



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

R36:1977

994

**Vattenläckage i bergtunnlar
— dess verkan och
influensområde**

Byggnadsstatik

**Buster Sund
Hieno Roosaar
Göran Bergman**

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R36:1977

VATTENLÄCKAGE I BERGTUNNLAR
DESS VERKAN OCH INFLUENSOMRÅDE

En analys av vatteninrinning, tätning,
förstärkningsåtgärder och utbredning
av grundvattenpåverkan vid utsprängning
av Himmerfjärdstunnlarna.

Buster Sund
Heino Roosaar
Göran Bergman

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740540-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Bergkonsult
AB, Stockholm.

Nyckelord:

Tunnlar
Grundvatten
Bergtunnlar
Inläckning
Influenszoner
Brunnar (påverkan)

UDK 624.191/192
624.131.6
628.112

R36:1977

ISBN 91-540-2699-7
Statens råd för byggnadsforskning

LiberTryck Stockholm 1977

INNEHÅLL

FÖRORD		4
1	BAKGRUND	5
1.1	Tunnelsystemet	5
1.2	Uppföljning av tunnelarbetet	5
2	FÖRSTÄRKNING OCH INJEKTERING I TUNNELN	7
2.1	Databehandling av förstärkningar och injektering	7
3	TUNNELFRONTENS LÄGE	10
4	VATTENLÄCKAGEMÄTNING I TUNNELN	11
5	GRUNDVATTEN-MÄTPROGRAM	14
6	GRUNDVATTENSTÄNDSMÄTNINGAR	18
7	ANALYS AV BRUNNAR OCH GRUNDVATTEN-OBSERVATIONSRÖR	19
7.1	Inventering	19
7.2	Studium av grundvattendiagram	19
7.3	Nederbördens betydelse, grundvattenindex	19
7.4	Utvärdering	20
8	SPECIALANALYS AV PÅVERKADE BRUNNAR/RÖR	22
8.1	Viad	48
8.2	Sammanfattning av specialanalysen	48
9	DE PÅVERKADE BRUNNARNAS AVSTÅND TILL TUNNELN	50
9.1	Viad	51
10	TUNNELNS INFLUENSOMRÅDE BEROENDE AV GEOLOGIN	54
10.1	Berggrund	54
10.2	Jordlagren	55
10.3	Slutsatser	55
11	RESULTAT	56
	SAMMANFATTNING	58
	SUMMARY	61
	REFERENSER	64
BILAGA 1a	Datablad, förstärkningar och injektering C-H	
1b	Datablad, förstärkningar och injektering T-Y	
BILAGA 2	Grundvattenobservationskurvor Grundvattenindex Verka Grundvattenindex Bornsjön Nederbörd - Riksten	

FÖRORD

Förberedelserna för detta projekt började på projekteringsstadiet för SYVAB:s avloppstunnlar (SYVAB = Sydvästra Stockholmsregionens VA-verksaktiebolag). Man beslöt sig redan då för att satsa på en vetenskaplig uppföljning av detta för svenska förhållanden unika tunnelprojekt. En dokumentation av förstärkning, injektering, inläckande vatten och händelseförlopp i brunnar och grundvattenobservationsrör utfördes på ett så noggrant och omsorgsfullt sätt att man i efterhand skulle kunna utföra en vetenskaplig bearbetning.

När tunnelsystemet färdigbyggt fanns 13 A4-pärmar med grundfakta från byggnationen som ställdes till Bergkonsult AB:s förfogande. Bergkonsult AB ansökte 1974 hos Statens råd för byggnadsforskning om medel för att bearbeta materialet. BFR beviljade välvilligt denna ansökan och har bidragit till projektets finansiering. En del av bearbetningen ansågs av BFR ligga inom ett tidigare av BFR beviljat projekt, Befo -18. Medel för detta hade redan ställts till Befo -18-projektets förfogande. Bergkonsult AB utförde en bearbetning av utförd bergförstärkning i några delar av Himmerfjärdstunnlarna i samarbete med professor Hans Helfrich, som är projektledare för Befo -18. Två särskilt intressanta sträckor utvaldes för bearbetning och 1976-01-07 överlämnades en rapport med bilagor till Befo, "Utvärdering och sammanställning av utförda förstärkningar inom två avsnitt av SYVAB:s avloppstunnlar till Himmerfjärden".

Ett varmt tack riktas till SYVAB och då främst direktör Anders Cronström och överingenjör Nils Friedrich för deras medverkan vid dokumentationen av arbetet under själva byggnadstiden och deras medverkan vid bearbetningen i efterhand. Ett stort tack riktas till AB Gekonsults kontrollanter och teknisk personal vid AB Skånska Cementgjuteriet för välvillig medverkan. Värdefull hjälp har speciellt lämnats av ingenjör Hans Müntzing i samband med utvärdering av grundmaterialet.

Alla kartor är i A4-format som original, men är i denna rapport förminskade med 20%. Därför blir skalorna felaktiga.

1 BAKGRUND

I början av 1960-talet bildades ett bolag, SYVAB, vars uppgift var att projektera och administrera ett tunnelsystem till vilket avloppsnätet från ett flertal kommuner belägna sydväst om Stockholm skulle kunna anslutas för vidare befordran av avloppsvattnet till ett gemensamt reningsverk beläget vid Himmerfjärden. Tunnelsystemet utsträngdes under åren 1969 - 1973 och togs i bruk årsskiftet 1973 - 74. Entreprenör var AB Skånska Cementgjuteriet 90 % av sträckan och AB Samuelsson & Bonnier 10 % av sträckan. Bergkonsult AB har från projekteringsstadiet till slutförändrat av tunnelsystemet fungerat som rådgivare till SYVAB i frågor som rör berghantering och grundvattenskydd. Under hela utsträngningstiden har vi också i nära samarbete med byggherrens kontrollorganisation AB Gekonsult medverkat till tekniska anvisningar för permanentförstärkning och tätningssåtgärder.

1.1 Tunnelsystemet

Tunnelsystemet är 45 km och det hittills längsta som utsträngt under så kort tid i Sverige. Tunnlarna är belägna på Södertörn söder om Stockholm, FIG. 1. Arbetet har bedrivits från 13 påslagspunkter och huvudtunnlarna har en area från 4,5 - 11 m². De områden som tunneln framdragits i är till allra största delarna ett jungfruligt jordbrukslandskap med omväxlande bergshöjder och däremellan liggande jordfyllda dalar. Tunnelsystemet är helt utsträngt i berg och balanserat så att avloppsvattnet med självfall skall rinna ned mot reningsverket. På projekteringsstadiet sökte man att i möjligaste mån följa höjdryggar och korsa djupa depressioner i fördelaktigaste läge. Detta för att minska risken för stor grundvatteninrinning i tunneln och därmed sammanhängande risk för skadlig grundvattensänkning.

1.2 Uppföljning av tunnelarbetet

Under hela tunnelarbetet har noggranna anteckningar förts angående förstärkning, injektering, inläckande vatten och grundvattensänkningar. Denna mycket gedigna uppföljning och dokumentation hör till ovanligheterna vid denna typ av tunnelarbete och visar att beställaren var medveten om de grundvattenproblem som en tunnel kunde skapa och tog ansvar för dessa.

Alla data samlades och upptog vid arbetets slut 13 stycken A4-pärmar. Detta stora material har för detta forskningsarbete ställts till Bergkonsult AB:s förfogande då vi främst genom Buster Sund och Heino Roosaars deltagande i projektering och utförande av tunnlarna erhållit en ingående geologisk och teknisk kunskap om detta arbete.

För att på ett enkelt och snabbt sätt kunna få fram ett överskådligt material från mängden tillgängliga basdata beslöt vi, efter diskussioner med experter, att utnyttja datatekniken.

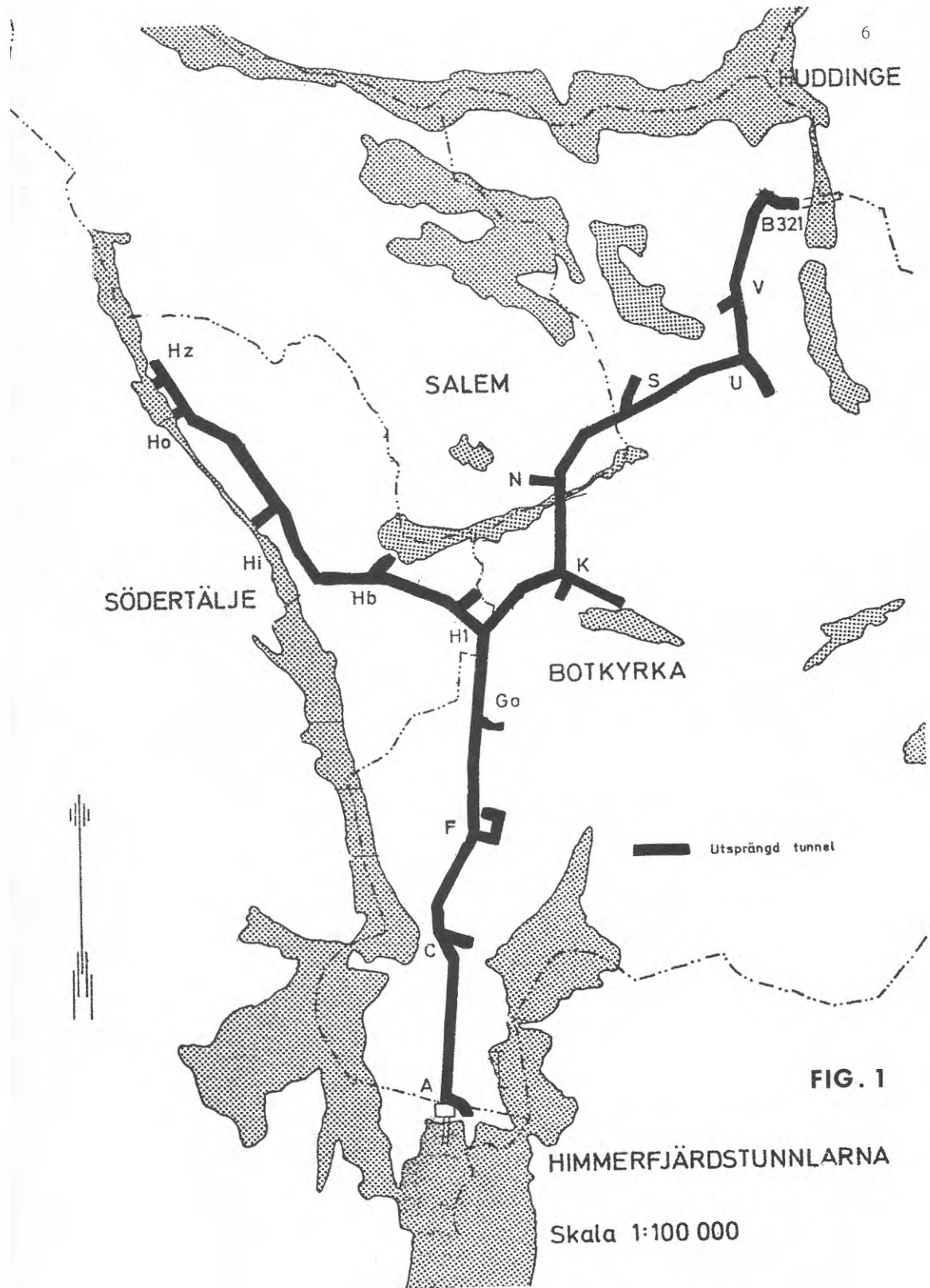


FIG. 1

HIMMERFJÄRDSTUNNLARNA

Skala 1:100 000

Under arbetets gång upprättades protokoll på utförd bergbultning, sprutbetongförstärkning och injektering som sedan sammanställts och dokumenterats.

Av detta material framgår:

- a. Bergbultning
Bergbultarnas läge (sektion) och läge på vägg vänster eller höger och i tak. Bergbultens längd.
- b. Sprutbetong
Sprutbetongen är redovisad på en tredimensionell mall där de insprutade delarna är utsatta med längdangivelse och antal påslag.
- c. Injektering
För- och efterinjektering. Alla injekteringsrapporter och även separata redovisningar för vissa sträckor där hålens läge är utsatta, borrhålens längd och cementåtgången i varje hål.

För att ur detta material kunna bedöma var vattenläckage inträffat ansåg vi att det skulle vara av stor betydelse att även åskådliggöra förstärkningarna och utförd injektering i diagramform. De olika förstärkningsinsatserna skulle ritas parallellt och därmed skulle man på ett enkelt sätt få en överskådlig bild var stora insatser utförts. Dessa kunde sedan jämföras tidsmässigt med vad som hänt i brunnar och grundvattenobservationsrör. Erfarenhetsmässigt vet man att "dåligt" berg oftast är vattenförande.

Man har för Himmerfjärdstunnlarna på ett föredömligt sätt dokumenterat utförd bergförstärkning, injektering och inläckning. Vad man däremot ytterligare skulle kunna önskat sig är att man låtit utföra en kontinuerlig berg- och sprickartering i tunneln. Man ansåg med tanke på tunnels läge och funktion att det skulle räcka med att dokumentera var bergförstärkning utförts och därav fastställa var svaghetszoner i berggrunden förekommit. Man kan alltså inte i efterhand utvärdera vilka speciella bergarter eller vilken typ av sprickor och sprickfyllnader som varit vattenförande eller svåra ur stabilitetssynpunkt.

2.1 Databehandling av förstärkningar och injektering

Man utgick från de tabellerade värden som fanns för bultning, sprutbetonering och injektering. En systematisering av uppgifterna var nödvändig för att de skulle passa för instansning i hålkort. För att erhålla önskad slutprodukt valdes att mata in följande parametrar:

- tunnelsektion
- markytans läge, nivå
- seismisk profil, bergytans läge, nivå
- jord-bergsondering, bergytans läge, nivå
- tunneltakets läge, nivå
- tunnelarea m^2
- bult/tunnelmeter, tak

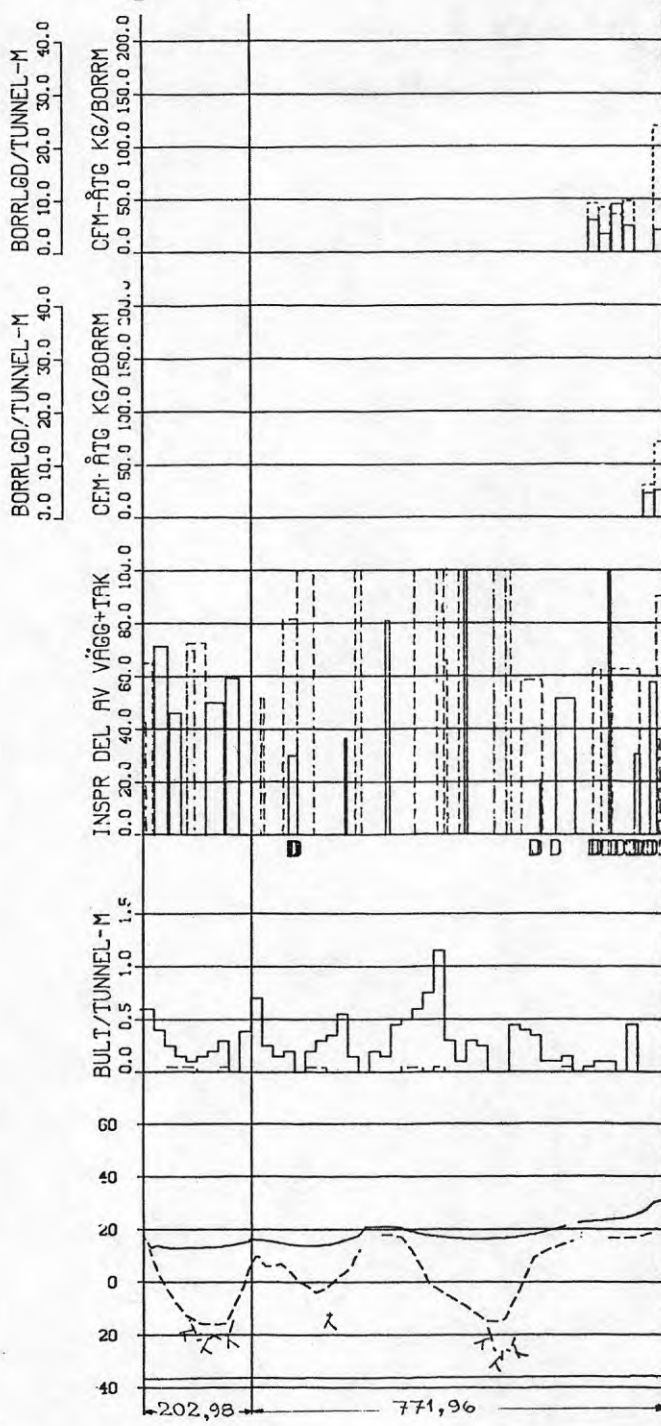
- bult/tunnelmeter, väggar
- sprutbetong % av tak och väggytor, 1 påslag, 2 påslag, 4 påslag
- förinjektering, borrlängd/tunnelmeter, cementmängd/borrhålsmeter
- efterinjektering, borrlängd/tunnelmeter, cementmängd/borrhålsmeter
- dräner, läge/sektion

Data stansades in på hålkort som sedan kördes i en datamaskin. Maskinen skrev ut datablad med sammanfattande text för de önskade sträckorna. För att sedan på ett snabbt och enkelt sätt illustrera de framtagna värdena har uppritning med hjälp av datamaskin utförts.

På ett blad höjd A4, har fem diagram ritats parallellt som illustrerar förinjektering, efterinjektering, sprutbetong, bult och profil för tunnelsträckan. I profilen ingår markprofil, seismisk profil, borrarad bergprofil och tunnelläge. Längdskalan är 1:10000 och höjdskalet är 1:2000, FIG. 2, BILAGA 1a, 1b.

Två datamaskiner har använts, CONTROL DATA CEC 6600 och UNIVAC 1106 - 1108. Programmen är skrivna i FORTRAN IV. Vid uppritning av diagrammen användes ett subrutinpaket DISPLA.

FIG. 2



EFTERINJEKTERING

- CEMENTÄTGÅNG
- - - BORRLÄNGD

FÖRINJEKTERING

- CEMENTÄTGÅNG
- - - BORRLÄNGD

SPRUTBETONG

- 1 PÅSLAG
- - - 2 " "
- - - 4 " "

D = DRÄNLÄGE

BULTNING

- 1 TAK
- - - 1 VÄGG

- MARKYTANS LÄGE
- - - SEISMISK BERGPROF.
- X X BORRAD BERGPROF

LÄNGDSKALA 1:10'000

1975-12-02

3 TUNNELFRONTENS LÄGE

För att kunna få tidssamband och avgöra om brunnar påverkats av tunneln har tunnelstufferna vid bestämda tidpunkter inritats. Utgångsvärdena har erhållits från de samlade veckorapporterna på tunnelfrontens läge.

Redan på ett tidigt stadium var man på det klara med vikten av att mäta inläckande vatten till tunnlarna för att kunna lokalisera de zoner där tätningsåtgärder var nödvändiga.

Rutiner och anvisningar för dessa mätningar utarbetades av Bergkonsult AB som hade långvarig erfarenhet från liknande mätningar bl.a. från tunnlar i Stockholm och Göteborg.

I anvisningarna ingick bl.a. att vattenmätningarna skall utföras som första arbete på måndag morgon då en viss jämvikt råder i läckvattenflödet och inga arbeten bedrivits på 2 dygn som givit tillskott från spolvatten vid borrning eller injektering.

Mätningarna har utförts där vattnet uppfordrades från tunneln. Ett fat på cirka 200 l användes som mätkärl och tiden antecknades när kärlet var fullt, och man erhöll ett mätvärde i l/min. Det bör betonas att detta mätningsförfarande endast kan ge approximativa värden då mätnoggrannheten är liten men metoden bedömdes dock i detta fall ge fullt tillräckliga upplysningar om vattenläckaget. Som resultat av mätningarna har erhållits ett inläckningsdiagram för varje påslag som uppvisar en ackumulerad kurva i l/min och datum för varje mätningstillfälle, FIG. 3. Diagrammen växlar i kvalitet beroende på att en del stationer har mätningar varje vecka medan andra har mera sporadiska mätningar.

För att kunna utnyttja dessa inläckningsvärden och närmare kunna lokalisera större läckage har värdena omarbetats. Vi har sålunda utgått från den registrerade inläckningen mellan två mättillfällen och stufflägena vid samma tidpunkter. Inläckningsökningen mellan två mättillfällen har dividerats med utsprängd sträcka och en inläckning i l/min x meter har erhållits. På detta sätt har man kunnat registrera större läckage och deras ungefärliga läge. Om den ackumulerade inläckningen hade minskat trots att en ny sträcka sprängts ut, på grund av t.ex. injektering, har inläckningen för det nyutsprängda området registrerats som 0.

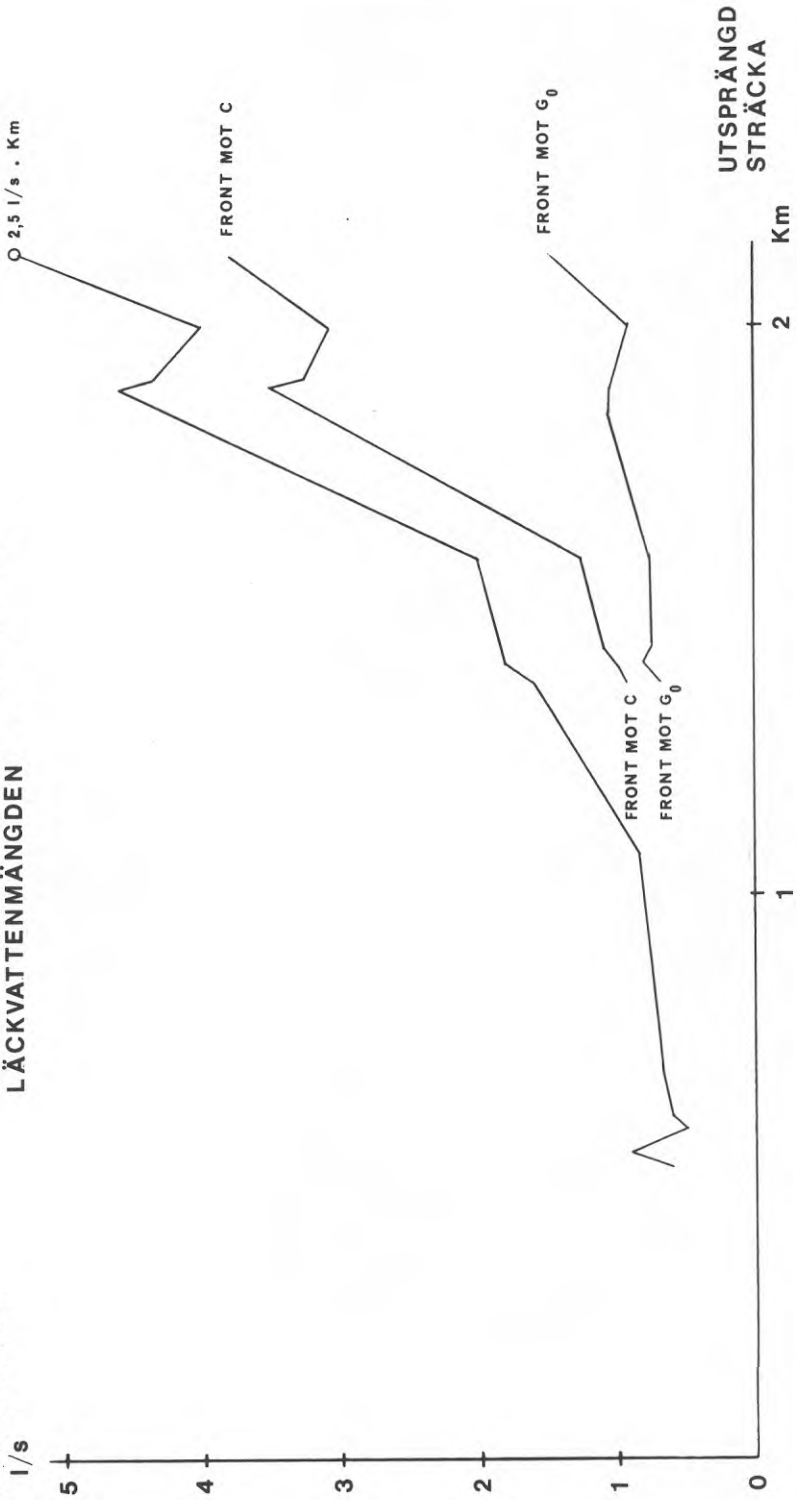
Denna bearbetning har utförts för hela tunnelsträckan där inläckningsvärden finns och illustrerats som stapeldiagram där man direkt kan se var större inläckningar har inträffat, FIG. 4. En svårighet har varit att man från samma påslag har utfört sprängning på två fronter samtidigt och man vet därför inte exakt vid vilken front ökningen i läckaget har inträffat. För dessa fall har hela inläckningsökningen uppdelats var för sig på respektive sprängningsfront. Med hjälp av de tidigare upprättade diagrammen för utförd injektering och förstärkning kan man med tillfredsställande säkerhet bedöma vid vilken front inläckningsökningen inträffat.

FIG. 3

PÅSLAG F. ELDTOMTA

DIAGRAM ÖVER TOTALA ACKUMULERADE
LÄCKVATTENMÄNGDEN

LÄCKVATTENMÄNGD
l/s



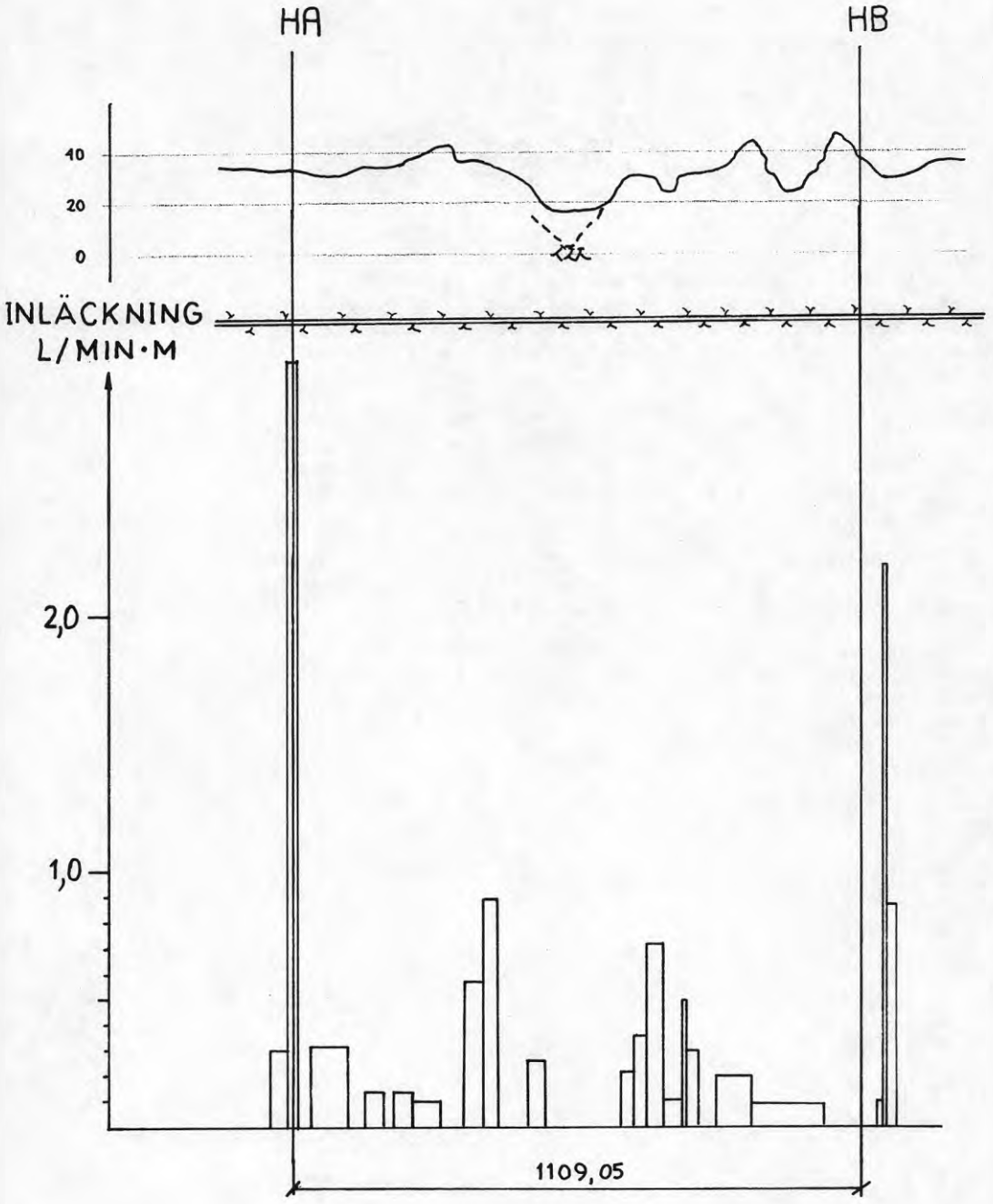


FIG. 4

I dåvarande Österbygdens vattendomstols dom 1968-03-29 angående tillstånd att få utföra Himmerfjärdsanläggningens tunnlar m.m. ålades SYVAB att göra observationer av vattenståndet i sådana brunnar, som ligger på mindre avstånd än 300 meter från tunneln linjen.

Redan vid tiden för ansökan till vattendomstolen hade en inventering av befintliga brunnar inom nämnda område och även utanför detta för Botkyrka, Södertälje och f.d. Grödinge kommuner utförts. För Viad:s gård upprättades ett särskilt mätprogram för grundvattenståndsobservationer i samråd med professor Yngve Gustafsson, Institutionen för Kulturteknik, Tekniska Högskolan i Stockholm, FIG. 5, FOTO 1.

År 1966 bildades på initiativ av Sven Tyrén forskningsgruppen STEGA. "Praktiskt inriktad grundvattenforskning i tätbebyggelse" var arbetsnamnet på gruppens forskningsuppdrag. Den har omfattat fältundersökningar i Stockholms- och Göteborgstrakten. Lindsoug, Nilsson 1974 (1).

I forskningsgruppen STEGA:s regi har 9 stycken grundvattenobservationsrör i jord utplacerats på strategiska punkter för att studera tunnelns inverkan på grundvattnet, FIG. 6.

I samband med STEGA:s forskning vid utbyggnaden av Botkyrka-staden utsattes dessutom ett stort antal rör kring den nordligaste delen av tunnelsystemet. 9 stycken av dessa rör har studerats, FIG. 16.

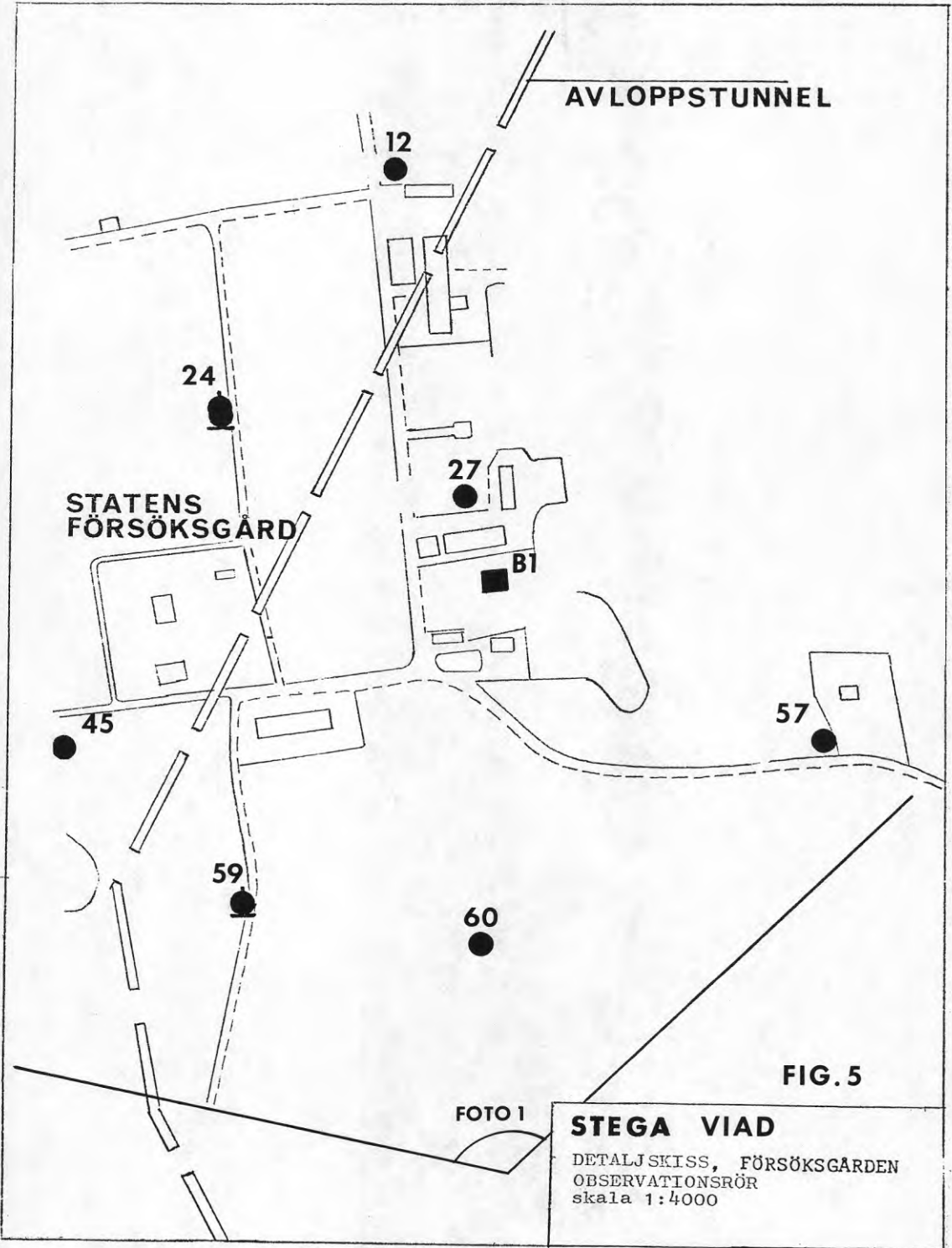


FIG. 5

STEGA VIAD

DETALJSKISS, FÖRSÖKSGÅRDEN
OBSERVATIONSRÖR
skala 1:4000

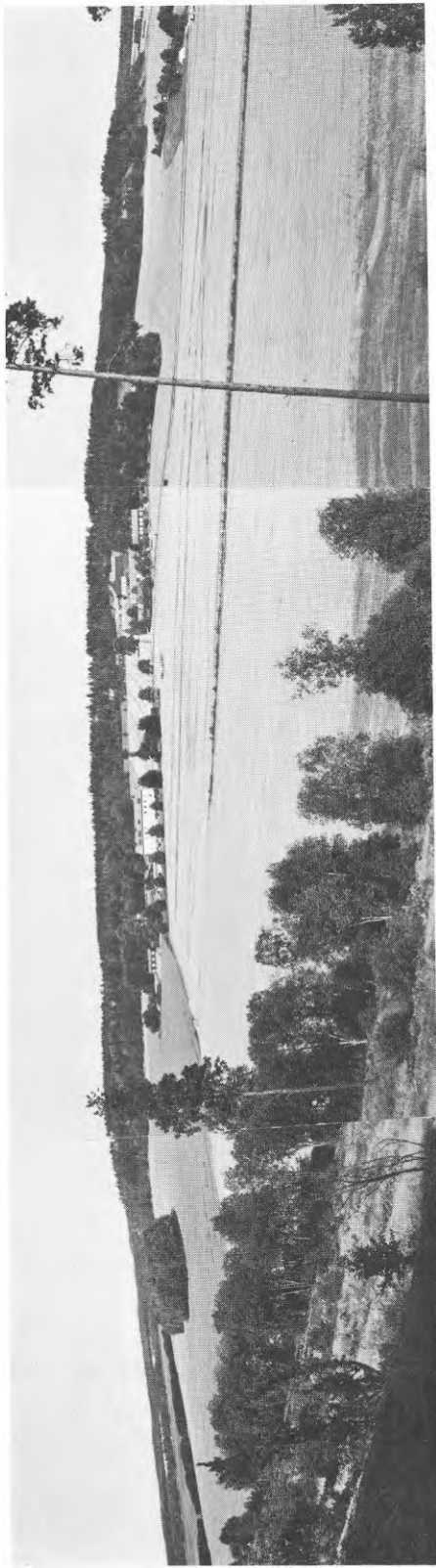


FOTO 1. Dalgången vid VIAD från söder. Se figur 5 och 10.
1976-08-24.



FIG. 6

GRUNDVATTENOBSERVATIONER
 LÅNGS HIMMERFJÄRDSTUNNELN
 RÖREN 501 - 509
 SKALA 1:50 000

Observationer i brunnar kring tunneln har pågått sedan 1965, d.v.s. 4 år innan tunneln började sprängas. Observationerna utfördes till en början endast ett par gånger om året. Från sommaren 1968, cirka 1 år före tunneldrivningen, förtätades mättillfällena och har sedan dess utförts en gång i månaden. Alla observationer har uppritats som diagram för att man enkelt skulle kunna avläsa grundvattenståndsvariationerna. Om grundvattenståndet sjunkit oroande och tunnelfronten legat nära har i vissa fall mätning utförts med så täta intervaller som en gång per vecka.

Inom Botkyrka kommun exklusive Grödinge har mätning utförts i 44 stycken brunnar varav 29 stycken är grävda och 19 stycken bergborrade.

I Södertälje kommun har observationer gjorts i 81 stycken brunnar/rör varav 62 stycken är utförda i jord och 19 stycken bergborrade.

I f.d. Grödinge kommun har sammanlagt 88 stycken brunnar observerats varav 55 stycken är jordbrunnar och 23 stycken bergborrade.

7 ANALYS AV BRUNNAR OCH GRUNDVATTEN-OBSERVATIONSRÖR

7.1 Inventering

En inventering av samtliga brunnar och rör och en uppdelning i jord- respektive bergborrade brunnar har utförts. En genomgång gjordes som kontrollerade om brunnen fungerat före, under och efter tunnelns utsprängning i området. Av olika anledningar har vissa brunnar och rör upphört att fungera eller inte observerats kontinuerligt och har därför utgått ur analysen. Av 228 stycken inventerade brunnar/rör kunde 188 stycken godtagas som underlag för analys av tunnelns inverkan på grundvattnet.

Tabell 1

Brunnar och rör som inventerats och analyserats kring Himmerfjärden

	Inventerade	Analyserade
Botkyrka	32	19
Botkyrka-rör	9	6
Grödinge	88	81
Södertälje	81	64
STEGA-rör	9	9
Viad-rör	9	9
Summa	228	188

7.2 Studium av grundvattendiagram

För de 188 stycken brunnar och rör som uttagits för analys studerades det för varje brunn/rör uppritade grundvattendiagrammet. För att kunna bedöma om brunnar respektive rör påverkats av tunneln, studerades grundvattenindex från Bornsjön och Verkaån, nederbördsdiagram från Riksten, inläckningsdiagram, stufflägeskarta och databladet för utförd injektering och förstärkning.

7.3 Nederbördens betydelse, grundvattenindex

Från 1969 fram till 1974 rådde ett konstant nederbördsunderskott för Stockholmsområdet som kunde avspeglas som sjunkande grundvattenytor, speciellt i grunda brunnar och vid torra årstider. Under hösten 1974 föll mycket stora nederbörds mängder som resulterade i att grundvattenmagasinen fylldes på upp till 1969 års nivå. Därmed upphävdes verkan av det nederbördsunderskott som kontinuerligt hade rått sedan 1969.

För att kunna kontrollera de naturliga variationerna i grundvattenståndet upprättades det så kallade grundvattenkorset kring Stockholm i samband med STEGA:s forskningsarbete 1966.

4 stycken referensområden upprättades kring Stockholm i jungfrulig mark där grundvattennivån kontrolleras regelbundet. Inom varje område uträknas ett s.k. index för varje mätillfälle som är en

sammanslagning av samtliga observationer inom området, FIG. 7. Detta index avspeglar alltså den naturliga fluktuationen hos grundvattnet inom detta område. Man kan med hjälp av detta index jämföra grundvattenförändringarna med de förändringar som sker i de urbaniserade storstadsområdena och konstatera om grundvattenändringarna där beror på klimatiska förhållanden eller har andra orsaker.

För studiet av brunnarna i Himmerfjärden har huvudsakligen index för Verka-området använts, vilket är det mest fullständiga mätområdet och har den längsta mätserien. Som komplement har även index för Bornsjön använts som ligger geografiskt närmast av de 4 mätstationerna i grundvattenkorset. En brist i mätserien från Bornsjön är att endast 2 stycken mätningar utförts under 1973, vilket bryter kontinuiteten för mätningarna. Man kan emellertid för båda dessa grundvattenindexkurvor notera en tydligt sjunkande trend från 1969 fram till hösten 1974, FIG. 7.

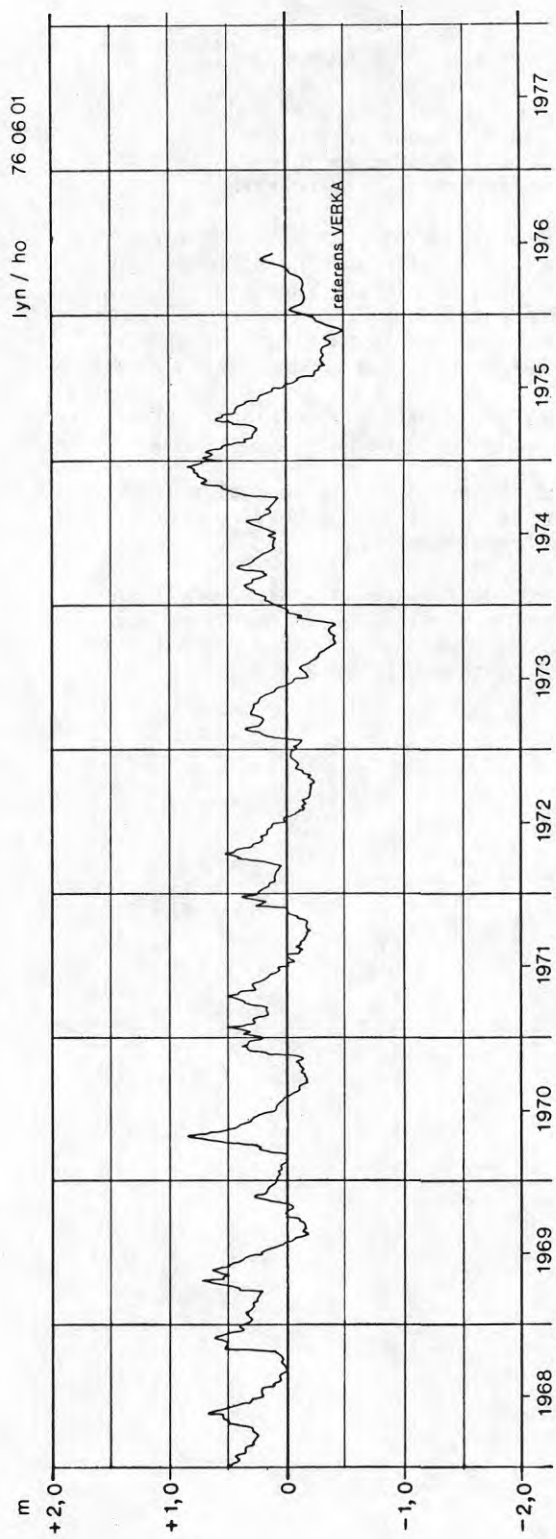
7.4 Utvärdering

Med utgångspunkt från nederbördsfördelning och grundvattenindex kunde vissa brunnar klassas som nederbördspåverkade. För att övertyga sig om att så var fallet studerades även tidssambandet med tunnelfrontens läge och större läckage i tunneln.

Vid bedömning av brunnarna måste hänsyn också tas till att många sommarstugeägare i området fick elektricitet indragen i början av 1970-talet. Det innebar i många fall att man övergick från den gamla handpumpen till elektrisk pump. Det fick som följd att vattenförbrukningen ökade. Vattenytan i brunnen sänktes och i värsta fall sinade brunnen. Dessa förändringar kan i vissa fall ha inträffat ungefär vid samma tid som tunneln utsprängdes.

Brunnarna har uppdelats i opåverkade, påverkade, återhämtade eller grundvattensänkta. Avståndet till tunneln har inmätts. Efter denna uppdelning återstod 40 stycken brunnar och rör som troligen påverkats av tunneln varav 5 stycken återhämtats efter tunnelns färdigställande.

FIG. 7



Efter den första analysen som ovan omtalats återstod 40 stycken brunnar och rör som kunde vara påverkade av tunneln. Av dessa är 19 stycken bergborrade brunnar, 9 stycken jordbrunnar och 12 stycken grundvattenobservationsrör.

För att mera noggrannt kunna bestämma om brunnarna och rören verkligen påverkats av tunneln kompletterades de tidigare uppgifterna med besök i fält för att på platsen konstatera brunnens eller rörets läge i förhållande till områdets geologi och tunnelns läge, och eventuellt också göra nya mätningar av grundvattenytan. Först därefter har de slutliga bedömningarna gjorts för varje brunn och rör.

Grundvattenobservationskurvor för samtliga specialanalyserade brunnar och rör har bilagts, BILAGA 2, Grundvattendiagram.

Nedan följer en kort sammanfattning för varje specialanalyserad brunn och rör. En uppdelning har gjorts i bergborrade brunnar, jordbrunnar och grundvattenobservationsrör, TABELL 2, 3 och 4.

En plan över respektive område där de specialanalyserade brunnarna är belägna visar alla brunnar i området både påverkade och opåverkade av tunneln. Större sprickzoner är markerade och även plats och vy där fotografier är tagna, FIGUR 8 - 16.

TABELL 2, blad 1

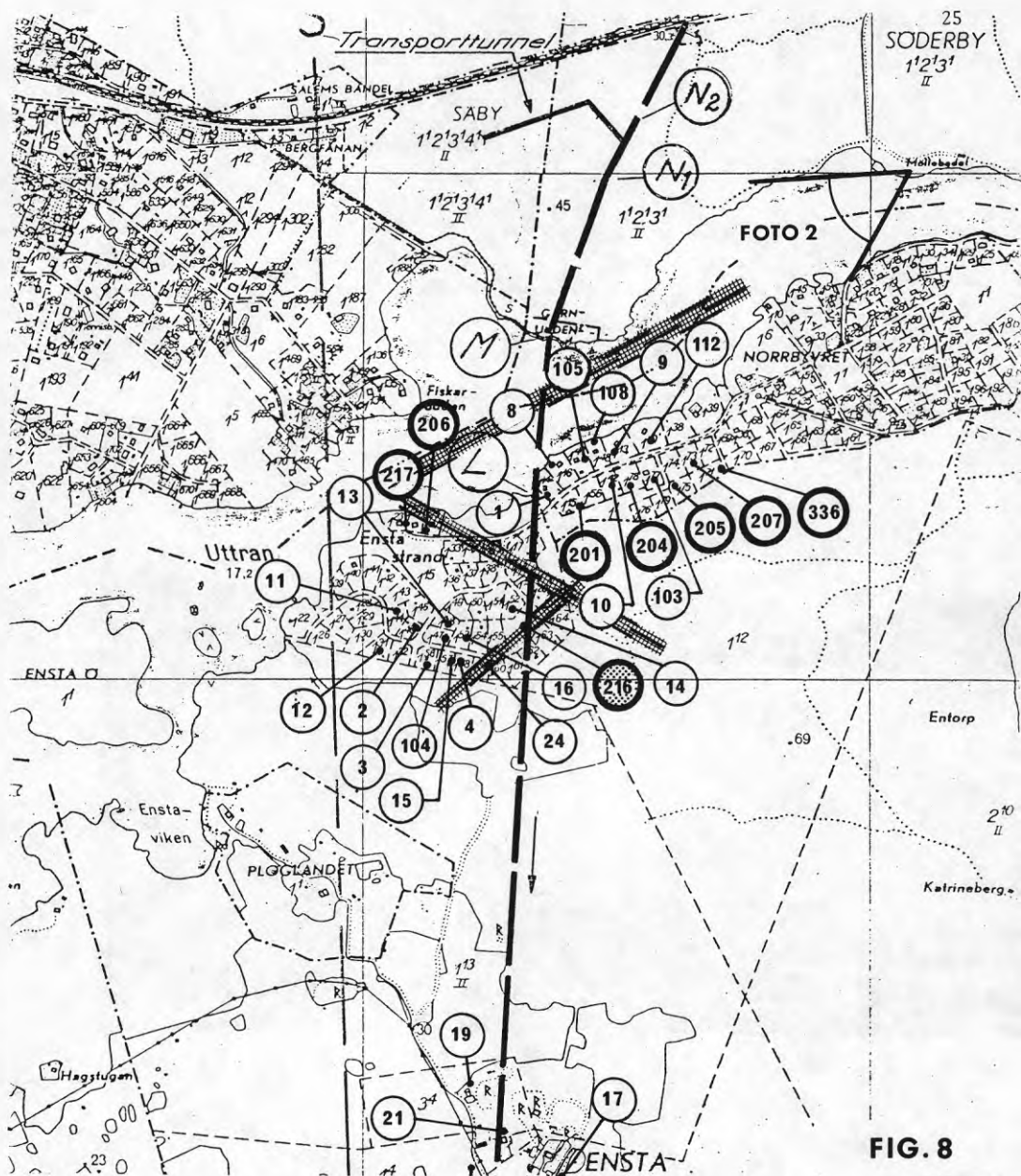
Brunnsdata för specialanalyserade bergbrunnar Himmerfjärden

Brunn nr	Läge	Fig	Brunnsbotten nivå	Tunnel-tak nivå	Avstånd tunneln (m)	Tunneln utsprängd tid	Påverkan tid	G.v. sänkn (m)	Läckage i tunneln	Påverkad av tunneln	Anmärkning
201	Ensta	8	-18	-25	90	jan 1971	juni 1971	återhämtad 7	ej höjning förhöjt	x	Nederbördspåverkad Fungerar fortfarande bra som vattenkälla
216	"	8	-48	-25	10	mars 1971	mars 1971				
305	Näs	9	-	-36	70	okt-dec -71	nov 1971	6		x	Foto_3
306	"	9	-13	-36	50	"	dec 1971	5	Inga	x	Brunnarna har även påver-
307	"	9	-25	-36	10	"	nov 1971	3	läckage	x	kats av nederbördsunder-
309	"	9	-22	-36	65	"	dec 1971	5	uppmätta	x	skottet. Samtliga funge-
332	"	9	-21	-36	50	"	dec 1971	3		x	rar fortfarande bra som vattenkälla
327	Haga-berg	10	-6	-35	520	dec 1971 okt 1972	juli 1972	återhämtad	ingen höjning noterad	ej påverkad	2 sprickzoner korsas i brunnen. Handpump ersatt av elektrisk pump.
326	Österby	10	okänt	-35	290	juni 1972 okt 1972	juli 1972 nov 1972	återhämtad	förhöjt	x	2 sprickzoner korsas i brunnen. Tunneln fronten passerar dessa sprickzoner vid 2 olika tidpunkter och påverkan uppstår.
318	Österby	10	+8	-36	15		maj 1972	tom		x	Ågarna har genom SYVAB:s försorg erhållit ny brunn
319	"	10	+8	-36	55	apr-maj -72	maj 1972	15	förhöjt	x	
333	"	10	+0	-36	40		maj 1972	20		x	
215	Knösen	10	-2	-35	470	maj-jun -72	juli-aug-72	6	förhöjt	x	Foto_4 och 5 En markerad sprickzon går från tunneln genom brunnen

TABELL 2, blad 2

Brunnsdata för specialanalyserade bergbrunnar Himmerfjärden

Brunn nr	Läge	Fig	Brunnsbotten nivå	Tunnel-tak nivå	Avstånd tunneln (m)	Tunneln utsprängd tid	Påverkan tid	G.v.sänkn (m)	Läckage i tunneln	Påverkad av tunneln	Anmärkning
102	Söder-tälje	11	-	-15	50		apr 1972	torr		x	Foto 7
103	"	11	-	-15	10	nov 1971-	febr 1972	"	förhöjt	x	Brunnsägarna har kommunal-
104	"	11	-	-15	70	febr 1972	mars 1972	återhämtad		x	vatten, men använt brun-
105	"	11	- 9	-15	30		mars 1972	28		x	narna för vattning. Er-
											sättning för förlust av
											vatten har erhållits
											från SIVAB.
108	Söder-tälje	11	-41	-15	320	okt 1972	okt 1972	2	förhöjt	ej påverkad	Two korsande sprickzoner
											har fungerat som förbin-
											delse mellan tunneln och
											brunnen.
202	Nack-dala	12	-17	-20	15	aug 1971	aug 1971	7	ej höjning	x	Brunnarnas funktion har
											ej rubbats.



25
SÖDERBY
1'2'3'
II

FOTO 2

FIG. 8

FÖRKLARINGAR



BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG



JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD



BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG PÅVERKAD AV TUNNELN



JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD PÅVERKAD AV TUNNELN



SPRICKA ELLER SPRICKDAL



FOTO, MELLAN VINKELBENEN

SKALA 1:10 000



FOTO 2. Sjön Uttran, en djup vattenfylld sprickdal i ONO-VSV som tunneln korsar i nära 90° vinkel. Se figur 8. 1976-08-24.

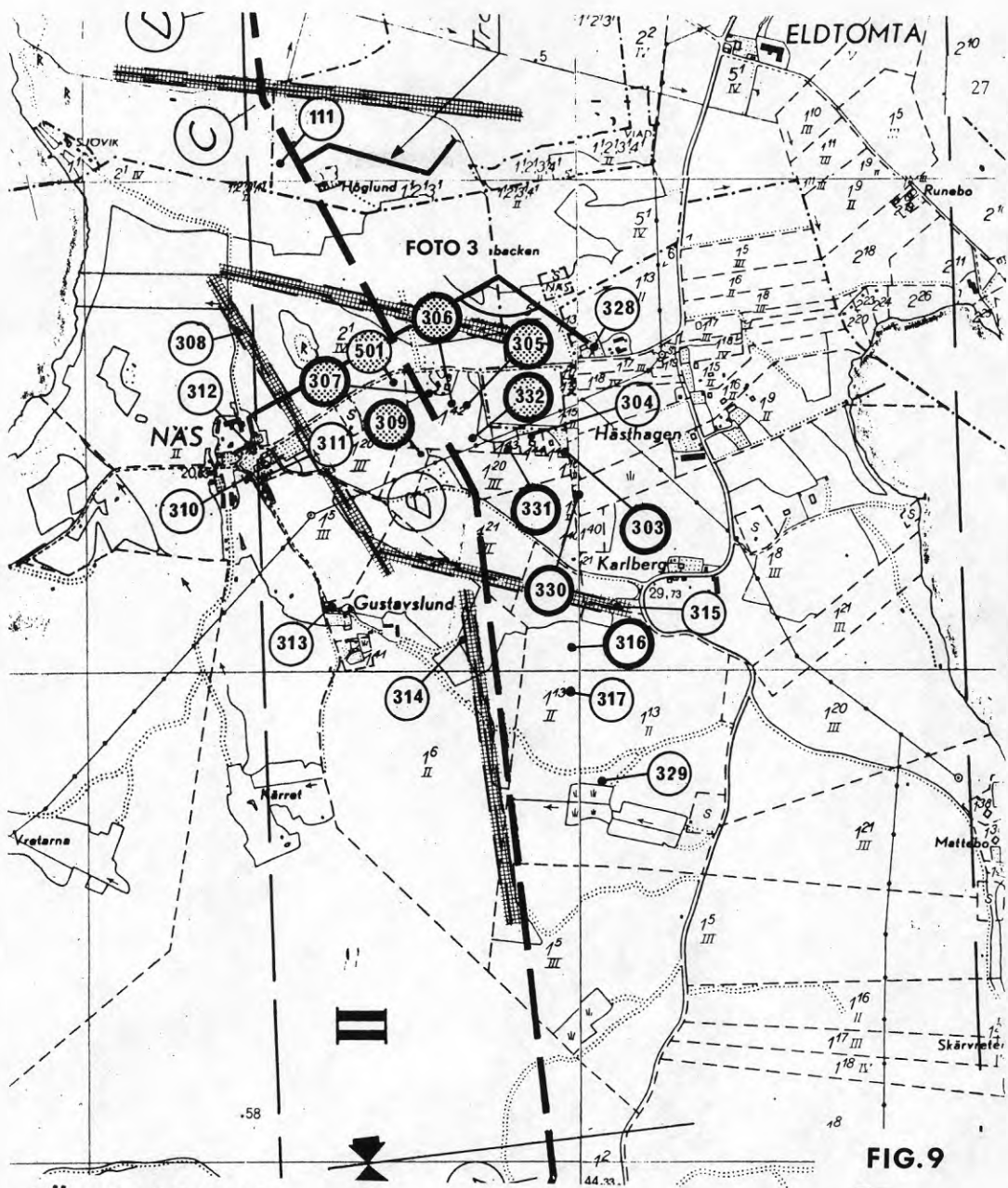


FIG. 9

FÖRKLARINGAR



BERGBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I BERG



JORDBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I JORD



BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG
PÅVERKAD AV TUNNELN



JORDBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I JORD
PÅVERKAD AV TUNNELN

 SPRICKA ELLER SPRICKDAL



FOTO, MELLAN VINKELBENEN

SKALA 1:10 000

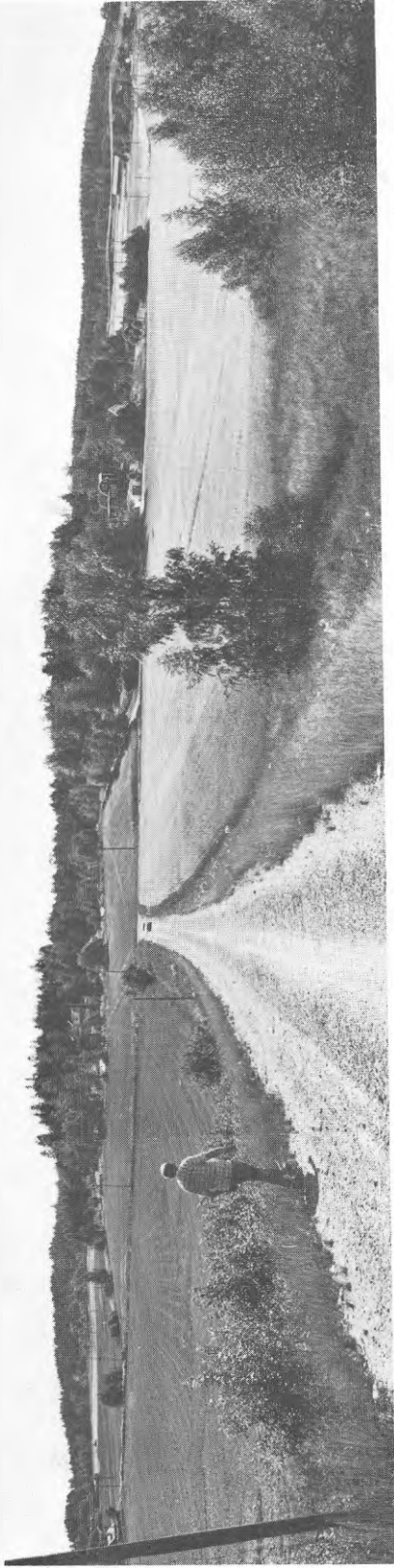


FOTO 3. Näs. Brunnarna 305, 306, 307 och 332 belägna i moränkulle som sticker upp över omgivande lerområde. STEGA:s rör 501. Se figur 9. 1976-08-24.

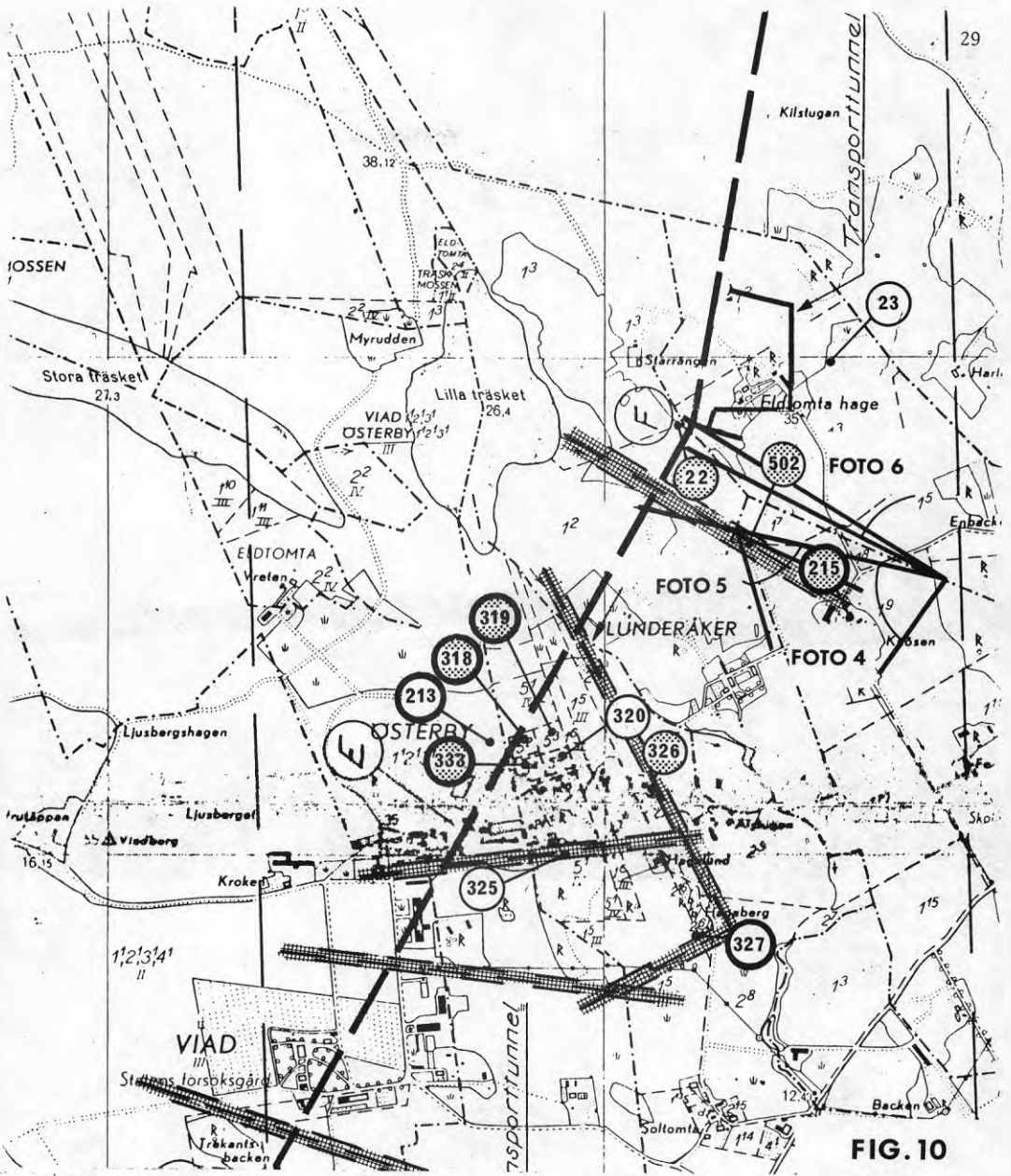



FIG. 10

FÖRKLARINGAR

 BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG

 JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD

 BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG PÅVERKAD AV TUNNELN

 JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD PÅVERKAD AV TUNNELN

 SPRICKA ELLER SPRICKDAL

 FOTO, MELLAN VINKELBENEN

SKALA 1:10 000



FOTO 4. Knösen. Brunn 215 Grödinge. Se figur 10.
1976-08-24.



FOTO 5. Knösen, brunn 215 bakom ladugården med
STEGA:s rör 502 i förgrunden. Taget från norr.
Se figur 10. 1976-06-23.



FOTO 6. Eldtomta Hage, brunn 22, mot Lilla Träsket. Se figur 10. 1976-08-24.

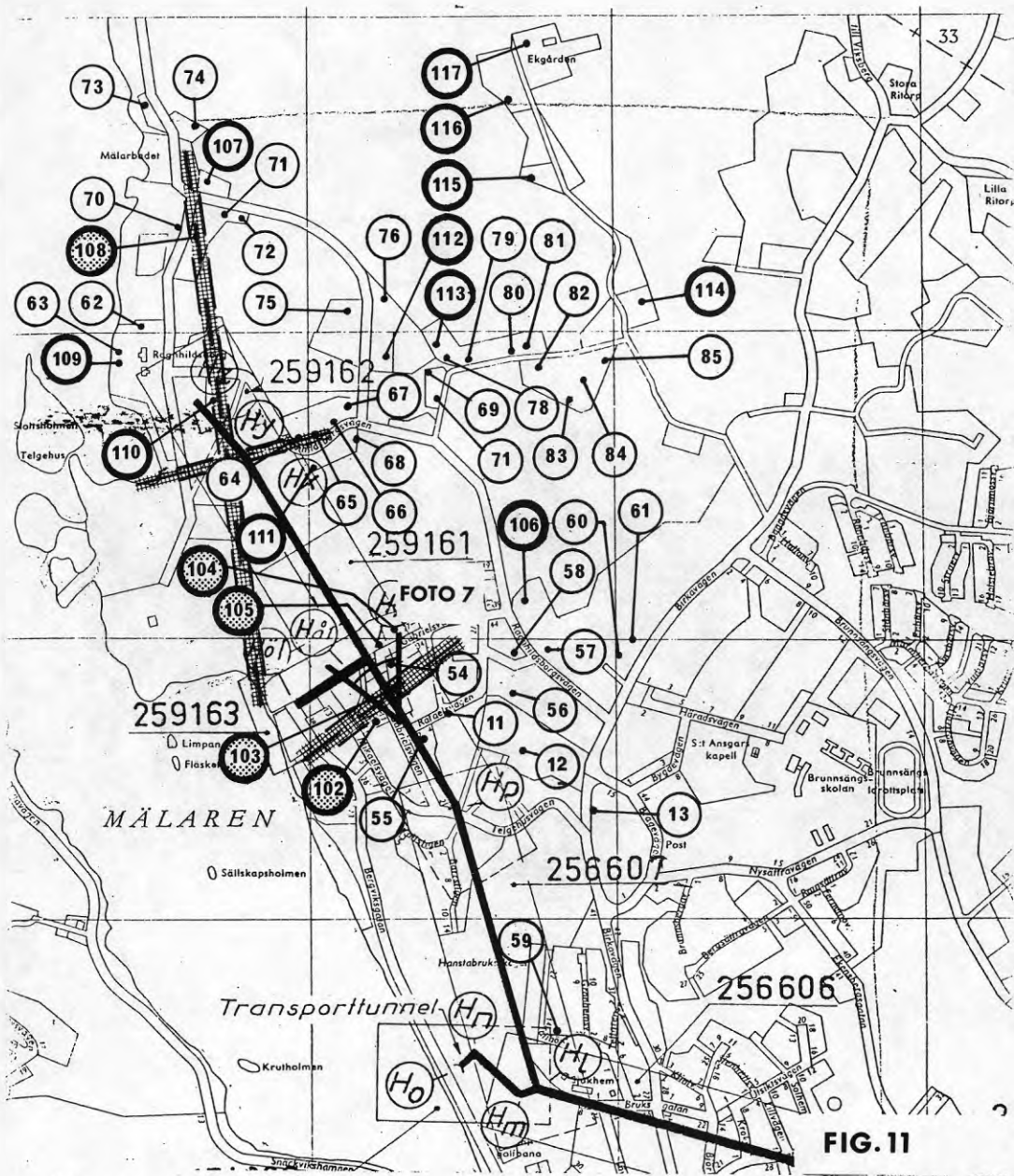


FIG. 11

FÖRKLARINGAR

 BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG

 JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD

 BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG PÅVERKAD AV TUNNELN

 JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD PÅVERKAD AV TUNNELN

 SPRICKA ELLER SPRICKDAL

 FOTO, MELLAN VINKELBENEN
NR

SKALA 1:10000



FOTO 7. Södertälje. Brunnarna 104 och 105 vid bergkanten uppe i backen och brunnarna 102 och 103 på plana marken. Se figur 11. 1976-08-24.

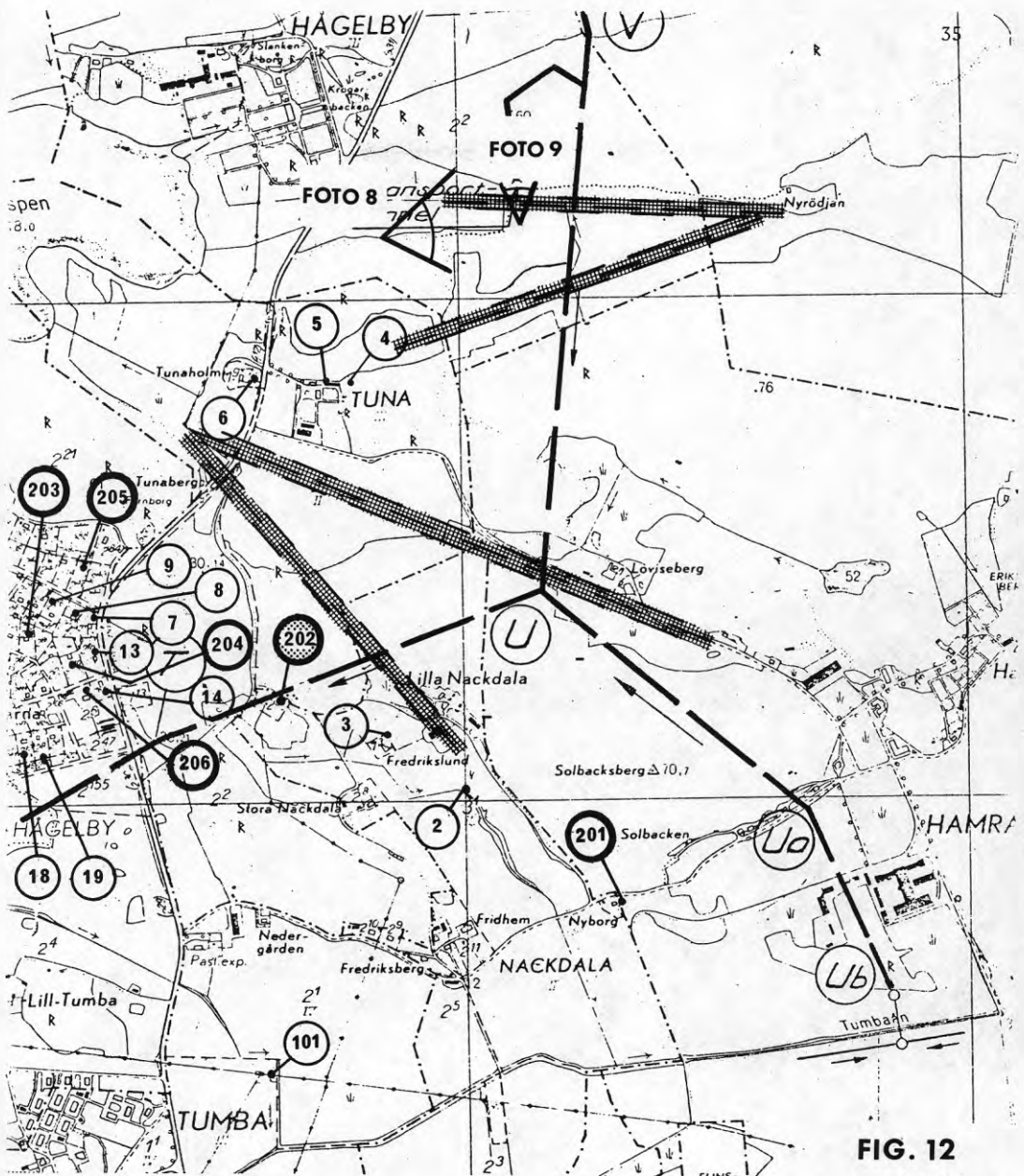


FIG. 12

FÖRKLARINGAR



BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG



JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD



BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG PÅVERKAD AV TUNNELN



JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD PÅVERKAD AV TUNNELN



SPRICKA ELLER SPRICKDAL



FOTO, MELLAN VINKELBENEN

SKALA 1:10 000



FOTO 8. Sprickdal vid Hågelby. Se figur 12.
1976-08-24.



FOTO 9. Påslag V. Hågelby. Se figur 12. 1976-08-24.

TABELL 3.

Brunnsdata för specialanalyserade jordbrunnar Himmerfjärden

Brunn nr	Läge	Fig	Brunns- botten nivå	Tunnel- tak- nivå	Avstånd tunneln (m)	Tunneln utsprängd tid	Påverkan tid	G.v.sänkn (m)	Läckage i tunneln	Påverkad av tunneln	Anmärkning
22	Eld- tomta Hage	10	+27	-34	20	april 1972	aug 1972	torr	ej höjning	x	Foto 6
6	Skälby	13	+18	-25	200	juli 1972	okt 1971	torr	"-		Ligger i svallgrus. Nederbördspåverkad
2	Tyss- linge	13	+14	-25	310	okt 1971	okt 1971	torr	ej höjning		Foto 10. Ligger i svall- grus. Nederbördspåverkad
7	"	13	+31	-25	10	sept 1971	ej mätt -71, -72	1	"-		Foto 10
8	"	13	+35	-25	10	juli 1971	juli 1971	1	"-		Foto 10. Återhämtad un- der 1972. Nederbördspå- verkad
9	"	13	+29	-25	140	aug 1971	aug 1971	1	"-		Foto 10. Sinat 1971, 1972. Nederbördspåverkad
3	"	13	+31	-25	230	okt 1972	nov 1972	torr	förhöjt	x	Foto 12. Brunnen tidvis torrlagd, -70, -71, -72. Spricka går genom brun- nen till bäckravin. Foto 13
324	Berga	14	+26	-32	90	juni 1972	juli 1972	återhämtad	ej höjning	x	Nederbördspåverkad
1	Karle- by	15	+27	-22	90	dec 1971	ej mätt dec 1971	torr okt 1973	"-		Nederbördspåverkad

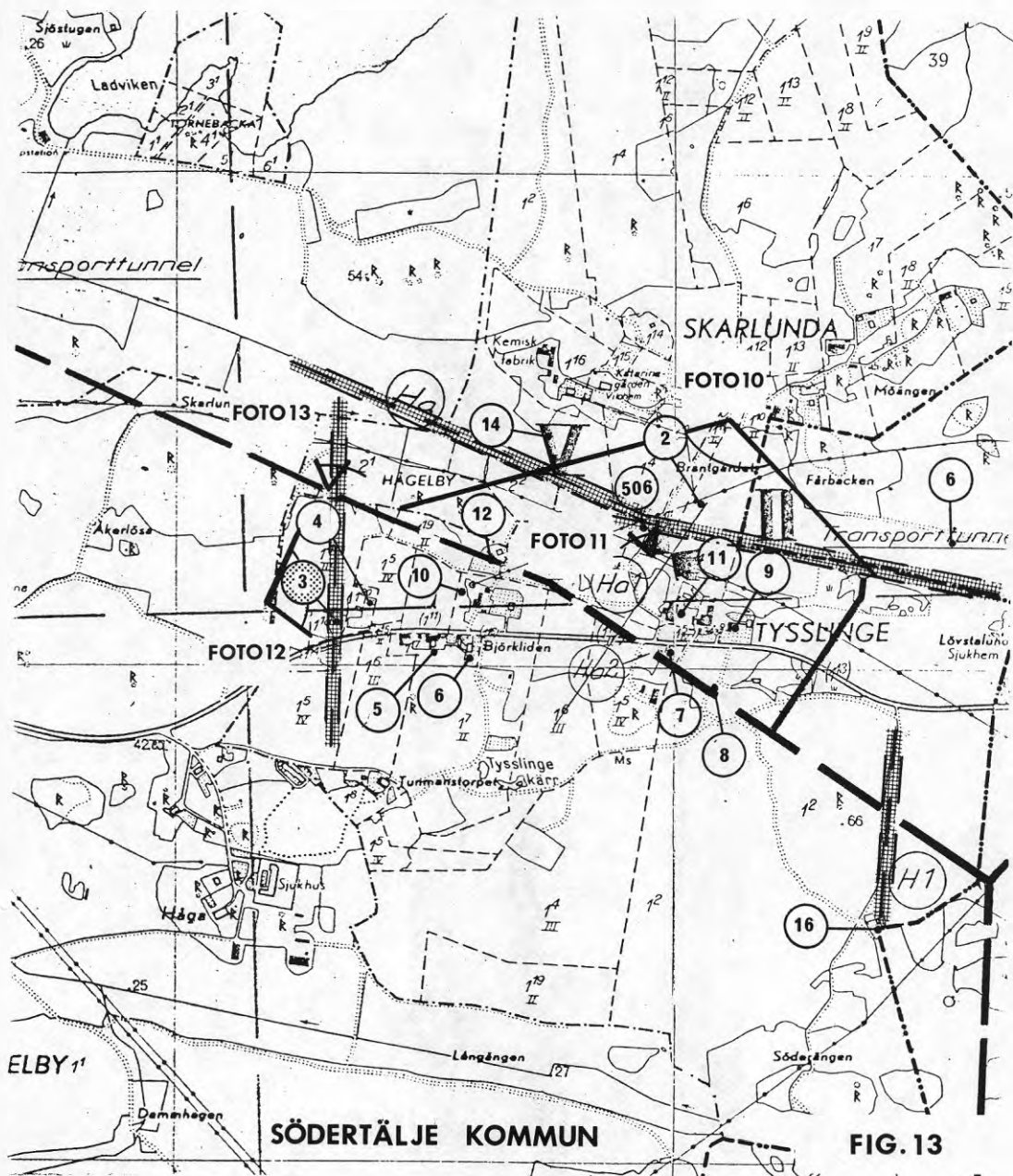


FIG. 13

FÖRKLARINGAR



BERGBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I BERG



JORDBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I JORD



BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG
PÅVERKAD AV TUNNELN



JORDBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I JORD
PÅVERKAD AV TUNNELN



SPRICKA ELLER SPRICKDAL



FOTO, MELLAN VINKELBENEN

SKALA 1:10 000

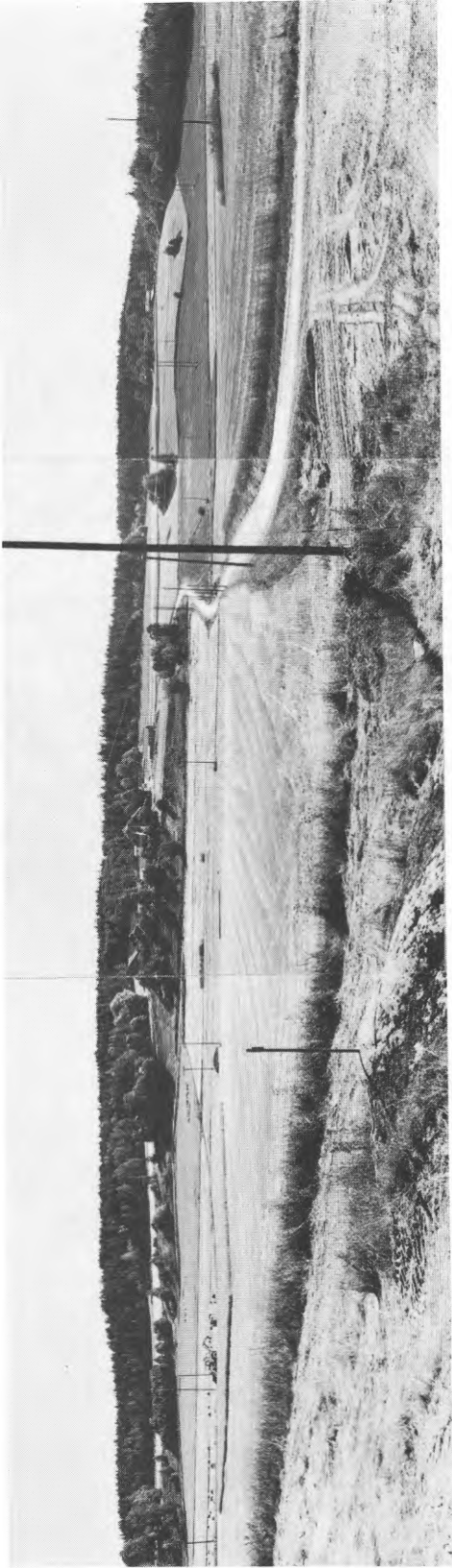


FOTO 10. Dalgången norr om Tysslinge med påslag H, STEGA:s rör 506 och brunn 2. Se figur 13. 1976-08-24.



FOTO 11. Tysslinge. STEGA:s rör 506. Se figur 13.
1976-06-23.



FOTO 12. Tysslinge. Brunn 3, taget från väster. Se figur 13.
1976-08-24.



FOTO 13. Tysslinge. Bäckravin ovanför tunneln som kan sättas i samband med stort läckage i tunneln. Se figur 13. 1976-08-24.

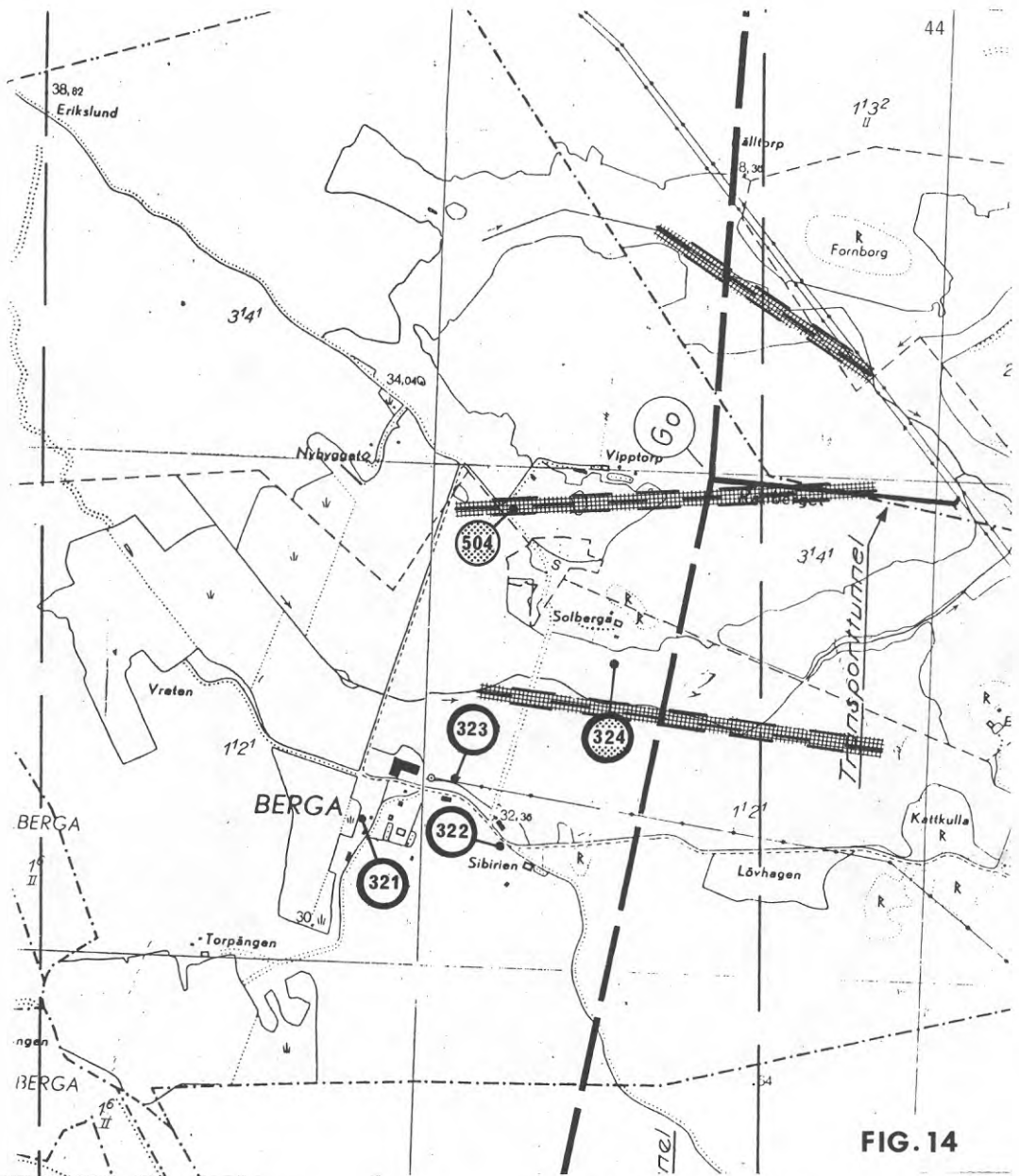


FIG. 14

FÖRKLARINGAR



BERGBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I BERG



JORDBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I JORD



BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG
PÅVERKAD AV TUNNELN



JORDBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I JORD
PÅVERKAD AV TUNNELN



SPRICKA ELLER SPRICKDAL



FOTO, MELLAN VINKELBENEN

SKALA 1:10 000

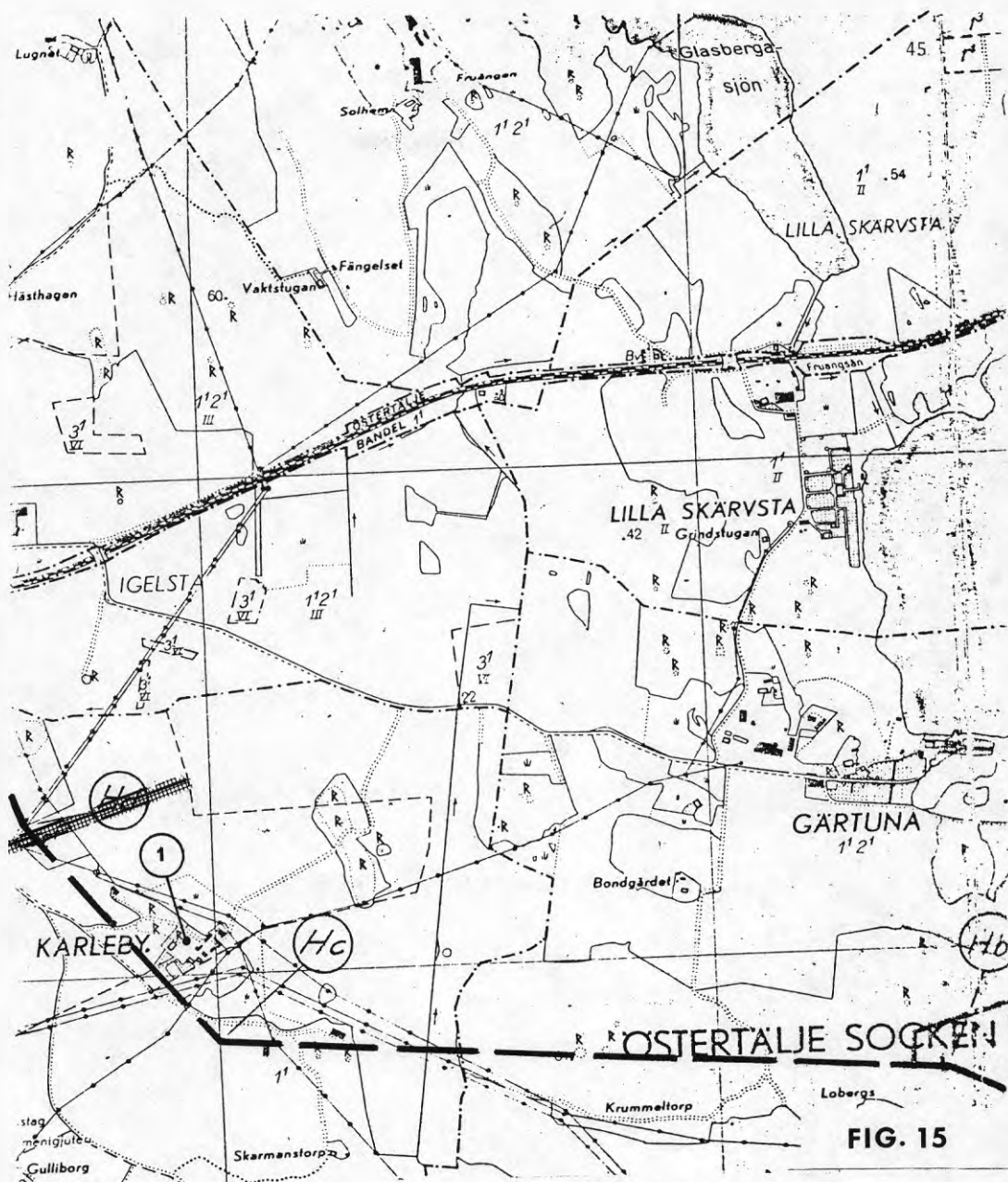


FIG. 15

FÖRKLARINGAR



BERGBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I BERG



JORDBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I JORD



BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG
PÅVERKAD AV TUNNELN



JORDBRUNN EL.
GR.V. OBS-RÖR I JORD
PÅVERKAD AV TUNNELN



SPRICKA ELLER SPRICKDAL



FOTO, MELLAN VINKELBENEN

SKALA 1:10000

TABELL 4

Data för specialanalyserade grundvattenobservationsrör Himmerfjärden

Brunn nr	Läge	Fig	Brunnsbotten nivå	Tunnel-tak nivå	Tunnel- Avstånd tunneln (m)	Tunneln utsprängd tid	Påverkan tid	G.v.sänkn (m)	Läckage i tunneln	Påverkad av tunneln	Anmärkning
501	Näs	9	+ 5	-36	30	okt 1971	okt 1971	1	Inga läckage upp- mätta	x	Foto 3
502	Knösen	10	+14	-35	320	maj 1972	juli 1972	2	förhöjt	x	Foto 4 och 5. Ansatt i sprickzon som tunneln passerar. Jfr 215.
504	Berga	14	+24	-33	360	jan 1972	feb 1972	2	förhöjt	x	Placerat i sprickzon som går genom transportort vid påslag G ₀ .
1125	Botkyrka	16	-	-16	170	maj 1972	juli 1972	återhämtad	förhöjt	x	
2145	"	16	-	-16	40	maj 1972	maj 1972	1,5		x	Berghål

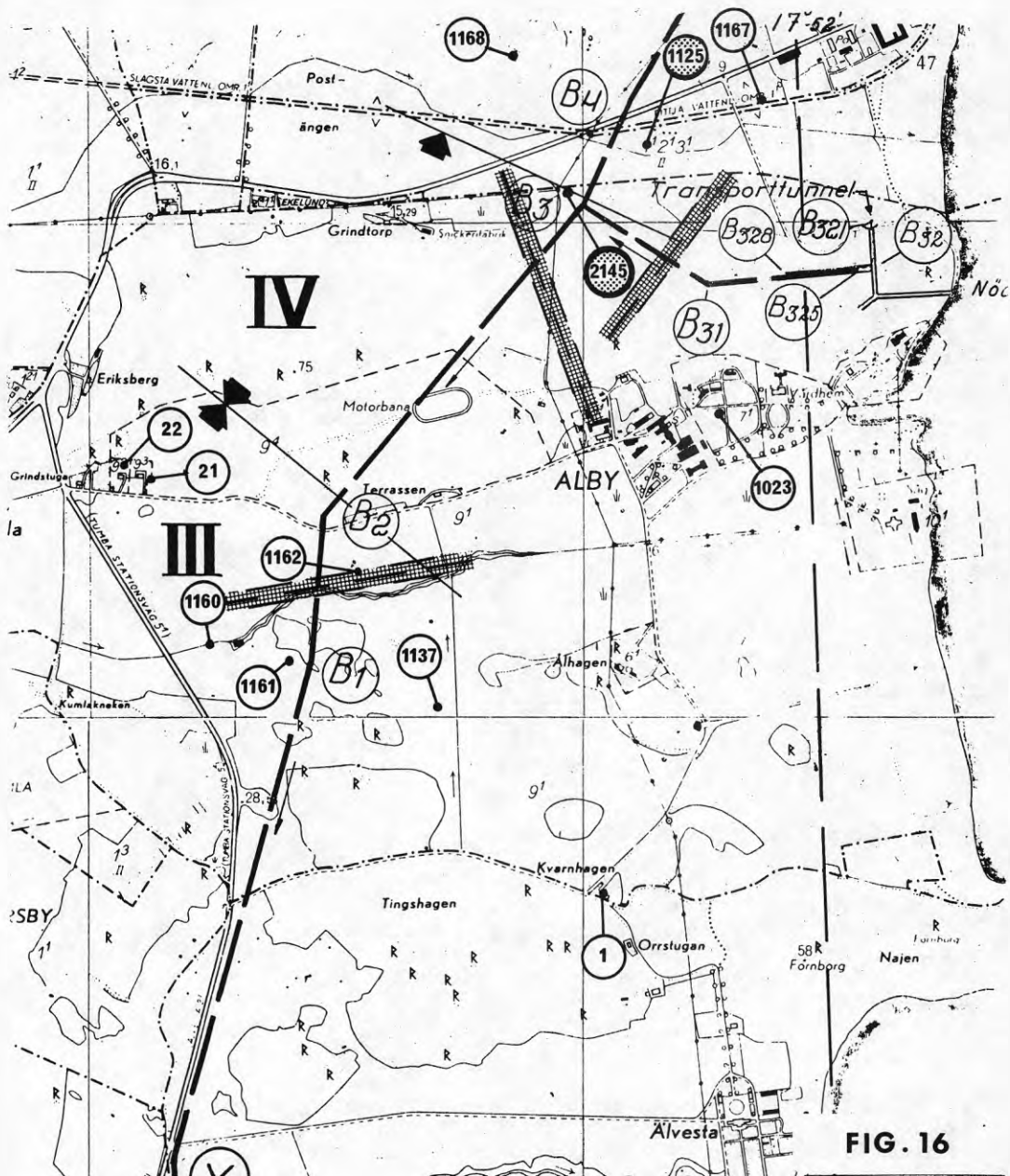


FIG. 16

FÖRKLARINGAR

 BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG

 JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD

 BERGBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I BERG PÅVERKAD AV TUNNELN

 JORDBRUNN EL. GR.V. OBS-RÖR I JORD PÅVERKAD AV TUNNELN

 SPRICKA ELLER SPRICKDAL

 FOTO, MELLAN VINKELBENEN

SKALA 1:10 000

8.1 Viad

Kring Viad, FIG. 5, FOTO 1, har en specialstudie utförts av Institutionen för Kulturteknik vid Tekniska Högskolan i Stockholm av Inger Forsberg och Herbert Falk, 1973 (2).

En fortsatt uppföljning av mätvärdena har utförts och rören har medtagits som viktig del i analysen för hela detta arbete. Resultatet redovisas i tabellform.

Tabell 5

Grundvattenobservationer Viad

Nummer	Tunnel påverkad	Tunnel opåverkad	Avstånd till tunneln (m)	Grundvattensänkning (m) 1968 - 1975
1 (12)	x		65	2 m
2 (24)	x		100	3 m
4 (27)	x		115	2 m
5 (45)	x		90	2 m
6 (57)		x	470	
7 (59)		x	100	
8 (60)		x	290	
9 (B1) (berg- borrad)		x	165	

8.2 Sammanfattning av specialanalysen

Bergborrade brunnar. Tabell 2

Av de 19 stycken specialstuderade bergborrade brunnarna är 2 stycken ej tunnelpåverkade.

12 stycken är grundvattensänkta medan 5 stycken brunnar har sinat. För dessa fem har genom SYVAB:s försorg nya brunnar anordnats eller ersättning utgått som täcker förlusten av vattenkällan.

Jordbrunnar. Tabell 3

Det är svårare att göra en bedömning av tunnelns påverkan på jordbrunnar än för bergbrunnar. Det finns alltid en viss tröghet innan brunnen reagerar och tidssambanden behöver inte vara omedelbara.

Man kan allmänt säga att jordbrunnar varit okänsligare för tunnelns utbyggnad än bergbrunnar och i de flesta fall där sänkning inträffat kan sänkningen hänföras till det nederbördsunderskott som rått under perioden.

Av de 9 stycken specialanalyserade brunnarna är 3 stycken påverkade av tunneln och 2 stycken av dessa har blivit torra och obrukbara, 5 stycken är enbart påverkade av nederbördsunderskottet och 1 brunn har inte tillräckliga mätvärden för en bedömning.

Grundvattenobservationsrör. Tabell 4, Tabell 5

Av de ursprungligen utsatta 21 rören har 9 stycken påverkats. Man skulle kanske väntat sig att flera rör hade påverkats av tunneln då grundvattenobservationsrören har placerats på strategiska punkter där man kunde ha väntat sig grundvattenförändringar.

Av de 12 stycken specialstuderade grundvattenobservationsrören är 10 st nedförda i jord till friktionslagret på bergytan och 2 st i berg. Av bergrören har det ena icke påverkats och det andra påverkats men återhämtats. Av jordrören har 2 st icke påverkats av tunneln utan endast av nederbördsunderskottet. 9 st har påverkats varav 1 st är helt återhämtat och de andra 7 st har fått en grundvattensänkning mellan 1 - 3 meter.

Resultatet av hela detaljanalysen redovisas i Tabell 6.

Tabell 6

Brunnar och grundvattenobservationsrör som påverkats av tunneln

Bergbrunnar	17 + 1 = 18 st	60 %
Jordbrunnar + gv.obs.rör jord	3 + 8 = 11 st	40 %
Summa	29 st	

9 DE PÅVERKADE BRUNNARNAS AVSTÅND
TILL TUNNELN

Samtliga analyserade brunnar och rör har mätts in i förhållande till tunnellen, Tabell 7. Man kan konstatera att fördelningen på olika avstånd är relativt jämn.

Tabell 7

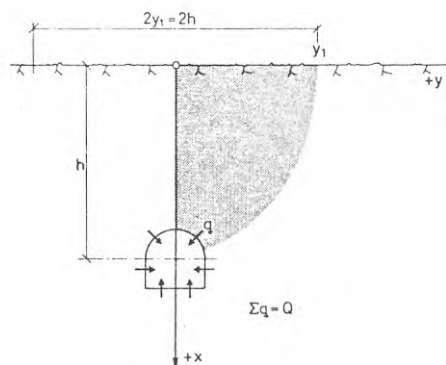
De analyserade brunnarnas avstånd till tunneln

(m)	0-50	51-100	101-200	201-300	301-700
Bergbrunnar	13	8	5	8	15
Jordbrunnar	11	12	36	24	34
Gv.obs.rör	3	8	3	5	3
Summa	27	28	44	37	52
%	14	15	23	20	28

29 stycken brunnar är påverkade av tunneln varav 18 stycken är utförda i berg och 11 stycken i jord.

En uppdelning av de tunnelpåverkade brunnarnas avstånd till tunnellen har utförts dels som en uppdelning i meter, Tabell 8, dels efter ett av Gustafsson, Sund, Lindh 1971 härlett samband (3), Tabell 9.

Ett sätt att teoretiskt beräkna influenszonens bredd har beskrivits av Gustafsson, Sund, Lindh 1971 (3).



$$q = \frac{Q \arctan y/h}{\pi}$$

där y = lägeskoordinat från tunnelns centrumlinje tvärs tunnelriktningen (m)

Q = totala flödet i tunneln (m^3/s),

q = den del av det totala flödet som kommer från ett område begränsat av vertikalen genom tunnelns centrum och y (m^3/s),

h = djupet från bergytan till tunnelns centrum (m).

Sätts $y = h$, blir enligt formeln delflödet q fjärdedelen av totala flödet. Det betyder att hälften, 50 % av det inläckande vattnet, kommer från en zon som ligger på avståndet h på var sida om tunnellen.

På samma sätt kan beräknas att från en dubbelt så bred zon kommer 70 % av det totala flödet och från en tre gånger så bred zon 80 %.

Tabell 8

De tunnelpåverkade brunnarna/rörens avstånd i meter till tunneln

(m)	0-50	51-100	101-200	201-300	301-700
Bergbrunnar	11	4		1	{ 1 (320 m) 1 (470 m)
Jordbrunnar	1	1		1	1
Gv.obs.rör jord	1	3	2	1	1 (360 m)
Summa	13	8	2	3	3
%	45	28	7	10	10

Tabell 9

De tunnelpåverkade brunnarna/rörens avstånd till tunneln uttryckt i förhållande till tunneldjupet h

	2 h	4 h	6 h	>6 h
Bergborrade brunnar	11 st 61 %	4 st 22 %		3 st 17 %
Jordbrunnar och grundvattenobser- vationsrör i jord	2 st 18 %	4 st 36 %	1 st 10 %	4 st 36 %
Samtliga av tun- neln påverkade	13 st 45 %	8 st 28 %	1 st 3 %	7 st 24 %

Av Tabell 9 framgår att 45 % av de påverkade brunnarna och rören hamnat inom influensbredden 2 h och 73 % hamnat inom influensbredden 4 h, d.v.s. att det härledda sambandet för det teoretiska inströmningsområdet stämmer mycket bra med den i det här fallet registrerade influensbredden. De brunnar som ligger utanför 6 h och har påverkats av tunneln styrs av helt andra lagar än de som legat som underlag för den teoretiska beräkningen. Förklaringen står att söka i områdets geologiska uppbyggnad. Samtliga brunnar som hamnat utanför 6 h ligger nämligen i vattenförande sprickzoner som korsats av tunneln.

Framhållas bör, att 60 % (34 st av 55) av brunnarna, som ligger inom influenszonen 4 h, inte alls har påverkats av tunneln.

9.1 Viad

En specialstudie för influenszonens utbredning har gjorts vid Viad där ett koncentrerat antal brunnar och rör studerats, FIGUR 5, FOTO 1, Tabell 10.

Tabell 10

Grundvattenobservationer Viad

Nummer	Tunnel påverkad	Tunnel opåverkad	Avstånd till tunneln (m)	Grundvatten-sänkning (m) 1968 - 1975
1 (12)	x		65	2 m
2 (24)	x		100	3 m
4 (27)	x		115	2 m
5 (45)	x		90	2 m
6 (57)		x	470	
7 (59)		x	100	
8 (60)		x	290	
9 (B1) (berg- borrad)		x	165	

Analys av influenzonens bredd i meter

(m)	0-50	51-100	101-200	201-300
12		x		
24		x		
27			x	
45		x		
57				x
59		x		
60				x
B1			x	
	0	4	2	2
Tunnelpå- verkade		3	1	
Opåverkade		1	1	2

Av ovanstående framgår att influenzonens bredd i detta område är minst 115 meter, rör 27.

För ett mera lokalt område som detta kunde det vara intressant att se hur det av Gustafsson, Sund, Lindh 1972 (3) härledda sambandet (se kapitel 9) mellan tunneldjup (h) och influenzonens utbredning stämmer.

Tunneltaket ligger i området på cirka -40 och bergytan varierar mellan -18 och +18.

Vid rör 27, 115 meter från tunnellinjen ligger bergytan på cirka +5 meter. Avståndet h mellan tunneltak och bergyta är 45 meter, 2 h = 90 meter och 3 h = 135 meter.

Vid B1 som är opåverkat och ligger 165 meter från tunneln ligger bergytan vid +15 och 3 h blir då 180 meter.

Rör 27, som är påverkat av tunneln, ligger mellan 2 h och 3 h. Det gör också B1 som betraktas som opåverkat av tunneln.

Vid rör 59 ligger bergytan på cirka ± 0 och då är $h = 40$, $2 h = 80$ och $3 h = 120$ meter. Rör 59, som är opåverkat, ligger även det mellan 2 h och 3 h.

Grundvattenpåverkan vid Viad ligger alltså i området mellan 2 h och 3 h, d.v.s. influenszonens bredd är mellan $2 \times 2 h$ och $2 \times 3 h$ då influenszonen räknas på båda sidor om tunneln.

Detta visar att de rent empiriska beräkningar som uppställts för att beräkna influenszonens bredd kan användas med vissa reservationer för att beräkna den verkliga influenszonens bredd. För Viad varierar influenszonen mellan 100 - 150 meter på var sida om tunneln.

10 TUNNELNS INFLUENSOMRÅDE BEROENDE AV GEOLOGIN

Den äldsta geologiska bildningen i vårt land är urberget. I urberget (graniter, gnejser, grönstenar) är det först och främst sprickfrekvensen samt sprickornas form, dimensioner och lutning som är utslagsgivande för vattenföringen. Urbergets benägenhet för sprickbildning är mycket varierande, och olika slag av bergarter uppvisar olika hydrogeologiska karaktärsdrag. Granskar man eruptivbergarternas vattenföring, kan man snart konstatera en generell regel, nämligen att sura bergarter såsom graniter är bättre vattenleverantörer än basiska grönstenar. Svenska urbergets metamorfa (omvandlade) bergarter, såsom gnejs, glimmerskiffer, leptit, kvartsit etc., uppvisar mycket stora skillnader i vattenföringen ej endast från den ena bergarten till den andra utan även inom samma bergartstyp mellan olika geologiska enheter. Just metamorfa bergarter accentuerar den även för andra kristallina bergarter gällande regeln, att predispositionen för sprickbildning och därmed för vattenföring ej endast är beroende på den mineralogiska sammansättningen utan även i hög grad av strukturella företeelser såsom kornighet, skiffrihet etc. betingade av bildningssättet och senare omvandlingsprocesser. Där berggrunden genomsätts av förkastningar som bildar krosszoner är givetvis sprickfrekvensen särskilt stor och alla typer av kristallina bergarter får i allmänhet en större vattenförande kapacitet.

Ovanpå bergytan ligger de lösa jordlagren. Här är det porerna mellan partiklarna, som är utslagsgivande för vattenföringen. Porvolymen varierar mellan 20 - 55 %. I allmänhet är det dock endast sand och grus, som levererar större vattenmängder.

Genom terrängen i stora delar av vårt land går slutligen rullstensåsarna vilka fungerar som jättelika grusfyllda grundvattenledare i landskapet. De för så gott som alltid stora grundvattenmängder, vilka utnyttjas för bebyggelsen även i större sammanhang.

10.1 Berggrund

För att kunna bedöma grundvattensituationen för ett område måste man känna till områdets geologi. När det gäller tunneldrivning i berg och dess inverkan på grundvattnet är det, som framgår av det ovan sagda, framförallt berggrundens vattenförande spricksystem och större krosszoner som är avgörande för var grundvattenpåverkan kan inträffa.

Som vi i föregående kapitel kunde konstatera låg 7 stycken av tunneln påverkade brunnar/rör utanför den teoretiska influenszonens bredd. De 7 brunnarna nr 326, 215, 108, 3, 502, 504 och 1125, är alla belägna i vattenförande sprickzoner som har punkterats av tunneln med läckage som följd.

Tag t.ex. brunn 215, FIG. 10, som ligger 470 meter från tunnelsträckningen. Brunnen är ansatt i en sprickzon i berget som går

genom tunnellen till Lilla Träsket. När tunnelfronten passerade denna zon uppstod vattenläckage i tunneln och omfattande injektering utfördes. Sänkning skedde efter cirka 1 månad i brunnen.

10.2 Jordlagren

Jordlagren som är avsatta på bergytan består oftast från botten av morän och därpå överlagrad lera. Moränen är en osorterad jordart och kan ha skiftande sammansättning och därmed också olika permeabilitet. I moränlagret är de flesta jordbrunnar nedförda. Förutsättningen för att en jordbrunn skall påverkas av tunneln är att en vattenförande bergspricka som tunneln passerar har kontakt med ovanförliggande jordlager. Eftersom morän är en osorterad jordart med inhomogen sammansättning blir en grundvattenpåverkan oftast lokal när en vattenförande spricka har kontakt med jorden och tömmer därför inte grundvattnet över stora arealer.

Intill högre liggande partier i landskapet kan svallgrus vara avlagrat ovanpå leran. I vissa fall har brunnar nedförts i svallgruset. Dessa brunnar påverkas ej av tunnelbyggnation då det underliggande lerlagret förhindrar direkt kommunikation.

Vissa brunnar i området är nedförda i åsmaterial, d.v.s. grus och sand som är sorterat och avlagrat i anslutning till en ås. I allmänhet är vatteninnehållet i dessa åsakvifärer dock så stort och tillströmningen så god att en läcka i tunneln inte har någon större inverkan.

10.3 Slutsats

En tydlig skillnad kan konstateras mellan brunnar belägna i berg och brunnar i jord, nämligen den att brunnar i berg reagerar lättare för en tunnel än brunnar i jord.

Detta förklaras av att det i berggrunden finns grundvatten endast i sprickorna och att dessa representerar en mycket liten volym i förhållande till hela bergvolymen. Om dessa sprickor har kommunikation med varandra kommer en tunnel som träffar en av dessa vattenförande sprickor att dränera sprickvattenreservoaren. Man kan därför förstå att en bergborrad brunn har stora chanser att påverkas av en bergtunnel.

De områden ur hydrogeologisk synpunkt som är speciellt känsliga för läckage till en tunnel är de där en sprickzon i berggrunden är överlagrad av ett tunt, ganska välsorterat friktionsmaterial med litet vatteninnehåll som i sin tur är överlagrat av lera. Tillströmningen av vatten från omkringliggande områden är liten. Om en tunnel passerar under ett sådant område kan redan ett litet läckage tömma kvifären. Verkan av detta blir stor och grundvattensänkningen kan sträcka sig mycket långt beroende på sprickans utbredning. Betonas bör att denna grundvattensänkning ofta är mycket lokal och begränsad till sprickzonens närmaste omgivning. Man behöver kanske endast flytta 50 meter från sprickzonen för att komma till ett helt opåverkat grundvatten. Exempel på detta ges av Per Ahlberg, Tom Lundgren 1975 (4).

Av de 228 stycken inventerade brunnarna har enligt vår undersökning 29 stycken brunnar påverkats av tunneln. Av dessa är 20 stycken grundvattensänkta men brunnsfunktionen har ej rubbats, 2 stycken är återhämtade och 7 stycken har sinat. Det är således förvånansvärt få brunnar, endast 13 % av de inventerade, som har påverkats av tunnarna.

Delar man upp de påverkade brunnarna i berg- respektive jordbrunnar är 18 stycken utförda i berg och 11 stycken i jord. Om man enbart jämför antalet påverkade brunnar med antalet analyserade ser man att 35 % av bergbrunnarna är berörda medan endast 8 % av jordbrunnarna påverkats.

Resultatet tyder på att sprickgrundvattnet i berg oftast inte har någon direkt kontakt med grundvattnet i jord. I vissa speciella fall däremot kan dock god förbindelse erhållas när öppna sprickzoner har kontakt med permeabla jordlager.

Att brunnar sprängda eller borrhade i berg är känsligare för påverkan av en närbelägen tunnel än i jord grävda brunnar är knappast förvånande med tanke på att särskilt de borrhade brunnarna ofta nedförs djupare än 50 meter i berget. För att få vatten måste borrhunnen träffa på grundvattenförande spricksystem. En tunnel kan betraktas som en i berg med stor diameter utförd brunn. Möjligheterna för en tunnel att direkt eller via sekundära spricksystem få kontakt med vattenförande sprickor måste anses god. Till grundvattenbilden i berget hör även det faktum att vattenvolymen i sprickorna är liten, varför redan ett obetydligt läckage i tunneln kan minska vattenföringen i den bergborrade brunnen.

Den vattenförande förmågan hos en "rätt" placerad och utförd jordbrunn är oftast stor. Genom jordartens goda vattenmagasinerande förmåga, d.v.s. stor porvolym jämfört med bergsprickorna, blir den i jord grävda eller borrhade brunnen okänslig för lokala mindre vattenläckage även om en tunnel ligger nära brunnen. Dessutom bör observeras att jordbrunnarna utförs i ett medium som inte skall ha direkt kontakt med en i berg utsprängd tunnel.

I denna rapport har vi jämfört i praktiken erhållna resultat med den teoretiska modell för beräkning av influenszonens bredd, som uppställts av professor Yngve Gustafsson och som redovisats med exempel från praktiken 1971 (3). Av vår analys framgår att denna modell för beräkning av influenszonens bredd är tillämpbar på 75 % av de av tunneln påverkade brunnarna, Tabell 9.

Utanför det teoretiska beräkningssystemet faller 7 stycken brunnar (25 %), vilket inte på något sätt är förvånande, tvärtom skulle man tro att det omvända förhållandet skulle vara fallet. Av dessa är 4 stycken bergborrade hål, vilka ansatts i sprickzoner som har korsats av tunneln. Jordbrunnarna, 3 stycken, är grundvattenobservationsrör, som neddrivits genom lerlagret till friktionsjorden på bergytan och som tydligen har mycket god kontakt med den i tunneln påträffade vattenförande sprickzonen.

Av resultatet framgår således att man kan förutsäga cirka 75 % av influensområdet med hjälp av en teoretisk modell och cirka 25 % med god geologisk och hydrologisk kunskap om området kring tunneln.

Betonas skall att hälften av de undersökta brunnarna inom influensområdet 0-50 meter från tunneln och 60 % av brunnarna inom influensområdet 51-100 meter inte påverkats alls.

Slutsatsen blir att man kan bedöma riskområdet för grundvattenpåverkan men inte säga hur många eller vilka brunnar/rör inom detta område som kan påverkas.

SAMMANFATTNING

Under åren 1969 - 1973 utsprängdes SYVAB:s avloppstunnlar på Södertörn sydväst om Stockholm. Tunnelsystemet är 45 km och det hittills längsta som utsprängts under så kort tid i Sverige. Utsprängningen och dess följder för grundvattensituationen dokumenterades med en noggrannhet som är unik för liknande projekt. Efter arbetets avslutande åtog sig Bergkonsult AB med medel från Statens råd för byggnadsforskning att utvärdera detta material främst med avseende på tunnelns inverkan på grundvattnet. För att på ett snabbt och överskådligt sätt få fram resultat beslöt man att databearbeta grundmaterialet. Resultatet av denna bearbetning blev fem diagram som inritats parallellt på samma blad och illustrerar utförd förinjektering, efterinjektering, sprutbetong, bultning och profil för tunnelsträckan, FIGUR 2. I profilen ingår markprofil, seismisk profil, borrar bergprofil och tunnelläge. Längdskalan är 1:10000 och höjdskan är 1:2000. Dessa diagram har varit en förutsättning för den vidare bedömningen av grundvattenpåverkan kring tunneln.

SYVAB ålades av Österbygdens vattendomstol 1968-03-29 att göra observationer av vattenstånd i brunnar som ligger på mindre avstånd än 300 meter från tunnellen, för att få tillstånd att utföra tunneln. Redan vid tiden för ansökan hade SYVAB låtit inventera befintliga brunnar inom detta influensområde och var alltså väl förberedda på att uppfylla kraven. För att ytterligare ur forskningssynpunkt studera grundvattensituationen utsattes ett stort antal grundvattenobservationsrör på strategiskt viktiga platser bl.a. kring Viad.

Observationer i dessa brunnar och rör började så tidigt som 4 år före tunnelutsprängningen och utfördes därefter regelbundet med en förtätning av mättillfällena när tunnelfronten närmade sig. Normalt avlästes grundvattenståndet 1 gång per månad.

Vattenläckaget i tunneln mättes kontinuerligt under utsprängningstiden.

För att närmare kunna lokalisera större läckage har inläckningsvärdena omarbetats. Inläckningsökningen mellan två mättillfällen har dividerats med utsprängd sträcka, och inläckningen i l/min x meter har erhållits, FIGUR 4.

Sammanlagt har 228 observationspunkter inventerats av SYVAB och 188 stycken av dessa har kunnat användas för analys av tunnelns inverkan på grundvattnet.

Tabell 11

Brunnar och rör som analyserats kring Himmerfjärdstunnlarna

	Analyserade	Bergborrade	Jordbrunnar
Botkyrka	19	4	15
Botkyrka-rör	6	1	5
Grödänge	81	26	55
Södertälje	64	17	47
STEGA-rör	9	-	9
Viad-rör	9	1	8
Summa	188	49	139
%	100	26	74

Grundvattenkurvor för samtliga observationspunkter analyserades för att bedöma om brunnen/röret påverkats av tunneln. Som underlag för analysen har legat grundvattenindex från Bornsjön och Verka, nederbördskurvor från Riksten, inläckningsdiagram, stufflägeskarta och den databehandlade informationen om läget för utförd injektering och bergförstärkning.

Under tunnelbyggnadsperioden rådde ovanliga nederbördsförhållanden. Från 1969 fram till 1974 rådde ett konstant nederbördsunderskott som avspeglades som sjunkande grundvatten och komplicerade bilden när tunnelns inverkan på brunnarna skulle bedömas. En annan faktor som också försvårade utvärderingen var att många sommarstugeägare fick elektricitet indragen i början av 1970-talet och installerade elektrisk pump i brunnen. Det resulterade i ökad vattenförbrukning och vattenytan sänktes i brunnen som i värsta fall sinade. Dessa förändringar inträffade i vissa fall vid samma tid som tunneln byggdes och man måste därför ta hänsyn till detta vid bedömningen av tunnelns påverkan.

Resultatet blev att av de 188 stycken analyserade brunnarna och rören har sammanlagt 29 stycken påverkats av tunneln, 18 stycken bergbrunnar och 11 stycken jordbrunnar/rör. Det måste betraktas som en mycket låg siffra. 7 stycken har sinat och ägarna till dessa har ersatts av SYVAB.

För att kunna bedöma influenszonen för grundvattenpåverkan kring tunneln gjordes en uppdelning av brunnarnas avstånd till tunneln på två sätt, dels i meter och dels efter ett härlett samband av Gustafsson, Sund, Lindh 1971 (3), Tabell 8 och 9.

Influenszonens bredd i meter är cirka 100 meter på var sida om tunneln och gäller för 70 % av de påverkade brunnarna. 30 % faller utanför detta område men kan förklaras av att de är belägna i markerade sprickzoner som korsats av tunneln.

Hälften av de undersökta brunnarna på 0-50 meters avstånd från tunneln och 60 % av brunnarna på 51-100 meter har inte påverkats alls av vattenläckaget i tunneln.

En slutsats av vår undersökning blir alltså att man kan bedöma riskområdet för grundvattensänkning men inte säga hur många och vilka brunnar som kommer att påverkas inom detta område.

Den utförda analysen av influenszonens bredd (modell Gustafsson) har visat att 45 % av de påverkade brunnarna ligger inom influensbredden $2h$ (= $2 \times$ avståndet mellan tunnel och bergyta) och 73 % inom $4h$, d.v.s. det härledda sambandet för det teoretiska inströmningsområdet stämmer bra för de påverkade brunnarna.

De observationspunkter som ligger utanför $6h$ och påverkats av tunneln följer helt andra lagar än de som ligger som underlag för den teoretiska beräkningen. Här gäller de geologiska realiteterna och påverkan har huvudsakligen en geologisk förklaring. Samtliga påverkade brunnar som hamnat utanför den teoretiska influenszonens bredd är nämligen placerade i vattenförande sprickzoner som punkterats av tunneln med läckage som följd.

För att rätt kunna bedöma en tunnels hela influensområde krävs alltså att man väl känner områdets hydrogeologi. Influenszonens bredd kring en tunnel kan således med relativt god noggrannhet bedömas under förutsättning att man känner till basvärdet för det teoretiska beräkningssättet och områdets geologiska uppbyggnad. Den teoretiska modellen kan användas där berggrundens uppbyggnad och beskaffenhet är relativt homogen medan stor hänsyn till de geologiska realiteterna måste tas där berggrunden är tektoniskt påverkad och bergytans kontur liknar en berg- och dalbana.

Som slutresultat av analysen av grundvattenpåverkan kring Himmerfjärdstunnlarna kan man säga att ett mycket litet antal brunnar har påverkats av tunnelbyggnationen. Av cirka 200 analyserade brunnar har 29 stycken påverkats men endast 7 stycken har förlorat sin vattenförande förmåga.

Man kan alltså idag driva bergtunnlar med tillfredsställande säkerhet och undvika skadlig grundvattensänkning under förutsättning att man vidtager de åtgärder som krävs i form av inventering och kontroll av grundvattnet på projekteringsstadiet och en omsorgsfull tätning i tunneln under byggnadsskedet.

SUMMARY

Between 1969 and 1973 the sewer tunnels owned by the South-Western Stockholm Regional Water & Sewage Works, Inc. - SYVAB, had been constructed south-west of Stockholm. The tunnel system has a total length of 45 km, and in Sweden it is so far the longest that has been excavated so rapidly during such a short time. The tunnel excavation and its affect on the surrounding ground-water table were recorded in reports with an exactitude that is unique for such projects. Upon completion of the project Bergkonsult - Sven Tyrén AB has undertaken the task to evaluate the compiled material and to investigate any possible affect of the tunnel on the ground-water. The undertaking was sponsored by the Swedish Council for Building Research. In order to be able to present the results in a perspicuous way and to obtain them fast it was decided that the basic material should be processed by computer. The results of this processing are illustrated in five diagrams on each drawing, showing performed pregrouting, grouting, shotcreting, rockbolting and the longitudinal profile of the tunnel section (see Fig. 2). The section also shows outline of the surface, seismic profile, configuration of the bed-rock based on exploratory drillings, and elevation of the tunnel. The longitudinal scale is 1:10,000, while the vertical scale is 1:2000. These diagrams served as essential bases for determining any possible changes in the ground-water situation around the tunnel.

SYVAB was charged by the Österbygdens Water Rights Court (March 29, 1968) to carry out continuous ground-water level observations in wells that lie less than 300 meters away from the centerline of the tunnel, unless SYVAB would be enjoined from the rights to construct the tunnel. Already at the time of the petitioning to the Court SYVAB had made a survey of the existing wells that lie within the area of influence and was therefore ready to comply with the Court's demand. In addition to facilitate research on the ground-water situation, a large number of observation wells were driven at strategically important sites, among others at Viad.

Readings of these observation wells had started as early as 4 years before the start of the excavation and were regularly recorded once a month. When the tunnel face was approaching a well, the frequency of readings had been increased.

The amount of water leaking into the tunnel was measured continuously during excavation. To be able to further locate large water-inflows the obtained values of such inflows had to be revised. The increased volume of leakage between two consecutive readings was divided by the length of excavated tunnel and thereby a new value for the inflow, expressed in liter/minute x meter could be obtained, Fig. 4.

In all, 228 observation points were investigated by SYVAB, out of which 188 could be utilized for studying the influence of the tunnel on the ground-water table.

Tabel 11

Wells and observation wells studied around the Himmerfjärd tunnels

	Total	In rock	In soil
Botkyrka	19	4	15
Botkyrka - observation well	6	1	5
Grödinge	81	26	55
Södertälje	64	17	47
STEGA - observation well	9	-	9
Viad - observation well	9	1	8
Total	188	49	139
%	100	26	74

Diagrams showing the fluctuation of the ground-water level at all observation points were studied for establishing whether the observation point was affected by the tunnel. As basic data for this study the reference indices of the ground-water tables from Bornsjön and Verka were used. Also precipitation records from Riksten, records of water inflow, position of the tunnel face and the computer processed information on the stage of completed grouting and ground reinforcement operations were made use of.

During the excavation phase the precipitation conditions were highly unusual. From 1969 to 1974 the amount of precipitation constantly remained below average, resulting in an apparently falling ground-water level and in complicated conditions, when the affect of the tunnels on the ground-water had to be estimated. Another factor that made the evaluation difficult was, that a large number of summer cottages in the area had been electrified in the early seventies and were equipped with electric pumps. It resulted in an increased water consumption, and subsequently the water level in the wells fell, and at worst they even ran dry. These changes coincided, in certain cases with the driving of tunnels and had to be taken into consideration at the evaluation work.

The final result of the survey showed that only 29 wells of the 188 that were studied had been affected by the tunnel. Of the 29 wells 18 were bored into the bedrock and 11 were dug or consisted of observation wells driven into the soil. This implies that the driving of the tunnel had only a very slight influence on the surrounding wells. The owners of 7 wells that ran dry had been compensated by SYVAB.

To establish the area of influence along the tunnel, the actual distance of the wells from the tunnel had been divided into two expressions, one in meters and one in units in accordance with a derived relation set up by Gustafsson, Sund and Lindh, 1971 (3). Tables 8 and 9.

The width of the area of influence is about 100 meters on either side of the tunnel, covering 70 % of the affected wells. The remaining 30 % lie outside of this area but the circumstance that they were nevertheless affected can be explained by the fact that they are situated in clearly marked fissured zones intersected by the tunnel.

Fifty per cent of the studied wells lying 0 - 50 meters from the tunnel and 60 % of the wells lying 51 - 100 meters from the tunnel had not been affected at all by the water inflow into the tunnel.

One of the final conclusions of our investigation is that while it is possible to delineate the risk-zone within which a lowering of ground-water may take place, it seems improbable to predict how many and which wells will be affected within that area.

The undertaken investigation of the extent of the area of influence (according to Gustafsson) indicates that 45 % of the wells affected lie within the area of influence of 2 h (twice the vertical distance from the tunnel to the bedrock surface), 73 % within 4 h, that is, the derived relation regarding the theoretical extent of area of influence is in good agreement with the location of the affected wells.

Observation points which are situated at a distance greater than 6 h and yet were affected by the tunnel, are governed by other rules than those which served as basis for the theoretical calculations. There the geological conditions prevail, and the influence has mainly geological reasons. All the affected wells that lie outside the theoretical border of the area of influence, as a matter of fact, was found to be within a water-bearing fissure zone, which, when intersected by the tunnel, was punctuated and consequently drained.

It appears to be necessary to possess a thorough knowledge of the hydrogeology of the area to be able to estimate the entire extent of the radius of influence. It can be estimated with a relatively good accuracy, provided that the basic values used for the theoretical computation are known and the geological setting of the area as well. The use of the theoretical model is applicable where the texture and the quality of the bedrock indicate homogeneity. On the other hand, the geological realities must be taken into consideration where the bedrock shows tectonic disturbances, and the configuration of the bedrock dips sharply up and down.

The final results of the analysis concerning the ground-water situation around the Himmerfjärd tunnels reveal that actually only a very few number of wells had been affected by the tunnel driving. Out of the about 200 investigated wells 29 were influenced but only 7 had lost its water-bearing capacity.

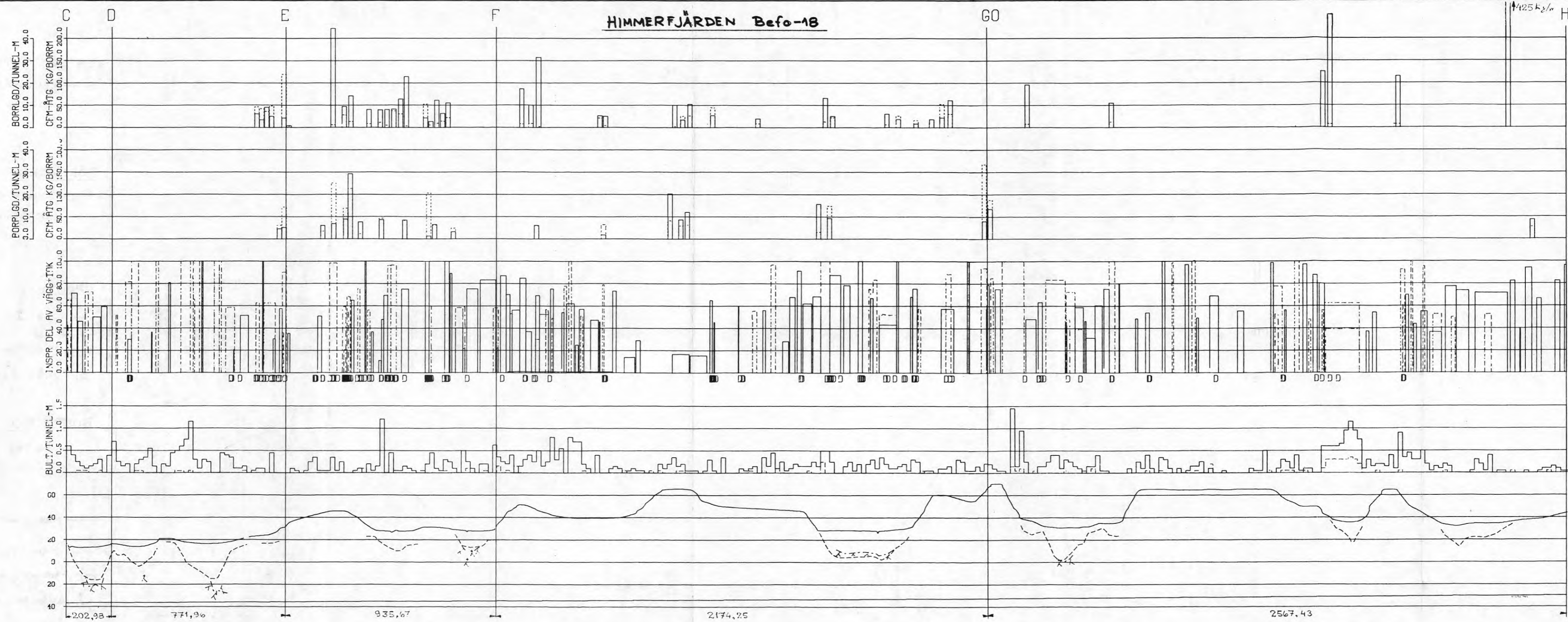
It can be concluded that it is possible to drive tunnels with satisfactory safety, and without causing harmful lowering of the ground-water level, provided that appropriate measures are taken involving an inventory and control of the ground-water at the planning phase and a careful sealing of the tunnel during the construction phase.

REFERENSER

- (1) LINDSKOUG, N-E., NILSSON, L-Y., 1974
STEGA:s arbete 1966 - 1973. Grundvatten och byggande
Rapport R20:1974, Statens råd för byggnadsforskning.
- (2) FORSBERG, I., FALK, H., 1973
Grundvattensänkning längs Himmerfjärdstunnlarna vid
Viad, Grödinge.
Ex. arbete Institutionen för Kulturteknik, KTH, Stock-
holm.
- (3) GUSTAFSSON, Y., SUND, B., LINDH, A., 1971
Grundvattensänkning vid tunneldrivning
Rapport till BFR R6:1971.
Grundvattenproblem i tätorter, STEGA
Byggmästaren nr 6, 1970.
- (4) AHLBERG, P., LUNDGREN, T., 1975
Grundvattensänkning till följd av tunnelsprängning.
Rapport från Statens Geotekniska Institut till BFR,
anslag C 663:1-2.

HIMMERFJÄRDEN Befo-1B

BILAGA 1a



EFTERINJEKTERING

— CEMENTÄTGÅNG
 --- BORRLÄNGD

FÖRINJEKTERING

— CEMENTÄTGÅNG
 --- BORRLÄNGD

SPRUTBETONG

— 1 PÅSLAG
 --- 2 " " " "
 - - - 4 " " " "

D = DRÄNLÅGE

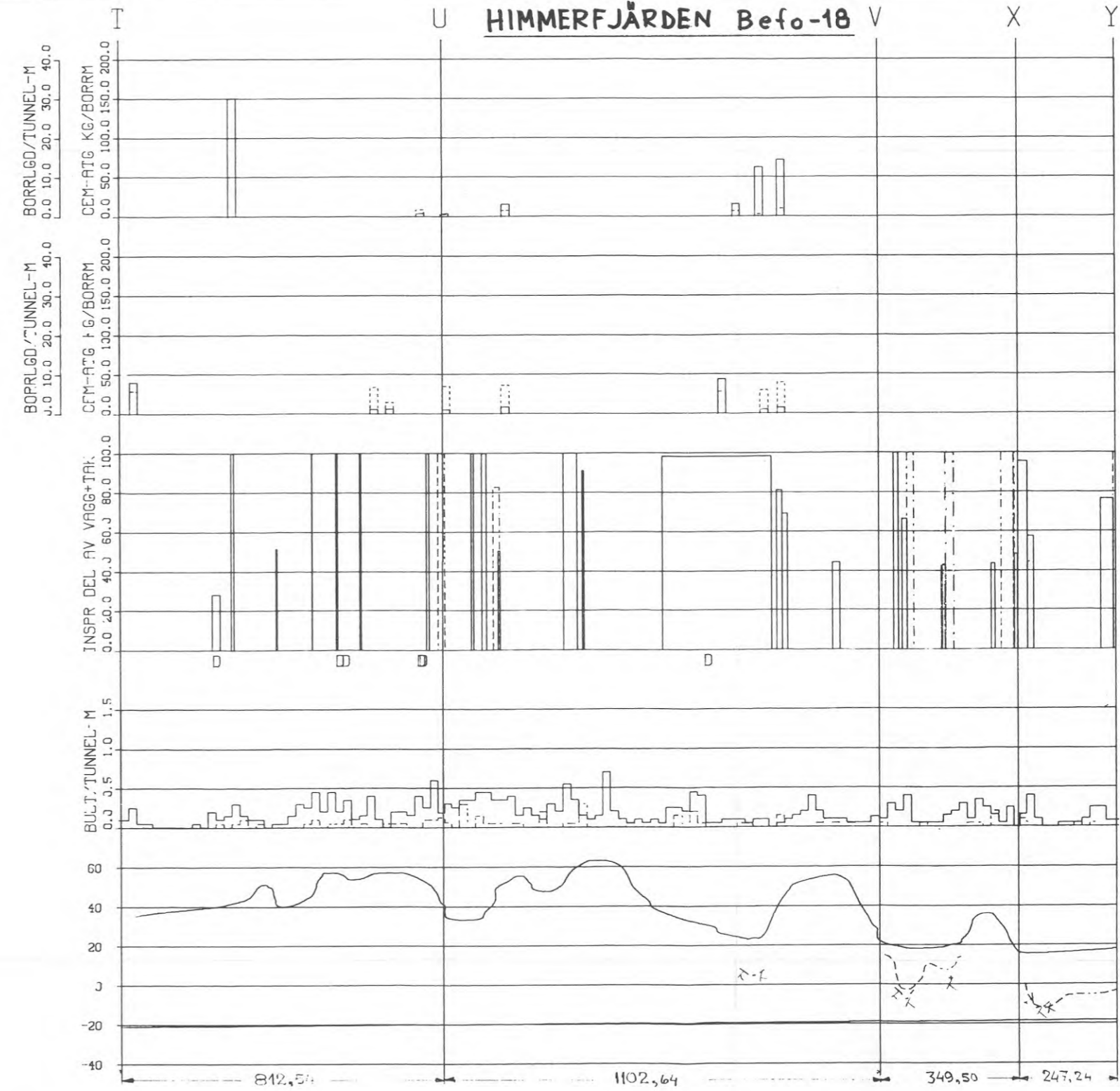
BULTNING

— 1 TAK
 --- 1 VÄGG

— MARKYTANS LÄGE
 --- SEISMISK BERGPROF.
 x x BORRAD BERGPROF.

LÅNGDSKALA 1:10000

HIMMERFJÄRDEN Befo-18



EFTERINJEKTERING

- CEMENTÅTGÅNG
- - - BORRLÄNGD

FÖRINJEKTERING

- CEMENTÅTGÅNG
- - - BORRLÄNGD

SPRUTBETONG

- 1 PÅSLAG
- - - 2 "
- · - · 4 "
- D = DRÄNLÄGE

BULTNING

- TAK
- - - VÄGG

MÄRKYTANS LÄGE

- - - SEISM. BERGPROFIL
- X X X BORRAD BERGPROF.

LÄNGDSKALA 1:10000

Grundvattenobservationskurvor

Bergborrade brunnar

1	GRÖDINGE	201
2	-''-	216
3	-''-	305
4	-''-	306, 307
5	-''-	309
6	-''-	332
7	-''-	327
8	-''-	326
9	-''-	318
10	-''-	319
11	-''-	333
12	-''-	215
13	SÖDERTÄLJE	102, 103, 104
14	-''-	105
15	-''-	108
17	BOTKYRKA	202

Jordbrunnar

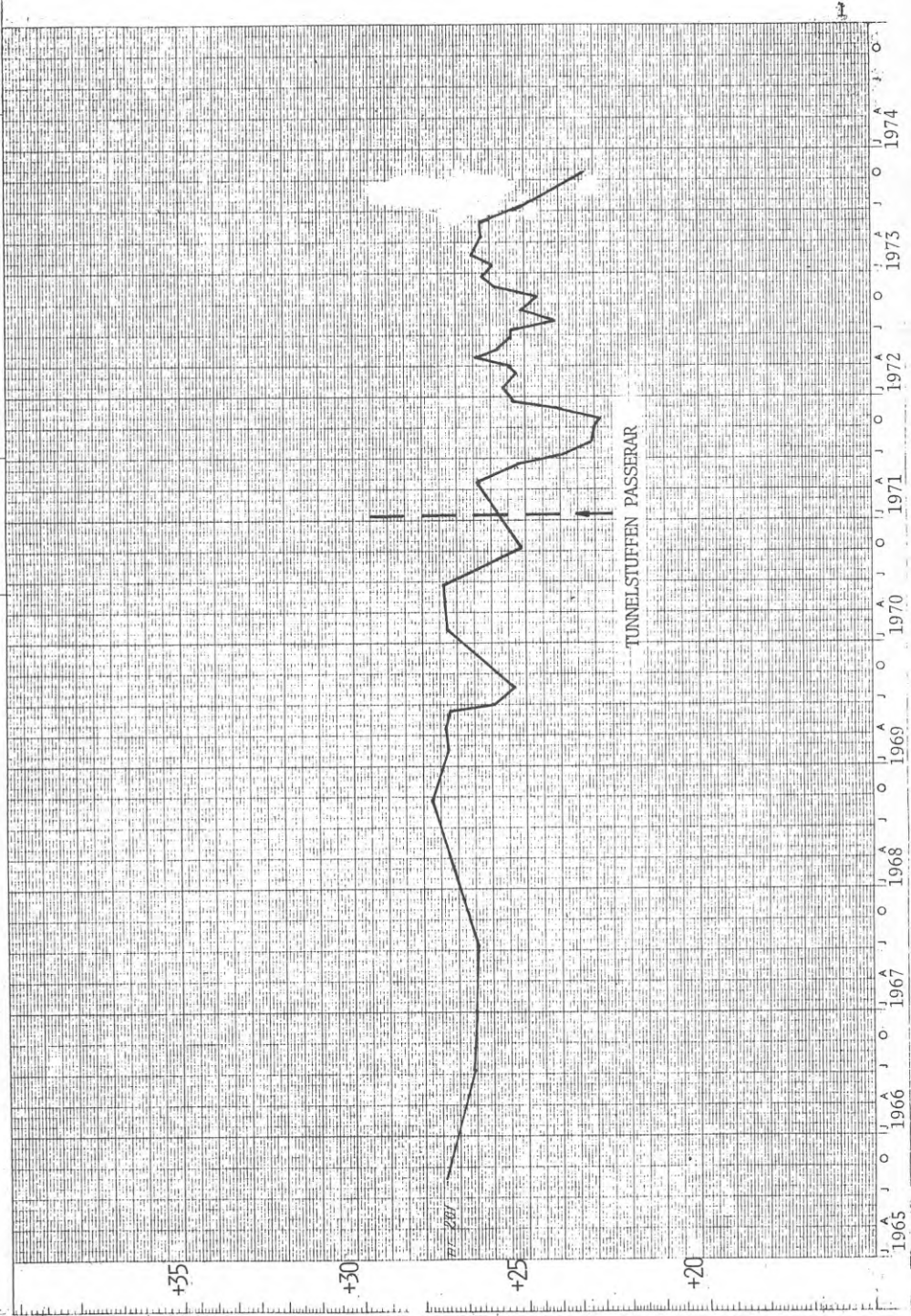
17	GRÖDINGE	6
18	-''-	22
19	-''-	324
20	SÖDERTÄLJE	1
21	-''-	2,3
22	-''-	7
23	-''-	8,9

Grundvattenobservationsrör

24	STEGA	501
25	-''-	502
26	-''-	504
27	VIAD	12, 24, 45, 57
28	-''-	27, 60
29	-''-	59
30	-''-	B1 (bergborrat)
31	BOTKYRKA STEGA	1125, 2145 (bergborrat)
32	Grundvattenindex Verka	
33	Grundvattenindex Bornsjön rör 5713	
34	Nederbörd - Riksten	
35	Klimatiska stationer - Stockholmsområdet	

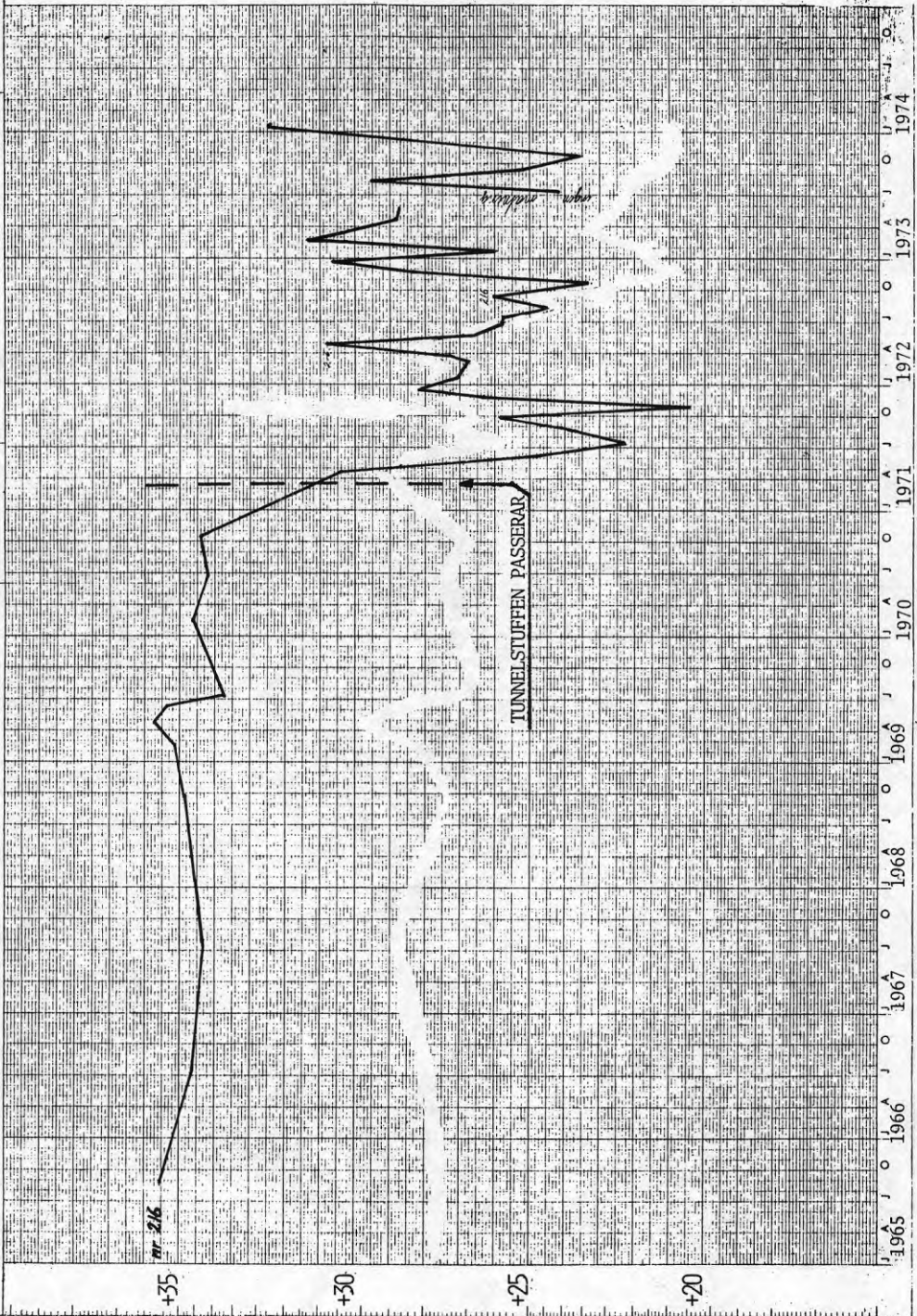
GRÖDJINGE BERGBORRAD BRUNN 201

1965-1974
201



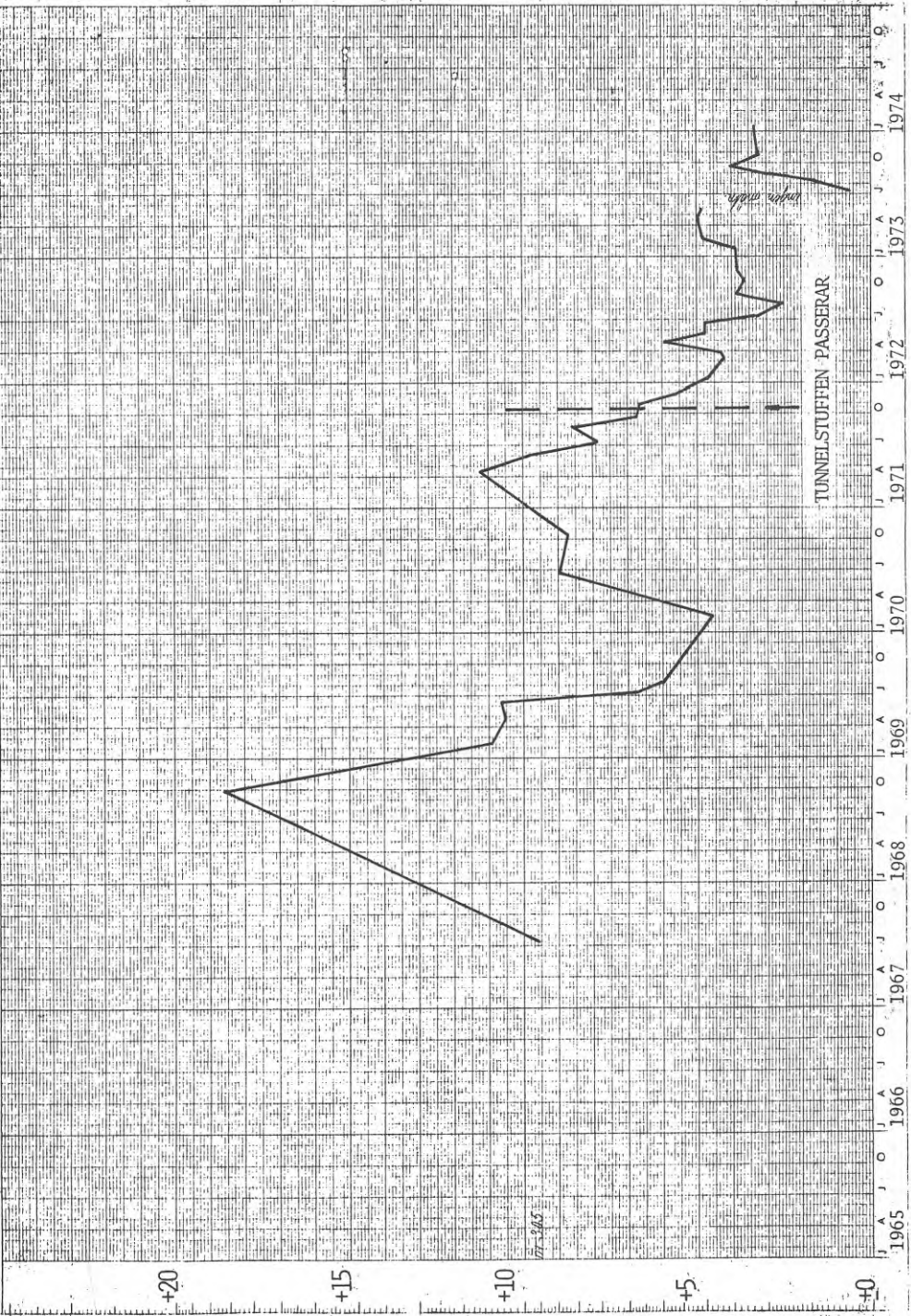
GRÖDINGE BERGBORRAD BRUNN 216

Grödinge
Kommun
1975



Prognose
1965-1975
305

GRÖDINGE BERGBORRAD BRUNN 305



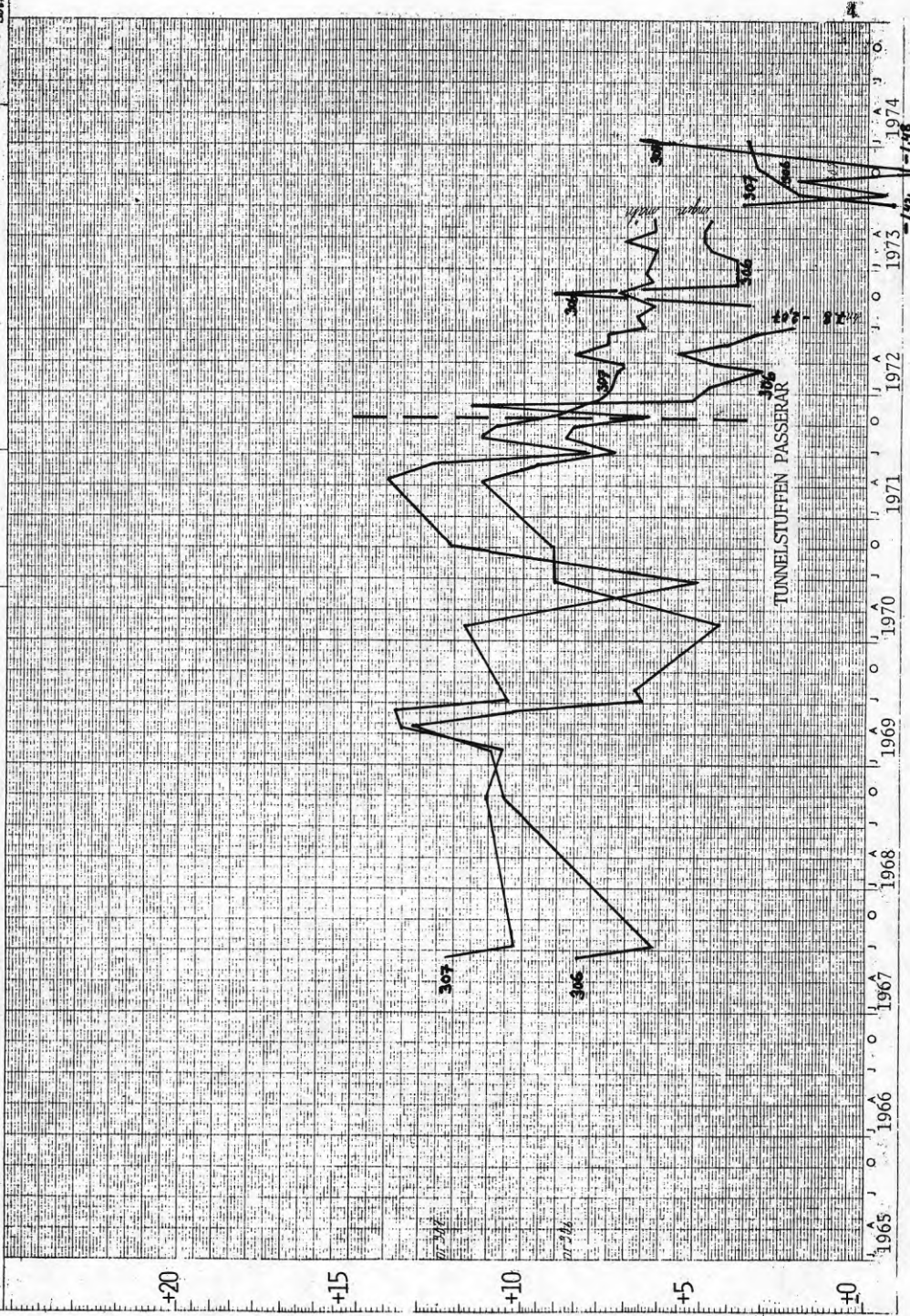
17-305

TUNNELSTUFFEN PASSERAR

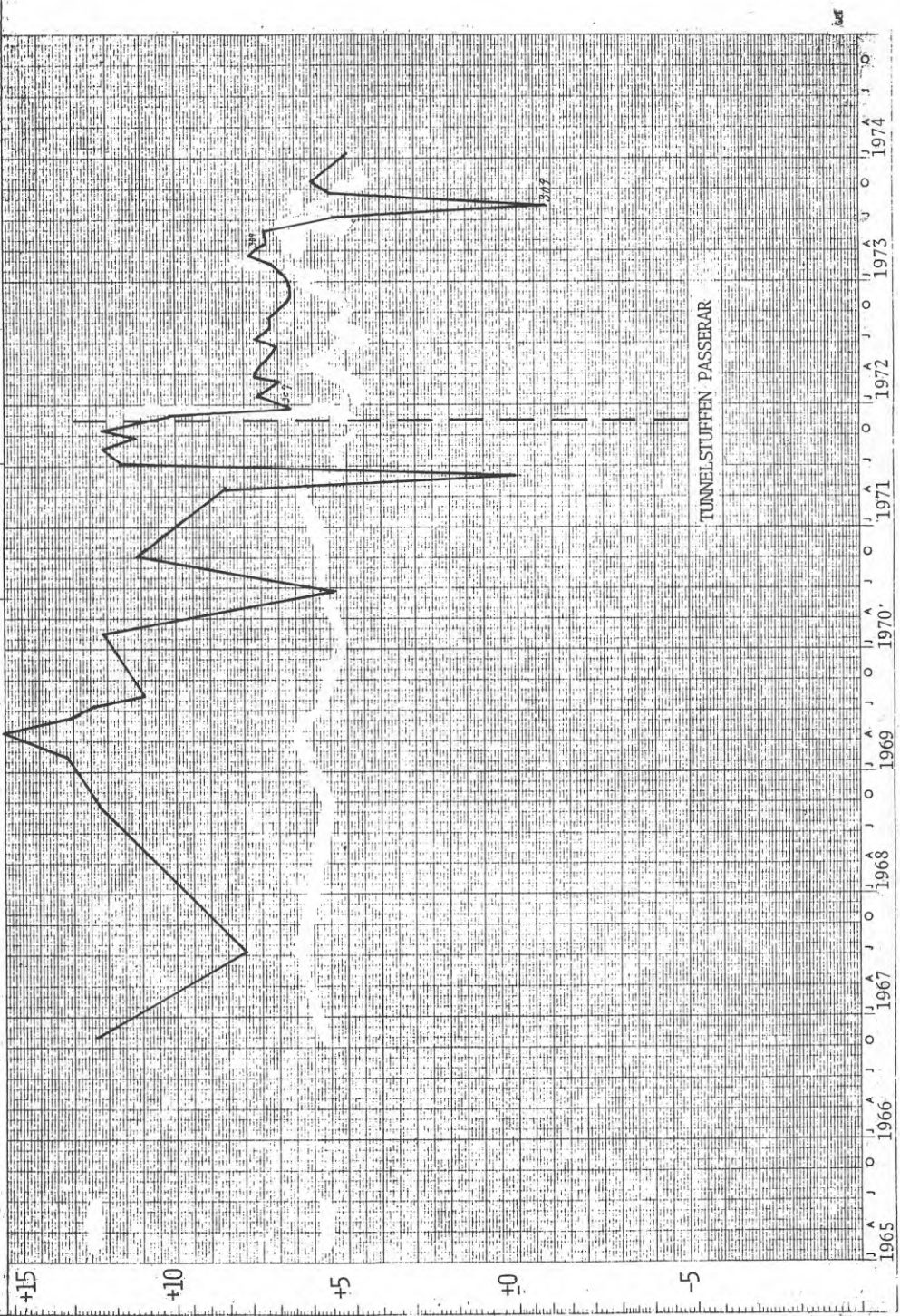
toppen av brunn

GRÖDINGE BERGBORRADE BRUNNAR 306 OCH 307

Grödinge
1965-1974
25. 1974
306.7



GRODINGE BERGBORRAD BRUNN 309



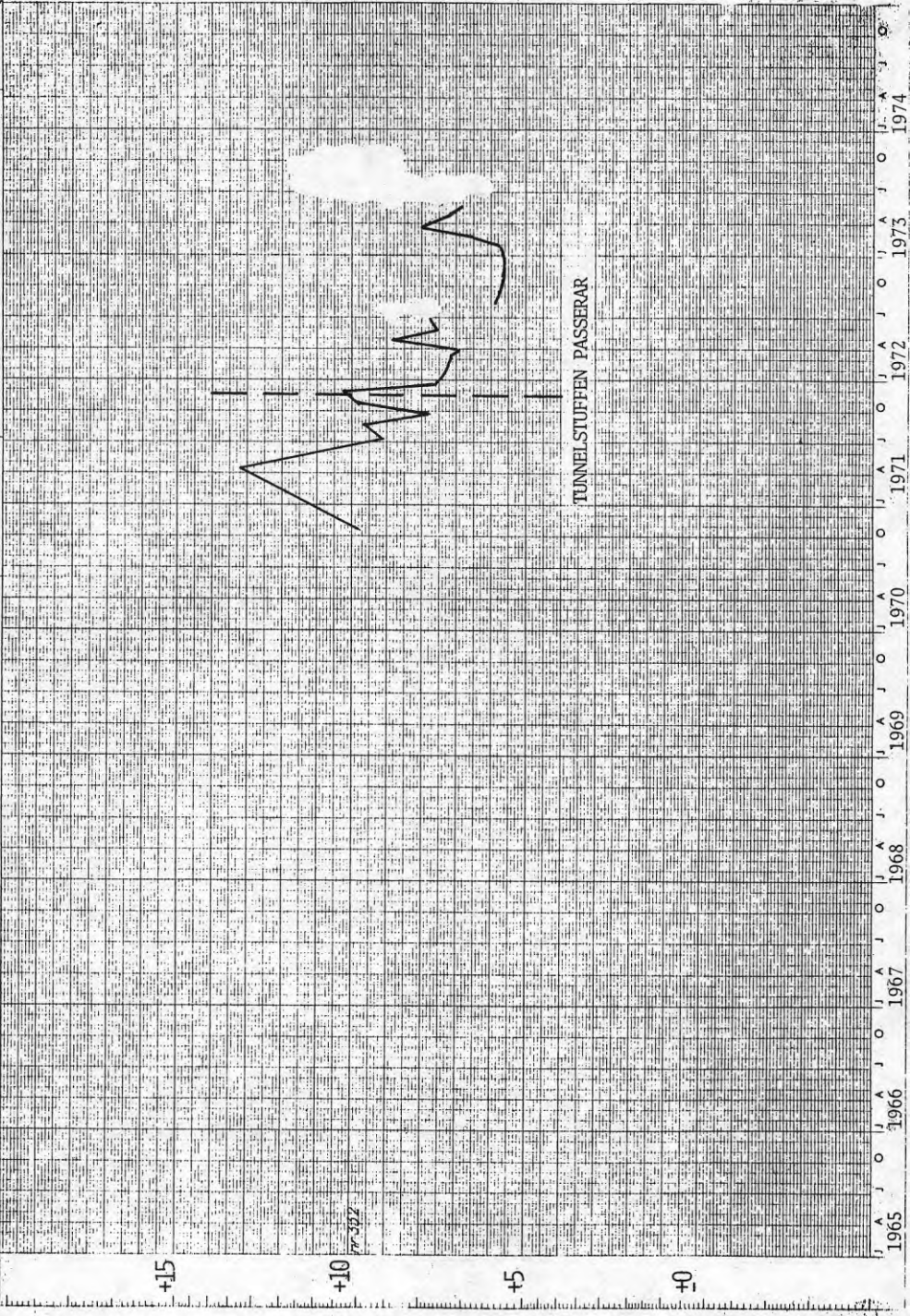
TUNNELSTUFFEN PASSERAR

347

Grödinge
Mäss 1974

332

GRÖDJINGE BERGBORRAD BRUNN 332



+15

+10

+5

+0

17-332

1965

1966

1967

1968

1969

1970

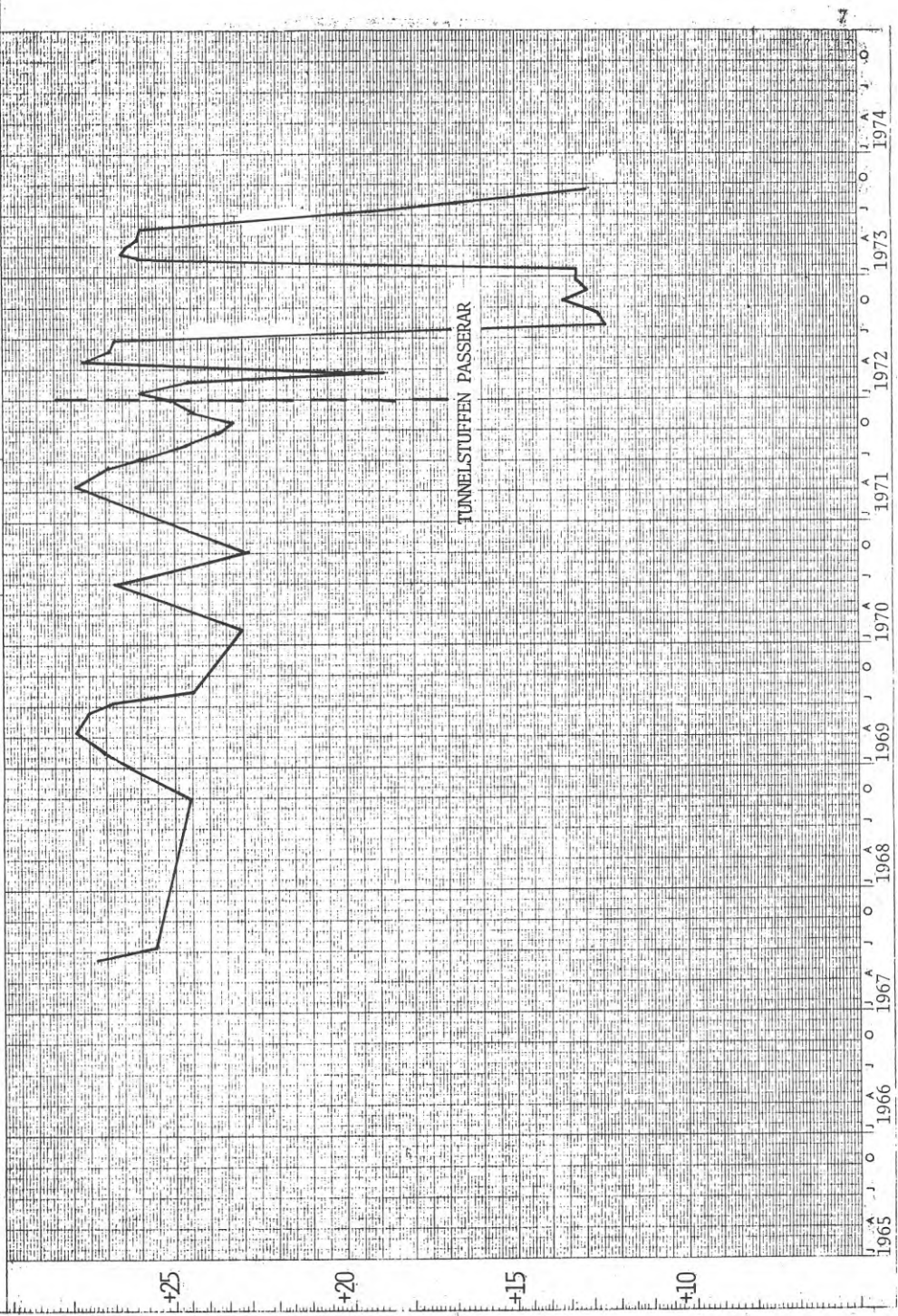
1971

1972

1973

1974

GRODINGE BERGBORRAD BRUNN 527



TUNNELSTUFFEN PASSERAR

Handwritten notes and numbers in the top left corner, including '925' and some illegible text.

GRÖDINGE BERGBORRAD BRUNN 326

326

+35

+30

+25

+20

+15

TUNNELSTUFFEN PASSERAR

tom 73-09-18

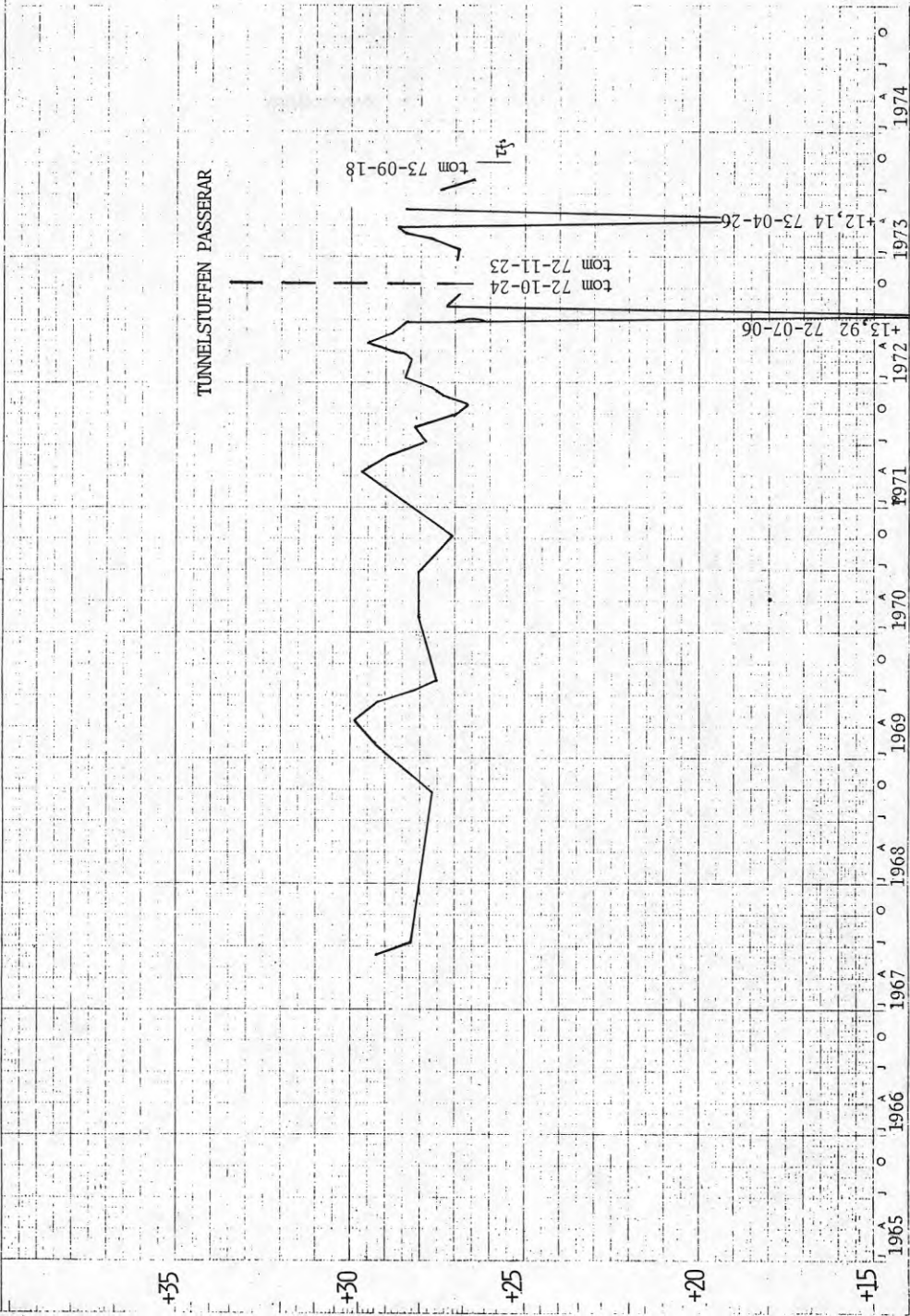
tom 72-10-24
tom 72-11-23

+12,14 73-04-26

+13,92 72-07-06

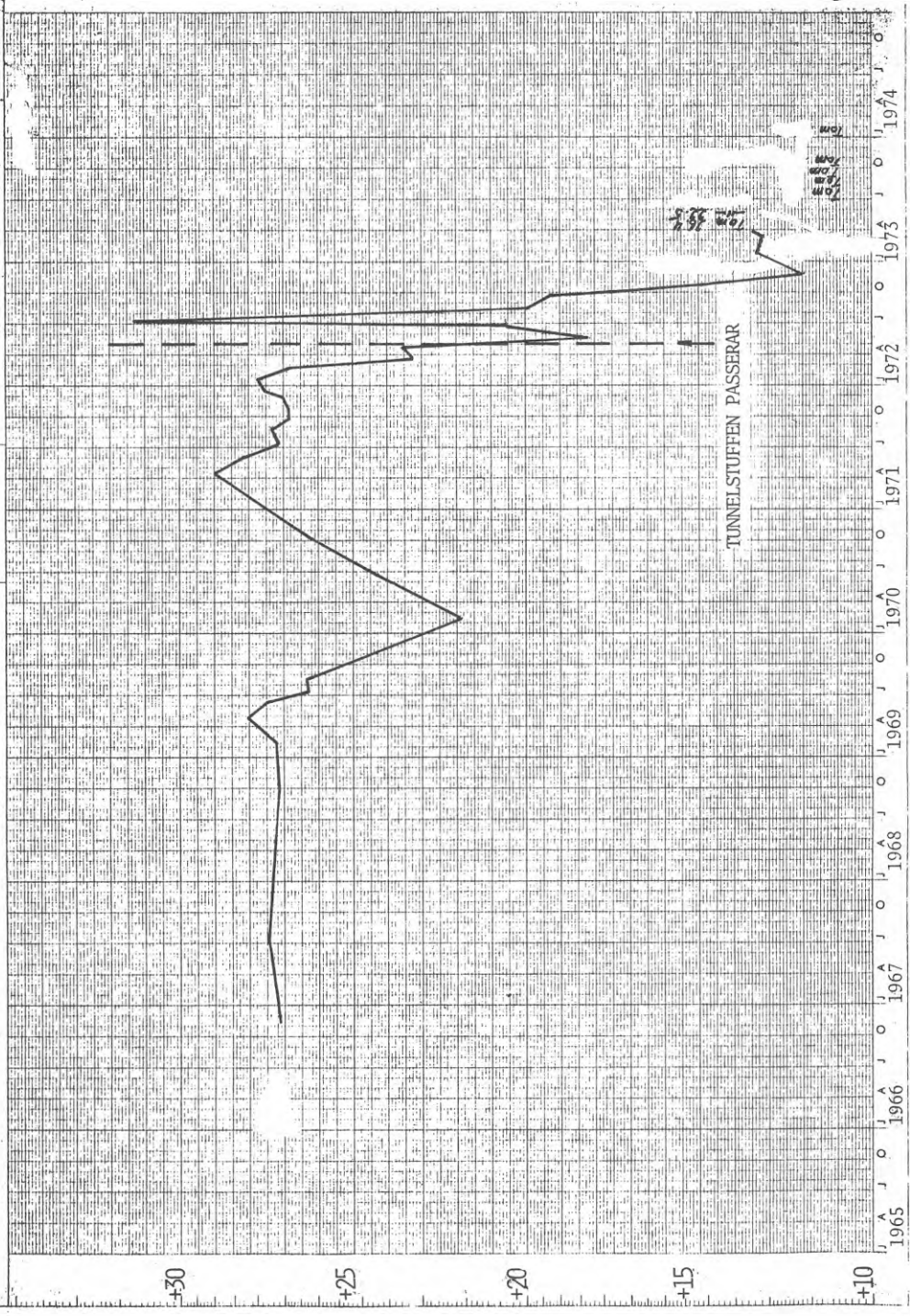
8

1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974



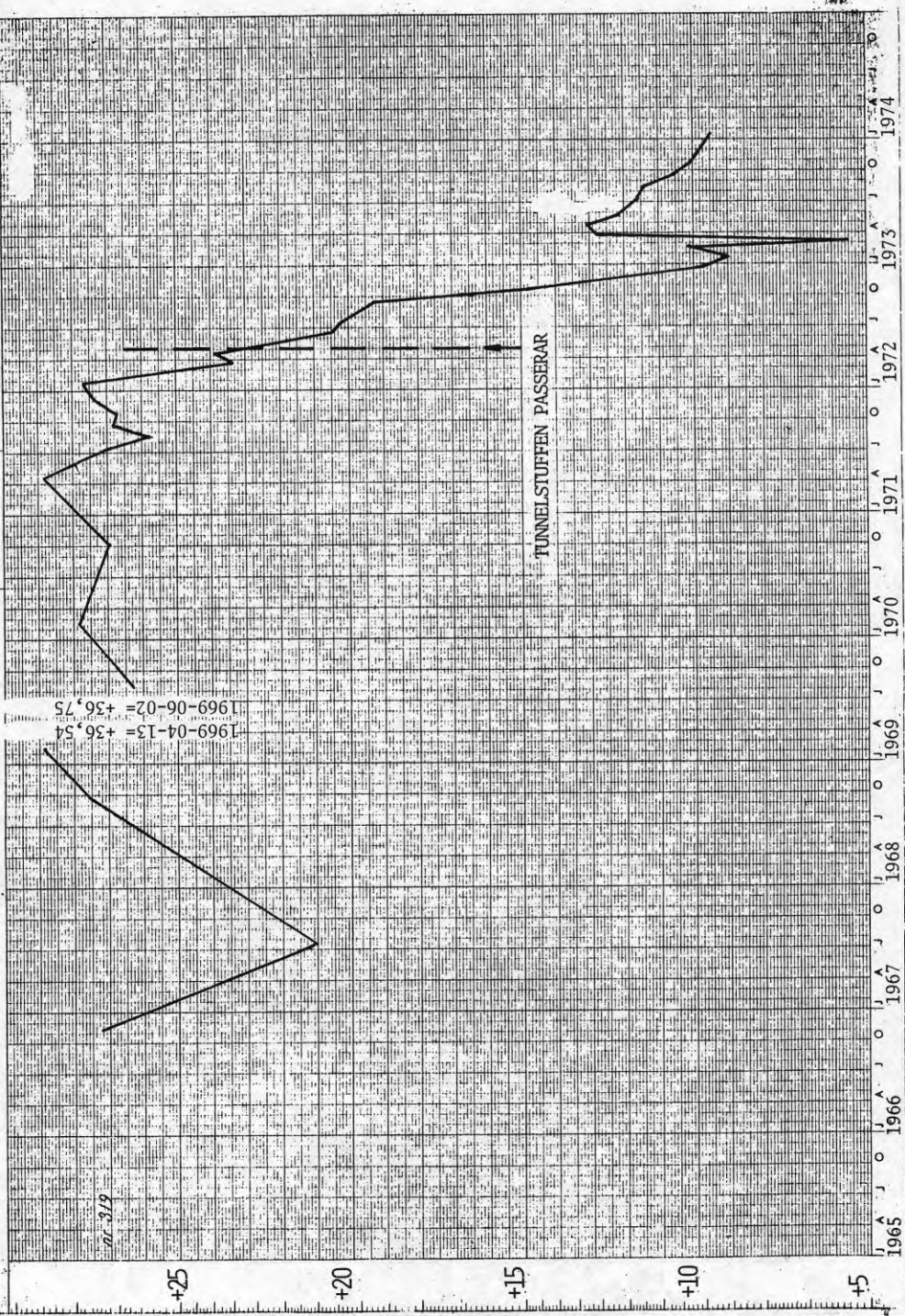
GRÖDINGE BERGBORRAD BRUNN 318

Grödinge
Kalkbrunn 318
1973



GRÖDINGE BERGBORRAD BRUNN 319

319



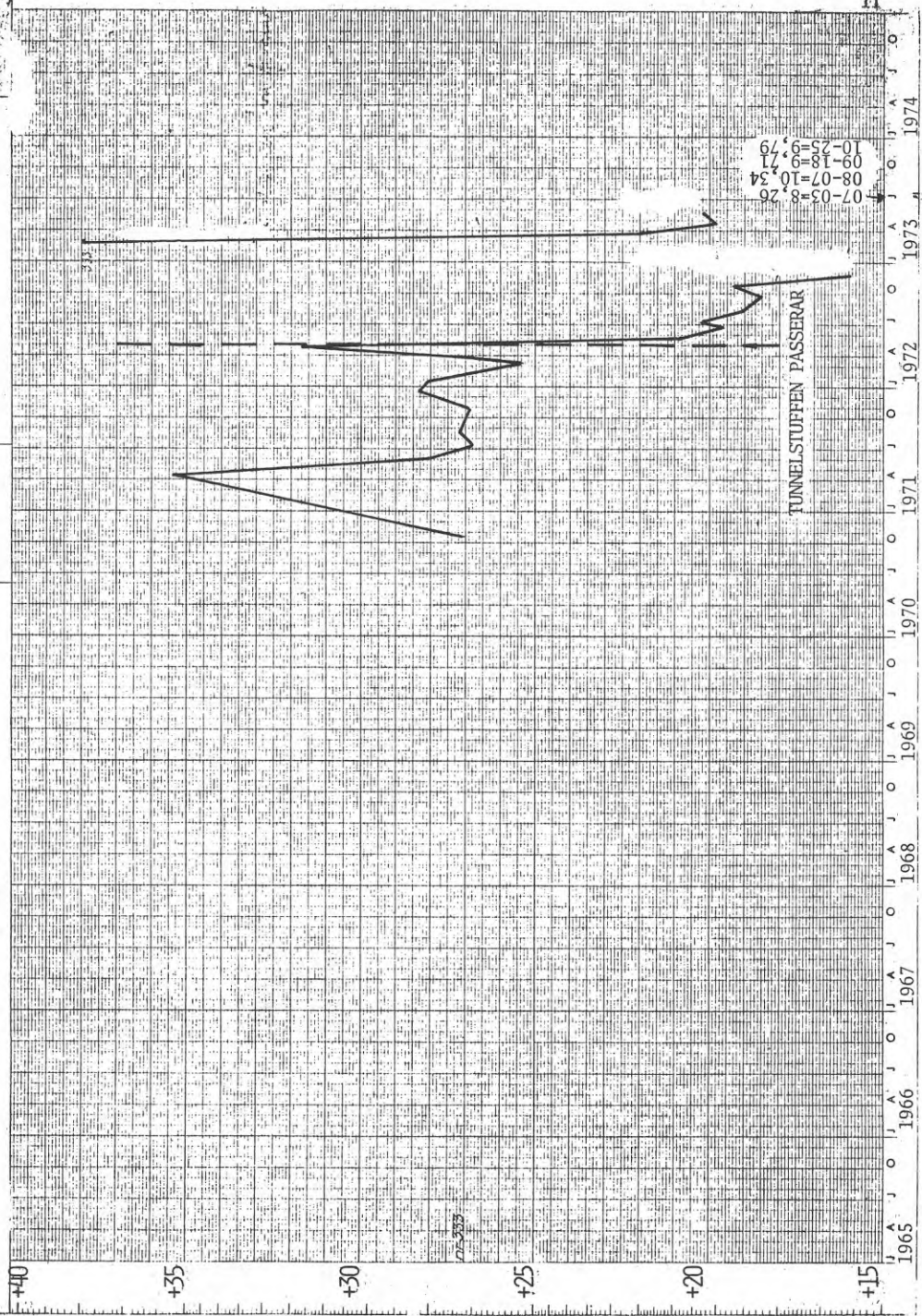
1969-04-13 = +36,54
1969-06-02 = +36,75

nr. 319

TUNNELSTUFFEN PASSERAR

GRÖDINGE BERGBRUNN 333

Lagplan
Mätserie 5
53



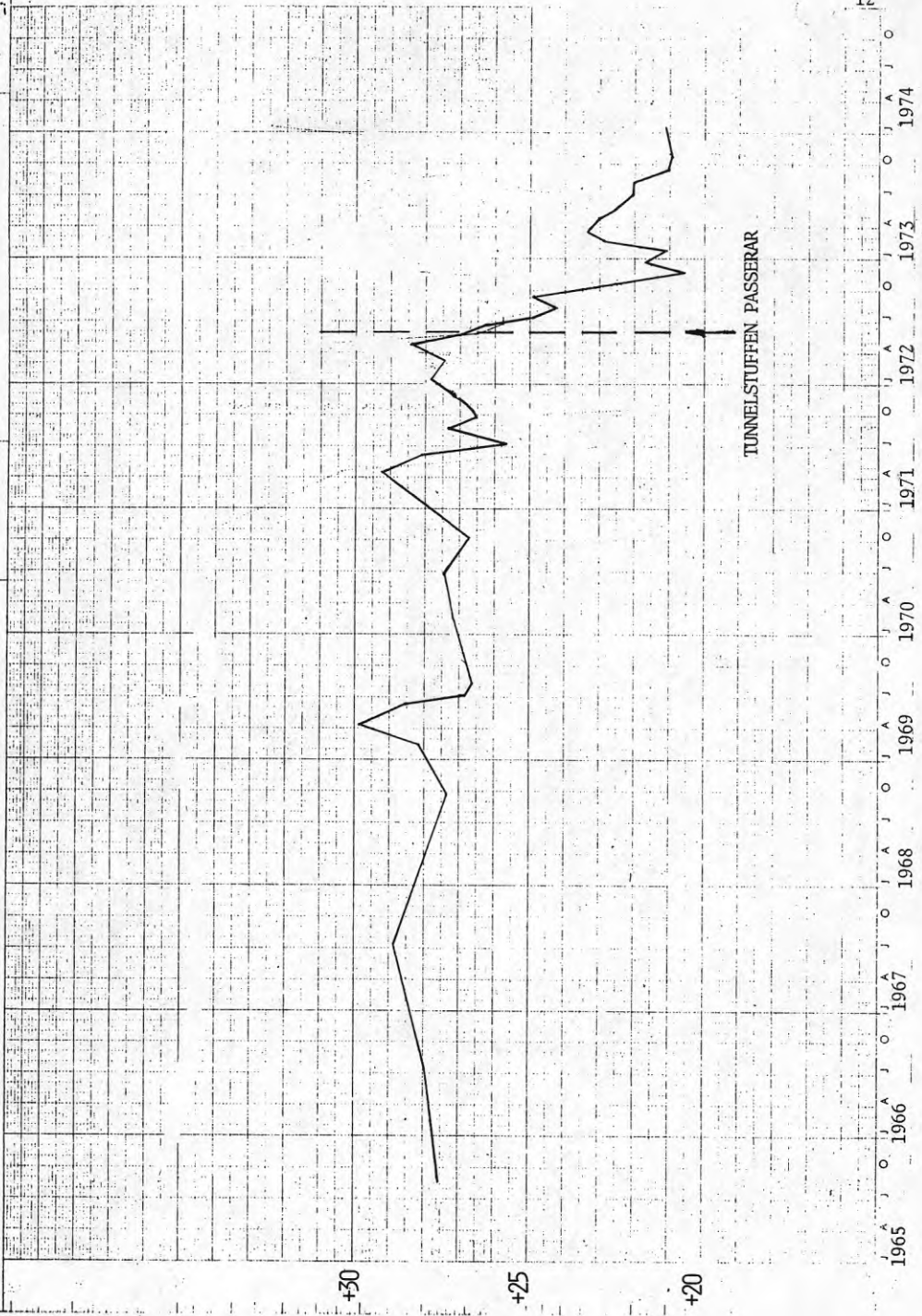
GRÖDINGE BERGBORRAD BRUNN 215

1.1.1965
2.1.1965
3.1.1965

+30
+25
+20

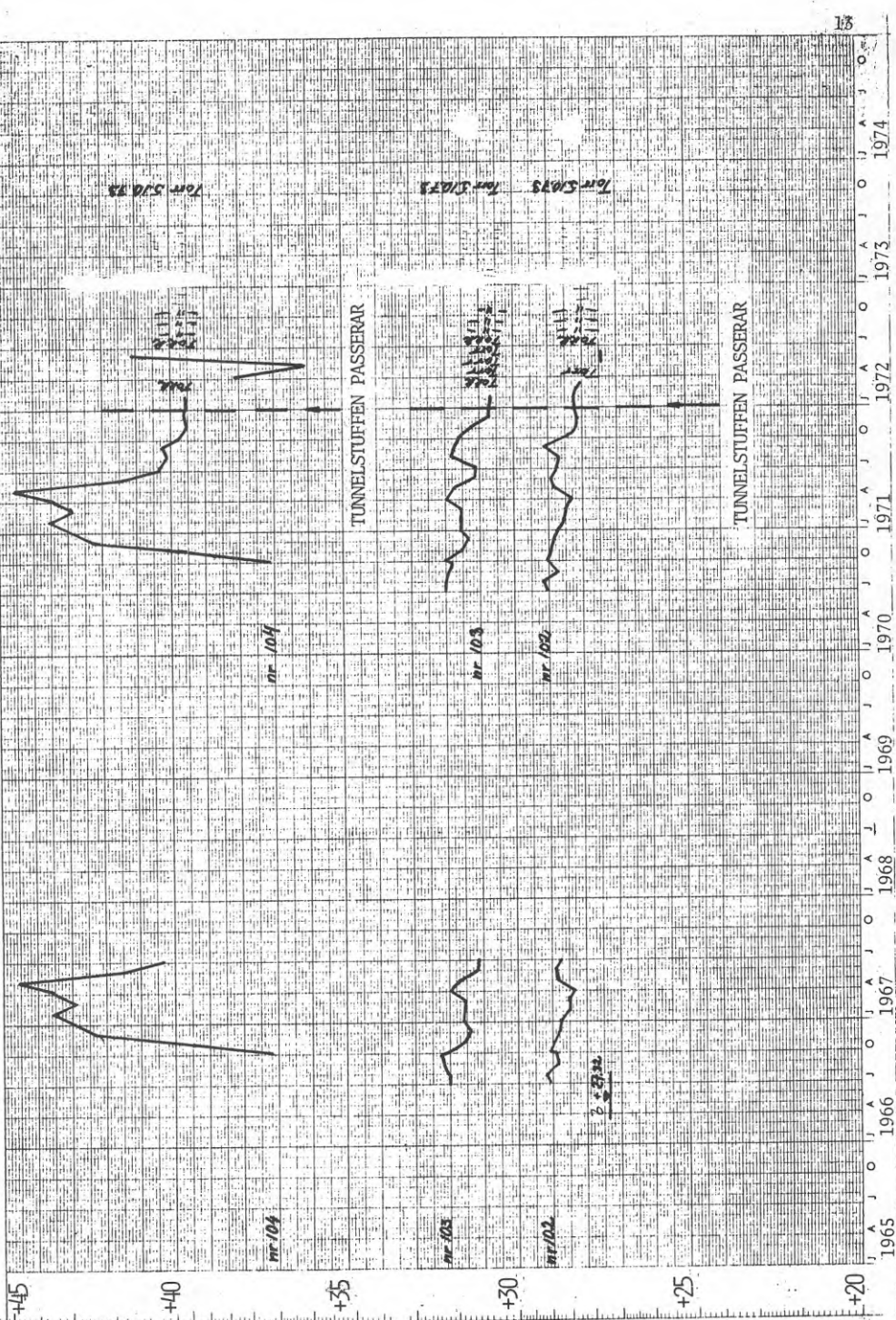
TUNNELSTUFFEN PASSERAR

1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974



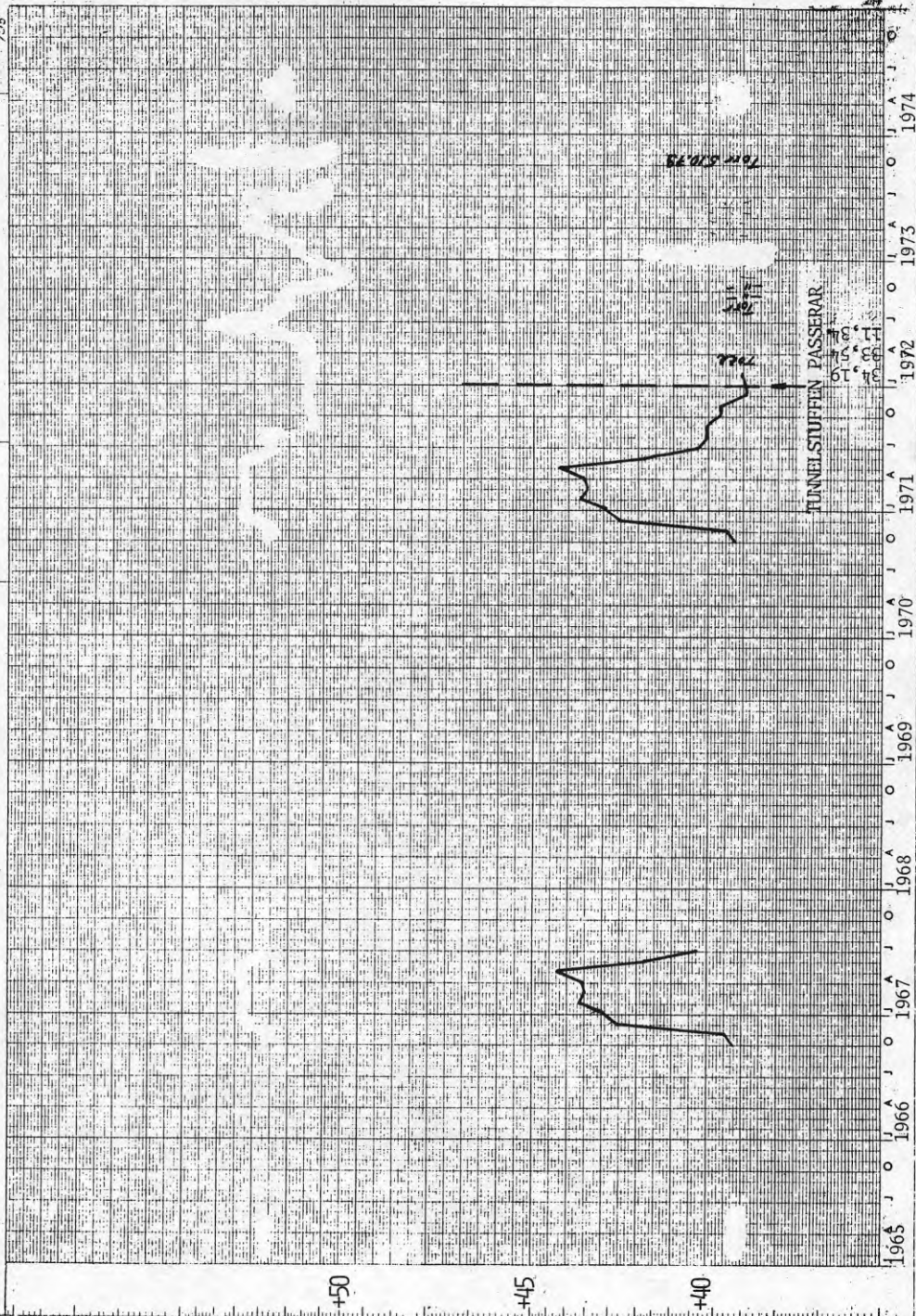
Södertälje

SÖDERTÄLJE BERGBORRADE BRUNNAR 102, 103, 104



SODERTÄLJE BERGBORRAD BRUNN 105

Sodertälje
105
105



SÖDERTÄLJE BERGBORRAD BRUNN 108

Står 1972

+10

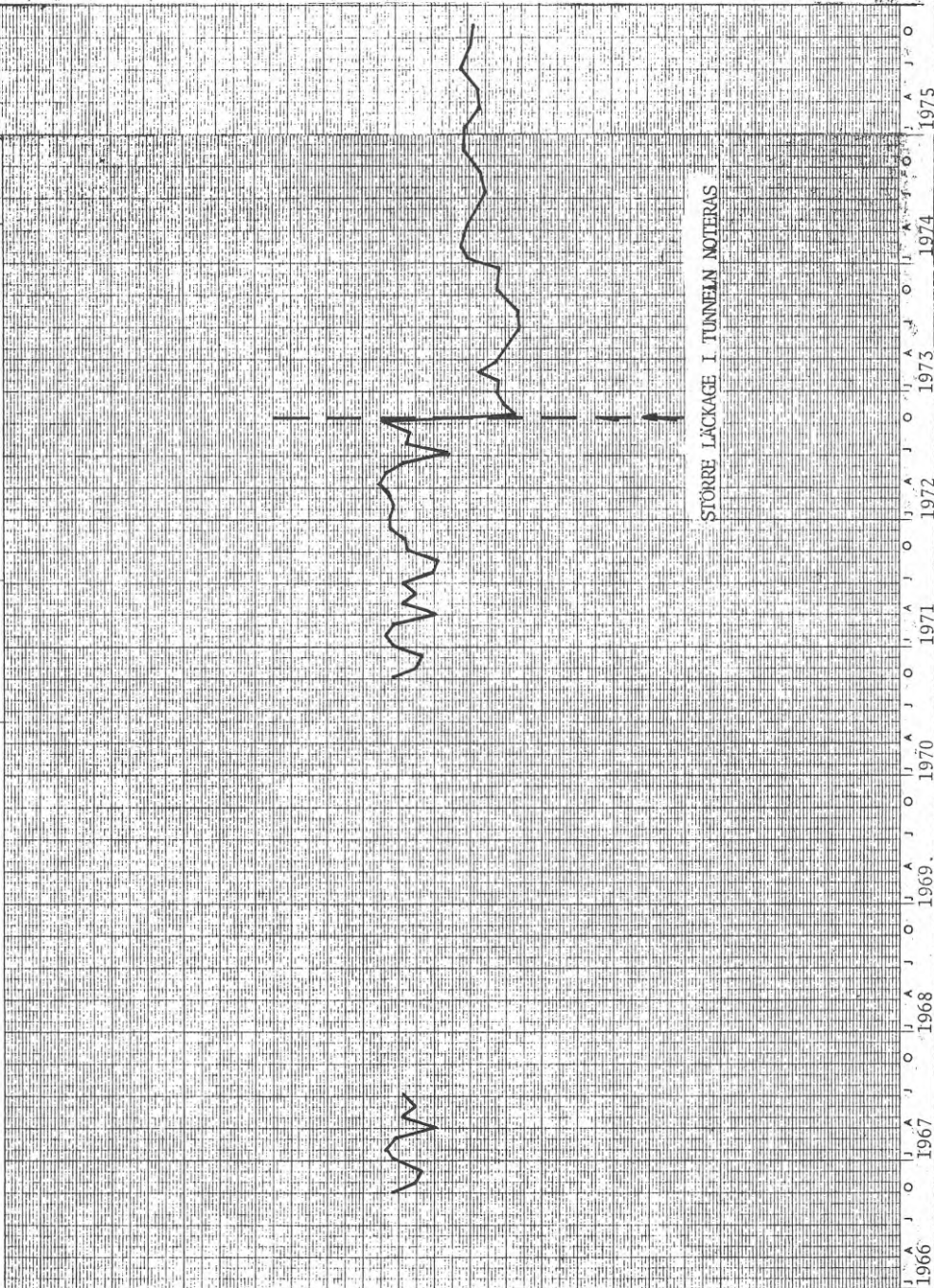
+5

±0

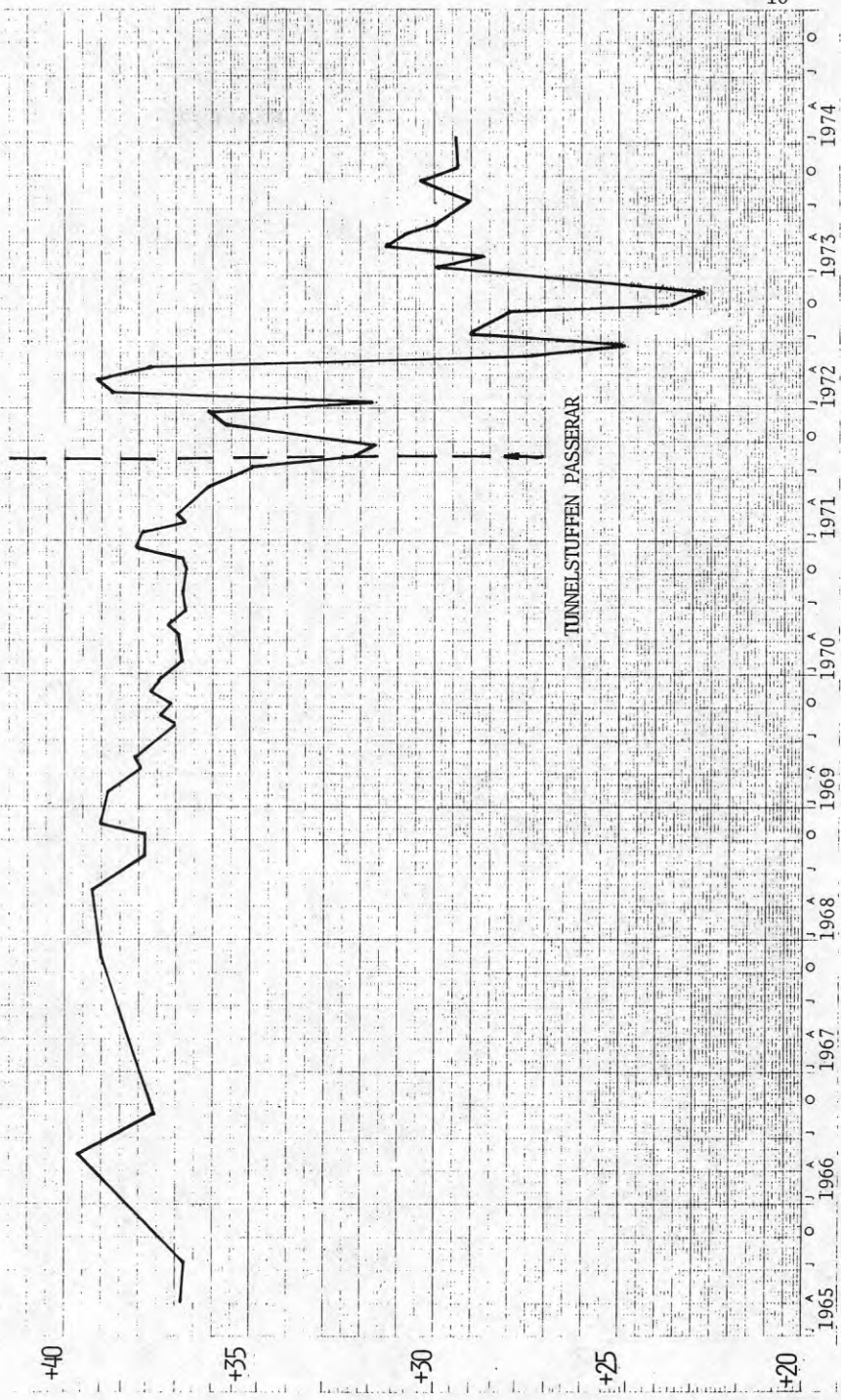
-5

STÖRRE LÄCKAGE I TUNNELN NOTERAS

1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975

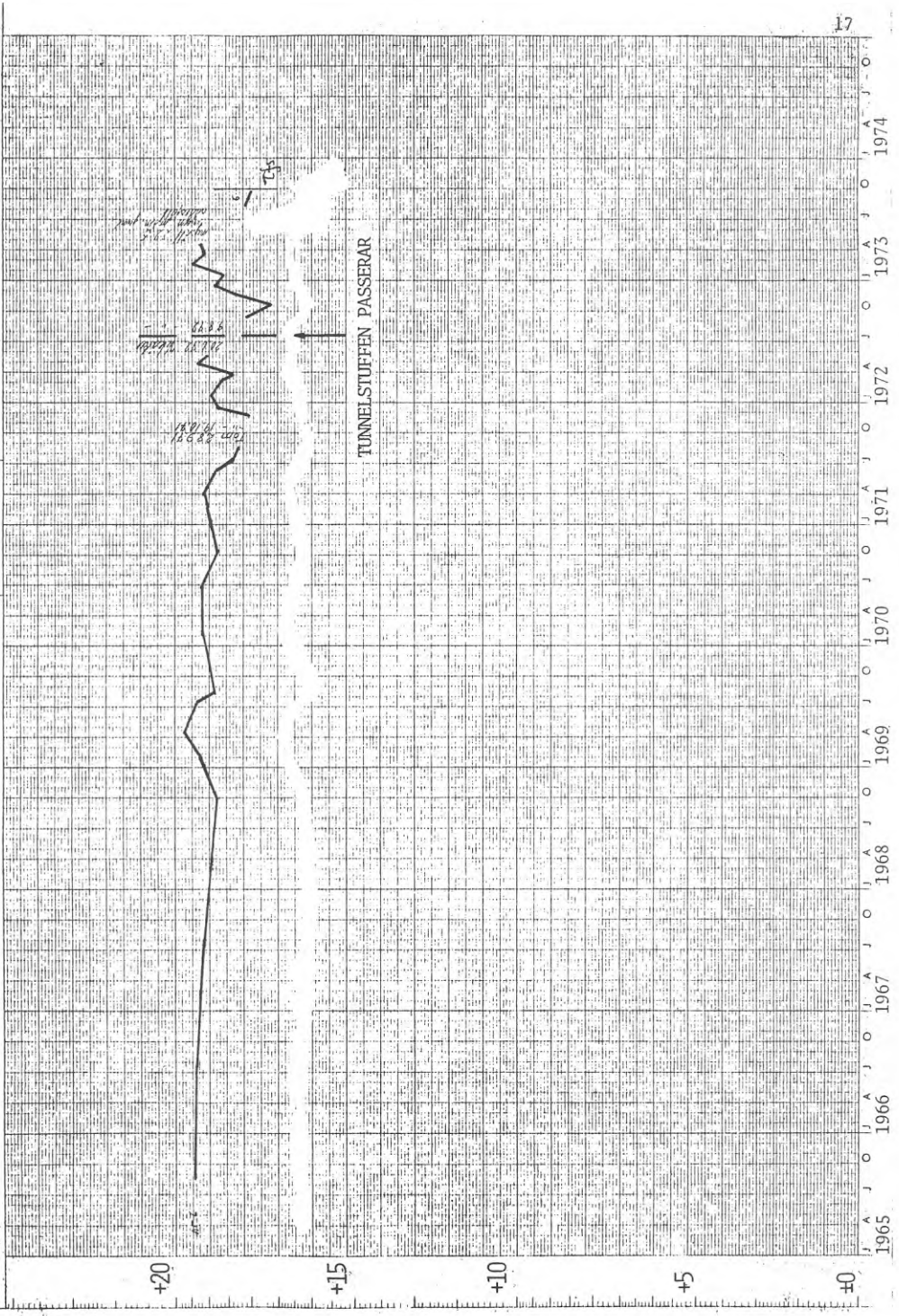


BOTKYRKA BERGBORRAD BRUNN 202



GRÖDINGE
SK164 18
6

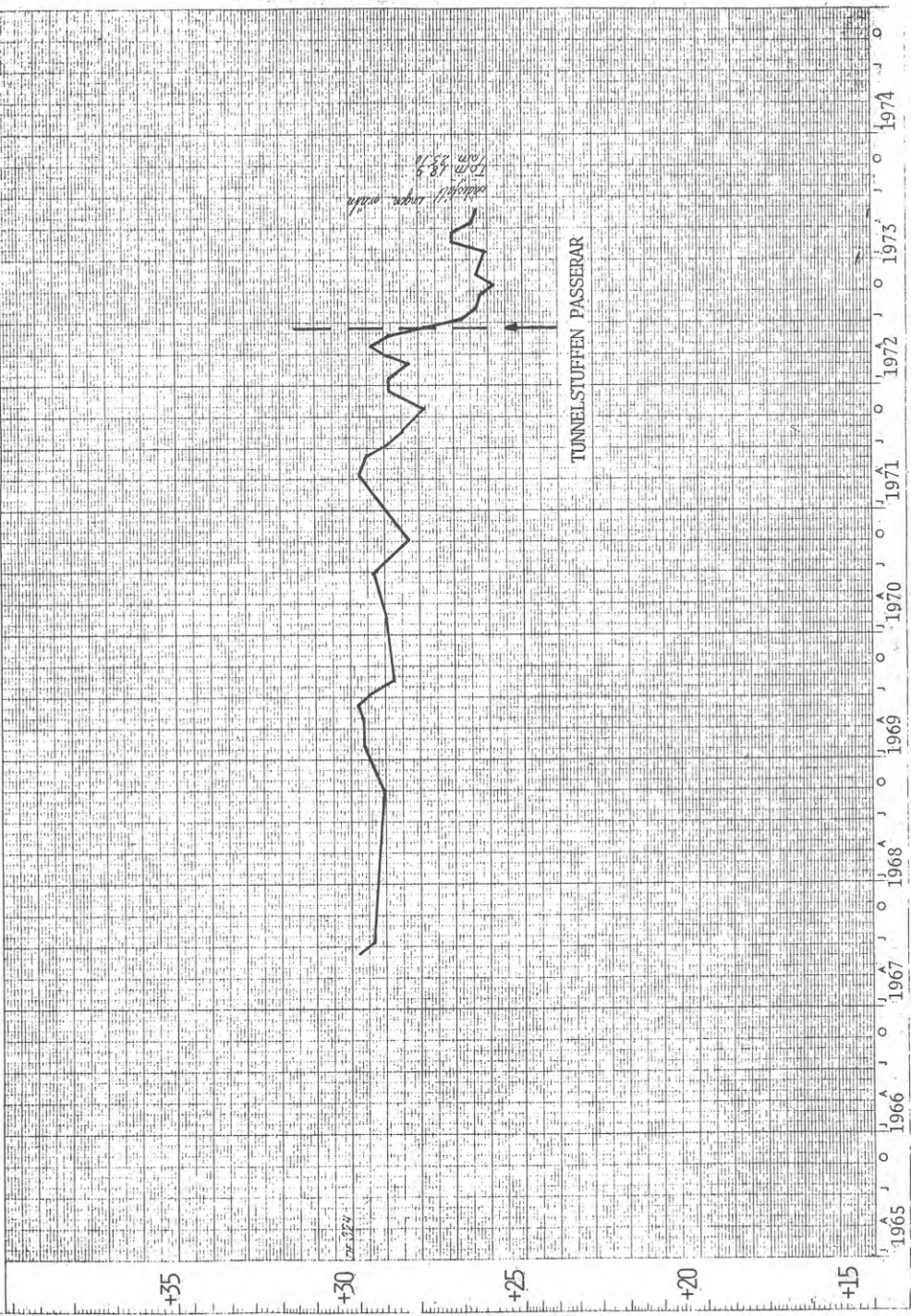
GRÖDINGE JORDBRUNN 6



J A J O 1965
J A J O 1966
J A J O 1967
J A J O 1968
J A J O 1969
J A J O 1970
J A J O 1971
J A J O 1972
J A J O 1973
J A J O 1974

324
324

GRÖDINGE JORDBRUNN 324



+15

+20

+25

+30

+35

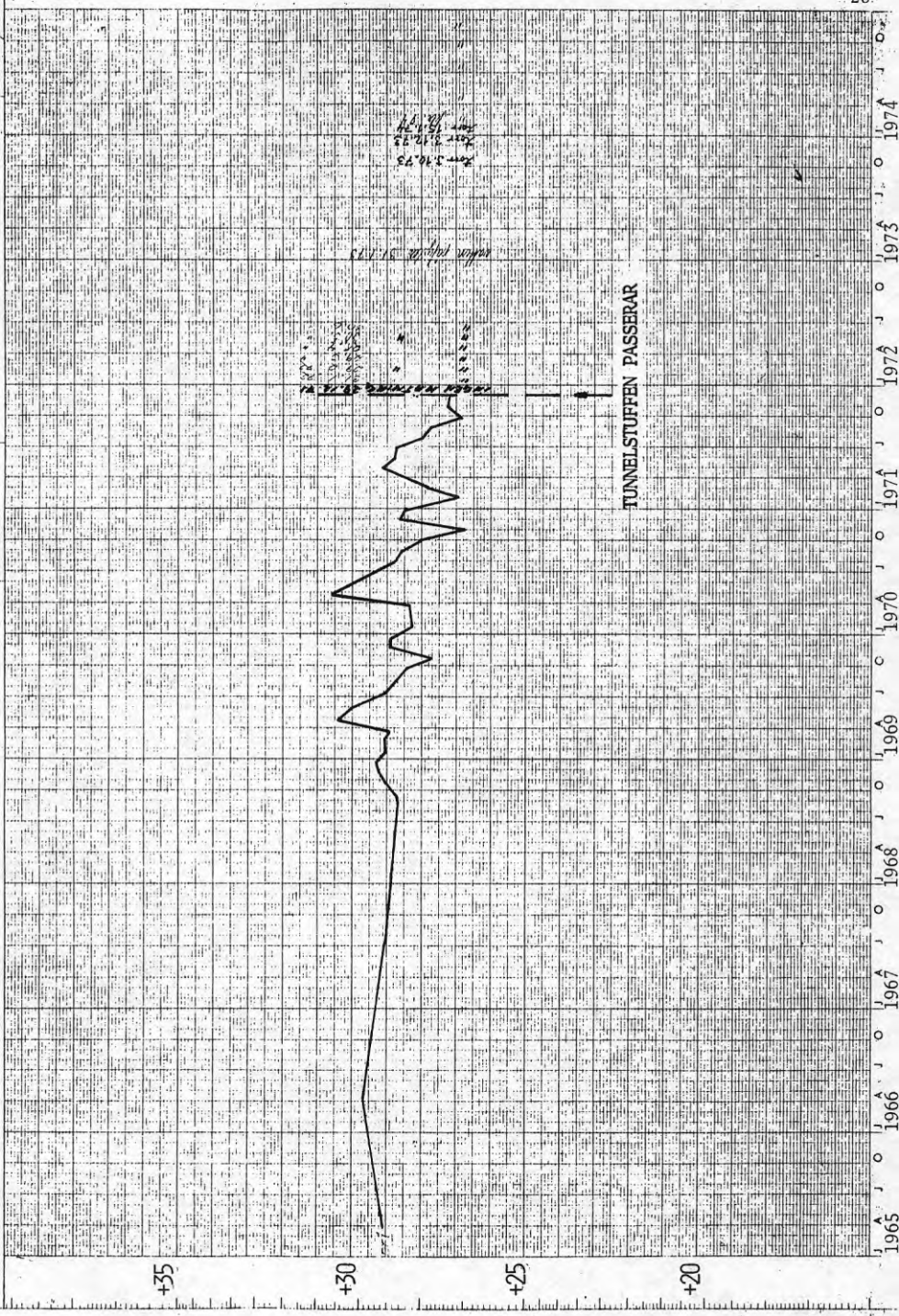
1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974

TUNNELSTUFFEN PASSERAR

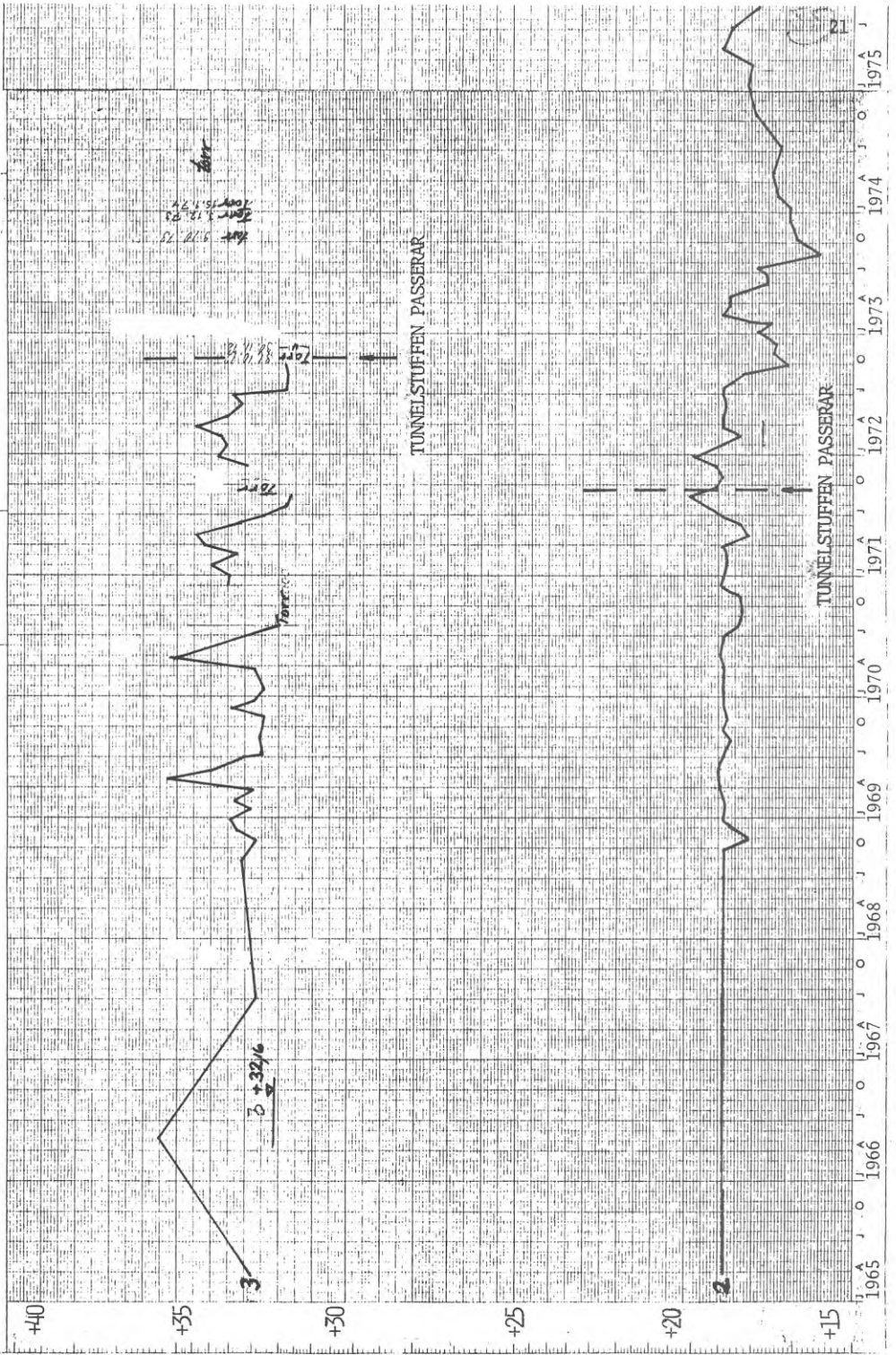
Måttid i början av 1973
10 m 48.9

Sensitivitet
linje 25

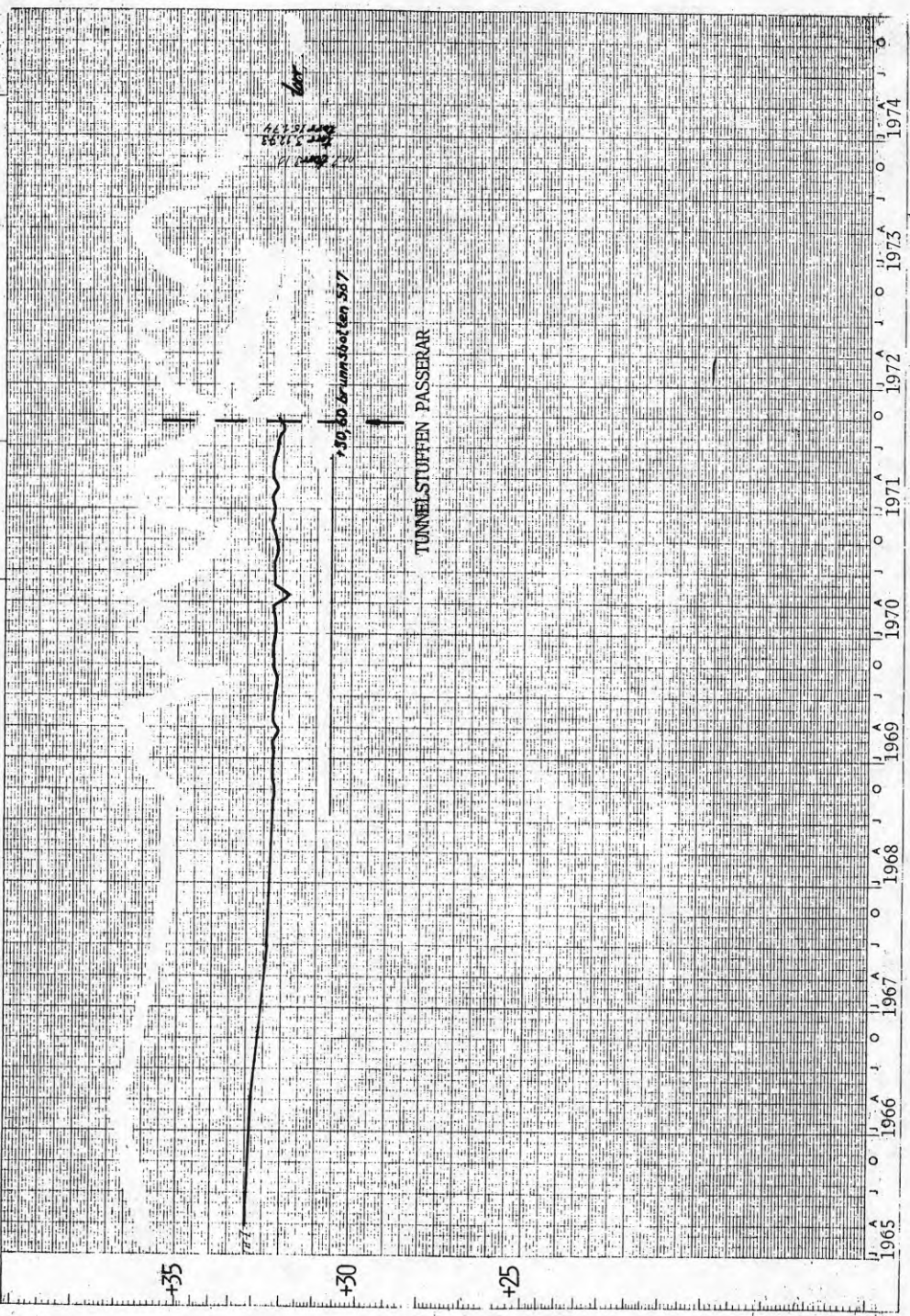
SÖDERTÄLJE JORDBRUNN 1



SÖDERTÄLJE JORDBRUNNAR 2 OCH 3

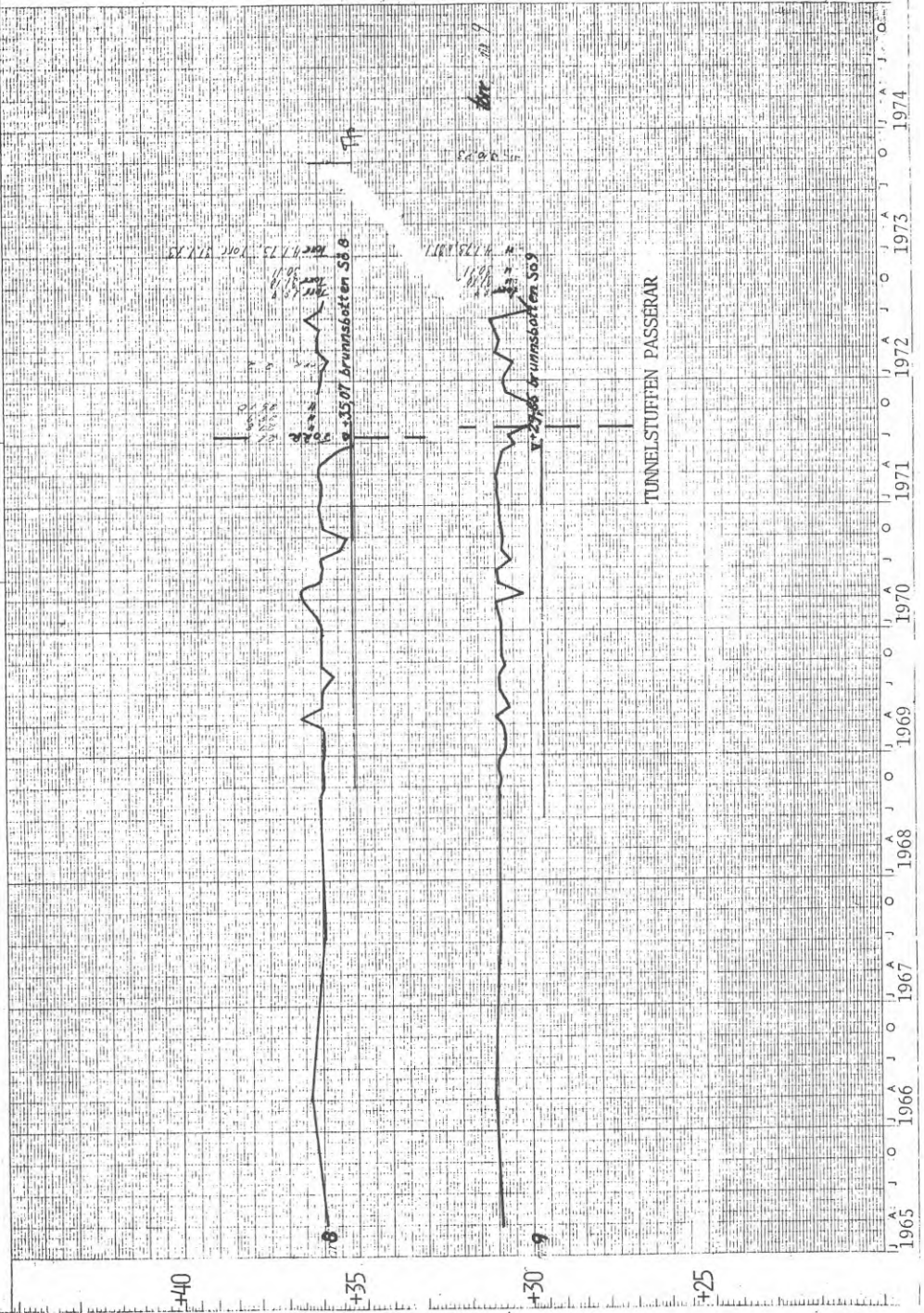


SODERTÄLJE JORDBRUNN 7



SÖDERTÄLJE JORDBRUNNAR 8 OCH 9

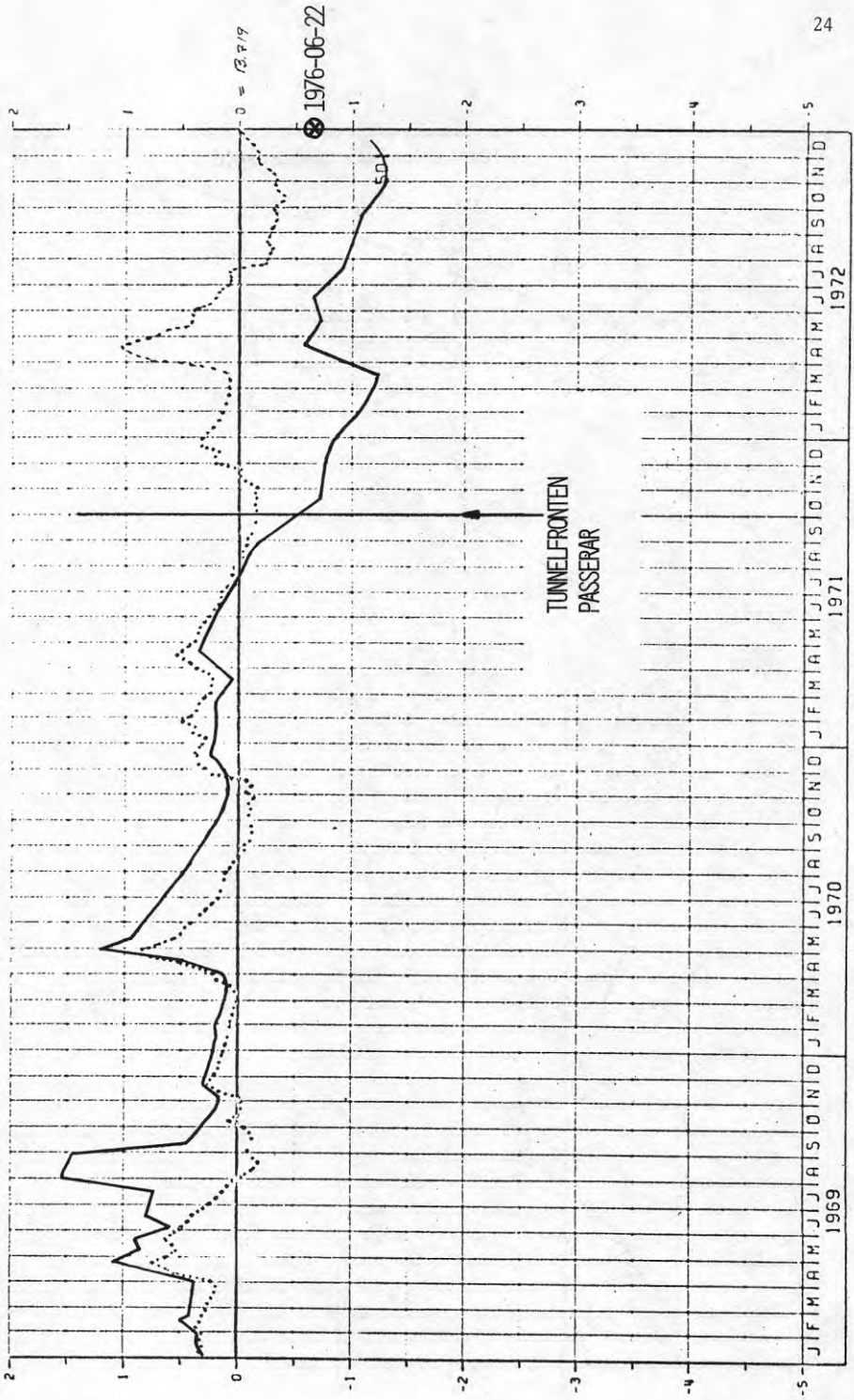
8.9



INDEX VERKA
STEGA RÖR 501

GROUND WATER YEAR 69-72 AREA NO :

INDEX (H)

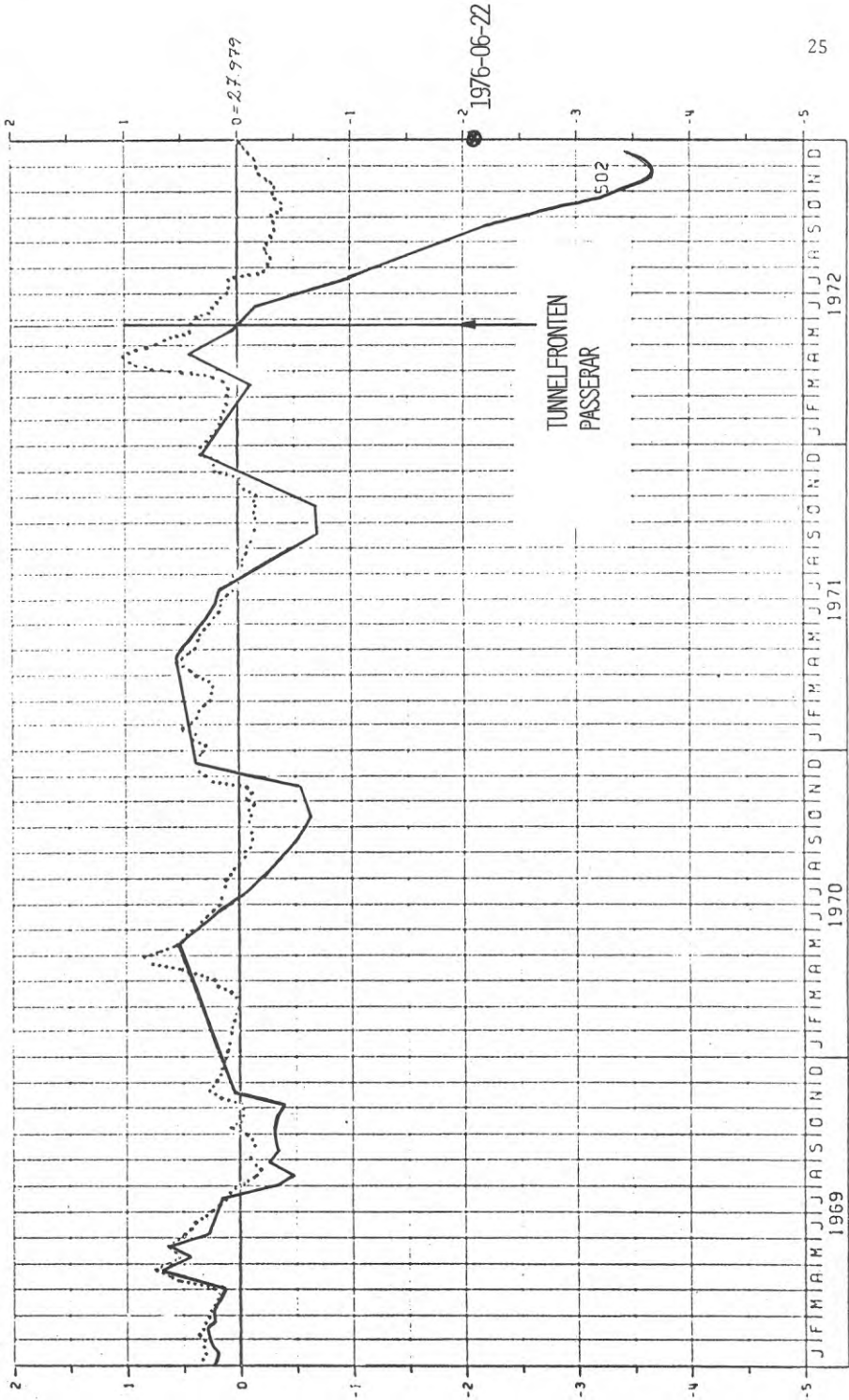


Case
INDEX (M)

INDEX VERKA
STEGA RÖR 502

GROUND WATER YEAR 69-72 AREA NO 1

SUBAREA 99

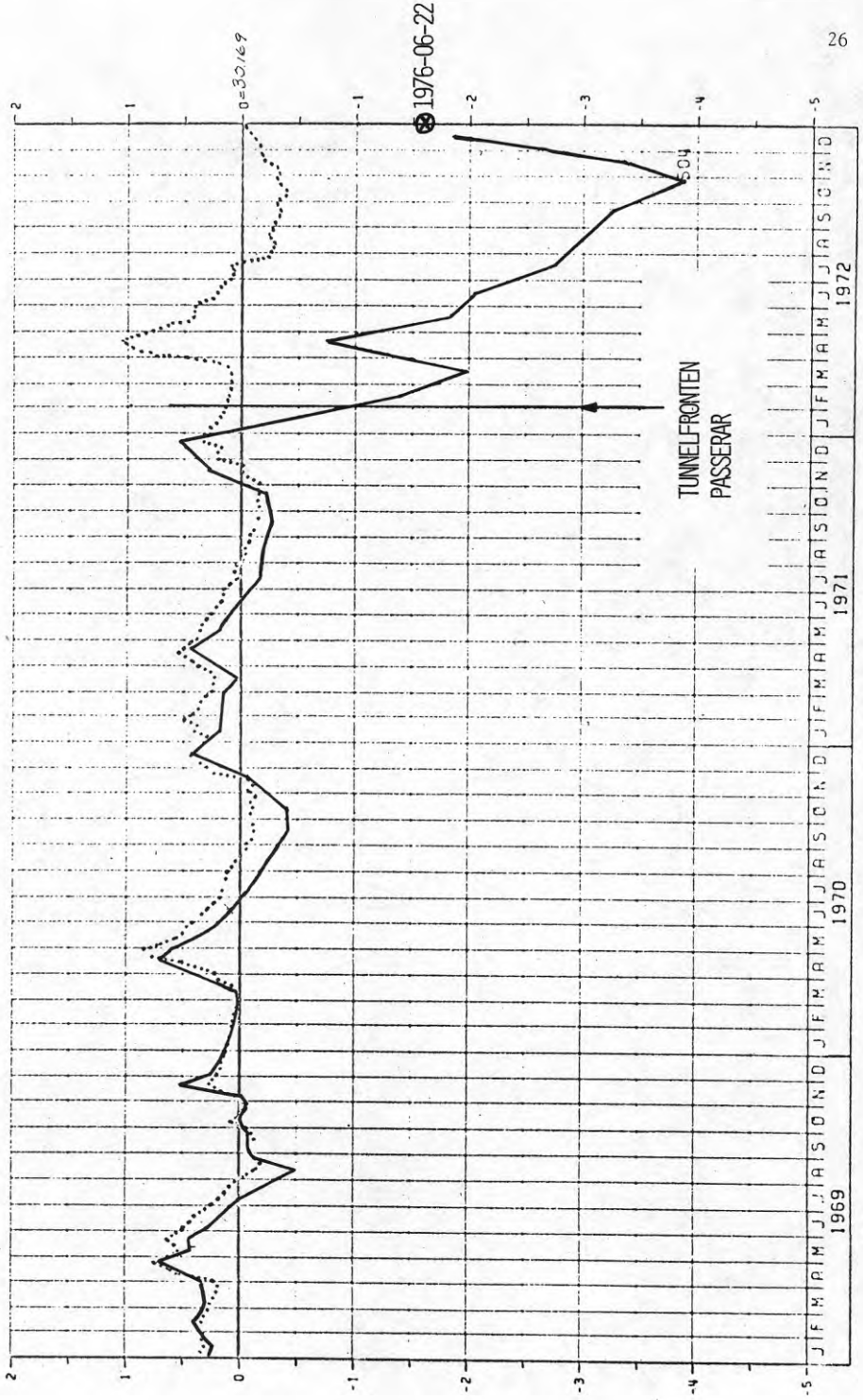


INDEX VERKA

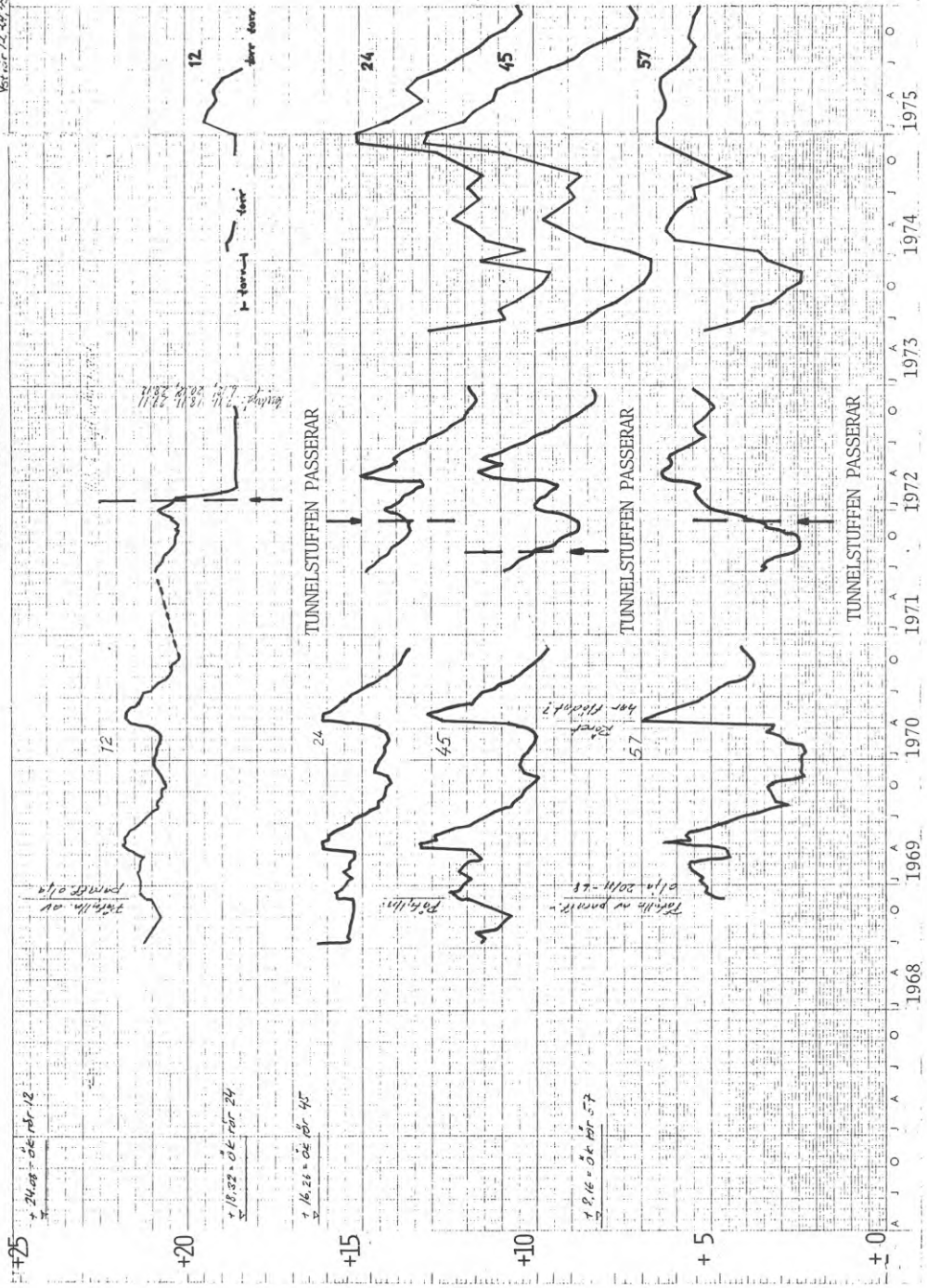
STEGA RÖR 504

GROUND WATER YEAR 69-72 AREA NO 1

SUBAREA 99



VIAD RÖR 12, 24, 45, 57



+24,00 = 0 k rör 12

+18,00 = 0 k rör 24

+16,20 = 0 k rör 45

+9,16 = 0 k rör 57

+25

+20

+15

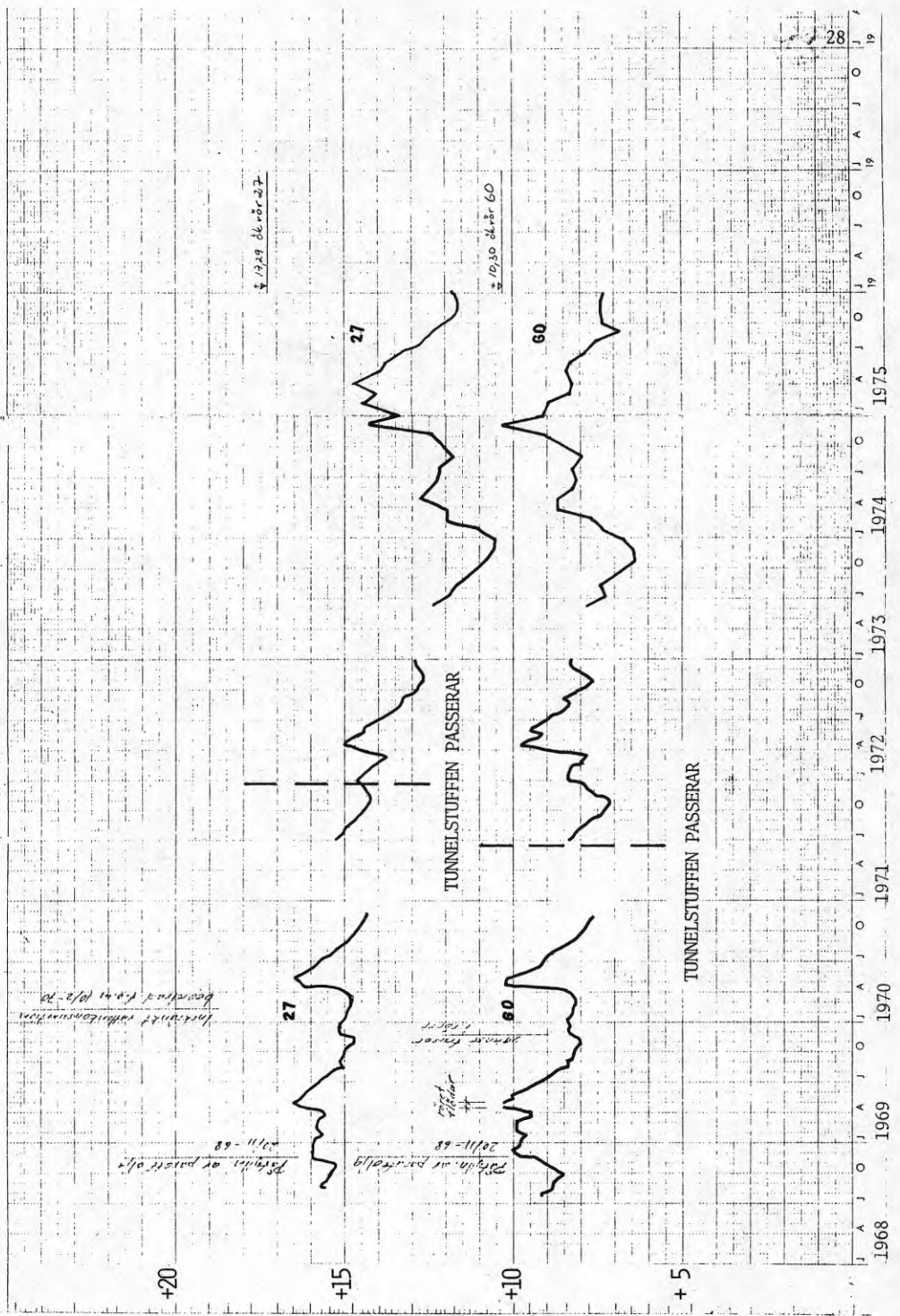
+10

+5

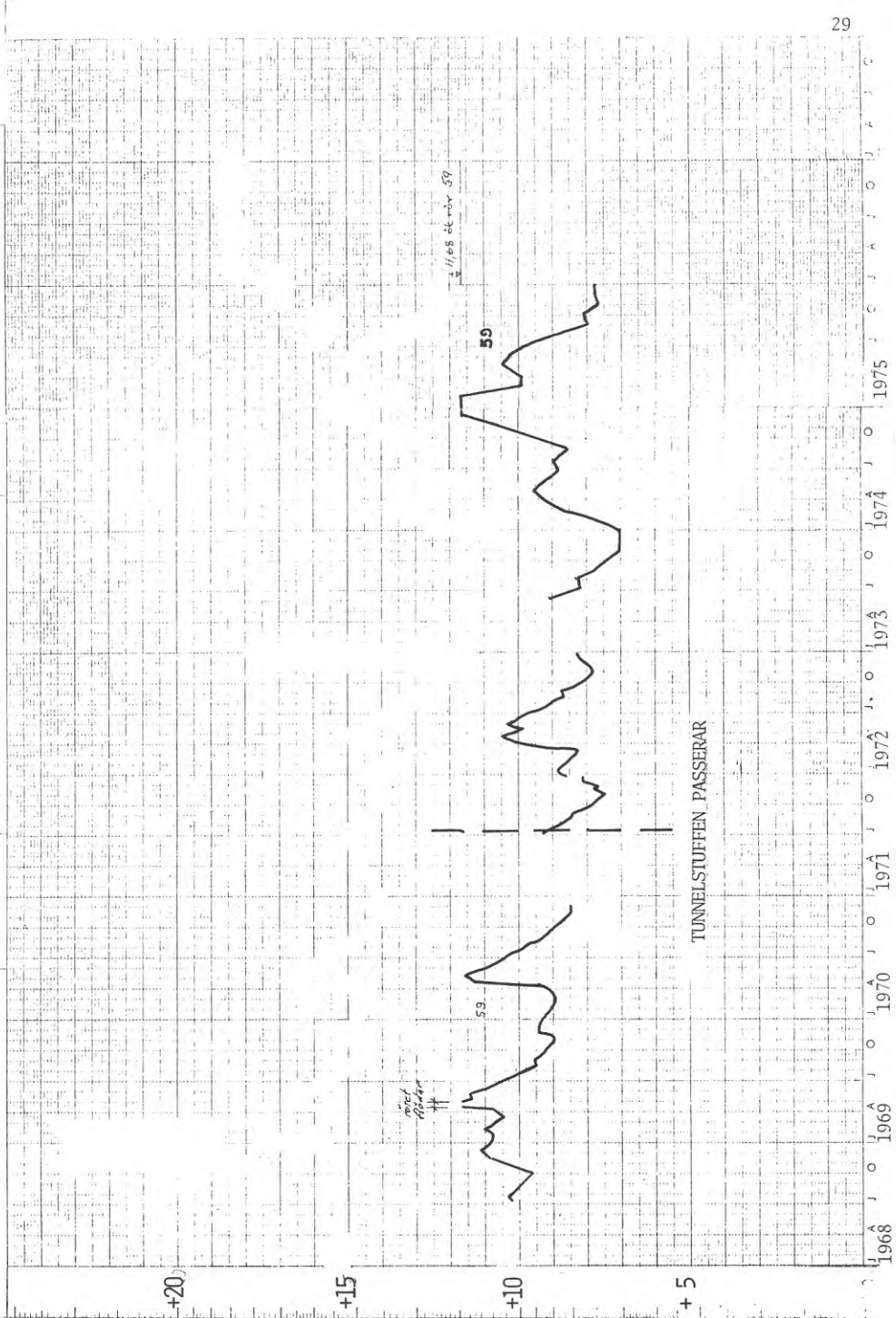
+0

1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975

VIAD RÖR 27, 60



VIAD RÖR 59



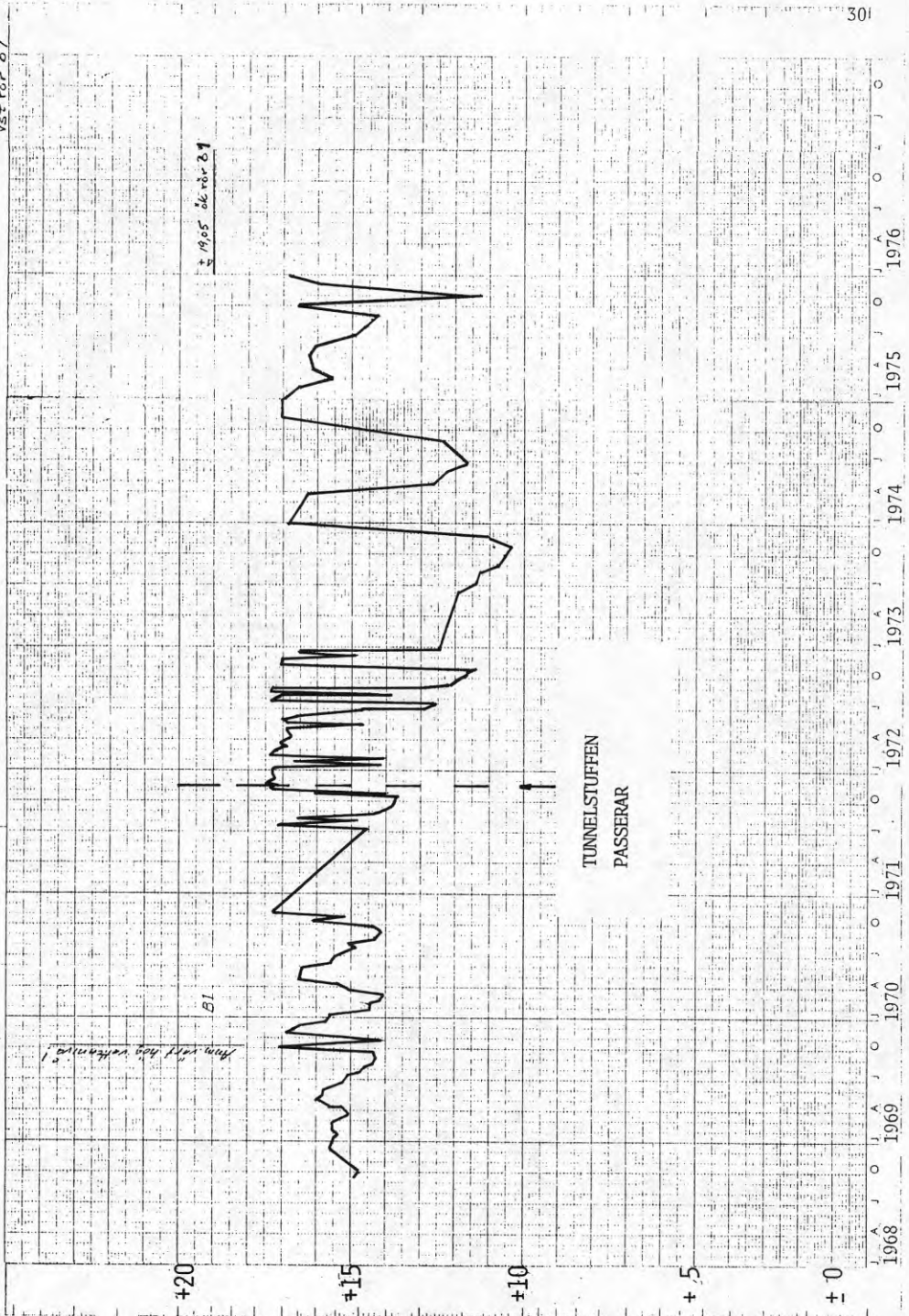
GRÖDINGE

Stationsförteckning

Viad

Yst-rör 37

VIAD RÖR B1 (Bergborrat)

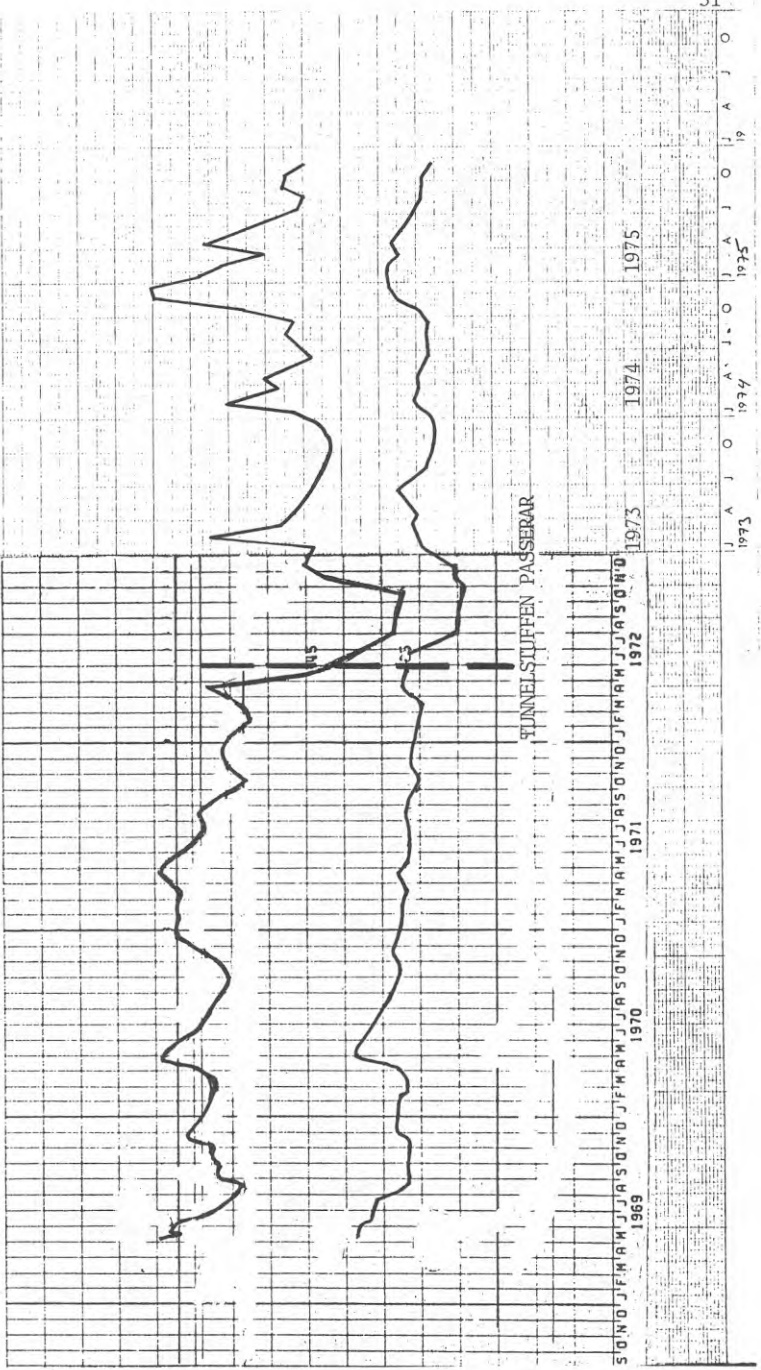


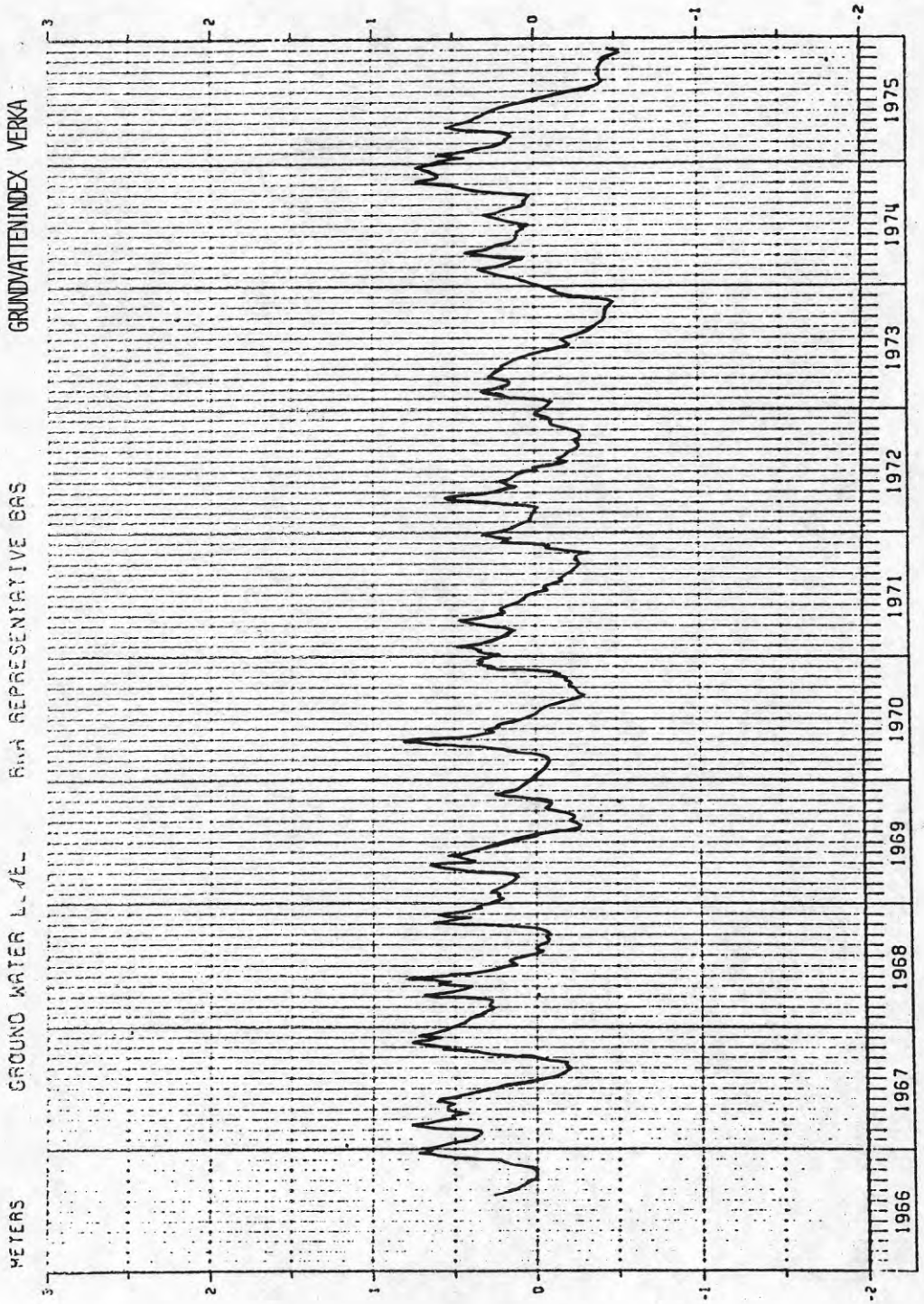
STEGA RÖR 2145, 1125

G. Berg

GROUND WATER YEAR 68 - 72 AREA NO 1 SUBAREA 6

+12
+10
+ 8
+ 6
+ 4





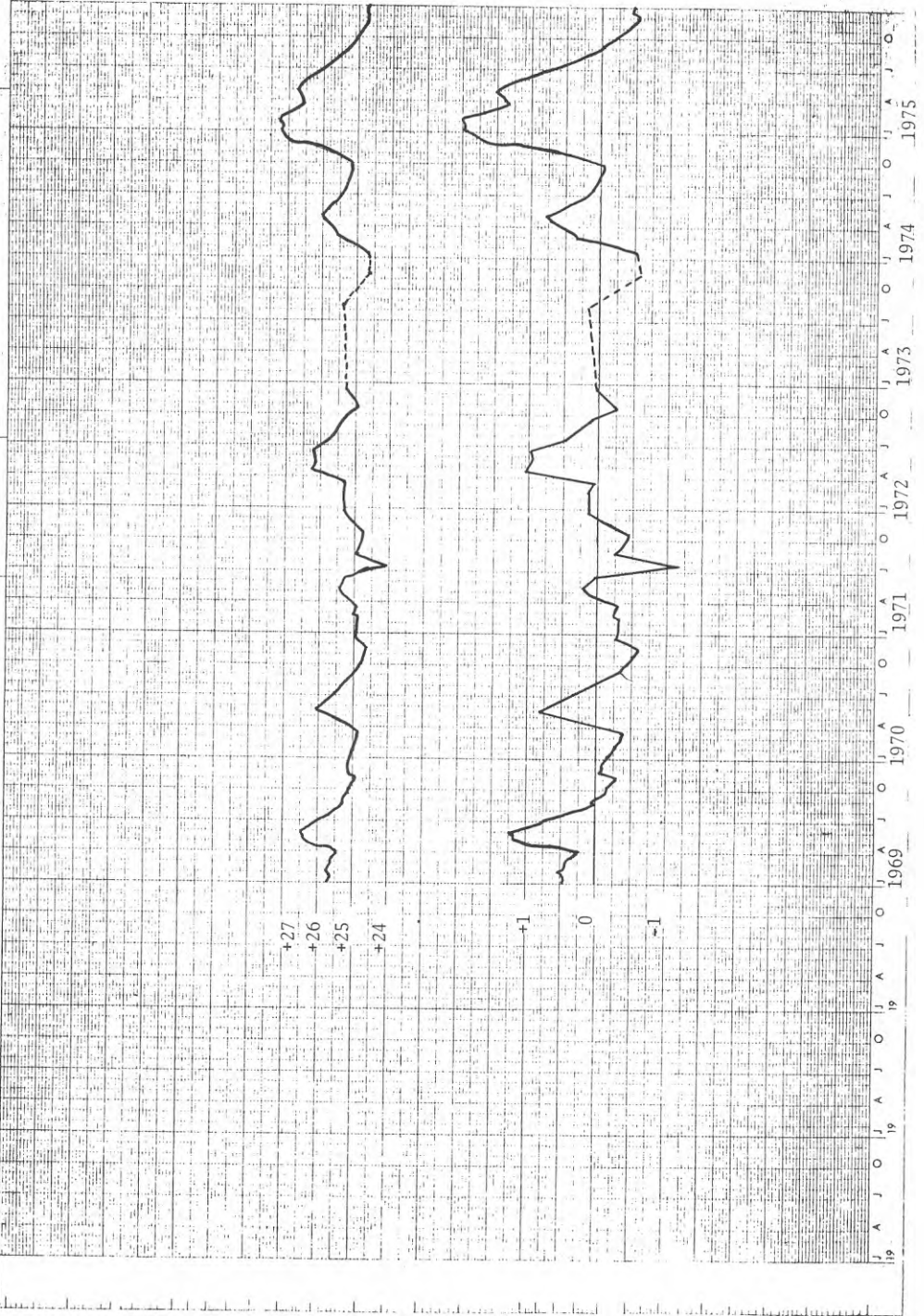
GRUNDVATTENINDEX VERKA

ÅRS REPRESENTATIVE BAS

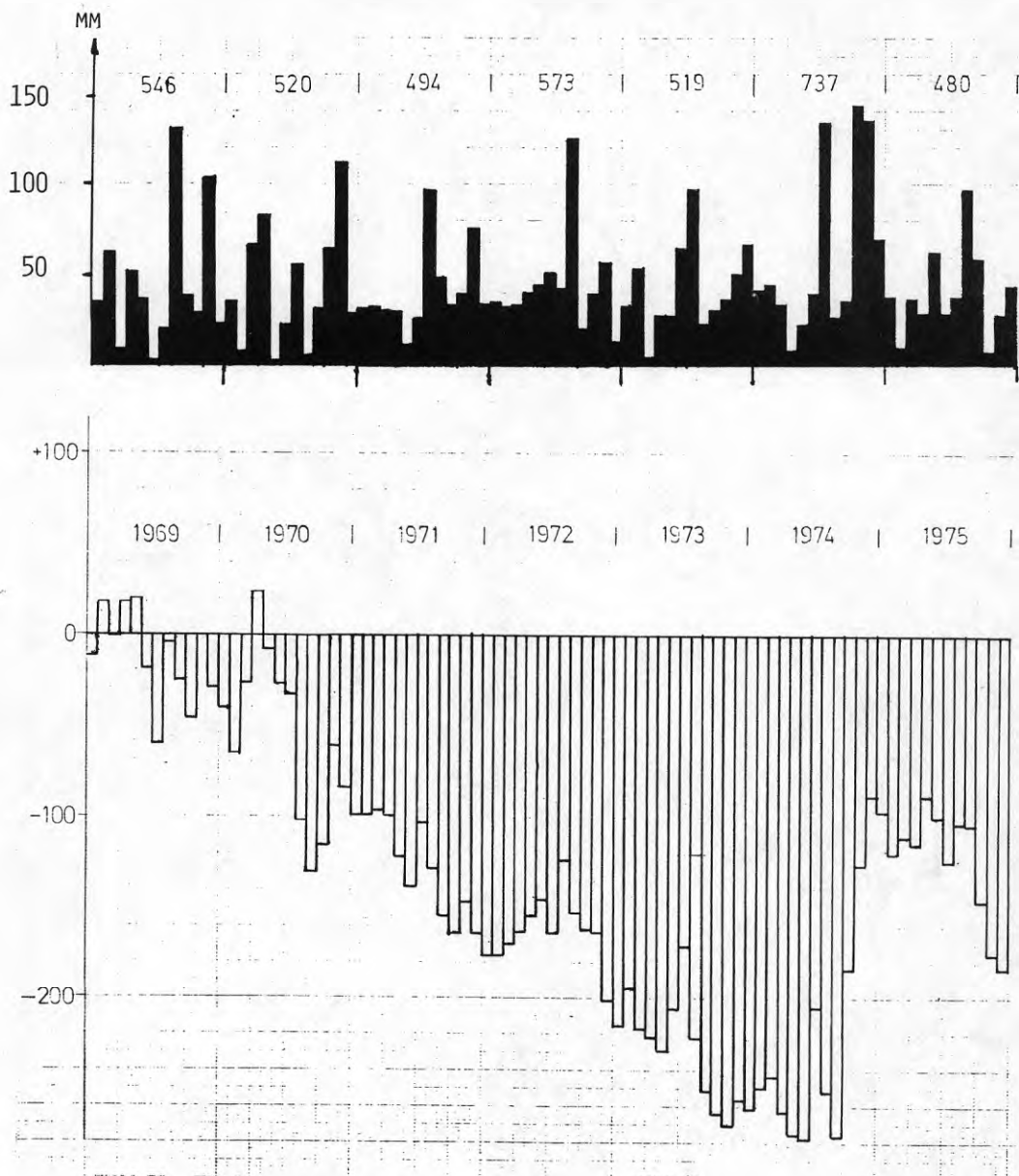
GROUND WATER L-VE-

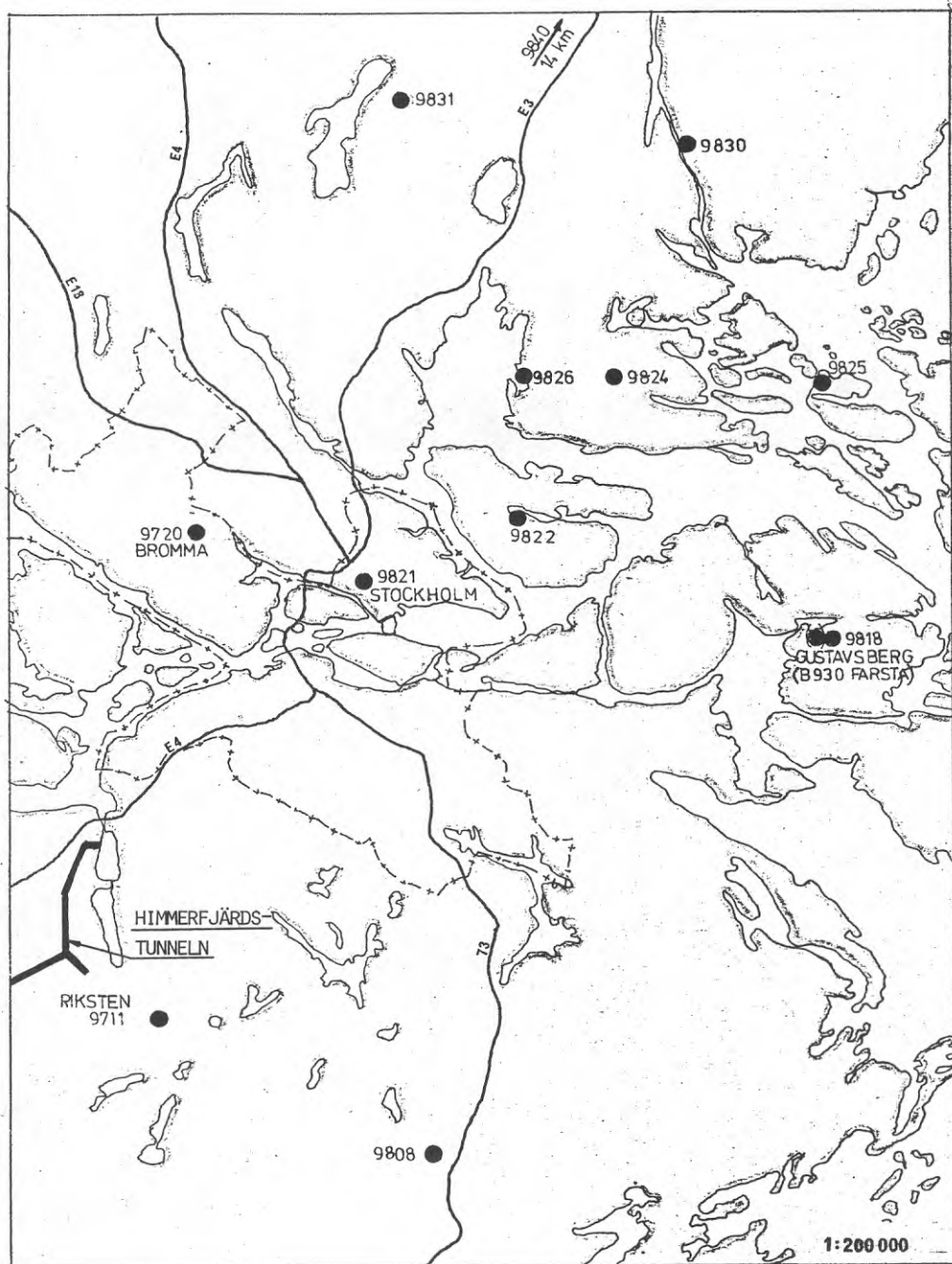
METERS

GRUNDVATTENOBSERVATIONSRÖR 5713 BORNISJÖN SGU
GRUNDVATTENINDEXRÖR 5713



NEDERBÖRD - RIKSTEN 1969-1975
 NEDERBÖRDEN ACCUMULERAD SOM UNDERSKOTT JÄMFÖRT MED NEDER-
 BÖRDSMEDELVÄRDET, RIKSTEN 1931-1960.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740540-5 från
Statens råd för byggnadsforskning till Bergkonsult AB,
Stockholm**

R36: 1977

ISBN 91-540-2699-7

Statens råd för byggnadsforskning

**Art.nr: 6600636
Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

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

Cirka pris: 31 kronor + moms