

SKBF
KBS

TEKNISK
RAPPORT

79-11

Tolkning av permeabilitet i en befintlig berganläggning

Ulf Lindblom
Alf Norlén
Jesús Granero
Kent Adolfsson

Hagconsult AB februari 1979

SVENSK KÄRNBRÄNSLEFÖRSÖRJNING AB / PROJEKT KÄRNBRÄNSLESÄKERHET

POSTADRESS: Kärnbränslesäkerhet, Box 5864, 102 48 Stockholm, Telefon 08-67 95 40

TOLKNING AV PERMEABILITET I EN
BEFINTLIG BERGANLÄGGNING

Ulf Lindblom
Alf Norlén
Jesús Granero
Kent Adolfsson

Hagconsult AB Göteborg februari 1979

TOLKNING AV PERMEABILITET I EN BEFINTLIG BERGANLÄGGNING

Ulf Lindblom
Alf Norlén
Jesús Granero
Kent Adolfsson

Hagconsult AB Göteborg februari 1979

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av SKBF projekt KBS. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarens och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarens.

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av SKBF projekt KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

TOLKNING AV PERMEABILITET I EN
BEFINTLIG BERGANLÄGGNING

Ulf Lindblom
Alf Norlén
Jesús Granero
Kent Adolfsson

Göteborg i februari 1979
HAGCONSULT AB

SUMMARY

The field study described in this paper was undertaken in a granitic rock mass belonging to the Fennoscandian Shield in Sweden. A large gas storage plant is excavated 130 m below the rock surface. Above the rock chambers, a system of closely spaced horizontal drillholes is overpressurized with water. Water pressures and water losses from this drillhole system, as well as gas pressure and water pumping from the rock chambers is closely controlled. Also the free groundwater surface is recorded in drillholes at the surface.

The pressure situation in the rock mass above the caverns is measured by means of a newly developed precision system, which can record changes in groundwater pressures as small as 1 kPa. Pressure readings are taken in 2 m sections of two long drillholes, one vertical and one inclined 45° , utilizing long packers (2 m) of a new design. These packers permit no water leakage along the drillhole.

Water losses in 2 m sections along the drillholes were controlled, once the piezometric control was finished. Same packer equipment was utilized. A very sensitive monitoring system for water losses was developed, capable of recording hydraulic conductivities well below 10^{-11} m/s.

Potential flow nets constructed under the assumption of a homogenous, isotropic rock permeability pointed at an average conductivity of $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s for the rock as a whole.

The precision determinations of water losses were interpreted as isotropic permeabilities of a porous medium. In the vertical drillhole, an average conductivity of $1,0 \cdot 10^{-8}$ m/s was determined, whereas the inclined hole showed a conductivity of $4,2 \cdot 10^{-8}$ m/s. However, if the results from the most fractured upper sections of this drillhole are omitted, then the average conductivity is $2,0 \cdot 10^{-8}$ m/s. Thus, the investigation shows that in this rock mass it is possible to predict gross conductivity from packer tests in drillholes. The rock mass can then be interpreted as a porous medium. However, better than standard quality and precision is required for packers and reading equipment.

The piezometric pressure readings confirmed that the overall flow situation was correctly assumed.

Förord

Föreliggande arbete har utförts oktober 1978-1979 på uppdrag av KBS (Projekt Kärnbränslesäkerhet).

Vi tackar Överstyrelsen för ekonomiskt försvar för tillträde till anläggningen och medverkan vid experimenten.

Göteborg i februari 1979

HAGCONSULT AB

Ulf Lindblom
Projektledare

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
<u>1. Inledning</u>	1
<u>2. Beskrivning av anläggningen</u>	1
<u>3. Geologisk-hydrologisk beskrivning</u>	2
<u>4. Erfarenheter från täthetsprovning och drift</u>	3
4.1 Täthetsprovning	
4.2 Erfarenheter av drift	
<u>5. Nya undersökningar</u>	4
5.1 Samband vattenridåtryck-vattenförlust	
5.2 Samband vattenridåtryck-inläckning	
5.3 Piezometriska tryckmätningar	
5.4 Vattenförlustmätning	
<u>6. Strömningsanalys</u>	8
6.1 Fri inströmning utan vattenridåtryck	
6.2 Vattenströmning vid övertryck i borrhålsridå	
6.3 Diskussion	
<u>7. Jämförelse mellan storpermeabilitet och permeabilitet bestämd i borrhål</u>	9

Figurbilaga

1. Inledning

Konkreta erfarenheter av grundvattenströmningar i stor skala i bergmassor bör tillmätas större betydelse än resultat från olika former av tester, vilka har det gemensamt att de omfattar en liten bergvolym.

Svårigheter föreligger dock att vid mätningar av vatteninflöden till berganläggningar och gruvor få representativa permeabilitetsförhållanden för ett slutförvar på 500 m djup. Tunnlar och bergrum ligger vanligen på djup understigande 50 m där sprickighet och permeabilitet inte kan representera förhållandena på slutförvarsnivån, jfr KBS Teknisk rapport 54:01, sid. 40. Gruvor är belägna i anslutning till geologiska störningszoner, vilka i normalfallet leder till för höga vattenflöden i berggrunden.

I denna rapport har utnyttjats ett unikt tillfälle att dra geohydrologiska erfarenheter från en berganläggning som ligger på så stort djup (120 m) att bergmassans permeabilitet är mera representativ för ett slutförvar än vad som är normalt för berganläggningar.

Eftersom anläggningen (vars belägenhet, innehåll och volym är hemliga) utformats för ett nytt lagringssystem, hade omfattande mätningar av bl.a. vattenströmning vid varierande grundvattentryck skett tidigare. I samband härmed utfördes en provbelastning med tryckluft, då ett stort antal data registrerats som är av intresse för bergmassans permeabilitet.

Avsikten med undersökningen har också varit att jämföra den "verkliga", storskaliga permeabiliteten hos bergmassan med den permeabilitet som kan bestämmas med noggranna vattenförlustmätningar i borrhål genom samma bergmassa.

2. Beskrivning av anläggningen

Anläggningen är utsprängd i tre skepp på ca 120 m djup i granitiskt berg, jämför Figur 1. För att bibehålla grundvatten i bergsprickorna samt åstadkomma en hög hydraulisk gradient ovanför bergrumstaken utsprängdes en tunnel ca 15 m ovanför bergrummen, varifrån borrhålssystem satts under vattentryck utsprängdes sista stycket av tillfartsorten och bergrummen. Vattentrycket i infiltrations-

ort och borrhål har kontinuerligt haft ett tryck av ca 1,1 MPa.

Bergrumsgolvet är täckt med en vattenbädd med upp till 1 m vattendjup. Berg- rummen är till ca 90% fyllda med flytande gas med ett tryck av ca 0,34 MPa. Själva bergrumstaken är således utsatta enbart för trycket av gaskudden ovanför den flytande produkten.

Figur 2 och 3 är en längdsektion respektive en tvärsektion genom anläggningen (sektion B-B resp A-A i Figur 1).

3. Geologisk-hydrologisk beskrivning

Den dominerande bergarten på platsen för anläggningen är rödgrå, medelgrov granit. Graniten är förgnejsad med tydlig parallellstruktur som stupar tämligen brant mot nordost. Näst graniten rikligast i förekomst är finkornig aplit samt diorit. Figur 2 är en längdsektion genom anläggningen. Kärnkarteringen från två borrhål i denna längdsektion är utförd av geolog Walter Larsson och redovisas på Figur 2 och 3. Av sprickfrekvensmätningarna framgår att apiten är mer uppsprucken än graniten. Stupningen hos de 87 sprickorna i det vertikala borrhål K1 fördelar sig på följande sätt

Stupning	Antal
Flack (0-30 ⁰)	23
Medel (30-60 ⁰)	48
Brant (60-90 ⁰)	16

Om man tar hänsyn till att branta sprickor är underrepresenterade i vertikala borrhål, framgår det att medelbranta till branta sprickor dominerar klart över flacka sprickor.

Hydrologiskt domineras området av närheten till en större sjö samt ett högt beläget sjösystem som också finns i närheten. Den normala grundvattenytan ligger inom några meter från markytan. Den genomsnittliga regionala gradienten är omkring 10^{-2} . Påverkan av den regionala gradienten på grundvattenströmningen runt anläggningen är ringa.

Berggrunden vid anläggningen är mycket sprickfattig, fränsett själva ytberget. Detta borde leda till att permeabilitet och vattenrörelser är små på djupet i

bergmassan. Under utsprängningsskedet konstaterades också att så var fallet. I Figur 4 visas en sprickkartering av taket i vattenridåttunneln. Man ser att de flesta sprickor är brantstående och att dropp eller rinnande vatten endast kunde observeras i en sprickzon ungefär mitt i tunneln. En zon med kraftigt vattenflöde kunde också observeras vid mynningen av vattentunneln samt vid västra gaveln av det mittersta bergrummet. I övrigt var omfattningen av dropp och inrinning till berganläggningen mycket begränsad.

4. Erfarenheter från täthetsprovning och drift

4.1 Täthetsprovning

Sedan sprängningsarbetena avslutats, genomfördes en täthetsprovning av anläggningen med tryckluft. I samband härmed registrerades vattenförlusterna från vattenridån samt den inläckande vattenmängden till bergrummen.

Resultaten anges i Figur 5. De heldragna linjerna representerar vattenförlusten som funktion av ridåövertrycket vid 0,2 resp 0,4 MPa gasövertryck i bergrummen. Med ridåövertryck avses här manometertrycket vid vatteninmatningen som är belägen 98 m vertikalt över borrhålen i vattenridån. Man ser av figuren att den utpressade vattenmängden ökar linjärt med det tryck som läggs på i vattenridån

$$\frac{dq}{dp} \approx 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

men att vattenmängden också beror av gastrycket i bergrummen. Vid små vattenridåtryck dominerar det senare beroendet. Vid exempelvis 1,2 MPa vattenridåtryck ökar vattenläckaget med $0,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ om gastrycket i bergrummen minskas från 0,4 till 0,2 MPa.

Den utpumpade vattenmängden från bergrummen minskar med ökande gastryck i bergrummen, jfr Figur 6. Ingen påverkan på utpumpade mängder kunde noteras vid variationer av vattenridåtryck. Mycket hög precision i avläsning av pumpmängder skulle krävas för detta. Vid bergpermeabiliteten 10^{-9} m/s skulle en tryckökning på 0,2 MPa i vattenridån ge en ökning av inrinningen i tunneltaken (area 7000 m^2) på endast $\Delta q = 10^{-9} \cdot 7000 \cdot \frac{20}{15} = 0,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ vilket är mindre än en procent av den totala inläckningen till rummen.

Man noterar alltså att den registrerade ökningen av vattenförlusten från borrhålsridån vid en tryckökning, endast till en mindre del (ca 10%) läcker in i bergrummen. Huvuddelen av vattnet borde alltså röra sig uppåt i berget.

Man noterar vidare av Figur 6 att en extrapolering av den räta linje som utgör sambandet mellan gastryck och utpumpad vattenmängd ger nollpumpning vid gastrycket ca 1,2 MPa. Detta tryck motsvarar det hydrostatiska trycket på bergrumsnivån.

4.2 Erfarenheter av drift

Under den relativt korta tid (några månader) som anläggningen varit fylld (90% vätskefas) har noterats stationärt tillstånd såväl vad avser vattenridåns tryck och vattenförlust som gastryck och uppumpade vattenmängder från bergrummen. Nedan visas en sammanställning av dessa stationära värden.

Bergrum : Gastryck 0,34 MPa, inläckning $4,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
 Vattenridå: Vattentryck 1,07 MPa, utpressning $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

5. Nya undersökningar

5.1 Samband vattenridåtryck-vattenförlust

I Figur 7 visas sambandet mellan tryck och vattenförlust i vattenridån under stationärt gastryck 0,34 MPa bergrummen (90% vätskefas). Resultatet har även redovisats längst till vänster i Figur 4. Vattenridåns tryck kunde regleras vid pumprummet 98 m vertikalt ovanför ridån som visas i Figur 4.

Man noterar ur Figur 4

$$\frac{dq}{dp} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$dq = \underbrace{A \cdot k \cdot \frac{dp}{l}}_{\text{borrhålsridå}} + \underbrace{k \cdot dp \cdot \frac{2\pi \cdot L_t}{1+\ln \frac{L_t}{d_t}}}_{\text{tunnel}}$$

där A vattenridåns area, l_s = strömningslängd, L_t och d_t tunnelns längd resp diameter.

Då blir:

$$k = \frac{dq}{dp} \cdot \frac{1}{\frac{A}{l_s} + \frac{2\pi L_t}{1+n} \frac{L_t}{d_t}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{\frac{17000}{98} + \frac{2\pi \cdot 120}{1+n} \frac{120}{5,5}} = 4,2 \cdot 10^{-8} \text{ r}$$

5.2 Samband vattenridåtryck-inläckning

Inströmmande vattenmängd till bergrummen bestäms genom att kontinuerligt registrera läckvattenpumparnas till- och frånslag. På en remsskrivare kan bestämningen göras på en minut när. Då pumpgrörens volym är $18,9 \text{ m}^3$ och fyllnadstiden 12 h är precisionen i avläsningarna ca $6 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$.

I Figur 7 visas variationen i vatteninläckning till bergrummen när ridåtrycket ökar och minskar. Som synes är det fråga om mycket små variationer. En ökning med 100 kPa i ridåtryck leder till en ökning av pumpningen med i storleksordningen $0,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Om man antar att denna vattenström i huvudsak når tunneltaken blir permeabiliteten

$$k = \frac{\Delta q}{A_t} \cdot \frac{l_s}{\Delta I} = \frac{0,1 \cdot 10^{-4}}{7000} \cdot \frac{15}{10} = 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$$

där A_t är tunneltakens sammanlagda area och l_s strömningslängden.

5.3 Piezometriska tryckmätningar

5.3.1 Metod och utrustning

För både de piezometriska tryckmätningarna och vattenförlustmätningarna användes en för ändamålet specialtillverkad utrustning. Vid konstruktionen av utrustningen skulle följande kriterier uppfyllas:

- 1) Utrustningen skulle kunna användas i borrhål med diameter \emptyset 46 mm.
- 2) Dubbla tätningssmanschetter av 2 m längd.
- 3) Mätvåningshöjd 2 m.
- 4) Användbar för både tryckmätning och vattenförlustmätning.

- 5) Vid vattenförlustmätningarna skulle tryckförlusterna i apparaturen antingen elimineras eller kunna mätas.

Den slutliga konstruktionen framgår av Figur 8a.

Vid mätning av den piezometriska tryckhöjden användes samma utrustning som vid portryckmätning i jord och grundutrustningen kompletterades på ett antal nivåer med munstycken anpassade till den vanliga portrycksmätningstrustningen. På grund av den begränsade kabellängden på den befintliga utrustningen fick tryckmätningen delvis ske med en känd vattenpelare som deltryck. Noggrannheten vid piezometermätningen har vid kalibrering visat sig vara $\pm 0,6\%$ av utslaget, vilket i detta fall innebär ett fel av högst ± 10 cm vp. Den piezometriska stighöjden beräknades efter stabilisering av trycket enligt Figur 8b.

För uppblåsning av tätningmanschetterna användes tryckluft från tub, varvid manschettrycket hölls minst 500 kPa högre än rådande vattentryck i berget. För att expandera gummimanschetterna till $\varnothing 46$ mm erfordrades ett tryck av 100-150 kPa varför tätningstrycket mot borrhålets väggar var minst 350 kPa högre än det i berget rådande trycket.

På grund av den kläna arean hos tryckluftsledningen (\varnothing inv 1,6 mm = $0,02 \text{ cm}^2$) anslogs 10 minuter för uppblåsning av tätningmanschetterna mellan varje mät-nivå. Vid skarvning av tryckluftledningen, som levererades i 60 m längder, användes skarvhylsor och tennlödning, vilket visade sig ge en snabb och till-förlitlig skarv. 1"-rören skarvades med utvändigt skarvmuff som tätsvetsades till röret i ena ändan och tätades med gängtape i den andra.

För att manövrera utrustningen i borrhålen användes ett elektriskt kedjespel med 500 kg lyftförmåga. Med anledning av de låga temperaturer som rådde under arbetets gång byggdes hela arbetsplatsen in med ett presseningstält och försågs med uppvärmning.

5.3.2 Mätresultat

Resultaten av tryckmätningarna visas i diagrammen till vänster i Figur 2 och 3. Man noterar för vertikalthålet (Figur 3) att endast obetydliga avvikelser från hydrostatiska förhållanden förekommer. Detsamma gäller det lutande hålet (Figur 2) under 30 m djup. Under mätningarna rådde ett övertryck i vattenridån

på ca 8 m vp. Inget av hålen synes ha fått kontakt med detta övertryck. Däremot synes bergpartiet närmast under grundvattenytan i det lutande hålet stå i hydraulisk kontakt med tryckvattenridån. Det kan här vara fråga om den brantstående sprickzon som visade sig ge vatteninrinning ungefär mitt på vatteninfiltrationstunneln, jämför Figur 2 och 4.

I övrigt visar mätningarna att de allmänna grundvattenrörelserna i bergmassan ovanför anläggningen är mycket små.

5.4 Vattenförlustmätning

5.4.1 Metod och utrustning

Vid vattenförlustmätningen användes samma grundutrustning som beskrivits under kap. 5.3.1. För att eliminera eventuella tryckförluster ned till mätvåningen monterades ett plaströr med sänke i 1"-röret omedelbart ovanför mätspetsen. Genom att vattenfylla detta rör och ansluta det till en precisionsmanometer kunde trycket omedelbart ovanför mätspetsen kontrolleras. Tryckvattnet för vattenförlustmätningarna erhöles från en uppsättning behållare av varierande diametrar parallellkopplade till ett graderat vattenståndsrör och trycket åstadkommes med hjälp av tryckluft, Figur 9. Vid vattenförlustmätningen kopplades lämplig vattenbehållare in och tryckluft påfördes i behållaren.

Under försökets gång avlästes vattennivån i vattenståndsröret och trycket på precisionsmanometern mot tiden. Känsligheten på tryckmätningen var så stor att inverkan av vattenståndssänkningen i behållarna kunde observeras på manometern. Noggrannheten var inom det aktuella mätområdet vid tryckmätningen ± 20 cm vp och vid volymmätningen ned till $\pm 0,07$ cm³/min. Detta innebär att man vid 0,5 MPa övertryck kan registrera permeabiliteter lägre än 10^{-11} m/s.

5.4.2 Mätresultat

I de högra diagrammen i Figur 2 och 3 har de uppmätta vattenförlusterna q vid $p=50$ mvp övertryck omräknats till medelpermeabilitet enligt sambandet

$$k_m = \frac{q}{p} \cdot \frac{1 + \ln \frac{L}{2r}}{2\pi \cdot L}$$

där L är höjden och r är radien på den trycksatta delen av borrhålet.

Medelpermeabiliteten (aritmetiska medeltalet) för vertikalhålet beräknades till $4,2 \cdot 10^{-8}$ m/s och för det lutande hålet till $1,0 \cdot 10^{-8}$ m/s. Mycket av vertikalhålets vattenförluster hänför sig till de översta mätvåningarna. Om de fyra översta bestämningarna i vertikalhålet försummas blir permeabiliteten $2,0 \cdot 10^{-8}$ m/s. Den hydrauliska anisotropin är alltså inte särskilt uttalad när man kommer ner under ytberget.

6. Strömningsanalys

6.1 Fri inströmning utan vattenridåtryck

I Figur 10 och 11 visas strömningsbilder i tvär- och längdsektionen under antagande om isotrop permeabilitet. Här har antagits att vattenridån varit trycklös, vilket enligt Figur 7 motsvarar inläckningen $4,5 \cdot 10^{-4}$ m³/s för hela anläggningen. I den skala som valts i Figur 10 och 11 motsvarar tryckdifferensen 5,8 potentialfall mellan bergrum och vattenyta. I tvärsektion förekommer då 19 strömrör och i längdsektion 22 strömrör. Med approximationen tvådimensionellt flöde blir den beräknade permeabiliteten

$$\text{i tvärsektion A-A} \quad k_m = \frac{5,8}{19} \cdot \frac{1}{86} \cdot \frac{4,5 \cdot 10^{-4}}{100} = 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

$$\text{i längdsektion B-B} \quad k_m = \frac{5,8}{22} \cdot \frac{1}{86} \cdot \frac{4,5 \cdot 10^{-4}}{120} = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

En bedömning av den verkliga inströmningssituationen, som är tredimensionell, visar att ovanstående permeabiliteter är ca 25% för höga, varför den verkliga medelpermeabiliteten för den fria inströmningen borde ligga vid $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s

6.2 Vattenströmning vid övertryck i borrhålsridå

När ett övertryck om 8 mvp läggs på i vattenridån får detta effekten att potentialströmningen ovanför ridån praktiskt taget släcks ut och strömningsnätets utseende förändras som Figur 12 visar. En detalj av potentialströmningen

kring vatteninfiltrationshålén visas i Figur 13. Endast en mindre del av vattnet avbördas uppåt.

6.3 Diskussion

Strömningsnäten som förutsätter isotropa homogena permeabilitetsförhållanden står således i strid mot mätningarna. Dessa visade ju att endast 10% av vattenmängden från ridån går till bergrummen.

Förklaringen till att så mycket mer vatten avbördas uppåt måste vara att permeabiliteten i denna riktning är avsevärt större.

Av Figur 5 framgår att vatten avbördas från ridån, även då vattentrycket är 0,98 MPa, dvs samma som det hydrostatiska trycket på ridånivån. Förklaringen härtill torde vara att vattnet avbördas uppåt i en krosszon till ett vattenmagasin som har lägre trycknivå än berget i övrigt. En sådan förbindelse mellan ytberg och vattenridå observerades i det lutande hålet, se piezometertryckdiagrammet i Figur 2.

7. Jämförelse mellan storpermeabilitet och permeabilitet bestämd i borrhål

Storpermeabiliteten kan med ledning av strömningsnät och utpumpningsdata med relativt god säkerhet bedömas vara $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s, jfr avsnitt 6.1. Detta värde representerar ett genomsnitt av genomsläppligheten hos bergmassan.

Medelpermeabiliteten bestämd i långa borrhål gav resultatet $4,2 \cdot 10^{-8}$ m/s för det vertikala hålet och $1,0 \cdot 10^{-8}$ m/s för det lutande hålet. Precisionsmätningar av vattenförlusten från det lutande hålet gav alltså en korrekt bedömning av storpermeabiliteten, medan det vertikala hålet överskattade permeabiliteten. Dock kan överensstämmelsen även här anses som tillfredsställande, särskilt om mätresultaten från de översta mätningarna borträknas (ytberg). Medelpermeabiliteten blir då $2,0 \cdot 10^{-8}$ m/s.

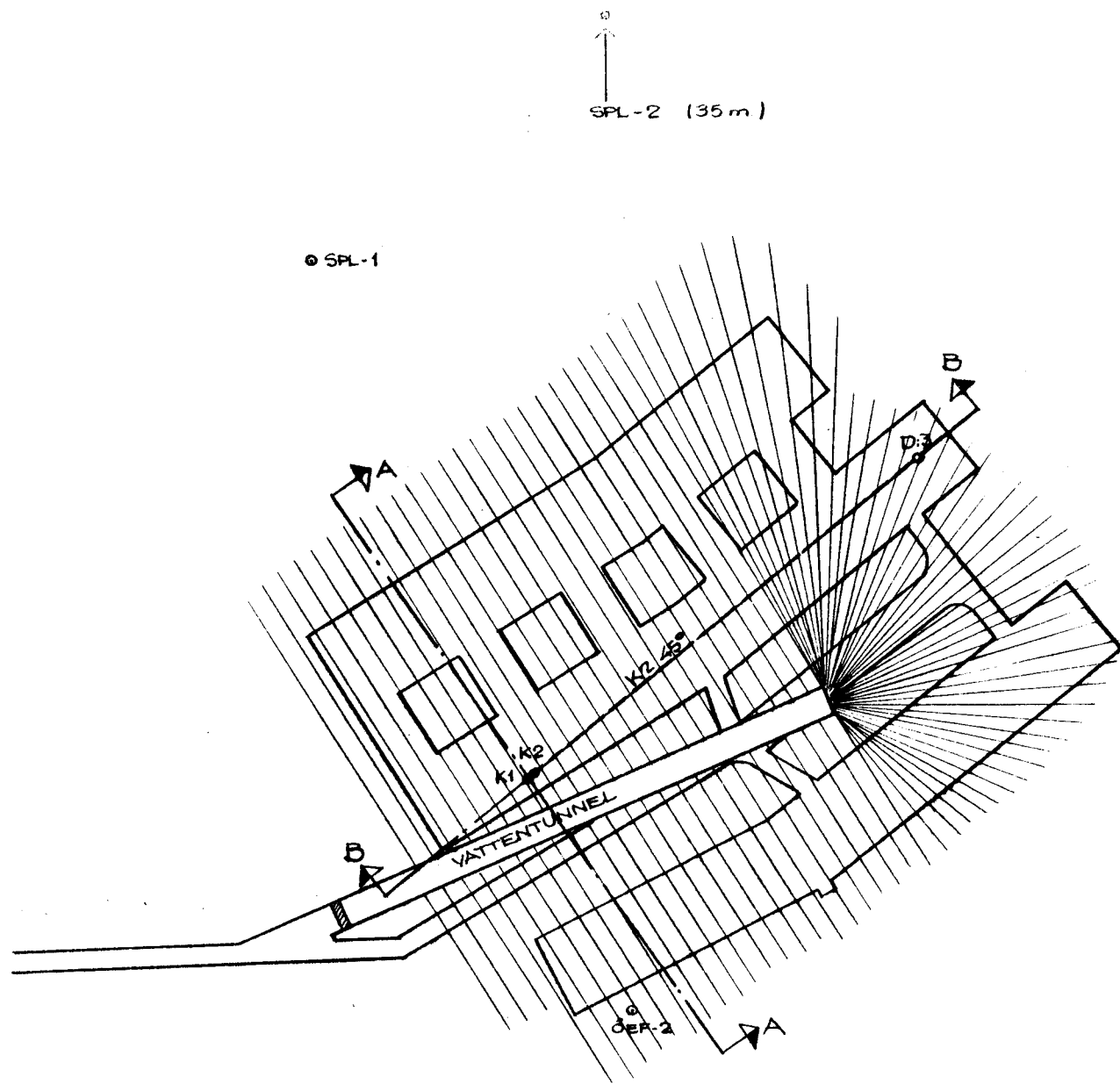
Ökningen av inrinningen till bergrummen vid ökat vattenridåtryck var mycket liten, och motsvarande en bergpermeabilitet i tunneltaken på $1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Motsvarande permeabilitet uppmättes i de djupaste delarna av vertikalthålet. I det lutande hålet noterades dock högre permeabilitet i de djupaste delarna, varför någon definitiv slutsats inte kan dras om överensstämmelsen med storpermeabilitet i tunneltaket. Troligen når detta borrhål ej ner under vattenridån.

Vattenförlusterna från vatteninfiltrationssystemet avbördades till en del uppåt genom lokala sprickzoner, varför de registrerade vattenförlusterna inte är användbara för tolkning av bergmassans permeabilitet.

Som slutomdöme kan sägas att undersökningen visat att vattenförlustmätningar kan användas för att uppskatta storpermeabiliteten även i sprickfattigt kristallint berg. Tolkningen av vattenförlusterna har härvid gjorts under antagande att berget är ett poröst, homogent och isotropt medium. Möjligen kan den verkliga permeabiliteten något överskattas genom denna tolkningsmetod, en erfarenhet som stämmer med de storskaliga permeabilitetsförsöken i Stripa.

Lokala, vattenförande krosszoners inverkan på strömningsförhållandena måste alltid observeras i dessa sammanhang.

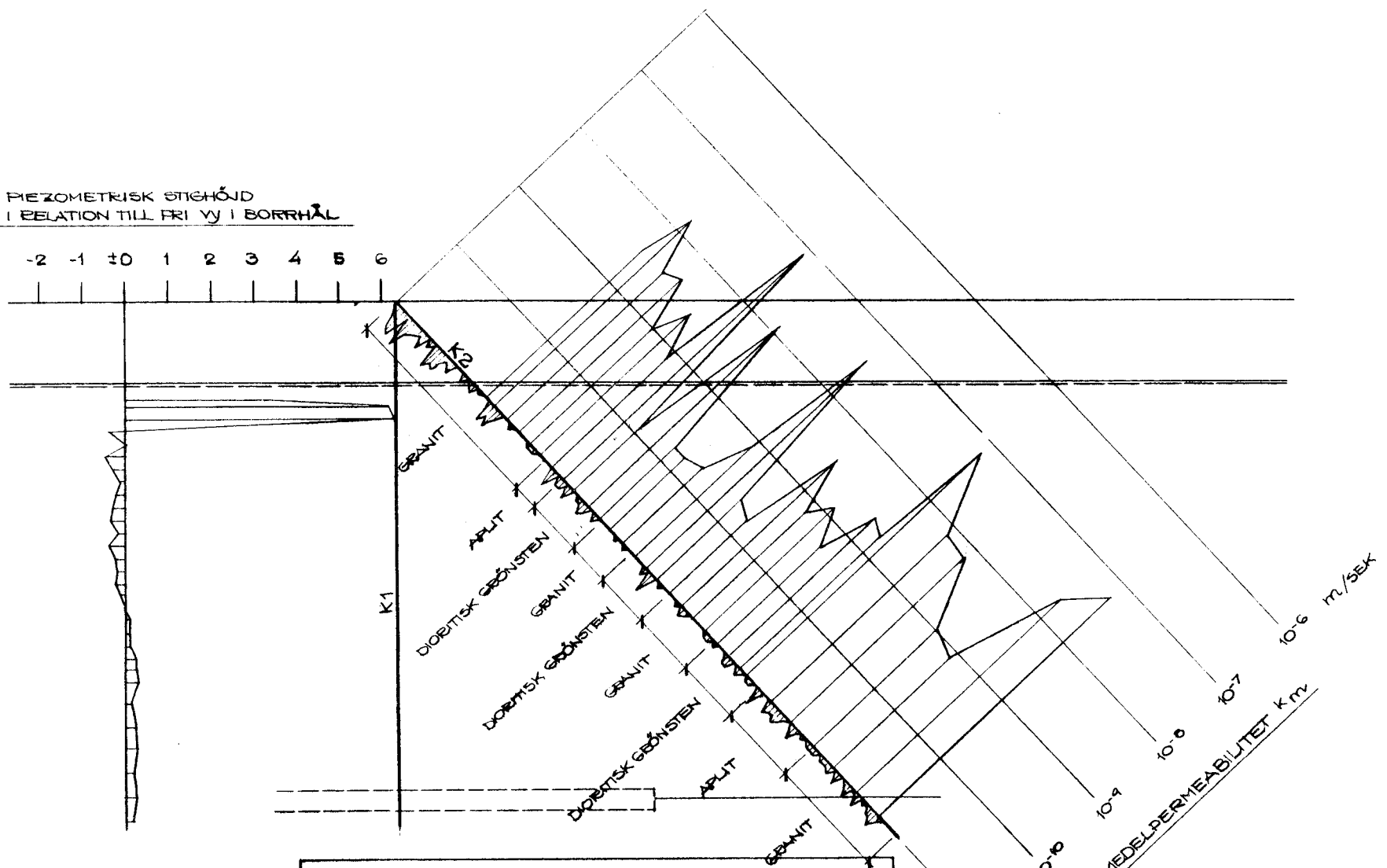


FIGUR 1

PLAN
 ANLÄGGNING OCH
 VATTENRIDÅ

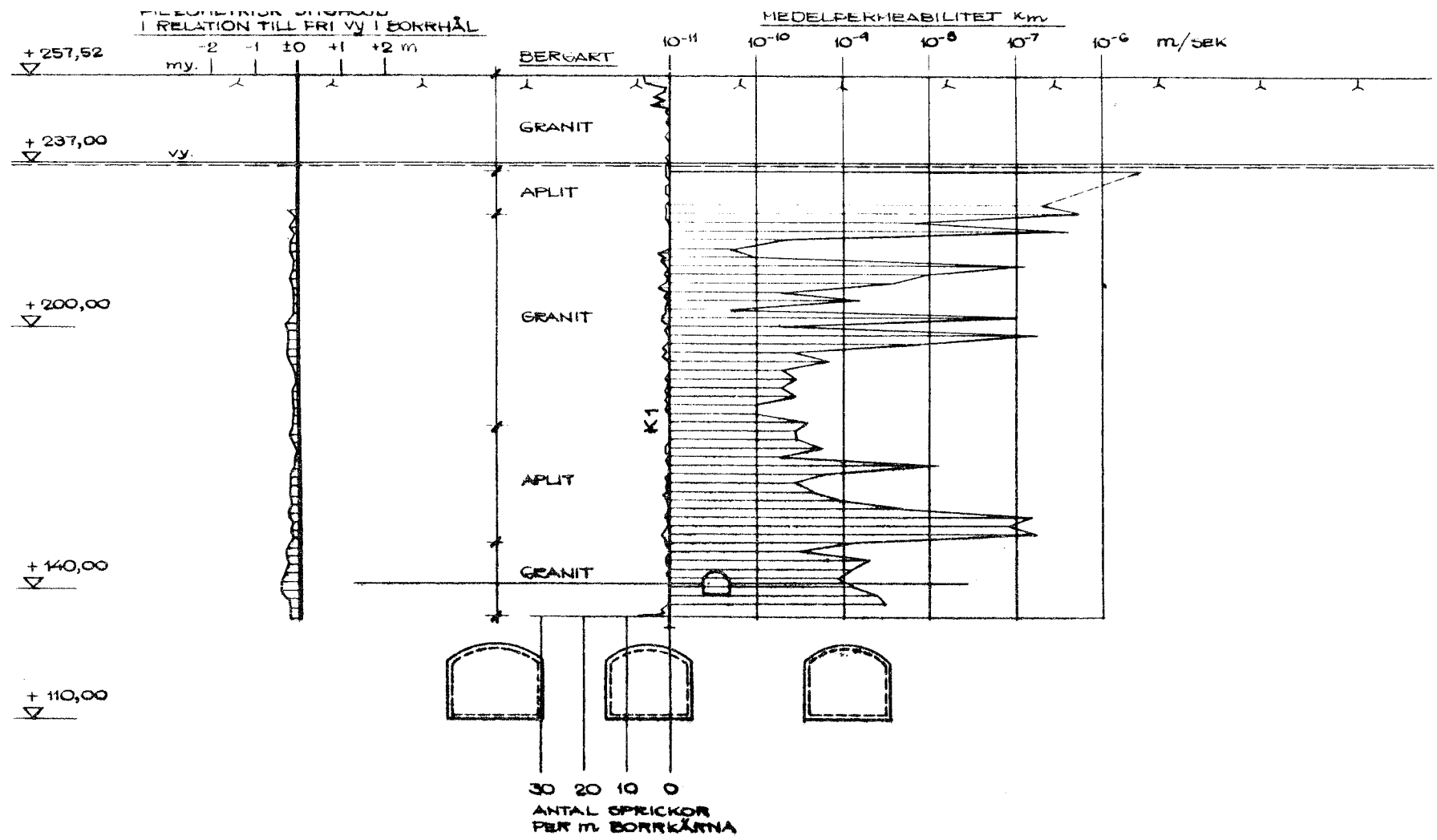
PIEZOMETRISK STIGHÖJD
I RELATION TILL FRI VY I BORRHÅL

-2 -1 0 1 2 3 4 5 6












FIGUR 2

SEKTION B-B
BORRHÅL K2
PIEZOMETRISK STIGHÖJD
SPRICKFREKVENNS
PERMEABILITET



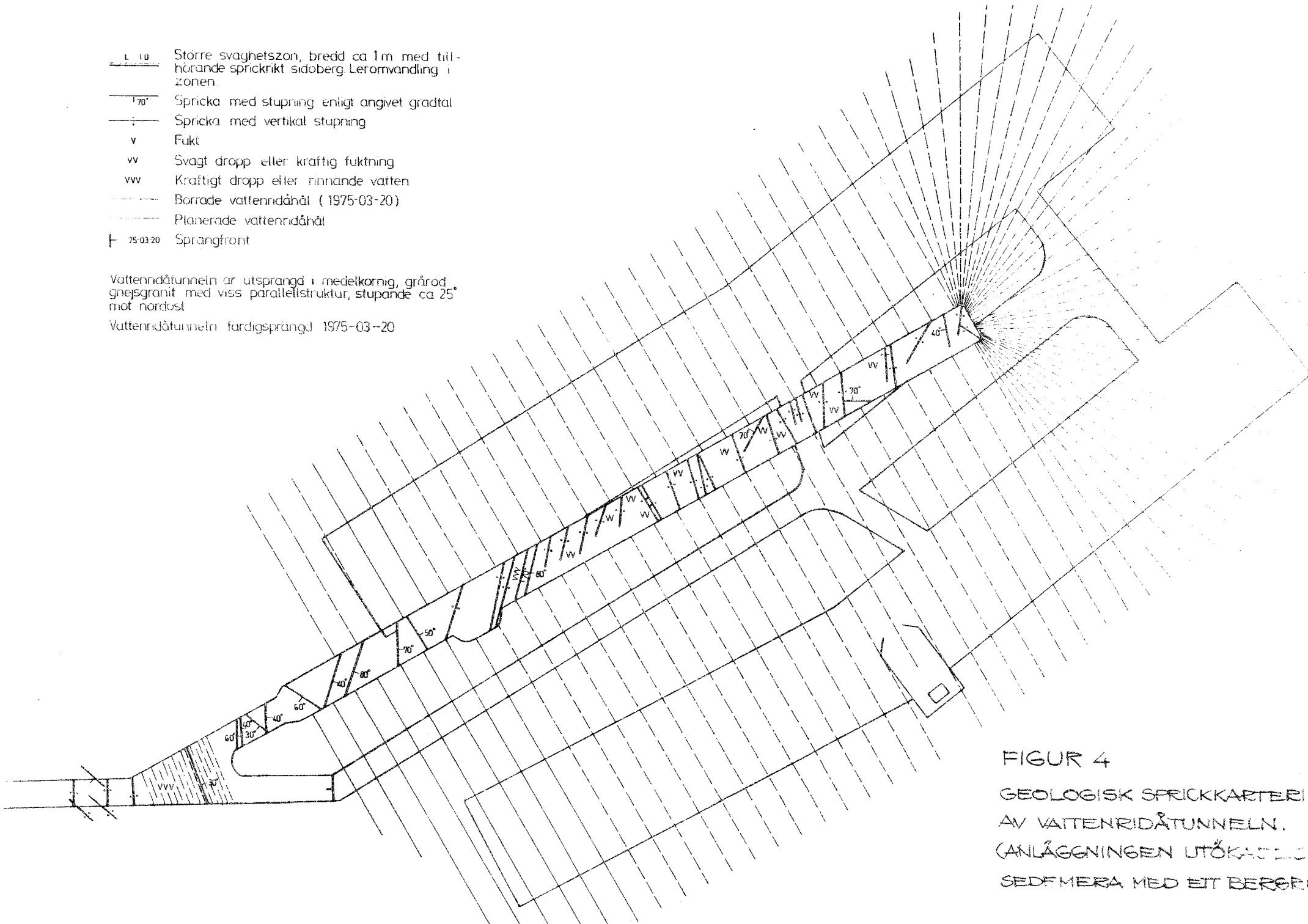
FIGUR 3

SEKTION A-A
 BORRHÅL K1
 PIEZOMETRISK STIGHÖJD
 SPRICKFREKVENNS
 PERMEABILITET

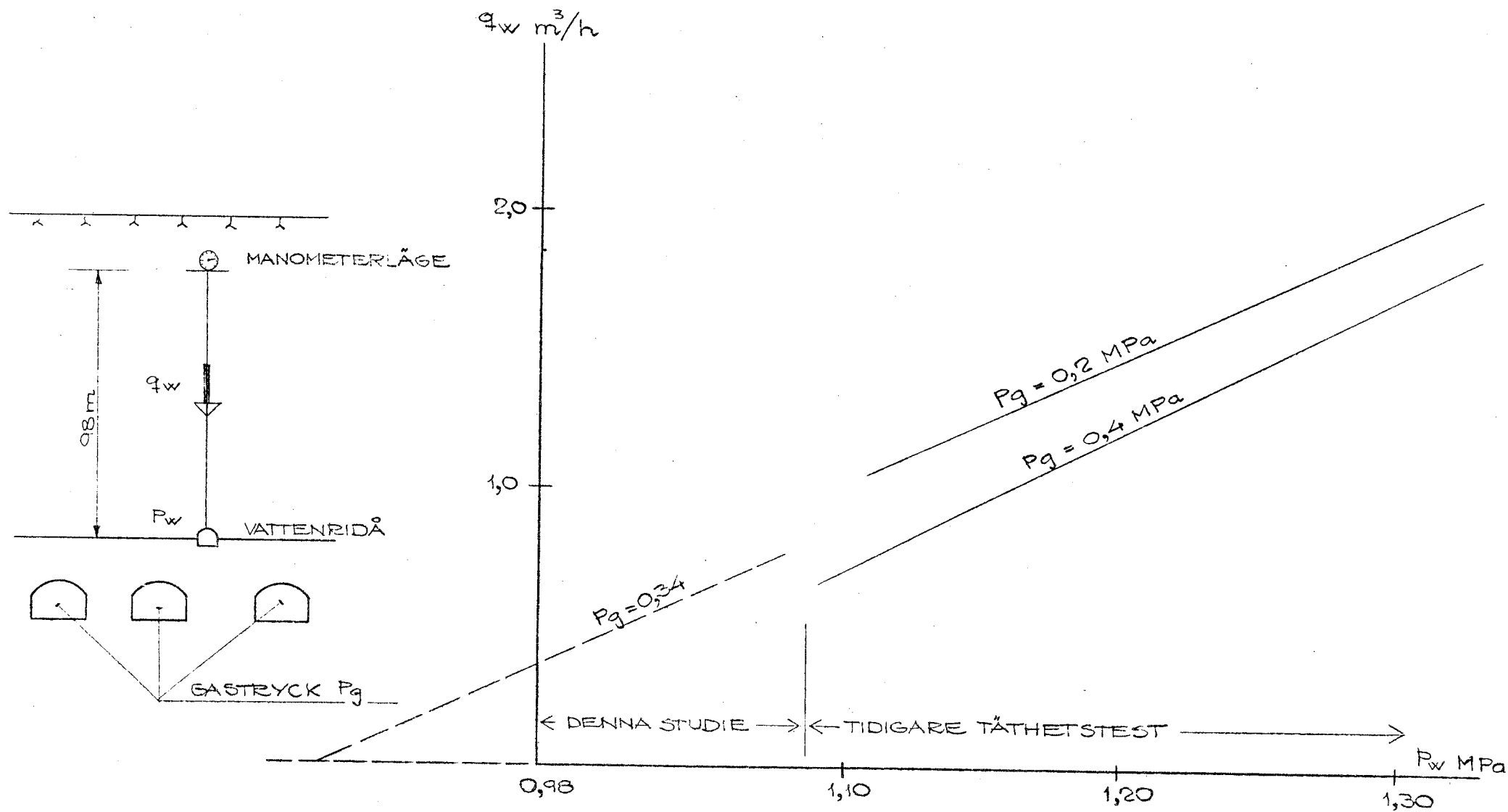
-  L 10 Större svaghetszon, bredd ca 1m med tillhörande sprickrikt sidoberg. Leromvandling i zonen.
-  70° Spricka med stupning enligt angivet gradtal
-  Spricka med vertikal stupning
-  v Fuktl
-  w Svagt dropp eller kraftig fuktning
-  vw Kraftigt dropp eller rinnande vatten
-  Borrade vattenstånd (1975-03-20)
-  Planerade vattenstånd
-  75-03-20 Sprangfront

Vattenridåtunneln är utsprängd i medelkörnig, grårod, gnejsgranit med viss parallellstruktur, stupande ca 25° mot nordöst

Vattenridåtunneln fardigsprängd 1975-03-20

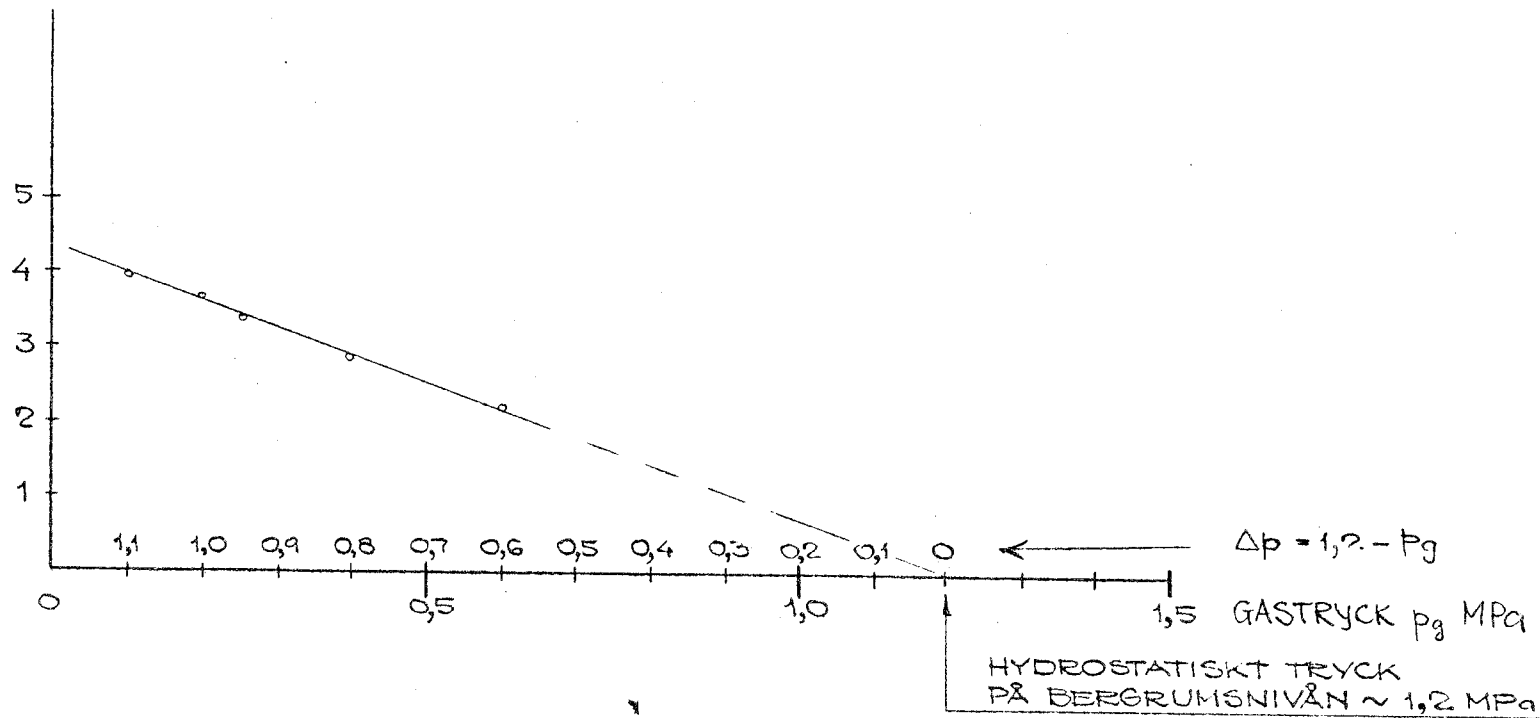


FIGUR 4
GEOLOGISK SPRICKKARTERING
AV VATTENRIDÅTUNNELN.
(ANLÄGGNINGEN UTÖKAD ELLER
SEDFEMERA MED ETT BERGRUM.)

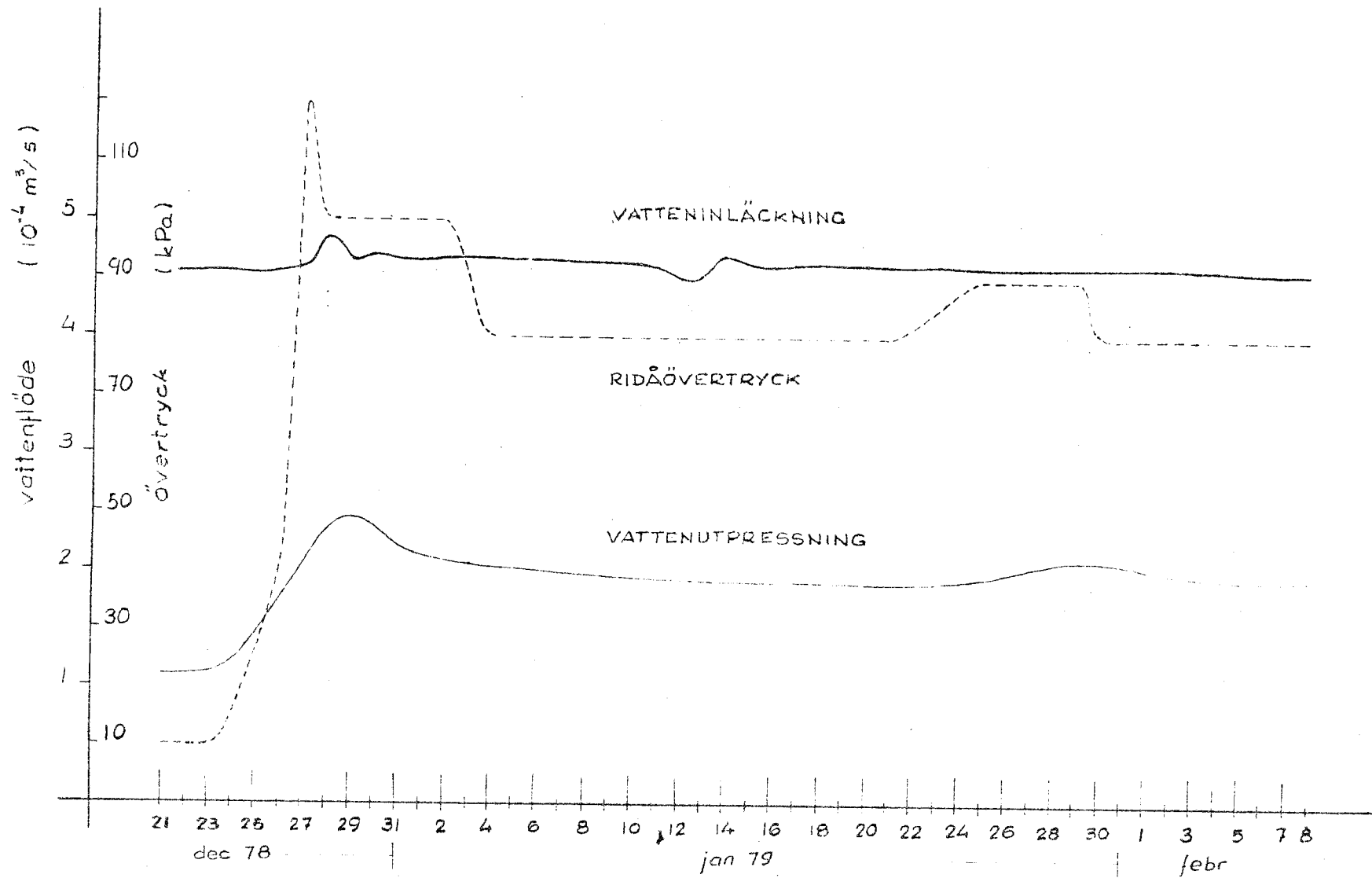


FIGUR 5. VATTENFÖRLUSTER FRÅN VATTENRIDÅN

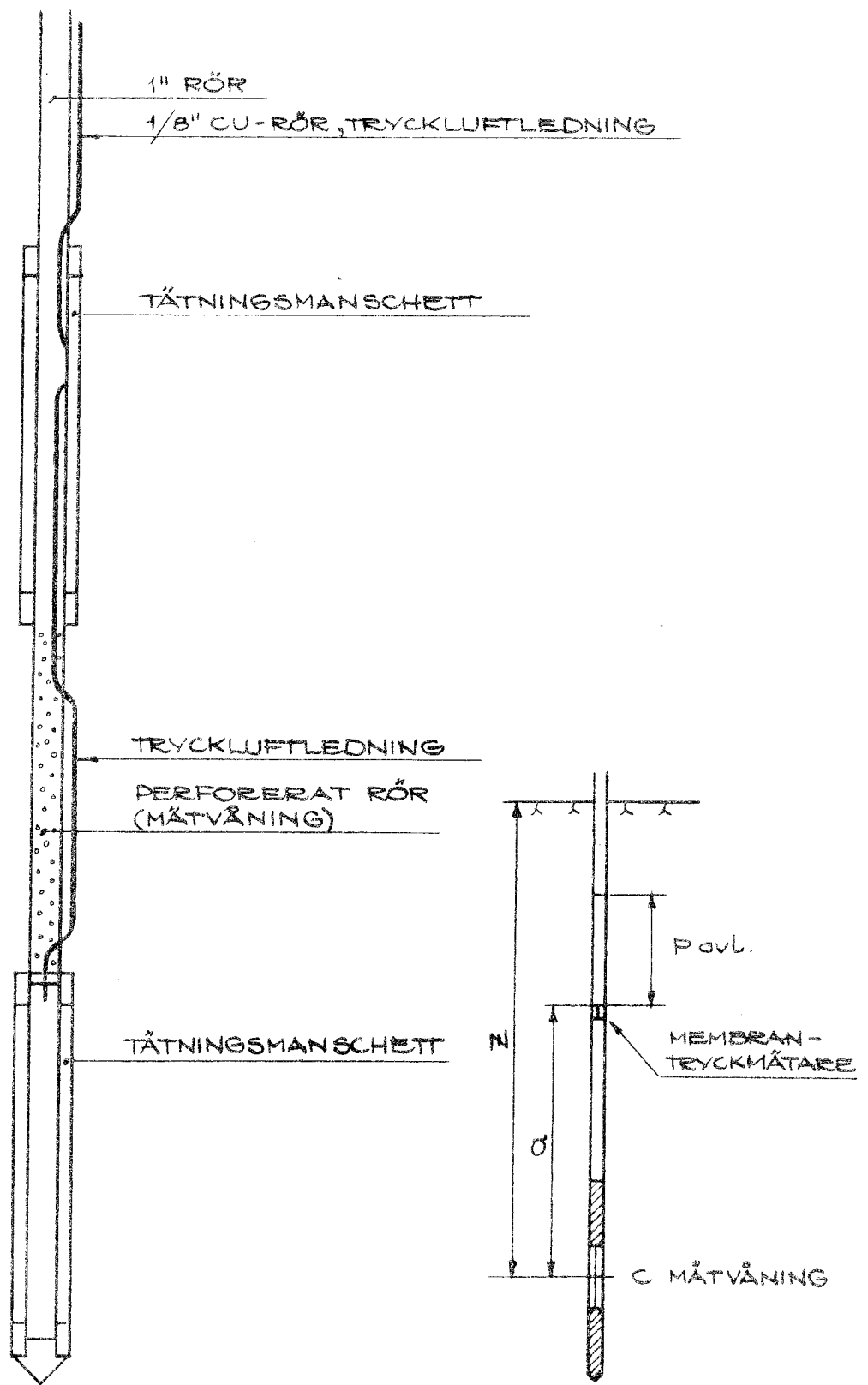
UTPUMPAD VATTEN-
MÄNGD m^3/h



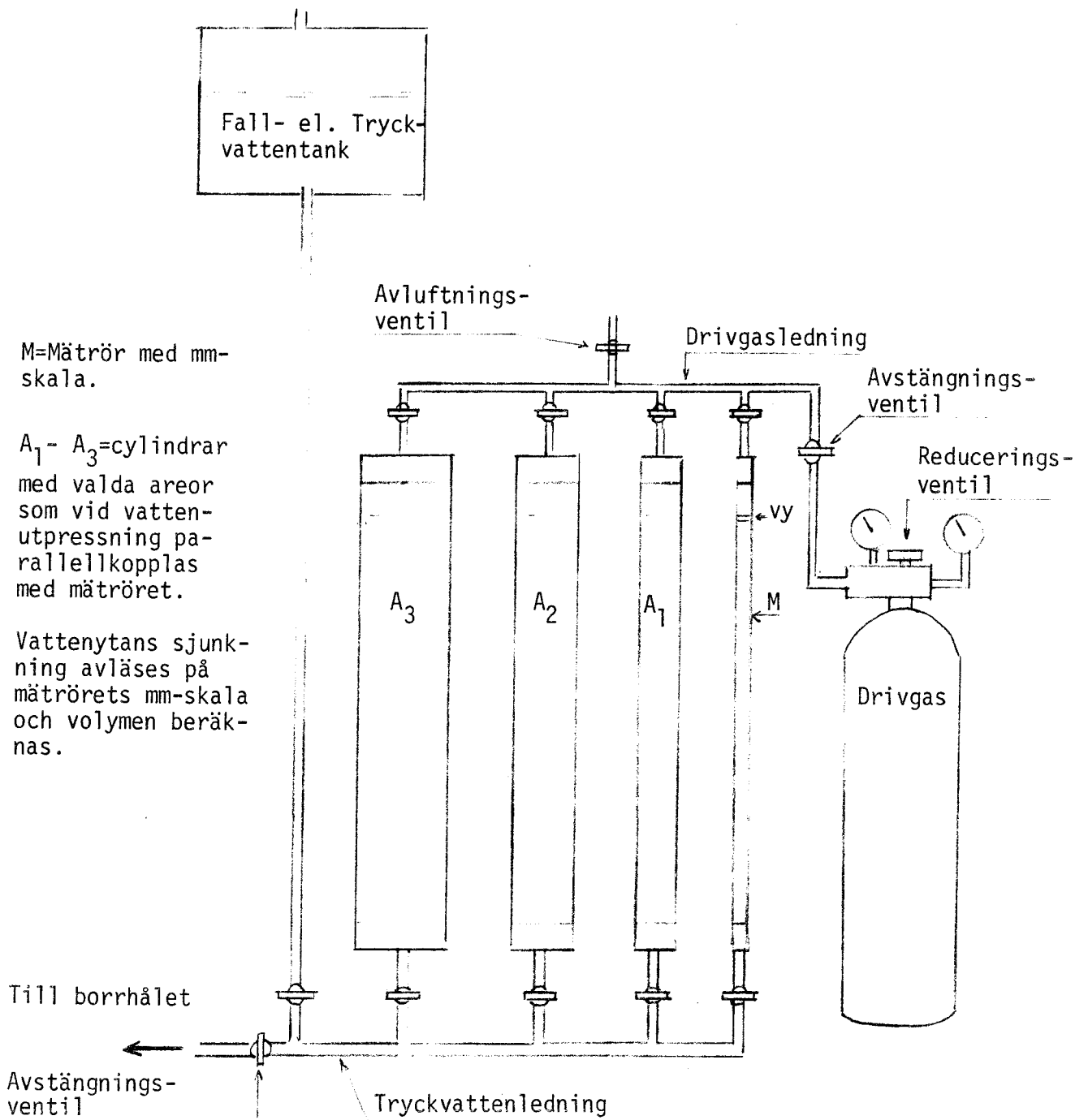
FIGUR 6 INLÄCKNING TILL BERGRUMMEN



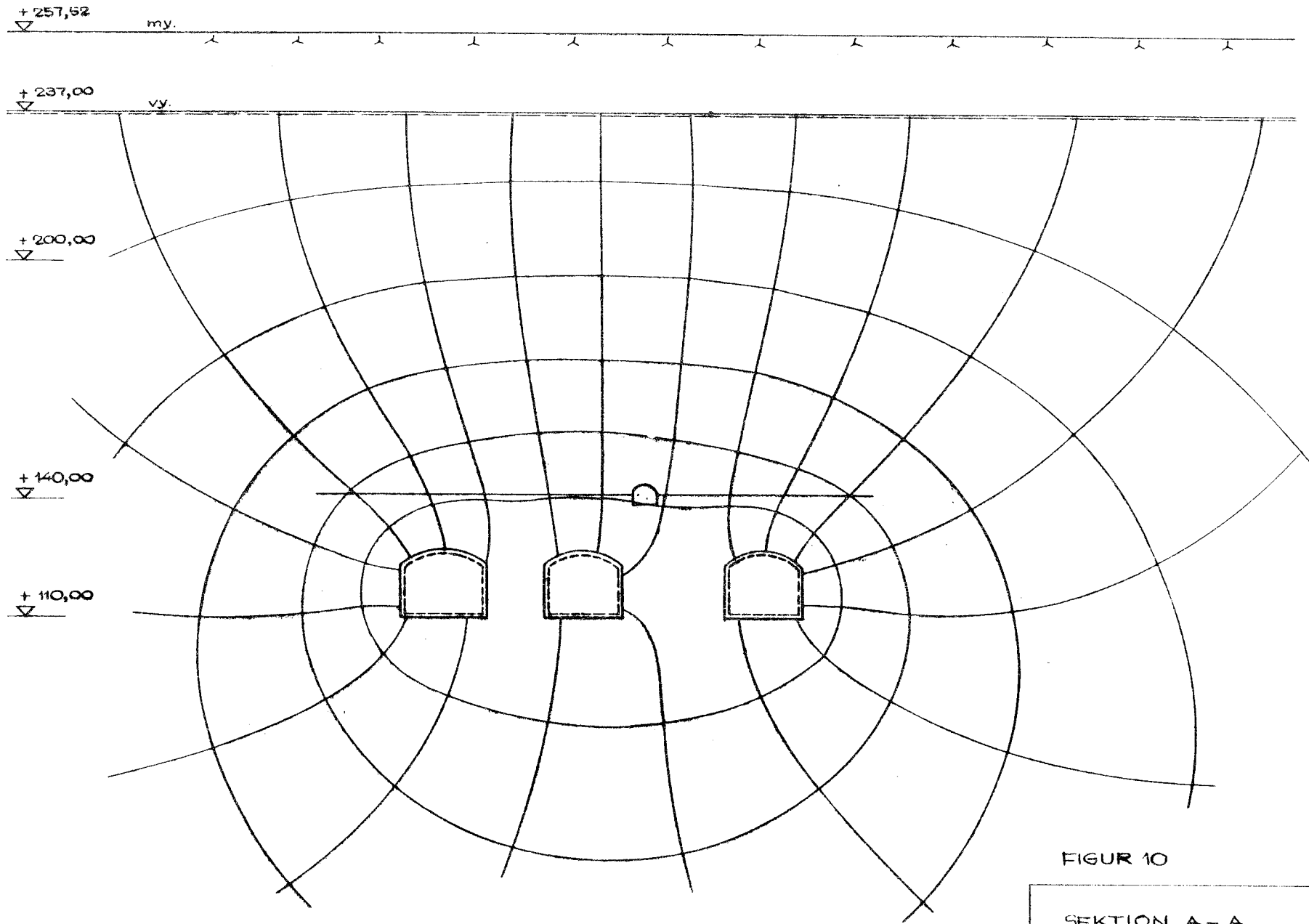
FIGUR 7 VATTENINLÄCKNING TILL BERGRUM SOM FUNKTION
AV TRYCK OCH VATTENFÖRLUSTER I VATTENRIDÅN



FIGUR 8 UTRUSTNING FÖR TRYCK OCH VATTEN-FÖRL. MÄTN.

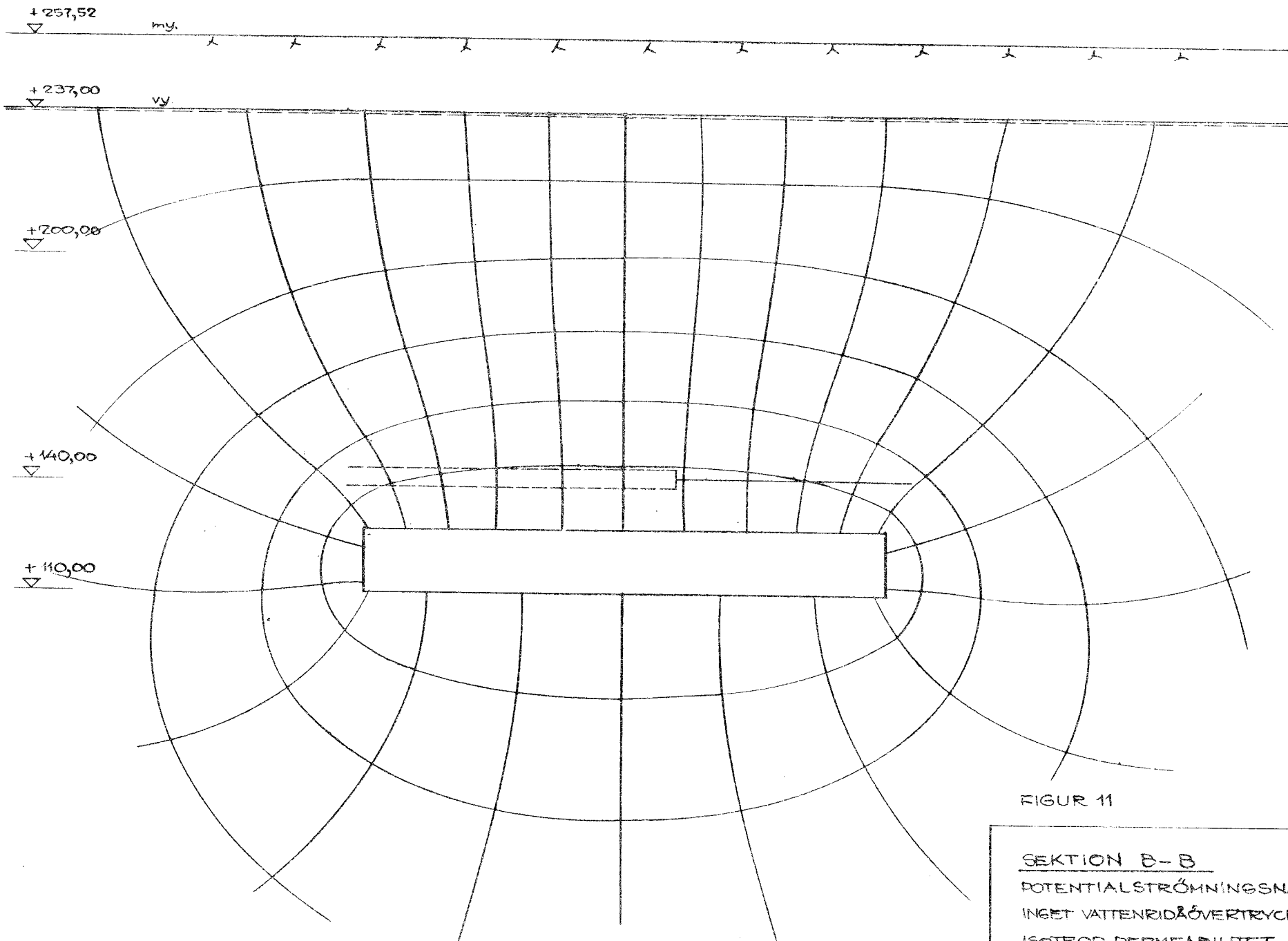


FIGUR 9 FLÖDESMÄTANORDNING FÖR BESTÄMNING AV MYCKET LÅGA PERMEABILITETER.



FIGUR 10

SEKTION A-A
 POTENTIALSTRÖMNINGSNÄT
 INGET VATTENRIDÅÖVERTRYCK
 ISOTROP PERMEABILITET



FIGUR 11

SEKTION B-B
 POTENTIALSTRÖMNINGSNÄT
 INGET VATTENRIDÅÖVERTRYCK
 ISOTEOP PERMEABILITET

+ 257,52

my.

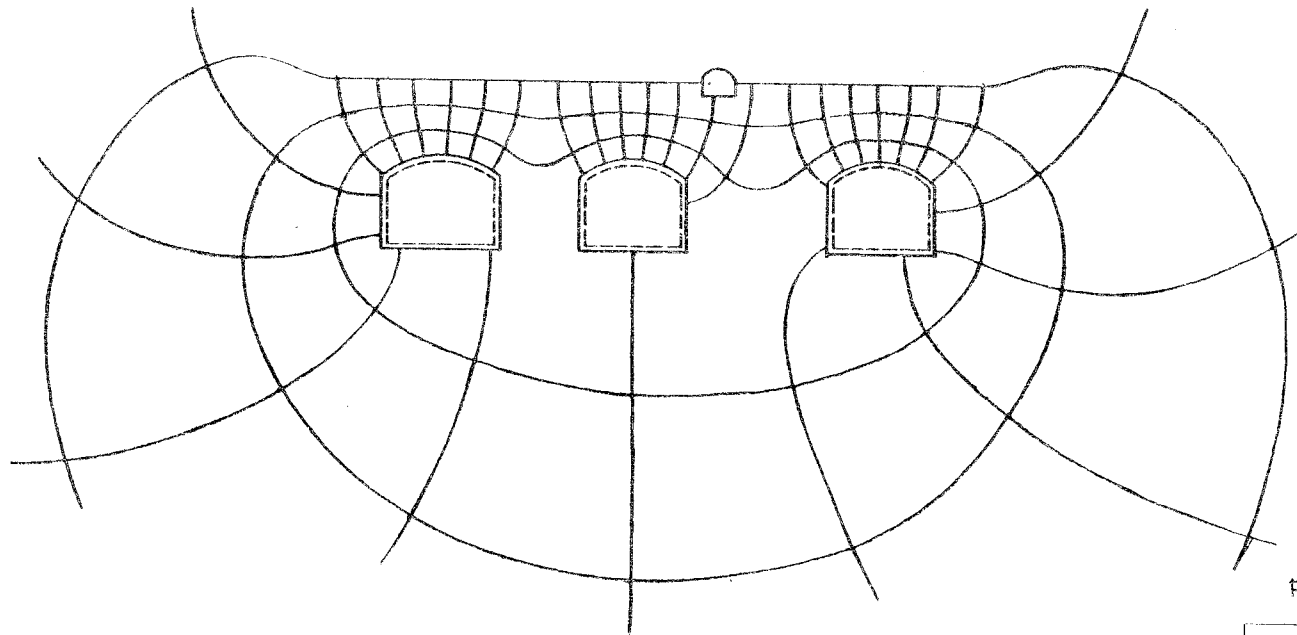
+ 237,00

vy.

+ 200,00

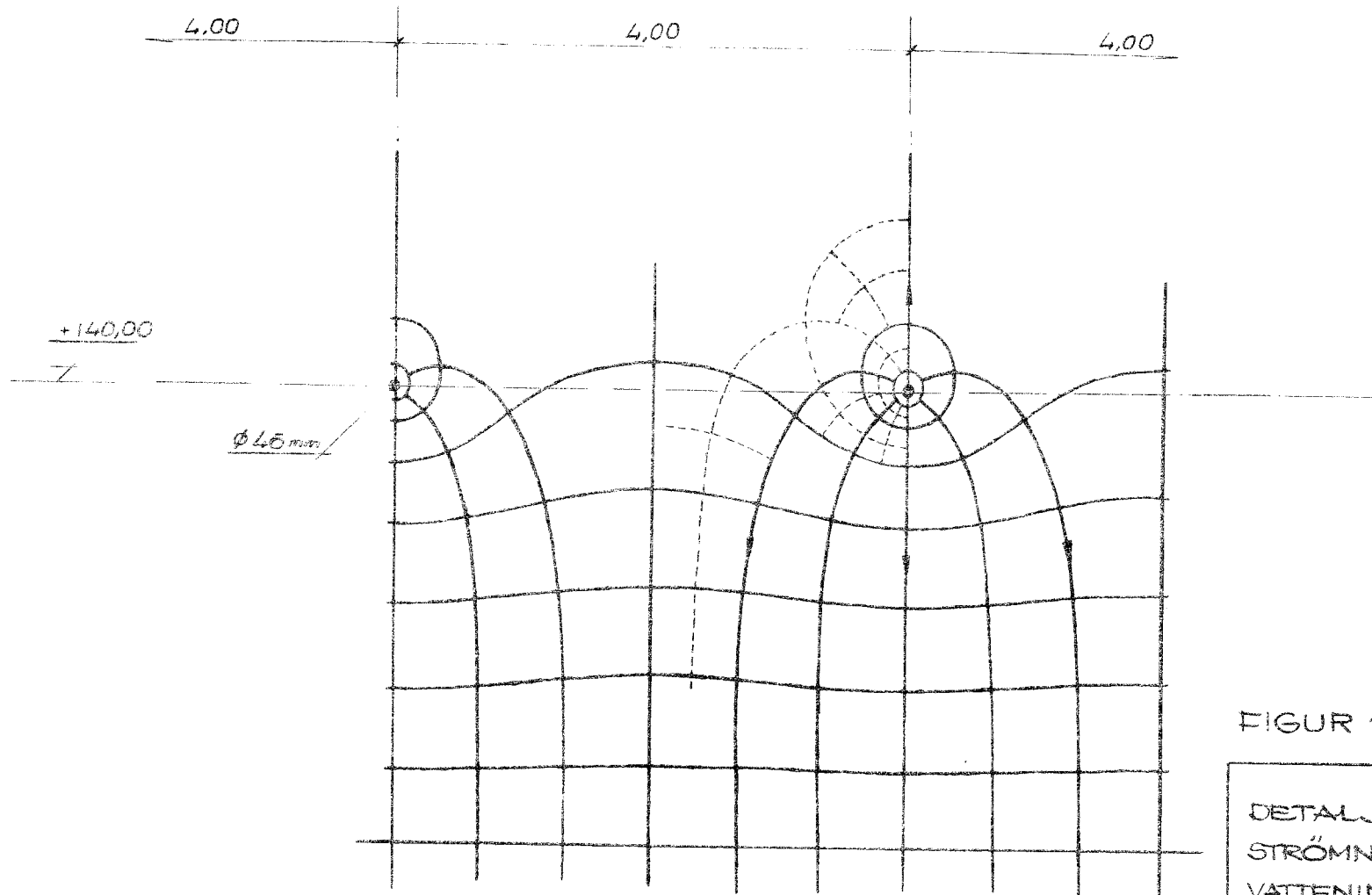
+ 140,00

+ 110,00



FIGUR 12

SEKTION A-A
POTENTIALSTRÖMNINGSNÄT
VATTENRIDÅÖVERTRYCK 80 kPa
ISOTROP PERMEABILITET



FIGUR 13

DETALJ AV POTENTIAL-
STRÖMNINGEN KRING
VATTENINFILTRATIONS-
HÅL. ISOTROP PERM-
EABILITET.

FÖRTECKNING ÖVER SKBF PROJEKT KBS TEKNISKA RAPPORTER

- 79-01 Clay particle redistribution and piping phenomena in bentonite/
quartz buffer material due to high hydraulic gradients
Roland Pusch
University of Luleå 1979-01-10
- 79-02 Försöksområdet vid Finnsjön
Beskrivning till berggrunds- och jordartskartor
Karl-Erik Almén
Lennart Ekman
Andrzej Olkiewicz
Sveriges Geologiska Undersökning november 1978
- 79-03 Bergmekanisk bedömning av temperaturbelastning vid slutförvaring
av radioaktivt avfall i berg
Ove Stephansson
Bengt Leijon
Högskolan i Luleå 1979-01-10
- 79-04 Temperatur- och spänningsberäkning för slutförvar
Taivo Tarandi
VBB Vattenbyggnadsbyrån, Stockholm februari 1979
- 79-05 Kompletterande berggrundsundersökningar inom Finnsjö- och
Karlshamnsområdena
Andrzej Olkiewicz
Sören Scherman
Karl-Axel Kornfält
Sveriges Geologiska Undersökning 1979-02-02
- 79-06 Kompletterande permeabilitetsmätningar i Karlshamnsområdet
Gunnar Gidlund
Kenth Hansson
Ulf Thoregren
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1979
- 79-07 Kemi hos berggrundvattnen i Blekinge
Gunnar Jacks
Institutionen för Kulturteknik, KTH, februari 1979
- 79-08 Beräkningar av grundvattenrörelser inom Sternöområdet i Blekinge
John Stokes
Institutionen för Kulturteknik, KTH, februari 1979
Preliminär utgåva

- 79-09 Utvärdering av de hydrogeologiska och berggrundsgeologiska
 förhållandena på Sternö
 Kaj Ahlbom
 Leif Carlsson
 Gunnar Gidlund
 C-E Klockars
 Sören Scherman
 Ulf Thoregren
 Sveriges Geologiska Undersökning, Berggrundsbyrån,
 februari 1979
- 79-10 Modellberäkningar av grundvattenförhållandena på Sternö
 Carl-Lennart Axelsson
 Leif Carlsson
 Sveriges Geologiska Undersökning mars 1979
- 79-11 Tolkning av permeabilitet i en befintlig berganläggning
 Ulf Lindblom
 Alf Norlén
 Jesús Granero
 Kent Adolfsson
 Hagconsult AB februari 1979
- 79-12 Geofysisk borrhålsmätning
 Kurt-Åke Magnusson
 Oscar Duran
 Sveriges Geologiska Undersökning februari 1979