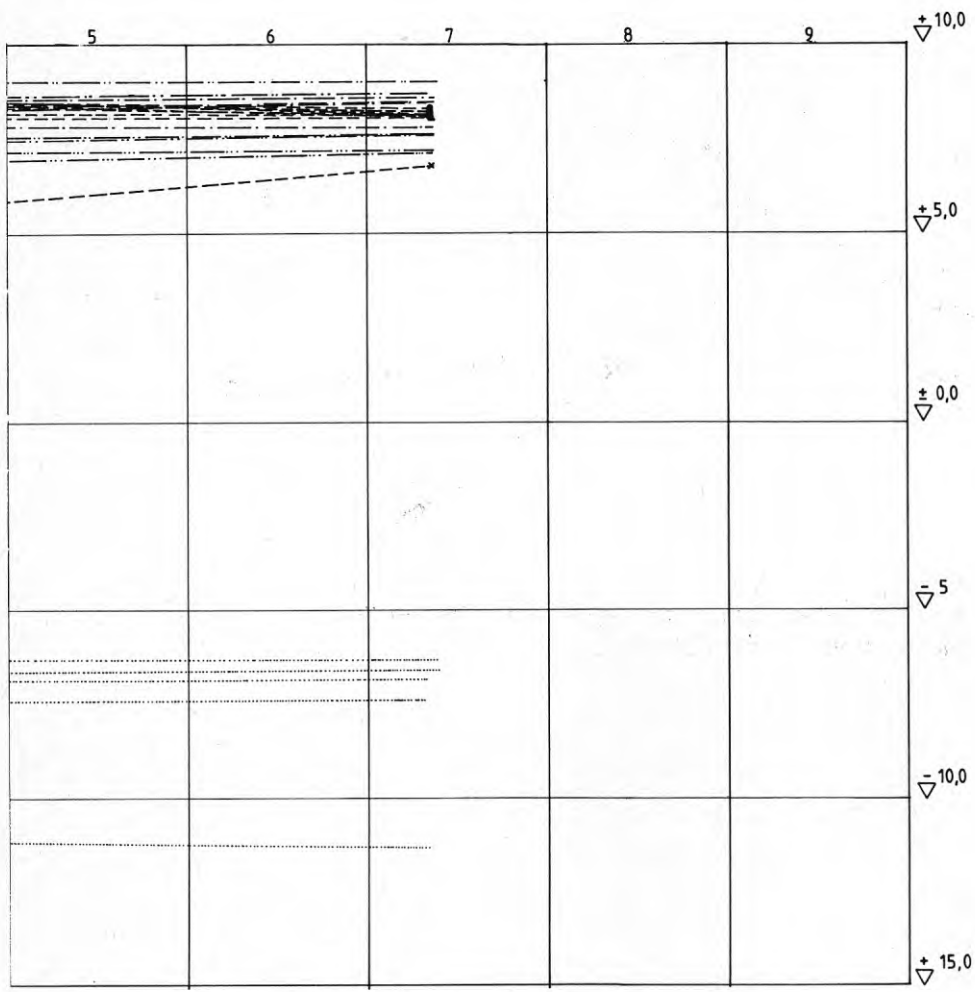
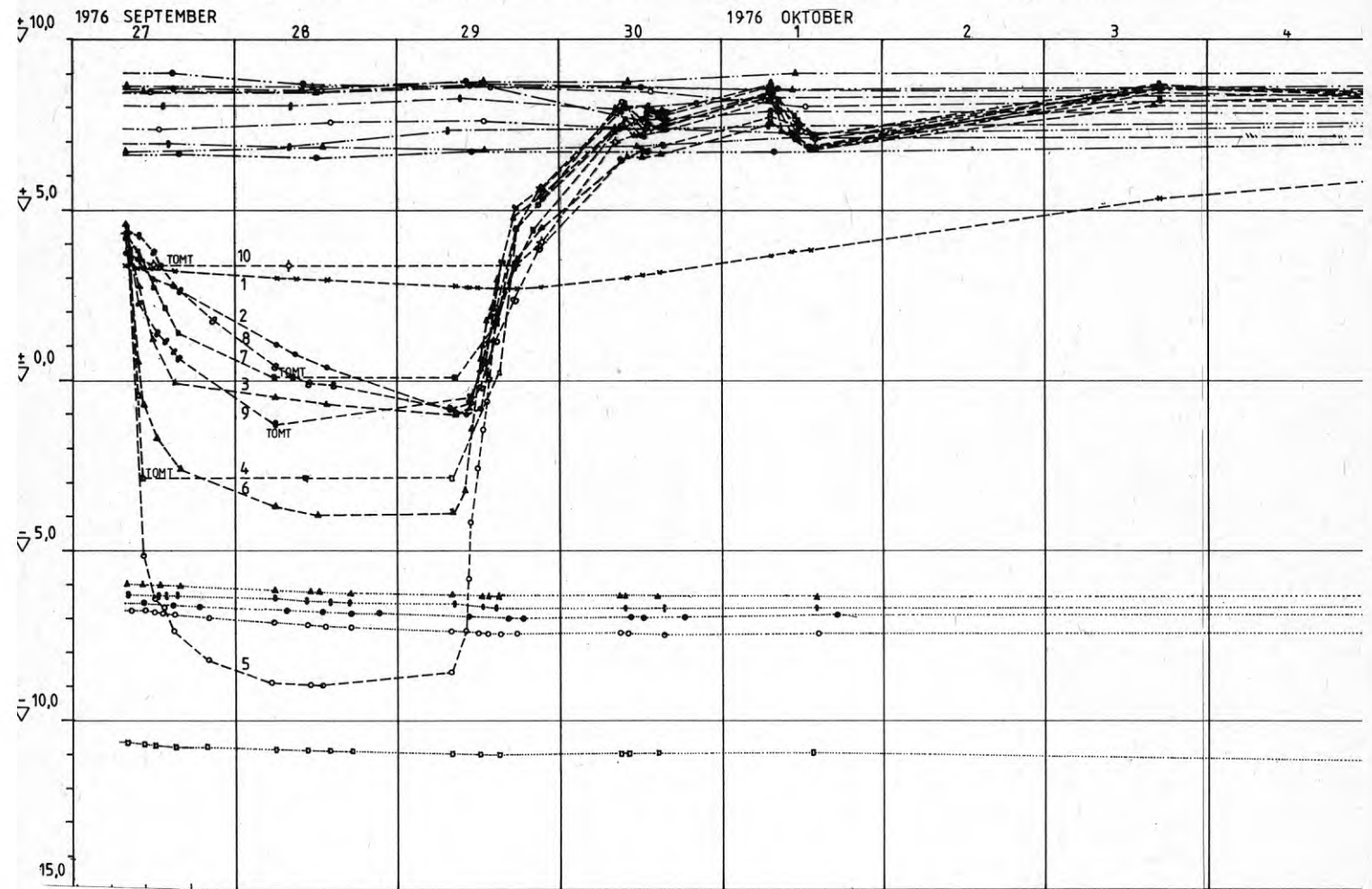


FIG 34. Mätningar i station 7-10 perioden 75-10-20--76-11-18.

FIG 35. Mätningar i station 1-10 perioden 76-09-27--10-07.



- * --- GRUNDOV.OBS.RÖR NR 1
- " --- " NR 2
- " --- " NR 3
- " --- " NR 4
- " --- " NR 5
- " --- " NR 6
- " --- " NR 7
- " --- " NR 8
- " --- " NR 9
- " --- " NR 10
- " --- " NR 2:1
- " --- " NR 2:2
- " --- " NR 2:3
- " --- " NR 5:1
- " --- " NR 5:2
- " --- " NR 6:1
- " --- " NR 6:2
- " --- " NR 6:3
- " --- " NR 9:1
- " --- " NR 9:2
- " --- " NR 2
- " --- " NR 4
- " --- " NR 5
- " --- " NR 6
- " --- " NR 9

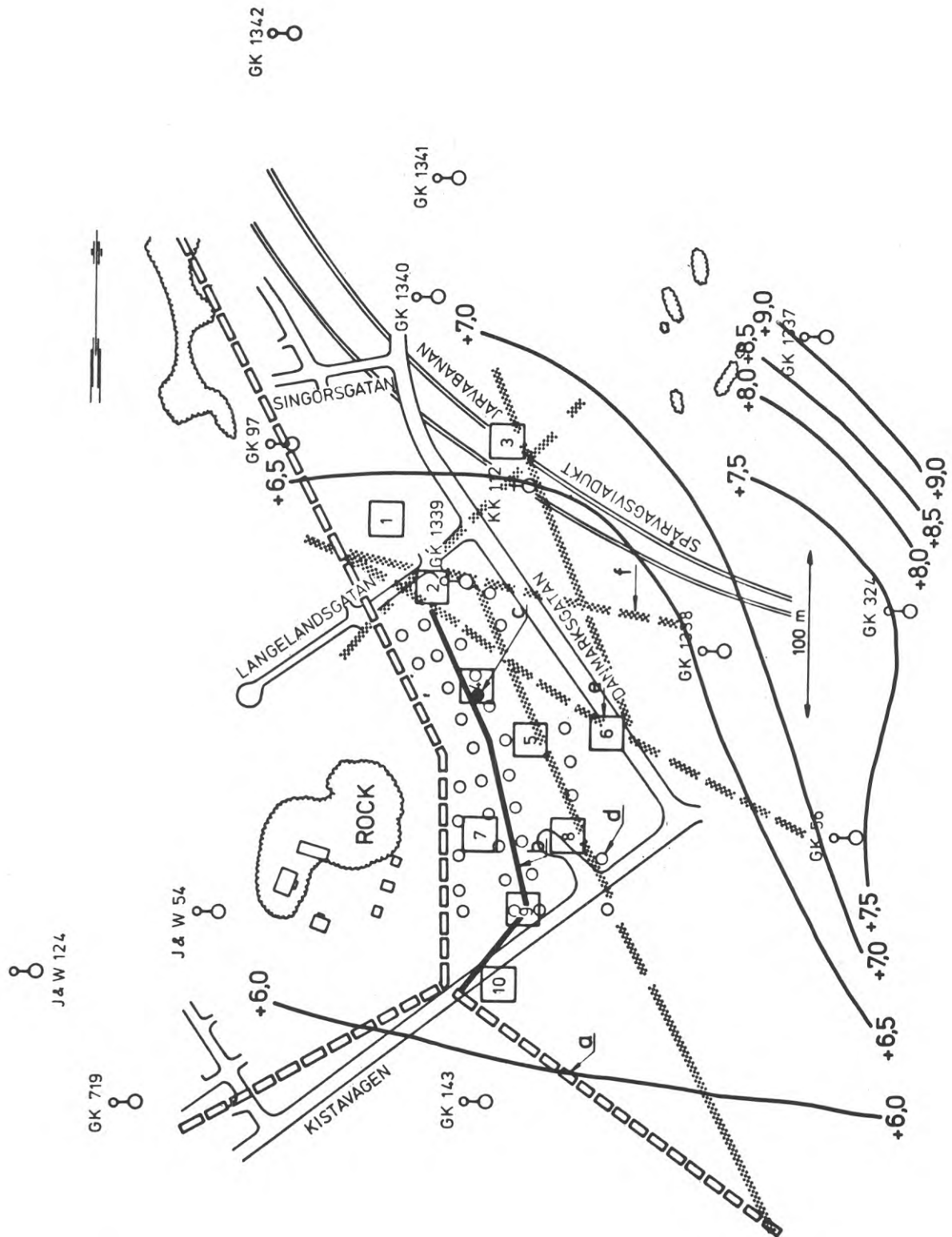


Fig 36. Nivåkurvor för grundvattnets trycknivå 1976-03-28.
Infiltrationstunnel ej påbörjad.

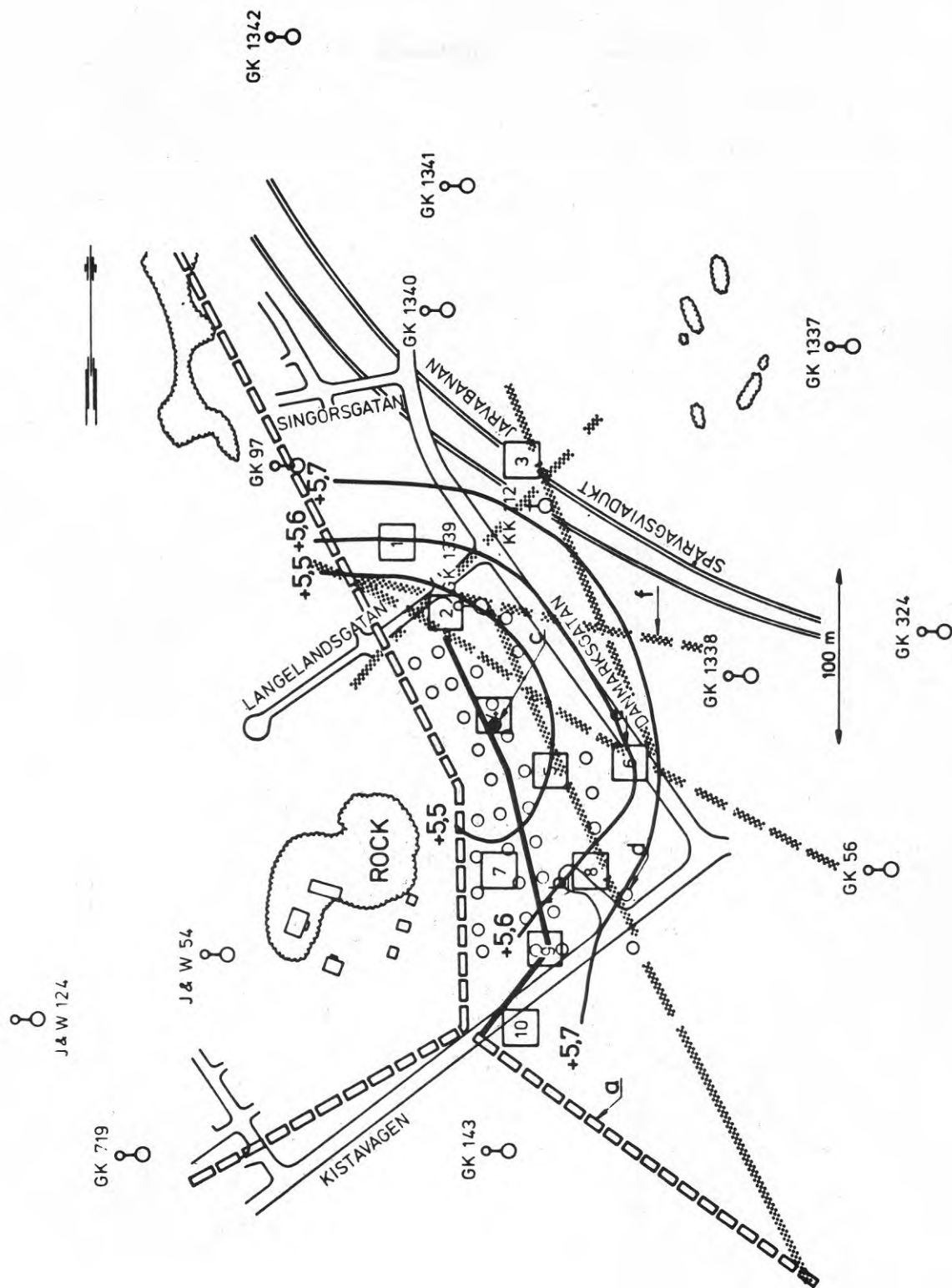


Fig 32. Nivåkurvor för grundvattnets trycknivå 1976-07-14. Infiltrationstunnel utsprängd. Borrhål ej utförda.

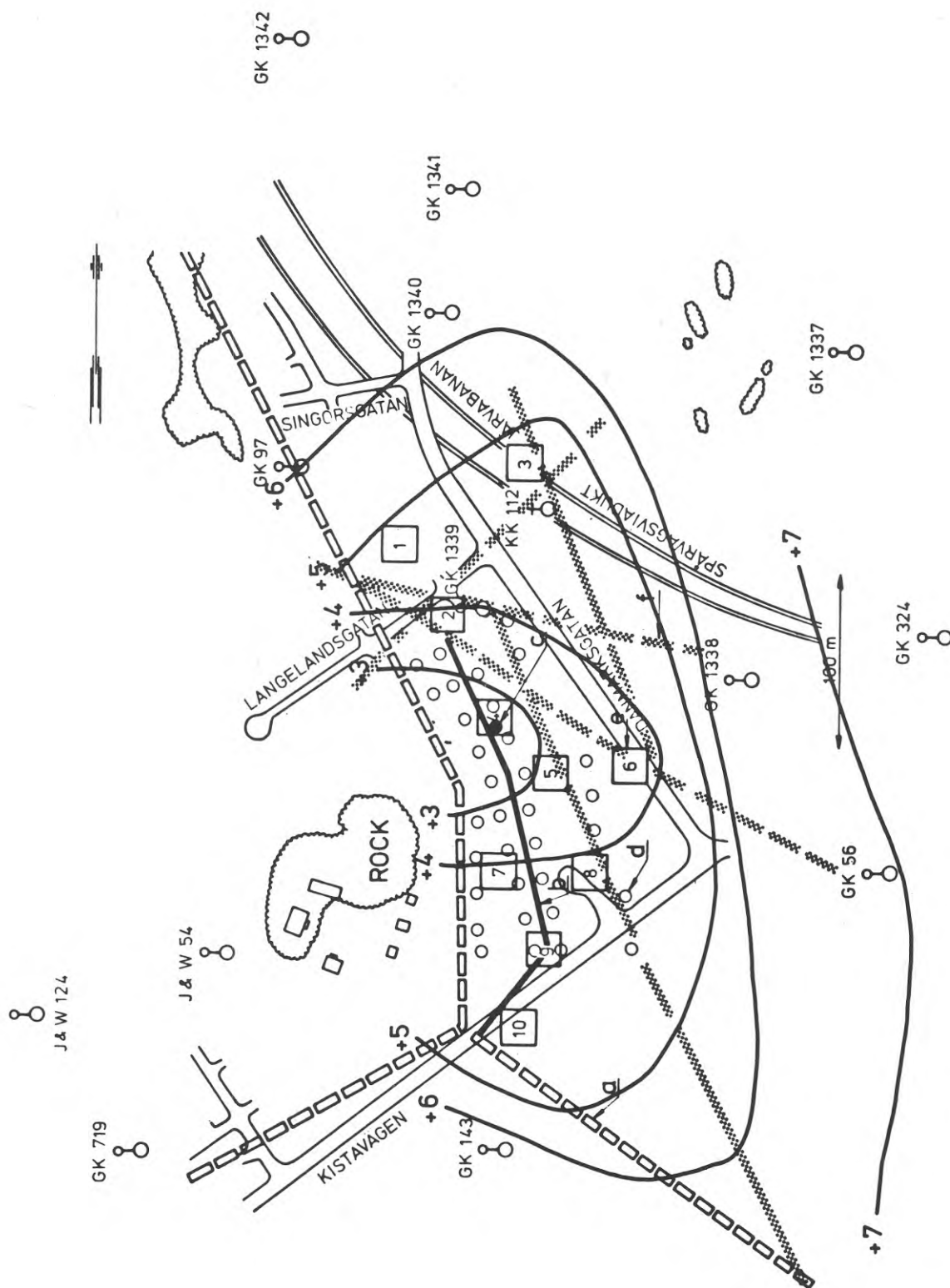


Fig 38. Nivåkurvor för grundvattnets trycknivå 1976-08-20. Borrhål utförda. Två borrhål öppna.

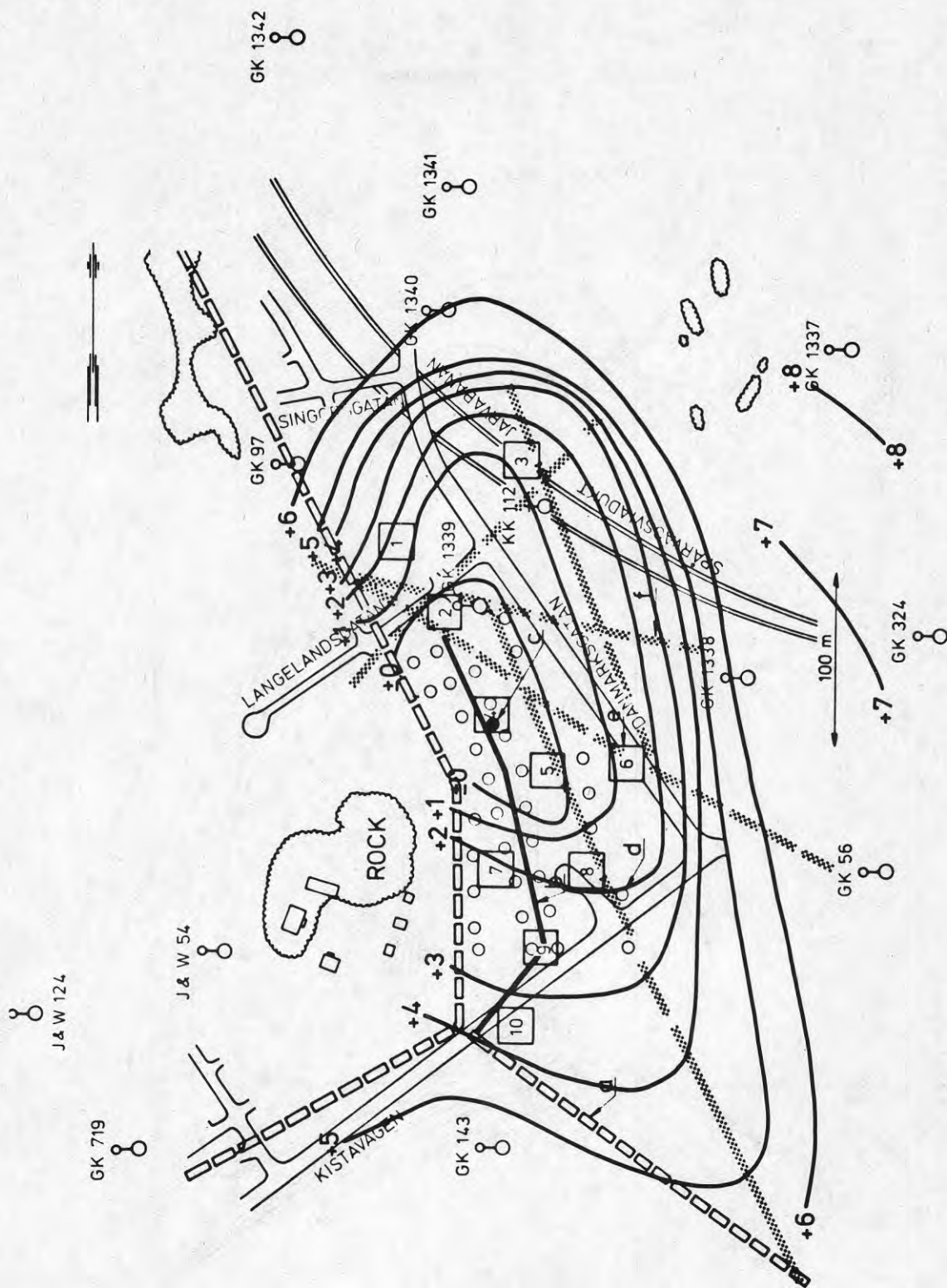


Fig 39. Nivåkurvor för grundvattnets trycknivå 1976-09-01.
Läckage genom borrhål (c).

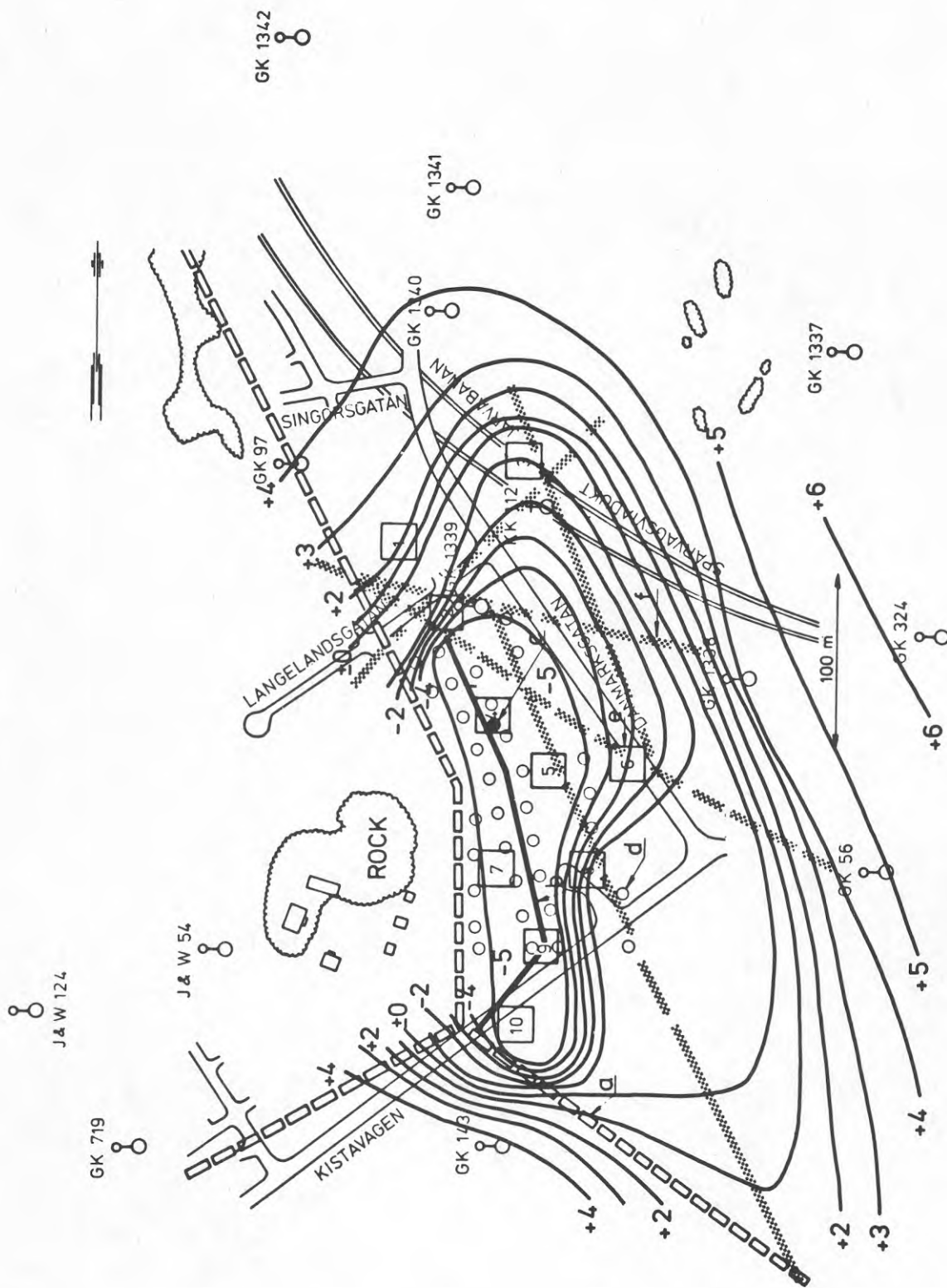


Fig 40. Nivåkurvor för grundvattnets trycknivå 1976-09-27.
 Alla borrhål öppna. Tunneln fylls med grundvatten.

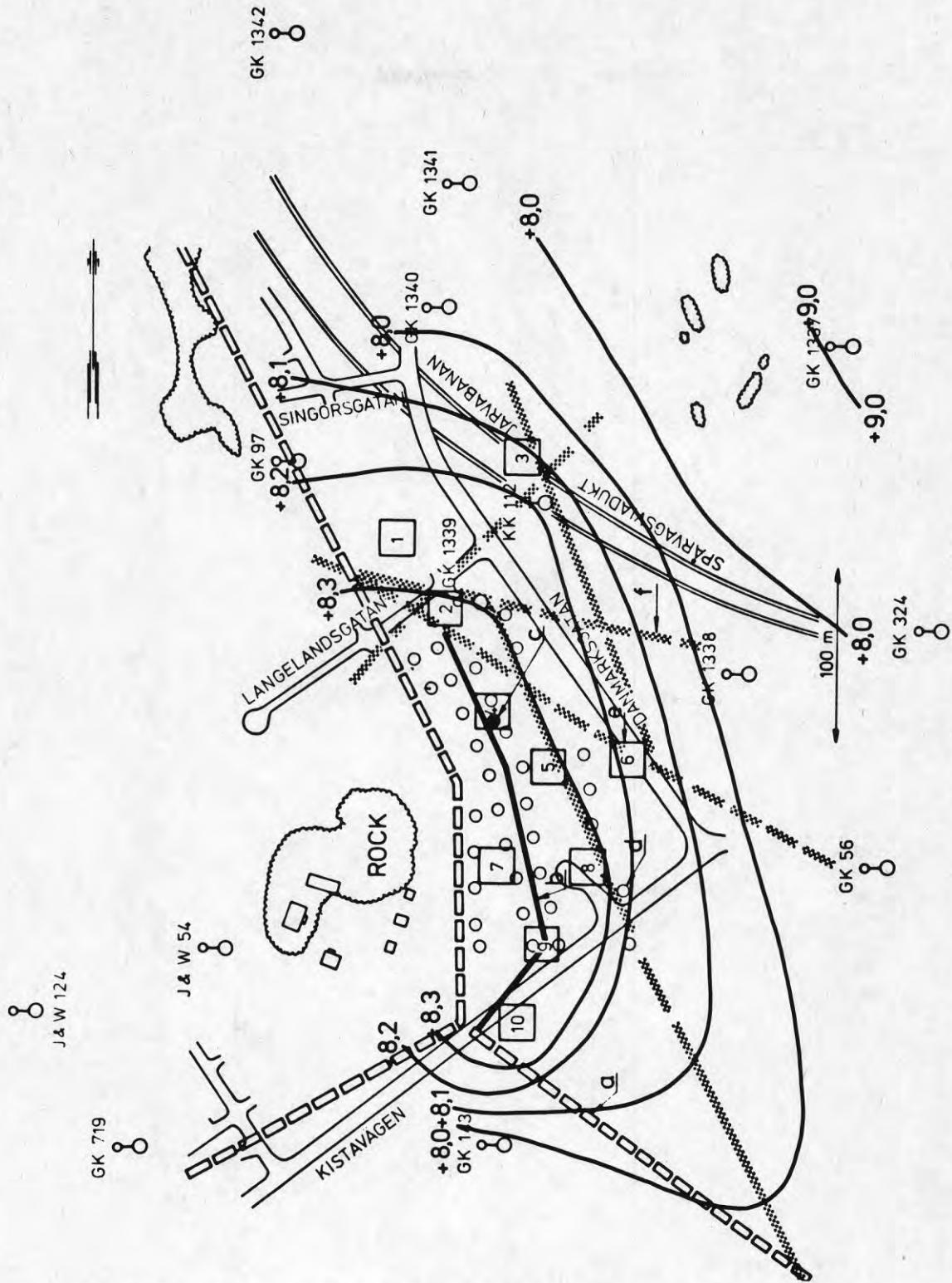


Fig 41. Nivåkurvor för grundvattnets trycknivå 1976-11-18.
Tunneln i drift.

8 UTVÄRDERING

Endast ett halvår har gått sedan tunneln togs i drift, men vissa slutsatser kan dras redan nu. För en fullständig utvärdering krävs, att mätningar kan fortgå under några år.

8.1 Grundvattenkontroll

Grundvattentrycket steg mycket snabbt (några dagar) upp till tillslagsnivån +8,27 eller strax därunder inom hela mätområdet. Även i gatukontorets rör på ett avstånd av upp till 200-300 m från tunneln skedde en kraftig stigning av grundvattennivån, och denna stigning fortsätter. Speciellt utmed krosszonerna synes stigningen sprida sig långt ifrån tunneln. Man kan därför redan nu förutsätta, att man kan kontrollera grundvattennivån inom ett avstånd av minst 150-300 m från tunneln under förutsättning att ingen igensättning av infiltrationsvägarna sker, vilket har varit ett vanligt problem för infiltrationsanläggningar. I detta fall är risken liten av följande orsaker. Vid analys av grundvattnet har man bedömt risken för igensättning som liten. Infiltrationsarean är mycket stor och övertrycket mycket litet. Det är dock viktigt att man under några år studerar igensättningseffekterna = tryckskillnad mellan tillslagsnivå i brunn och grundvattentryck i friktionsmaterialet ovan berg. Vattenförbrukningen har i början varit ca 75 m³ per dygn men har under vintern sjunkit till 0. Vattenförbrukningens variation under året bör även studeras. Under torrperioder är det troligt att infiltrationsvatten från friktionsjorden förs via torrskorpans torksprickor ut på lerområdena. Detta kan ske även sedan ytorna asfalterats. En i samband med infiltrationen uppkommande fukthorisont i en skärning 200 m öster om infiltrationstunneln tyder på detta. Vidare kan konstateras att utförda borrhål ned till tunneln mycket kraftigt kan sänka grundvattennivån inom ett stort område på en kort tid. Kläder man ej in ett sådant borrhål med foderrör och tätar, blir dessa grundvattensänkningar bestående. Kross- och sprickzoner har en avgörande effekt på grundvattensänkningar och infiltrationseffekt. Detta bör beaktas vid grundvattenprognoser och projektering av infiltrationsanläggningar.

8.2 Övrigt

Läckning av infiltrationsvatten genom betongvägg eller till befintlig tunnel är ej märkbar vid besiktning och torde vara liten. Några tillförlitliga mätningar av grundvatteninläckningen vid mätdammen har ej kunnat utföras, då ytvatten runnit in i tunneln. Risken för större inläckningar i befintlig tunnel synes liten. Det vore önskvärt med en registrerande vattenmängdsmätare i påfyllnadsbrunnen för kontroll av vattenåtgång. Vattenkvaliteten framgår av FIG 42-43. Som jäm-

förelse visas grundvattenkvaliteten (FIG 44). Sättningarna har varit små, maximalt 2-3 cm under perioden och har till största delen inträffat under korta tidsperioder med mycket kraftig grundvattensänkning. Då dessa grundvattensänkningar varit framkallade i experimentsyfte och ej behöver uppkomma i ett verkligt projekt, kan man räkna med små sättningar vid byggande av en infiltrationstunnel.

9. FRAMTIDA ANVÄNDNING

Resultatet av projektet är hittills tillfredsställande. Man kan redan nu förutsäga att infiltrationstunnlar kan användas som ekonomiskt fördelaktigt alternativ till andra åtgärder dels inom exploateringsområden, dels inom saneringsområden.

9.1 Exploateringsområden

Med exploateringsområden avses naturområden som skall byggas ut. Inom lerområden med samtidig grundvattensänkning uppkommer sättningar, som i vissa fall åstadkommer skador eller kräver omfattande grundförstärkning. Tidigare praxis har varit att man ej tagit hänsyn till grundvattensänkningar, vilket på många ställen medfört att man fått eller får omfattande skador som åtgärdats eller får åtgärdas. Nuvarande praxis är att man inom känsliga områden gör prognoser för grundvattensänkning och sättningar och sedan grundförstärkning med hänsyn till dessa. Med infiltrationsåtgärder såsom en infiltrationstunnel har man numera tekniska möjligheter att kontrollera grundvattennivån. I framtiden bör därför grundvattenkontroll utgöra ett bra alternativ till grundförstärkning föranledd av grundvattensänkning.

9.12 Grundvattenkontroll

Om grundvattenkontroll skall utgöra ett alternativ till grundförstärkning måste man vara helt säker på att kontrollanläggningen fungerar tillfredsställande. En kontrollanläggning bör därför vara i samma storleksordning som Kistaanläggningen. Infiltrationstunnel bör i första hand komma i fråga i områden med tunnlar eller bergrum och projekteras och byggas tillsammans med dessa. Geotekniska undersökningar och grundvattenprognoser bör finnas som underlag för ekonomisk bedömning av alternativen grundförstärkning - grundvattenkontroll. Som projekteringsunderlag för infiltrationstunnel bör berggrund, sprick- och krosszoner samt jordlagrens egenskaper inom hela tunnelns influensområde kartläggas. Seismiska undersökningar har här

1975-10-21

Sammanställning av analysdata på råvatten och renvatten vid Lovö vattenverk åren 1970 - 1974.

För de olika analyser, som utföres på råvatten och renvatten, redovisas i tabell nedan lägsta analysvärde (min), lägsta årsmedelvärde (min. årsmedel), medelvärde av samtliga analysvärden (medel), högsta årsmedelvärde (max. årsmedel) samt högsta analysvärde (max) avseende åren 1970 - 1974. För analyser som utföres med längre tids mellanrum än en vecka har dock i vissa fall utelämnats lägsta och högsta årsmedelvärde.

		RÅVATTEN					RENVATTEN				
		min	min års- medel	medel	max års- medel	max	min	min års- medel	medel	max års- medel	max
Temperatur	°C	0,8	6,4	6,7	6,9	18,2	1,0	6,5	6,8	7,1	16,5
Färg, Pt	mg/l	10	16	21	25	32	4	5	5	5	5
Grumlighet	ZP- enh.	35	89	97	100	378	5	8	8	10	15
Lukt		1,0	1,1	1,3	1,9	3,1	I N G E N				
Bottensats		I N G E N					I N G E N				
Konduktivitet	mS/m	15,6	19,3	20,0	21,9	25,9	19,5	22,7	23,3	25,1	28,0
Torrsubstans	mg/l	113		142		172	134		163		194
Glödgningsrest	"	89		107		128	114		130		147
pH		7,2	7,6	7,7	7,9	8,9	8,0	8,5	8,5	8,5	8,9
Permanganatförbrukn. KMnO ₄	mg/l	16	19	21	26	30	8	10	11	13	14
Ammonium, NH ₄	"	0,01	-	0,05		0,16	0,03		0,06		0,10
Totalhårdhet, Ca	"	24	33	33	36	43	32	39	40	43	48
Totalhårdhet, tyska grader	°d	3,4	4,6	4,6	5,0	6,0	4,8	5,5	5,6	6,0	6,3
Kalcium	mg/l	20		24		30	26		31		39
Magnesium	"	4		5		6	4		5		6
Aluminium	"	-	-	-	-	-	0,01		0,03		0,08
Järn	"	0,01		0,04		0,10	<0,01		0,02		0,08
Mangan	"	<0,05		<0,05		<0,05	<0,01		<0,05		<0,05
Kviksilver	"			<0,0001					<0,0001		
Fluorid	"	0,27		0,34		0,41	0,20		0,26		0,30
Fosfatfosfor	"	0,009		0,031		0,057	<0,001		<0,001		0,004
Totalfosfor	"	0,022		0,042		0,057	0,001		0,002		0,007
Klorid	"	9	11	11	13	14	10	11	12	14	14
Nitrat	"	0,5		1,2		2,0	<0,5		1,2		2,0
Nitrit	"	<0,01		<0,01		0,02	<0,01		<0,01		<0,01
Sulfat	"	32		39		50	44		52		65
Alkalitet	"	36	53	55	58	80	45	57	60	63	79
Marmoraggressiv kolsyra	"	-	-	-	-	-					
Kloröverskott	"	-	-	-	-	-	0,25		0,30		0,40
Syre	"	6,5		11,9		14,6	8,8		11,9		14,1
Totalantalet bakterier, agar 22 °C	per ml	0	14	23	35	470	0	0	<1	1	18
Totalantalet coliforma bakterier, 35 °C	per 100 ml	<2	26	38	42	542	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Termostabila coliforma bakterier, 44 °C	per 100 ml	<2	9	12	15	240	-	-	-	-	-

FIG 42. Analysdata för vatten, Lovö vattenverk.

1975-10-20

Sammansättning av analysdata på råvatten och renvatten vid Norsborgs vattenverk åren 1970 - 1974.

För de olika analyser, som utföres på råvatten och renvatten, redovisas i tabell nedan lägsta analysvärde (min), lägsta årsmedelvärde (min. årsmedel), medelvärde av samtliga analysvärden (medel), högsta årsmedelvärde (max. årsmedel) samt högsta analysvärde (max) avseende åren 1970 - 1974. För analyser som utföres med längre tidsintervall än en vecka har dock i vissa fall utelämnats lägsta och högsta årsmedelvärde.

	RÅVATTEN										RENVATTEN				
	Bornsjön					Rödstensfjärden					min	min års- medel	medel	max års- medel	max
	min	min års- medel	medel	max års- medel	max	min	min års- medel	medel	max års- medel	max					
Temperatur °C	0,7	6,3	7,9	9,2	18,8	0,2	7,0	7,3	7,9	18,2	0,3	6,8	7,2	7,8	17,8
Färg, Pt mg/l	7	12	12	13	20	10	13	16	21	26	<5	<5	<5	5	7
Grumlighet ZP- enh.	44	80	100	128	420	60	107	116	130	340	5	8	10	11	20
Lukt	1,1	1,8	3,3	4,7	10,0	1,0	2,5	4,2	6,3	13,3	INGEN				
Bottensats	L I T E N					L I T E N					INGEN				
Konduktivitet mS/m	19,9	21,3	22,1	22,9	24,1	13,7	14,9	16,2	17,4	25,0	16,6	18,2	19,3	20,5	28,5
Torrsubstans mg/l	147		157		166	102		117		133	122		136		155
Glödgningarest "	115		122		126	73		85		108	94		108		132
pH	6,9	7,6	7,6	7,7	8,4	6,7	7,5	7,6	7,7	9,0	7,9	8,4	8,5	8,6	9,1
Permanganatförbrukn. KMnO ₄ mg/l	10	15	16	17	20	13	18	19	20	24	6	8	9	9	14
Ammonium, NH ₄ "	0,02	0,05	0,09	0,12	0,16	0,02	0,06	0,09	0,12	0,18	0,04	0,06	0,09	0,11	0,14
Totalhärdhet, Ca "	32	37	39	40	46	20	23	25	27	40	26	30	32	34	43
Totalhärdhet, tyska grader °d	4,5	5,2	5,5	5,6	6,4	2,8	3,2	3,5	3,8	5,6	3,6	4,2	4,5	4,8	6,0
Kalcium, Ca mg/l	26		30		32	15		18		22	21		24		29
Magnesium, Mg "	4,0		5,7		-6,8	3,0		4,3		6,0	3,8		4,5		6,0
Aluminium, Al "											<0,01		0,02		0,11
Järn, Fe "	0,03		0,07		0,19	0,03		0,07		0,14	<0,01		0,02		0,06
Mangan, Mn "	0,01		<0,05		0,06	<0,01		<0,05		0,05	<0,01		<0,05		<0,05
Kvicksilver, Hg "			<0,0001					<0,0001					<0,0001		
Fluorid, F "	0,24		0,28		0,31	0,25		0,33		0,38	0,22		0,25		0,29
Fosfatfosfor, PO ₄ "	0,001		0,010		0,030	0,005		0,020		0,040	<0,001		<0,001		0,004
Totalfosfor, PO ₄ "	0,002		0,020		0,040	0,010		0,030		0,050	0,001		0,002		0,006
Klorid, Cl "	11	13	14	15	16	8	10	12	15	40	8	10	12	15	38
Nitrat, NO ₃ "	<0,5		1,06		2,3	<1,0		1,5		2,6	<1		1,6		2,4
Nitrit, NO ₂ "	<0,01		<0,01		<0,01	<0,01		<0,01		<0,01	<0,01		<0,01		<0,01
Sulfat, SO ₄ "	30		35		39	29		34		38	41		45		50
Alkalitet, HCO ₃ "	70	77	78	79	86	32	36	38	40	59	31	43	45	48	70
Marmoraggressiv kolsyra, CO ₂ "	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			0		
Kloröverskott, Cl ₂ "	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,31	0,34	0,39	0,45
Syra, O ₂ "	3,0		9,0		13,6	4,3		11,0		15,1	5,1		10,4		14,0
Ziselnsyra, SiO ₂ "	0,3		1,7		3,3	0,09		0,7		1,9	0,11		0,80		1,90
Totalantalet bakterier, agar 22 °C per ml	4	79	112	152	3100	10	170	338	805	3800	0	<1	1	1	16
Totalantalet coliforma bakterier, 35 °C per 100 ml	<0,2	2,4	4,3	7,9	54,2	<2	33	54	87	1300	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,3
Termostabila coliforma bakterier, 44 °C per 100 ml	<0,1	0,7	0,8	0,8	7,0	<1	5	11	17	490					

FIG 43. Analysdata för vatten, Norsborgs vattenverk.

Datum
1976-02-12Beteckning
DLS 610 EF/VR

Kista, undersökning av ett grundvattenprov från infiltrations-tunnel

Uppdragsgivare: PRKB, Ing. B Spångberg

Prov:

Ett grundvattenprov från Kista infiltrationstunnel inlämnades till Laboratoriebyrån 1976-02-02 av ing. Spångberg.

Uppdrag:

Att bestämma grundvattenprovets totala järnhalt, samt den järnhalt som återstår i provet efter luftning och filtrering, och dessutom undersöka grundvattenprovets aggressivitet mot järn och betong.

Undersökningsresultat:

Undersökningen gav nedan redovisade analysvärden.

pH		8,3
Konduktivitet	mS/m	53
Totalhårdhet	°dH	11,6
Totalalkalinitet	mekv/l	3,5
Fenoltaleinalkalinitet	mekv/l	0,2
Bikarbonat, HCO ₃	mg/l	189
Fri kolsyra, CO ₂	mg/l	0
Marmoraggressiv kolsyra		
CO ₂ , beräknat värde	mg/l	0
Karbonathårdhet	°dKH	9,2
Klorid, Cl	mg/l	65
Sulfat, SO ₄	mg/l	74
Järn (total) ej luftat, Fe	mg/l	0,06
Järn luftat och filtrerat, Fe	mg/l	0,01

Bedömning:

Provet utgöres av ett svagt basiskt hårt grundvatten. Totalhalten järn är låg. Vid luftning av vattnet utfälles huvuddelen av järnet som hydroxid. Risken för igensättning av marklager i samband med infiltration bedömes vara obetydlig.

Grundvattnet är inte aggressivt mot järn och betong.

DRIFTAVDELNINGEN

Laboratoriebyrån

Jan Hjort

A Apenitis

sin givna plats. Antal tunnlar, tunnlarnas längd och läge samt borrhålens lägen och antal anpassas efter de geohydrologiska förhållandena. Ett observationsnät för grundvattennivå, portryck och sättningar utläggs i god tid, innan anläggningen utförs. Infiltrationssystemets effekt bör följas upp. Genom ventil i tätningssvägg skall man snabbt kunna sänka trycknivån i tunneln. Därmed kan infiltrationspunkterna rensas genom bakspolning vid eventuell igensättning. Man kan på detta sätt även temporärt sänka grundvattenytan vid djupa schakter under grundvattenytan och därmed förbilliga schaktarbetet. Detta senare kräver kontroll av sättningarna.

9.13 Jordförstärkning - uttagning av sättningarna före utbyggnad av ett område

Genom infiltrationstunneln kan man åstadkomma kraftiga grundvattensänkningar. Genom dessa grundvattensänkningar kan man ta ut sättningarna i förväg, om man har tid på sig. På så sätt uppnår man en jordförstärkning och kostnader för andra grundförstärkningar än för grundvattensänkning kan minska. När området byggs ut, kan man höja grundvattnet till önskad nivå. Genom att följa tidsförlopp av grundvattensänkning, portrycksminskning och sättningar får man en mycket noggrann geoteknisk undersökning. Hela området fungerar som en jättelik ödometer. Dessa noggranna uppgifter kan även bidra till att minska grundförstärkningsbehovet. För att denna jordförstärkning skall fungera fordras att planeringen sker tidigt, och att infiltrationstunnlar byggs flera år innan området byggs ut. Metoden kan kombineras med vertikaldränering eller/ och vakuummetoden om så erfordras.

9.2 Saneringsområden

Med saneringsområden avses här bebyggda områden med grundvattenproblem. Infiltrationstunnlar kan här användas för att återställa och bibehålla grundvattennivån i stället för grundförstärkning. I dessa områden är det ännu viktigare än i exploateringsområden att kontrollera sättningar, grundvattenstånd och portryck under utförande och drift. Man måste undvika grundvattenläckage i möjligaste mån. Sålunda bör tunneln projekteras i gott berg och tätning utföras i erforderlig omfattning. Påfyllnadshål måste projekteras och utföras så, att minimal inläckning sker. Borrhål kan öppnas, när tunneln är i stort fyllt t ex från båt eller av dykare. Temporär infiltration i enstaka borrhål kan erfordras under arbetets gång.

9.3 Metodens begränsningar

Metoden är tillämpbar i de normala svenska geotekniska förhållandena med lera på friktionsjord (exempelvis morän) på urberg. Vilar leran direkt på berg, är det svårt att infiltrera om inte ytberget är mycket sprickigt. Samma sak gäller vid mycket tätt berg. I yngre bergarter kan problem uppstå i samband med tunneldrivning, igenslamning m m.

10. EKONOMISKA ASPEKTER

Grundvattensänkningar medför stora kostnader för grundförstärkningar inom områden med lös jord. Grundvattenkontroll kan ofta vara ekonomiskt mycket fördelaktigt. Inom ett område som Kista kan kostnaden för grundvattenkontroll vara av storleksordningen 10% av kostnaden för grundförstärkning. Det finns flera andra exempel där grundvattensänkningar orsakat åtskilliga miljoner kronor i grundförstärkningskostnader. Det finns därför anledning att tänka om beträffande nuvarande praxis. Vid varje större grundförstärkningsarbete orsakat av grundvattensänkning kan det ge god ekonomisk vinst att räkna på ett alternativ med grundvattenkontroll. Kostnaden för tunneln i Kista inkluderande borrhål, påfyllning och drift ligger på ca 4000:- kr/m. Ca 1000:- kr/m kan beräknas vara utvecklingskostnad.

11. METODEN SEDD I ETT STÖRRE SAMMANHANG

Frånsett mindre detaljer kan man säga, att teknisk lösning i dag finns till problemet med grundvattenkontroll. För att kunna dra nytta av denna och andra tekniska lösningar inom geoteknikområdet krävs, dels att de kommer in tidigt i planeringsprocessen, dels att de bedöms av sakkunnigt folk. Med sakkunnigt folk avses här erfarna geotekniker, geologer och marktekniker. Kommunerna saknar oftast geotekniker och geologer. De största kommunerna har sådana, men här är problemet att olika förvaltningar har olika delmål vilka sinsemellan ofta är motstridande. Byggnadsnämnd: säker grundläggning för enskild byggnad, fastighetsnämnd: minimala grundförstärkningsbidrag, gatukontor: billigaste distributionssystem utan hänsyn till grundvattensänkningar. Dessutom är problemen ofta interkommunala. Detta ger långtifrån optimala lösningar och detta drabbar tredje man och skattebetalarna. Dessa administrativa problem har berörts i BFR:s forskningsprojekt "undermarksplanering, slutrapport del 3" daterad 75-04-18. Som ett diskussionsinlägg ges här följande förslag: De övergripande frågorna inom geoteknik, geohydrologi och undermarksplanering handläggs vid länsstyrelsernas naturvårdsenheter i samråd med kommunerna. Här finns redan sakkunniga inom VA-teknik och geologi. Länsstyrelsen anlitar neutrala sakkunniga, exempelvis Statens geotekniska institut eller inrättar en särskild länsgeoteknikertjänst eller en kombination av dessa alternativ. Handläggningen skall vara av kontrollerande och rådgivande art med tonvikten lagd på rådgivande. När en totalekonomisk lösning är uppnådd, kan t ex byggnadsnämnd föreskriva en lägsta tillåten grundvattennivå, varefter VA-verk eller gatukontor bygger och driver infiltrationsanläggningar för att kunna hålla denna grundvattennivå. Fastighetskontor betalar dessa anläggningar med delar av de grundförstärkningsbidrag som annars skulle betalats för dyra grundförstärkningar.

KORTFATTAD KRONOLOGISK REDOGÖRELSE FÖR FORSKNINGS-
GRUPPENS VERKSAMHET

1. 74-04-16 B Spångberg VA-verket kontaktar P L Svensson angående projektet. Efter skissande framläggs programförslag. I projektgruppen skall i första hand ingå K G Ejerholm och B Spångberg VA-verket samt P L Svensson HSB.
2. 74-05-16 Ansökan 740284-3 "Kontroll av grundvattennivån genom djupinfiltration från bergtunnlar via spricksystem och borrhål, ett fullskaleförsök". Ansökan gällde en förstudie, belopp 50.000:-. Ansökan bordlades.
3. 74-09-09 Ny ansökan 740378-6 inlämnas gällande hela projektet. Kostnad för projektet beräknas till 500.000:-. För projektledning, planering och uppföljning söks medel av BFR för 250.000:-.
4. 74-10-26 Dragning inför tunneltättningsgruppen.
5. 74-10-22 BFR reserverar 175.000:- för projektet.
6. 74-12-18 Ansökan inlämnas till STU rörande 500.000:- kr för utförande av tunneln.
7. 75-02-14 Kompletterande upplysningar till STU efter sammanträde med P Rasmussen.
8. 75-03 Tjänstememorial till industriverkstyrelsen rörande anslag (500.000:-) för tunneln.
9. 75-04-21 Beslut från STU om bidrag (250.000:-) till projektet.
10. 75-06-16 Brev från Fastighetskontoret till VA-verket om bidrag (125.000:-) till projektet.
11. 75-08 Projektet startar med geotekniska undersökningar och seismik.
12. 75-09-29 Ansökan BFR 175.000:-.
13. 75-11-24 Kontrakt med BFR (175.000:-).
14. 75-10--
76-04 Tunnelprojektering
15. 75-10--
76-05 Mätutrustning utplaceras. Mätningar pågår.
16. 76-04 Kontrakt skrivs med Skånska Cementgjuteriet.

17. 76-04-29--30 Seminarium i urban hydrologi vid CTH.
P L Svensson deltar.
18. 76-05--09 Tunneln utförs. Mätningar pågår. Mätningarna intensifieras under perioden med kraftig grundvatteninströmning.
19. Tunneln tas i drift 76-09-27 genom att borrhål öppnas och grundvattnet strömmar in.
20. 76-09-29 Vattnet påfylls i tunneln.
21. 76-09-30 Ursprunglig grundvattennivå återställd.
22. 76-11-18 HSB utför sista mätning.
23. 76-11 Notis i Väg- och vattenbyggaren "Infiltrationstunnel - 80-talets lösning på grundvattenproblemen".
24. 76-12 Koncept till slutrapport och sammanfattning till BFR utarbetas.
25. 76-12-31 Projektet redovisas som case record i uppsatsen "Geohydrological activities in urban areas for environmental control" till Specialsessionen "Geotechnical Engineering and Environmental Control" Tokyo juli 1977.
26. 76-12-31 Tilläggsansökan BFR 20.000:-.
27. 77-02-01 Enligt telefon Göran Svensson BFR. Ansökan beviljad (17.000:-).
28. 77-03--05 Slutrapport utarbetas.

LITTERATURFÖRTECKNING

Bilaga 2

- Ahlberg, P, Lundgren, T, Grundvattensänkning till följd av tunnelsprängning, Statens geotekniska institut.
- Andréasson, A, Cederwall, K, 1976, Rubbningar av grundvattenbalansen i urbana områden, CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 16.
- BFR:s Programgrupp för geohydrologisk forskning, 1976, Slutrapport.
- Broms, B, Carlsson, L, Fredriksson, A, 1976, Land subsidence in Sweden due to water-leakage into deep-laying tunnels and its effects on pile supported structures, Second international symposium on land subsidence.
- Carlsson, L, 1976, Djupinfiltration i slutna akviferer, CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 16.
- Gedda, S, Riise, P, Djupinfiltration av vatten i jord, Byggeforskningen, Rapport nr R43:1976.
- Lindskoug, N-R, Nilsson, L-Y, Grundvatten och byggande, Byggeforskningens rapport R:20 1974.
- Stålhös, G, Stockholmstraktens berggrund, Statens geologiska undersökning, Serie Ba nr 24.
- Torstensson, B-A, Följder av grundvattensänkning inom lerområden, CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 16.
- Undermarksplanering, Slutrapport, Statens råd för byggeforskning, Forskningsprojekt 730571-8.
- Wedel, P, Exempel på dränering av jordlager p g a tunnelbyggande, CTH, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 16.

SAMMANFATTNING

KONTROLL AV GRUNDVATTENNIVÅN GENOM INFILTRATION
VIA TUNNEL - ETT FULLSKALEFÖRSÖK

Bakgrund

I Kista ca 10 km norr om Stockholms centrum pågår utbyggnad av ny stadsdel med bostadsområden, industriområden, centrum med tillhörande gator, ledningssystem och tunnelbana. Centralt i detta område finns en ca 900 m lång och 200 m bred lerfylld dalgång. Lerans mäktighet är upp till 20 m och skjuvhållfastheten är låg, varierande från 10 kPa på nivån 2 m till 26 kPa på nivån 15 m.

Dalgången genomkorsas av tunnelsystem för vatten och avlopp, tele m m. Antagna grundvattensänkningar ger marksättningar upp till 160 cm, vilka i sin tur medför extra grundförstärkningar för ca 10 milj kr.

För att undersöka möjligheten att reglera grundvattennivån beslöt man att utföra en infiltrationstunnel.

Infiltrationstunnel

Med utgångspunkt från pågående forskning och med stadens erfarenhet av tunnelbyggande valdes ett infiltrationssystem bestående av tunnel, borrhål i solfjäderform från tunnel till och genom bergöverytan och krosszoner (se fig S1 och S2).

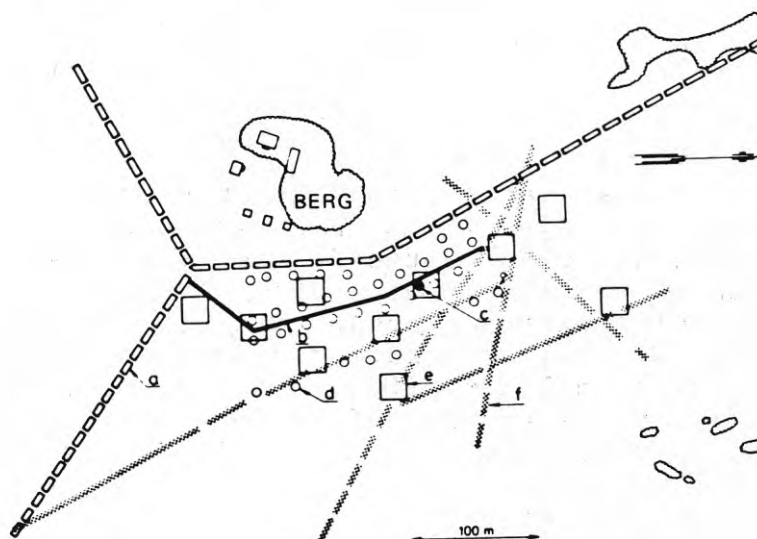


FIG S1. Plan över befintlig avloppstunnel (a), infiltrationstunnel (b), påfyllningsbrunn (c), slutpunkter för infiltrationsborrhål (d), mätstationer (e) och sprickzoner i berg (f).

Systemet står i förbindelse med en brunn vid markytan via ett genom jord och berg drivet foderrör. Hela systemet vattenfylls och vattennivån i systemet regleras från nivåvippor i brunnen. Vatten tillförs från en passerande dricksvattenledning. Infiltrationstunneln är skild från befintlig avloppstunnel genom en 90 cm tjock betongvägg. Tunnelns längd är 250 m och tvärsnittsarean 9 m². Borrhålens längd är 20-50 m.

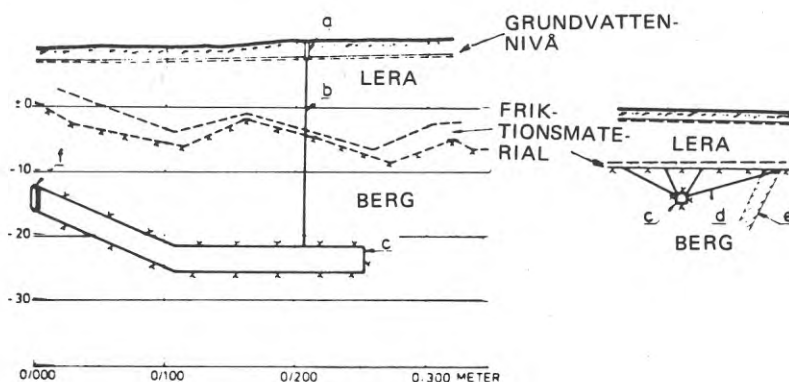


FIG S2. Profil och sektion genom infiltrationstunnel. Renvatten förs från påfyllningsbrunn (a) genom ett borrhål (b) till infiltrationstunneln (c). Från tunneln trycks vattnet genom borrhål (d) och infiltrerar i sprickigt berg (e) och friktionslager ovan berg. En tätvägg har utförts mellan avloppstunneln och infiltrationstunneln (f).

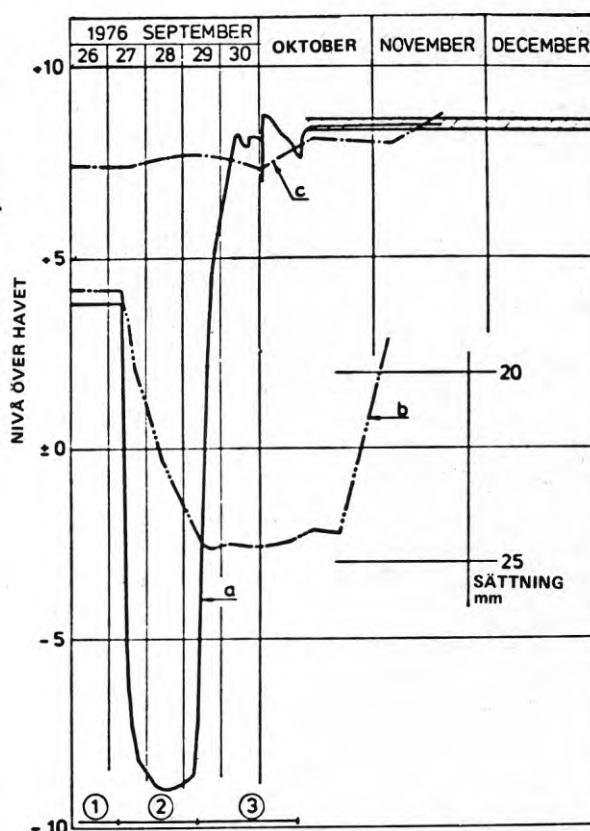
Tunneln projekterades i ett läge med gott berg på relativt stort djup (35 m under markytan) medan borrhålen lätt kunde nå vattenförande krosszoner och friktionslagret närmast bergöverytan. Arbetena kunde också utföras med mycket små störningar och förstärkningsåtgärder. Borrhålen försågs med backventiler försedda med filter omedelbart efter borrhållning. De flesta hål var nämligen starkt vattenförande. Tunnelsystemet utfördes under tiden maj-september 1976.

Uppföljning, mätningar

Mätningar av grundvattentryck i friktionsmaterialet under leran, porvattentryck på olika nivåer i leran samt marksättningar har utförts i 10 mätstationer utplacerade i dalgången (se fig S1). Dessutom har uppgifter om grundvattnets trycknivå i friktionsmaterialet under leran inom ett större område erhållits. Mätningarna påbörjades i oktober 1975 och har pågått t o m november 1976. Avsikten är att mätningarna skall kunna fortgå under minst 5 år. Trycknivån i friktionslagret under leran har i stort följt de naturliga variationerna i området fram till september 1976 då

borrhålet mellan brunn och tunnel utfördes. I månads-skiftet september-oktober togs tunneln i drift genom att borrhålen öppnades och tunneln vattenfylldes med inströmmande grundvatten. Efter två dygn var tunneln fylld. Därefter fylldes vatten i brunnen till nivå ca +8,30. Trycknivån i friktionslagret, som sjunkit maximalt 13 m, steg nu snabbt. Redan efter ett dygn steg trycknivån i stort till nivå i brunnen (se fig S3). Vid mätningarna fram till den 20 november har trycknivån i friktionsmaterialet legat konstant på nivå 8,10-8,40. Portrycken i de djupare lerlagren, som tidigare legat på nivå +6 - +7 hade stigit till nivå +7,90 - +8,40. Marksättningarna var under perioden små, maximalt ett par cm. Under de två dyggen med kraftig grundvattensänkning blev sättningarna 0,4-0,6 cm. En viss höjning har sedan inträffat.

FIG S3. Mätvärden vid station 5.
 a) visar grundvattennivån i friktionslagret mellan lera och berg före (1) och under (2) påfyllningen av tunneln med grundvatten. Vid (3) nåddes det önskade vattentrycket (mellan de två horisontella linjerna) genom påfyllning av renvatten. b) visar sättningar under perioden. Observera skalan! c) visar portrycket i leran på nivå -5,5 m.



Utvärdering

Försöket med infiltrationstunneln har visat att man mycket snabbt kan höja grundvattentrycket i friktionslagret under leran till önskad nivå intill ett avstånd av minst 150-300 m från tunneln och troligtvis betydligt längre. Vattenförbrukningen har hittills varit 0-75 m³ per dygn.

För att ge svar på driftfunktion och effekt under en längre tid erfordras en uppföljning av mätningarna i mätstationerna och vattenförbrukning under en tidsperiod av minst 5 år.

Framtida användning, sammanfattning

Infiltrationstunnelsystem bör med god ekonomi kunna användas:

1. Såsom alternativ till grundförstärkningar inom planerade områden med problem typ Kista d v s tunnlar, lös lera och grundvattensänkningar. För ett område typ Kista kan man räkna med att kostnaden för infiltrationstunnel inklusive drift är en tiondel av kostnaden för grundförstärkningar orsakade av grundvattensänkning. Ett villkor att detta skall lyckas är att infiltrationsalternativet tas med tidigt i undermarksplaneringen.
2. Såsom en möjlighet, eventuellt i kombination med ytvatteninfiltration, att uppfylla krav från byggnadsnämnd att ej sänka grundvattenytan under en viss nivå.
3. Såsom jordförstärkning genom att bygga tunneln i god tid innan ett område byggs ut, sänka grundvattnet och därmed ta ut sättningarna i förväg samt höja grundvattnet när området byggs ut. Den kan i detta sammanhang även användas som säker grundundersökningsmetod då hela lerpacken fungerar som en jättelik ödometer.
4. Som ekonomiskt alternativ till grundförstärkning i saneringsområden med grundvattensänkingsproblem.

Planeringen av tunnlar och infiltrationstunnlar bör starta i ett tidigt skede, gärna i regionplaneringen. Problemen är ofta interkommunala. Olika kommunala förvaltningar har olika delmål i grundvattenfrågorna. Det vore därför önskvärt att länsstyrelserna knöt geoteknisk expertis till sig för att kunna göra en total-ekonomisk bedömning av dessa frågor.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740378-6 från
Statens råd för byggnadsforskning till Stockholms vatten- och
avloppsverk, Stockholm**

R58: 1977

**ISBN 91-540-2717-9
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600658
Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60**

Cirka pris: 28 kr exkl moms