



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

R51:1977

Grundvatteninläckning i tunnlar och bergrum

**En dokumentation av
förhållandena vid 73 tunnel-
avsnitt och bergrum i Sverige**

Magnus Bergman



Byggforskningen

Ser

R51:1977

GRUNDVATTENINLÄCKNING I TUNNLAR OCH BERGRUM
EN DOKUMENTATION AV FÖRHÅLLANDENA VID 73
TUNNELAVSNITT OCH BERGRUM I SVERIGE

av

Magnus Bergman, Hagconsult AB, Stockholm

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730237- 8
från Statens råd för byggnadsforskning till Hagconsult AB,
Stockholm.

Nyckelord:

tunnlar
bergrum
geologi
grundvatten
inläckning
läckvattenmätning

R51: 1977

UDK 624.19
624.131.6

ISBN 91-540-2730-6
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1977

INNEHÅLL

FIGUR- OCH TABELLFÖRTECKNING	4
1 ALLMÄNT	7
1.1 Introduktion	7
1.2 Problemställning	8
1.3 Målsättning	10
2 DEN AKTUELLA UNDERSÖKNINGENS UPPLÄGGNING	11
2.1 Typ av underjordsanläggning	11
2.2 Läckvattenmätning	11
2.3 Ingående objekt	13
2.4 Tillgängligt dokumentationsmaterial	15
2.5 Resultat	15
3 DISKUSSION AV RESULTAT	23
3.1 Värdenas spridning	23
3.2 Brunnsborrningsdata och borrhålsdata	25
3.3 Vattenföring i berg	27
3.4 Förundersökning och projektering	28
3.5 Utvärdering av injekterade avsnitt	28
3.6 Åtgärder	28
3.7 Geologi och vattenföring	29
4 SLUTSATSER PÅ BASIS AV DET STUDERADE MATERIALET	31
5 REFERENSER	32

FIGUR- OCH TABELLFÖRTECKNING

- FIG. 1. Figuren visar sambandet mellan det dåliga berget (krosszonen) och depressionen i berggrunden - den isolerade lerförekomsten (lersköl) samt tunneln som åderlåter marklagren på grundvatten. Krosszonen verkar här som ett täckdike som punkterats genom tunneln. Inläckningen kan därför få ödesdigra konsekvenser för ovanförliggande bebyggelse utan att därför läckvattenmängderna behöver vara särskilt höga.
- FIG. 2 a. Genom att mäta den vattenmängd som rinner över figurens Thomson överfall erhålles ett mått på inläckningen inom det invallade tunnelavsnittet. Antingen kan vattenmängden mätas under ett särskilt tidsintervall eller så kan höjden h kontinuerligt registreras på skrivare, vilket möjliggör att exakta vattenmängden som passerar per tidsenhet kan beräknas eftersom överfallets geometri är bestämd.
- FIG. 2 b. Genom att mäta den mängd vatten som pumpas upp ifrån pumpgruppen per tidsenhet erhålles ett mått på inläckande vattenmängd i bergrummet. Är pumpkapaciteten känd kan vattenmängden även bestämmas genom att uppgifter om pumpens gångtid erhålls.
- FIG. 3. De studerade objektens spridning i Sverige. De aktuella objekten ligger inom det prickkrastrerade området.
(//// = kambro silur)
- FIG. 4. Mätobjektens läckvattendata som funktion av den mot varje bergavsnitt svarande omgivande bergytan, dvs. väggar, tak och golv. Tunneldata och bergrumsdata har olika beteckningar.
- FIG. 5. Spridningen av de i TAB. 1 redovisade objekten framgår av denna figur då samma sifferbeteckning används. Varje värdesläge i FIG. 4 korresponderar med motsvarande läge för ett nummer i FIG. 5, vilket medför att bergrumsobjektet och tunnelobjektet kan särskiljas.
- FIG. 6. Mätobjektens läckvattendata redovisade som funktion av den för varje objekts signifikativa tunnel- och bergrumslängden.
- FIG. 7. Mätobjektens läckvattendata redovisade som funktion av den för respektive mätenhet svarande teoretiskt utsprängda bergvolymen.
- FIG. 8 a. Schematisk beskrivning av det bergrum där tryckflödesförsök i full skala genomfördes. Bergrummet och schaktet vattenfylldes och trycknivån valdes genom att variera vattennivån i schaktet. Tillfartstunneln och vattenridåtunneln var ej vattenfyllda utan

vid atmosfärstryck. Tillrinningen av läckvatten vid respektive pumpgröpar mättes vid de valda trycknivåerna.

- FIG. 8 b. Det erhållna sambandet mellan tryck och flöde vid de valda trycknivåerna enligt FIG. 8 a.
- FIG. 9. Samtliga tunnelobjekts läckvattendata redovisade som funktion av den blottade utsprängda bergytan.
- FIG. 10. Samtliga tunnelobjekts läckvattendata redovisade som funktion av den för varje avsnitt signifikativa tunnellängden.
- FIG. 11. Läckvattenmängden vid de studerade 73 underjordsanläggningarna. Varje med cirkel omskriven punkt hänför sig till mätobjekt med höga läckvattenmängder. Vattenföringen i prekambrisk gnejs- och granitformationer torde kunna förväntas ligga inom det skuggade området för bergmassan inklusive naturlig sprickighet men exklusive större tektoniskt betingade störningar. Som framgår har bergmassan vid flertalet av anläggningarna en effektiv permeabilitet som ligger mellan 10^{-8} och 10^{-7} m/s.
- TAB. I. Geologin vid de studerade anläggningarna.
- TAB. II. Utförda förundersökningar och uppföljningar vid de studerade anläggningarna.
- TAB. III. Resultaterande förstärkningskostnader från olika berg-rumsanläggningar i svenska graniter och gnejser.

GRUNDTVATTENINLÄCKNING I TUNNLAR OCH BERGRUM

EN DOKUMENTATION AV FÖRHÅLLANDENA VID 73 TUNNEL- AVSNITT OCH BERGRUM I SVERIGE

1 ALLMÄNT

1.1 Introduktion

Dåligt berg i kombination med vatten har alltid inneburit stora problem för tunnelbyggaren. Störst har problemen varit med stora, oväntat påkommande vattengenombrott som man har haft svårigheter att bemästra.

Under de senaste 25 åren har underjordsbyggandet i berg expanderat mycket kraftigt i Sverige. Såväl tunnlar för vattenförsörjning som tunnlar för avlopp åt kommuner och industrier byggs i ökande takt. I samband med utbyggnaden av vattenkraftförsörjningen har tunnlar och bergrum byggts sedan lång tid tillbaka. Stora underjordiska bergrum för lagring av olja och gas, för garage, för förvaring av frysta varor och för försvarsändamål har byggts och byggs över hela landet. I stockholmsregionen finns det i dag ett utbyggt nät av tunnlar av ca 500 km längd. I Göteborg och i flera andra stora svenska städer är en liknande utbyggnad på gång eller under planering.

Med undantag av vattenkraftstunnlarna i fjällranden är de flesta underjordsanläggningarna i Sverige belägna i prekambrisk berggrund, mestadels bestående av graniter och gnejser. Dessa kristallina bergarters mekaniska egenskaper är normalt mycket goda och vattengenomsläpligheten hos själva bergarterna är försumbar, vilket innebär att det inte förekommer vattenrörelser av praktisk betydelse längs fogarna mellan de enskilda kristallerna.

Berggrunden är alltid mer eller mindre uppsprucken och genom-satt av rörelsezoner. Sprickor och krosszoner kan ge bergmassan en avsevärd vattengenomsläplighet, vilken måste beaktas från byggnadssynpunkt. Om dessa "kanaler" i berget har direkt kontakt med stora vattenmagasin kan vattentillrinningen bli av sådan storleksordning att drivningsarbetet måste avbrytas och omfattande tätnings- och säkerhetsarbeten utföras. Vid några tillfällen har katastroftillbud inträffat genom plötsliga vattenflöden, med ca 5 000-10 000 l/min. från sprickzoner och öppna sprickor. (Zoner som för 100-200 l/min. kan betraktas som starkt vattenförande.) Mot dessa "artärer" i bergmassan måste åtgärder vidtas, och skall resultatet bli bra fordras vanligen förinjektering. I de flesta svenska bergarter erhålls med ett begränsat antal injekteringshål normalt tillfredsställande resultat, Morfeldt (1967).

I graniter, i synnerhet nära ytan, har sprickigheten ofta ett parallelepipediskt mönster med ett system av kommunicerande sprickor med stor utsträckning.

I gnejser och i åtskilliga andra metamorfa bergarter är vanligen sprickigheten parallell med förskiffringsriktningen. Dessa sprickor uppträder mycket ofta isolerade med dålig inbördes kommunikation.

I motsats till kristallina bergarter erhåller man i en "porös" sedimentär berggrund, där bergarten i sig själv har en viss vattengenomsläpplighet liksom i lagrade bergarter med läckande inlagringar och skiktfogar allteftersom tunnelfronten avancerar, en vatteninläckning vars summaeffekt till sist kan bli ohanterlig. Några direkta katastroftillbud innebär emellertid inte dessa fall.

1.2 Problemställning

Vatteninläckning vid drivning av tunnlar och bergrum kan i huvudsak innebära två principiella problem:

- Inläckningen är så stor att säkerheten och ekonomin för "tunnelbyggaren" äventyras. Starkt vattenförande diskontinuiteter uppträder i kombination med nedsatt bergkvalitet, vilket normalt minskar drivningshastigheten. Injektering, förstärkning och pumpning fordras, vilket påverkar tidplan och kostnadsramar negativt.
- Inläckningen är liten, vilket inte hindrar själva drivningen, men överliggande infiltrationsområde är känsligt och tål ingen eller ringa vattenavtappning. Om ett sådant område, bestående av överlagrande jordtäcke, är bebyggt, FIG. 1, kan "tunnelbyggaren" utan att själv uppmärksamma det, orsaka mycket omfattande skador på byggnader, ledningar och gator. Kostnaden för att återställa sådana skador kan bli mångfaldigt högre än att täta och åtgärda berget direkt vid drivningen. Vid utförande av bergrum för olje- och gaslagring är det för den framtida funktionen väsentligt att bergmassans spricksystem ej töms på vatten. Detta innebär att även små vattenläckage ofta behöver åtgärdas för att ej påverka den nödvändiga grundvattenbalansen, Broms (1973) och Morfeldt (1969).

Enstaka vattenförande sprick- och krosszoner uppträder med en frekvens som sammanhänger med berggrundens tektoniska påkänningar. I vissa tunnlar kan dessa svaghetszoner ligga med inbördes avstånd på upp till 100 m och i andra åter ligger de mycket tätt. Mellan dessa zoner kan berget betraktas som tätt. Vattenföringen i sprick- och krosszoner kan variera inom vida gränser, från de tidigare nämnda katastrofmängderna på 5 000-10 000 l/min. ned till 5 å 10 l/min. Erfarenhet från läckvattenpumpningar från såväl tunnlar som bergrum visar att de mellanliggande avsnitten i granit-gnejs berggrunden är måttligt vattenförande, till och med vid bergarbeten under hav och andra vattendrag, Morfeldt (1972).

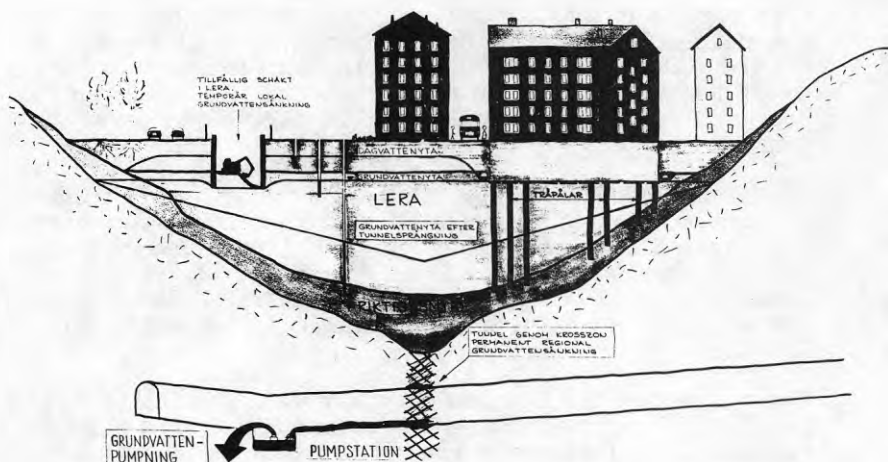


FIG. 1. Figuren visar sambandet mellan det dåliga berget (krosszonen) och depressionen i berggrunden - den isolerade lerskölen (lersköl) samt tunneln som åderlåter marklagren på grundvatten. Krosszonen verkar här som ett täckdike som punkterats genom tunneln. Inläckningen kan därför få ödesdigra konsekvenser för ovanföriggande bebyggelse utan att därför läckvattenmängderna behöver vara särskilt höga.

Det finns en principiellt sett betydelsefull skillnad mellan de nämnda två huvudfallen. När inläckningen är stor är det mängden läckvatten som är direkt avgörande för störningsgraden. Det blir då pumpkapaciteten (och pumpkostnaden) som är den dimensionerande faktorn. Vid sättningskänsliga jordtäkta infiltrationsområden eller vid utförande av bergrum för lagring av produkter under tryck är det inte kvantiteten av inläckande vatten som är avgörande för graden av ett inträffat läckages allvar utan fastmer det grundvattentrycket representerande sprickvattentrycket i den utsprängda håligheten omgivande bergmassa. Sjunker sprickvattentrycket i det omgivande berget så mycket att ovanför liggande jordmassor dräneras kan, vid ogynnsamma förhållanden, t. ex. vid lerbassänger med lokala grundvattenmagasin, bestående konsolideringssättningar i leran åstadkommas genom att portrycket i denna successivt kommer att öka i takt med att vattnet pressas ur leran. Då det ännu ej finns någon tillfredsställande apparatur för att produktionsmässigt mäta sprickvattentryck i berg vid drivning av tunnlar och bergrum använder man (i mitt tycke tvivelaktigt) fortfarande läckvattenmängder som kriterium på täthetsnivåer, när sådana data kontinuerligt kan mätas och redovisas. Ett sådant läckvattenkriterium, som inte direkt är relevant för problemställningen: grundvattensänkning, tenderar genomgående att bli allt försiktigare ju fler kontroverser som uppstår mellan tunnelbyggare och mark- och fastighetsägare.

Medelvärde för en acceptabel vatteninläckning i ett oljefyllt bergrum på ca $50\,000\text{ m}^3$ anses ligga kring 20 m^3 per dygn.

I bra berg är läckvattenmängden, efter utförd tätning av förekommande större vattenförande zoner, vanligen lägre än detta värde. Det kan i detta sammanhang vara lämpligt att påpeka att dessa bergrum normalt är placerade i bästa tillgängliga bergparti, vilket måste beaktas vid bearbetning av dessa värden.

Som jämförelse kan nämnas att under flera år utförda mätningar inom begränsade tunnelavsnitt i Stockholmstrakten visar på att vatteninläckningen stannar vid 30-70 l/min. och km tunnel. Trots dessa tämligen låga värden kan avsevärda grundvattensänkningar åstadkommas i ovanliggande särskilt sättningskänsliga områden, såsom tidigare omnämnda lerbassängerna med lokala grundvattenmagasin.

Genom kontinuerlig förinjektering strävar man i dag att i bergtunnlar i Göteborg och Stockholm inom tätt bebyggda områden reducera läckvattenmängderna till 10 l/min. och km tunnel. I Göteborg har VA-verket till och med diskuterat det ännu högre kravet på 5 l/min. och km tunnel.

Någon sammanställning på grundvatteninläckning i olika bergtunnlar och bergrum finns ej tidigare publicerad.

1.3 Målsättning

Denna undersökning syftar till att med utgångspunkt från tillgängligt dataunderlag från redan utförda bergrum och tunnlar bättre söka klargöra faktorer som påverkar bergmassans vattenföring. Genom att sammanställa data från ett antal geografiskt spridda underjordsanläggningar i den svenska urbergsskolen är avsikten med denna undersökning att söka finna eventuella samband mellan bergkonfiguration/bergkvalitet och faktorer som orsakar vatteninläckning i anläggningarna.

2 DEN AKTUELLA UNDERSÖKNINGENS UPPLÄGGNING

2.1 Typ av underjordsanläggning

I samtliga underjordsanläggningar, oavsett objektets användningsområde, spelar problemen med vatten en avgörande roll, såväl vid byggandet som vid driften av anläggningen. Man kan därför utan överdrift påstå att vattenproblem i samband med anläggningar under jord praktiskt och ekonomiskt tillhör de viktigare frågorna både vid projektering och utförande av underjordsanläggningar. I den aktuella inventeringen av underjordsobjekt har två frågor varit styrande vid genomgången av det dokumenterade materialet från anläggningarna.

- Finns läckvattendata registrerade?
- Är geologin från anläggningsnivån dokumenterad?

Att dessa två frågor blir positivt besvarade är givetvis en absolut förutsättning för en läckvattenanalys av en anläggning.

Det visade sig att det i huvudsak var två typer av underjordsanläggningar där dessa uppgifter fanns registrerade och således meningsfullt kunde bearbetas.

1. Tunnlrar i tätbebyggda områden med specifika grundvattenproblem.
2. Bergrum för petroleumlagering, som beror av omgivande grundvatten för sin funktion.

I fråga om tunnlar under sättningskänsliga områden har det utvecklats till ett krav för tunnelbyggaren att hålla en noggrann kontroll över läckvattenflödet. Se vidare Lysén & Palmqvist (1976).

Vid olje- och gaslagringsanläggningar som utförs i oinklädda bergrum är ett skyddande grundvatten ett oeftergivligt krav för anläggningens funktion och säkerhet. För kontroll av grundvatten utförs därför en ridå av observationsrör runt berganläggningen och skulle av någon anledning grundvattnet tendera att sjunka under anläggningsnivån måste vatteninfiltration i igångsättas. Se Morfeldt (1974). Man strävar dock efter att hålla inläckningen så liten som möjligt eftersom det inläckande vattnet även under driften av anläggningen kontinuerligt måste pumpas bort och då ofta måst värmas liksom oljan. Dessa faktorer påkallar således motiv för dels grundvattenkontroll, dels minimering av läckvattnet till bergrummen, vilket har gjorts att dessa anläggningar gett ett utomordentligt bidragstillskott till denna undersökning. Rent generellt kan dock konstateras att dokumentationen ifrån underjordsanläggningar med få undantag är mycket knapphändig.

2.2 Läckvattenmätning

Den mätmetodik som tillämpats vid de olika läckvattenmätningar som gjorts vid de studerade anläggningarna varierar mycket från objekt till objekt. För att undvika alltför grova antaganden

har i denna undersökning för tunnelobjekt endast tagits med sådana som utförts med överfallsmätning med klart avgränsade uppsamlingssträckor. För bergrum som är begränsade i utsträckning har provpumpning i pumpgrop med definierade uppsamlingsområden accepterats, FIG. 2a och b. Mycket vederhäftiga långtidsvärden erhålls ifrån oljelagringsbergrum under driftförhållanden, där läckvattenmängderna i dessa kontinuerligt registreras.

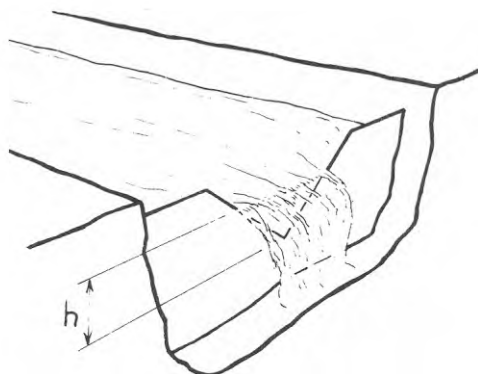


FIG. 2 a. Genom att mäta den vattenmängd som rinner över figurens Thomson överfall erhålles ett mått på inläckningen inom det invallade tunnelavsnittet. Antingen kan vattenmängden mätas under ett särskilt tidsintervall eller så kan höjden h kontinuerligt registreras på skrivare, vilket möjliggör att exakta vattenmängden som passerar per tidsenhet kan beräknas eftersom överfallets geometri är bestämd.

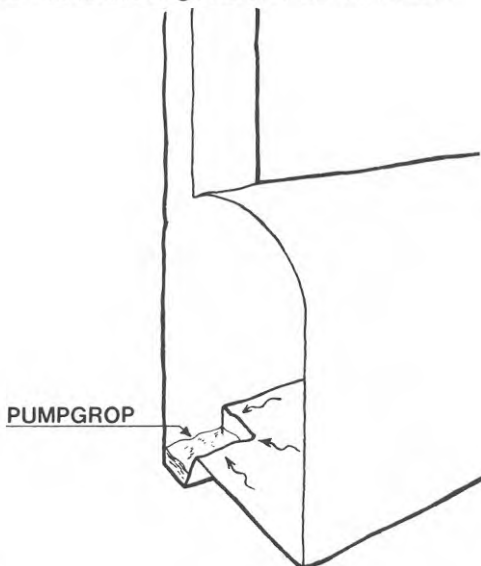


FIG. 2 b. Genom att mäta den mängd vatten som pumpas upp ifrån pumpgropen per tidsenhet erhålles ett mått på inläckande vattenmängd i bergrummet. Är pumpkapaciteten känd kan vattenmängden även bestämmas genom att uppgifter om pumpens gångtid erhålls.

Då läckvattenvärdena ofta är ofullständigt dokumenterade har i vissa fall antaganden gjorts angående deras insamlings sätt. Borrvattnets inverkan på mätresultatet har beaktats i möjligaste mån genom att endast värden från läckvattenmätningar utförda efter helger tagits med.

Det förekommer olika sätt att redovisa läckvattenmängder i tunnlar och bergrum. I fråga om tunnlar förekommer vanligen enheten l/min. och km tunnel eller l/s och km tunnel. I bergrum talar man normalt om $m^3/dygn$.

Samtliga dessa måtenheter kommer att studeras i denna rapport. Dessutom kommer en ny enhet att definieras, nämligen kvantiteten läckvatten per frilagd eller blottad omgivande bergyta, dvs. sektionens tak, väggar och golv, l/m^2 bergyta. Denna måtenhet medger diverse jämförelser mellan bergrum, stora tunnlar och små tunnlar.

2.3 Ingående objekt

Inom ramen för denna undersökning har 57 underjordsanläggningar studerats. I huvudsak uppfyller 17 av dessa anläggningar de minimikrav på läckvattenredovisning och geologisk dokumentation som finns behandlade i kapitel 2.1. Av dessa 17 anläggningar är 4 tunnlar och 13 bergumsanläggningar. Varje tunnel består i sin tur av flera olika tunnelavsnitt, vart och ett utgörande en definierad enhet vad gäller utförda läckvattenmätningar. På samma sätt kan en bergumsanläggning bestå av flera bergrum som utgör olika mätobjekt avseende utförda läckvattenmätningar. Som framgår av FIG. 3 är dessa 17 objekt väl fördelade över landet. En viss koncentration till mellansverige kan förmärkas. Då en del av de studerade anläggningarna är hemliga är anläggningarna ej namngivna eller lägesangivna i rapporten, vilket ur teknisk synvinkel är betydelselöst. De studerade anläggningarna är huvudsakligen belägna i prekambrisk berggrund där graniter, gnejser och gnejsgraniter, i praktiken är de enda förekommande bergarterna, TAB.I.



FIG. 3. De studerade objekts spridning i Sverige. De aktuella objekten ligger inom det prickrastrerade området.
(// = kambro silur)

TAB. I. Geologin vid de studerade anläggningarna.

Anl.	Bergart	Anm. ang. vatteninläckning
1.	Bohusgranit	Bankning, krosszoner i huvudsprickriktning
2.	Bohusgranit	Bankning, krosszoner i huvudsprickriktning
3.	Gnejsgranit, halvskalisk	Stort läckage i krosszon
4.	Järngnejs, halvskalisk	Två krosszoner, starkt vattenförande
5.	Medelkornig gnejsgranit	-
6.	Gnejsgranit med inslag av grönsten	-
7.	Grovkristallin gnejsgranit	Krosszoner i två riktningar
8.	Grovkristallin Revsundsgranit	Större sprickzon
9.	Granit, gnejs och norit	Kontinuerlig förinjektering
10.	Rödgrå gnejsgranit+grönsten	Starkt uppsprucken bergmassa med ett flertal kross- och sprickzoner
11.	Gnejsgranit	Basaltgångar
12.	Gnejs	-
13.	Gnejs	-
14.	Grovkristallin ögongranit	-
15.	Revsundsgranit	Diabasgångar
16.	Gnejs	-
17.	Sörmlandsgnejs	-

2.4 Tillgängligt dokumentationsmaterial

För de olika anläggningarna har ett mycket varierande geologiskt och bergtekniskt dokumentationsmaterial funnits tillgängligt. Utförda geologiska undersökningar har varit mycket skiftande till omfattning och uppläggning. Grundvattenobservationshål har förekommit vid varje studerat objekt i varierande omfattning. Som framgår av TAB. II kan dessvärre endast 7 av de 17 anläggningarna göra anspråk på att vara tillfredsställande uppföljda i byggnadsgeologiskt avseende, vilket medfört att vissa generaliseringar och antaganden har måst göras i bearbetningen av det dokumenterade materialet. Detta förhållande innebär även att detaljerade jämförelser mellan de olika anläggningarna lätt kan ge missvisande resultat. För att överhuvudtaget kunna jämföra de olika objektens läckvattenmängder sinsemellan måste den mot varje läckvattendata svarande geologiska formationen, dvs. inverkan bergmassan, kunna definieras. Detta förutsätter dock att en tämligen detaljerad geologisk kartering av väggar och tak utförts och att eventuella injekteringsåtgärder dokumenterats såväl avseende omfattning som resultat. För de studerade objekten gäller detta förhållande endast i begränsad omfattning.

Vid samtliga studerade objekt har förekommande besvärande kross- och sprickzoner med störande vattenföring efterinjekterats. Injekteringen har med några undantag drivits så långt att den uppmätta läckvattenmängden reducerats till acceptabel nivå. Undantagen kommer att diskuteras särskilt. I princip innebär detta att inverkan från mer omfattande vattenförande störningszoner har eliminerats vid bedömning av de här studerade läckvattenmängderna. Det för respektive läckvattenuppgifter svarande bergavsnitt som studerats vid varje objekt kan således antas vara representativt för bergmassan i området, exklusive större kross- och sprickzoner, vilket område här kommer att kallas den "normala bergmassan". Ett av de studerade objekten har förinjekterats kontinuerligt, vilket har medfört mycket låga läckvattendata, trots en ytlig förläggning i en orolig berggrund.

En annan faktor som med viss tidsfördröjning påverkat läckvattenflödet är årstidsvariationen av nederbörden. Då undersökningen i övrigt bygger på tämligen grova data med stora osäkerhetskällor, har dessa variationer inte beaktats här. Ett medelvärde av de uppmätta läckvattenmängderna har ansetts vara tillfyllest i detta sammanhang.

2.5 Resultat

De 73 olika mätobjekten, dvs. varje definierad tunnel eller bergrumsenhet som utgjort ett separat läckvattenmätområde enligt tidigare, har lokaliserats och tagits fram ur det befintliga materialet. I FIG. 4 har de olika mätenheternas läckvattendata lagts in. De olika läckvattendatana redovisas som funktion av den mot varje bergavsnitt svarande blottade bergytan. För att skilja tunneldata från bergrumsdata har beteckningarna varierats. Dessutom urskiljs data från förinjekterade avsnitt. Vissa studerade objekt kan bestå av flera separat mätta bergavsnitt i form av olika bergrum eller olika tunnelavsnitt. Samma anläggning kan således representeras av flera värden,

TAB. II. Utförda förundersökningar och uppföljningar vid de studerade anläggningarna.

Anläggning nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1. Geologisk kartering	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Refraktionsseismik	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
3. Borrhålsundersökningar	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3:1 Kärnborrhål, antal	-	1	4	3	-	4	2	2	4	4	4	-	-	2	2	-	-
3:2 Hammarborrhål, antal	4	-	-	-	-	-	-	-	(jb)	-	-	4	6	-	-	6	(jb)
3:3 Vattenprovtryckning	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	-
3:4 TV-granskning, antal hål	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	6	-
4. Grundvattenobs. hål, antal	5	2	2	2	2	1	4	3	100	5	1	6	9	2	2	9	-
5. Byggnadsgeologisk uppföljning i anläggningen under utsprängningen	x	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	-	-	x	x
6. Metod för läckvattenmätning	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	x
6:1 Överfallsmätning	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	-	-	x
6:2 Pumpgrop	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	x	-

(jb = jord-berg sondering)

vilket även framgår av FIG. 5, som visar spridningen av värdena från anläggningarna enligt TAB. I. I FIG. 6 är mätobjektens läckvattendata redovisade som funktion av tunnel- och berggrumslängden. Samma beteckningssystem för tunneldata respektive berggrumsdata som i FIG. 4 har använts. I FIG. 7 är mätenheternas läckvattendata redovisade som funktion av den för respektive mätenhet svarande teoretiskt utsprängda bergvolymen.

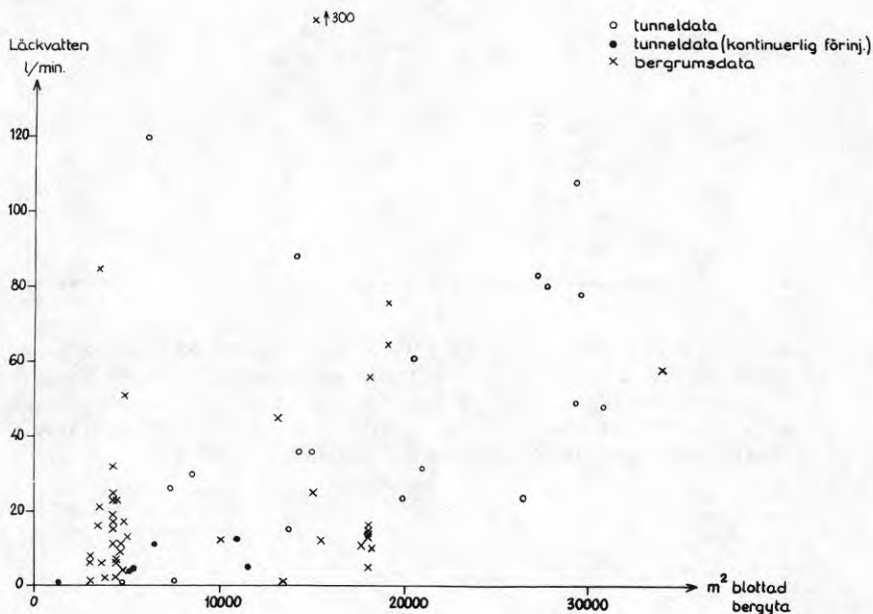


FIG. 4. Mätobjektens läckvattendata som funktion av den mot varje bergavsnitt svarande omgivande bergytan, dvs. väggar, tak och golv. Tunneldata och berggrumsdata har olika beteckningar.

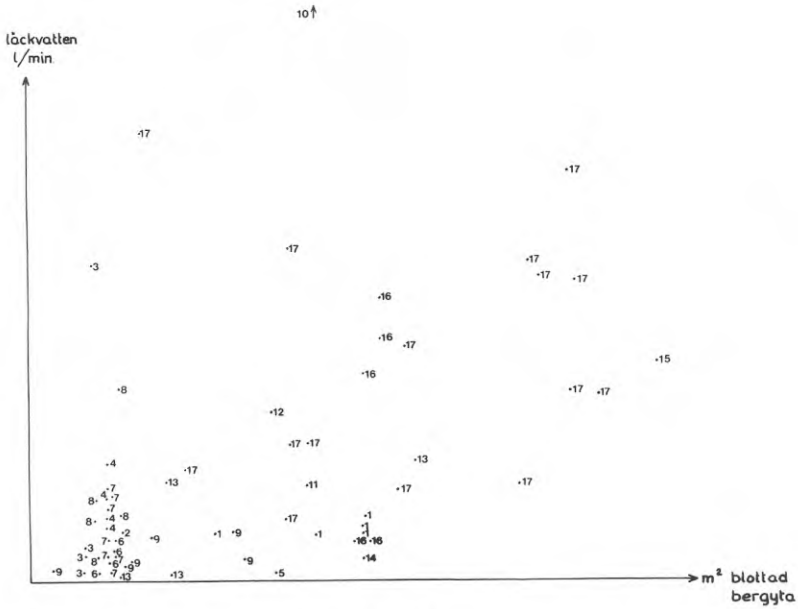


FIG. 5. Spridningen av de i TAB. I redovisade objekten framgår av denna figur då samma sifferbeteckning används. Varje värdesläge i FIG. 4 korresponderar med motsvarande läge för ett nummer i FIG. 5, vilket medför att bergrumsobjektet och tunnelobjektet kan särskiljas.

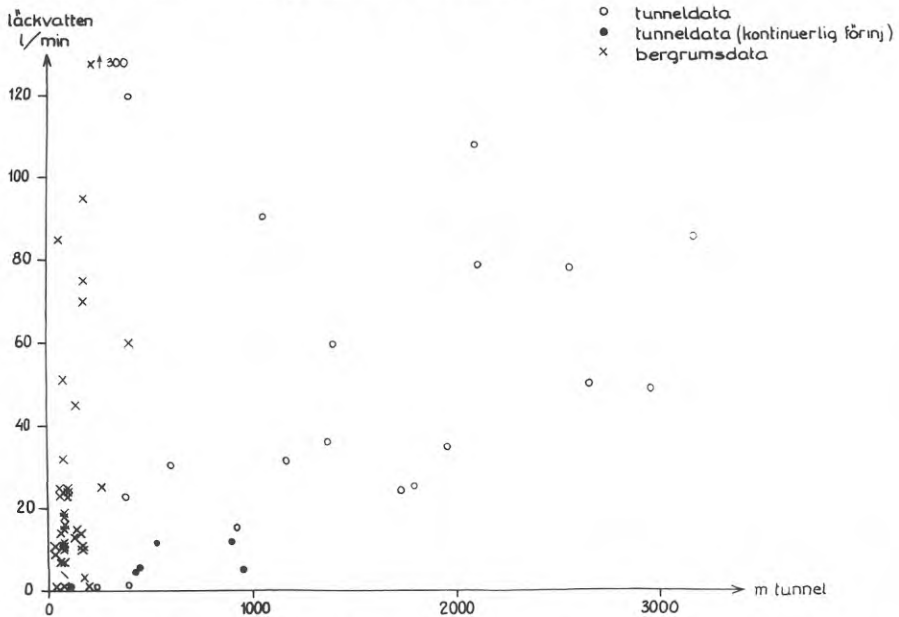


FIG. 6. Mätobjektens läckvattendata redovisade som funktion av den för varje objekts signifikativa tunnel- och bergrums-längden.

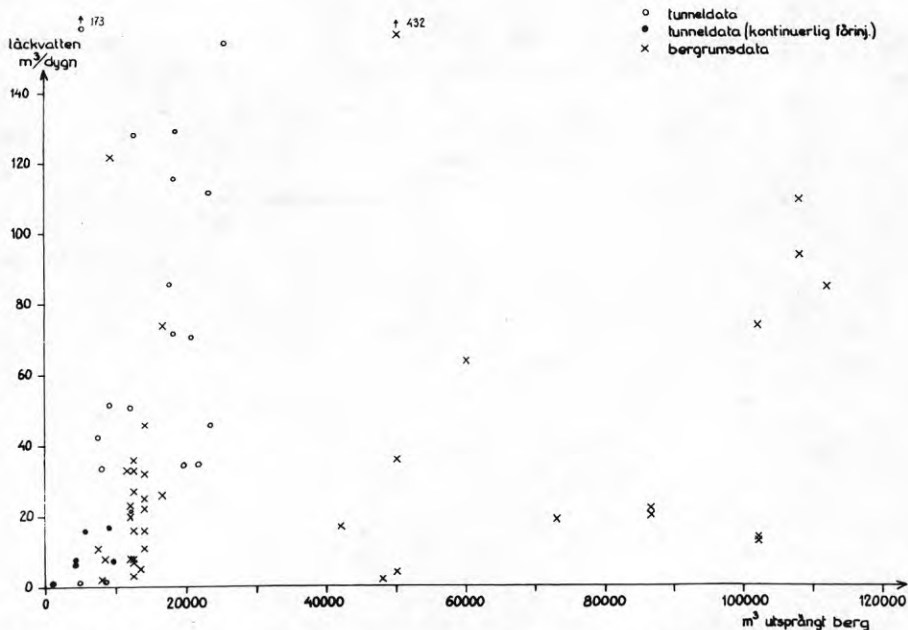


FIG. 7. Mätobjektens läckvattendata redovisade som funktion av den för respektive mätenhet svarande teoretiskt utsprängda bergvolymen.

Vissa av de studerade bergrummen är avsedda för långtidslagring av olika oljeprodukter och har således varit fyllda. Följaktligen har väggarna varit utsatta för ett oljemottryck under de kontinuerligt utförda läckvattenpumpningarna. För att få sådana data jämförbara har värdena omräknats till atmosfärstryck. Grundvattenobservationerna kan för samtliga bergrum påvisa att grundvattennivån runt de studerade anläggningarna ej avsänkts, vilket är en förutsättning för denna analys.

Ett resultat som erhållits i samband med denna undersökning är en skattning om de slutliga förstärkningskostnaderna för en del av berggrundsobjekten, TAB. III. Dessa förstärkningskostnader inkluderar totala kostnader för bultning, sprutning, betongarbeten och injektering. Som synes ligger kostnaderna väl samlade för huvuddelen av objekten. De två objekt som markant avviker uppåt är båda sådana objekt som har haft besvär med inläckande vatten och således drabbats av mycket omfattande injekteringsarbeten. Detta resultat understryker vatteninläckningens indirekta påverkan på resultatet i form av stillestånd, besvärliga bergtekniska förhållanden och därav föranledda extra förstärkningsåtgärder samt injekteringsarbeten. Totalkostnaden blir då ofta besvärande hög.

TAB. III. Resultande förstärkningskostnader från olika bergsrumsanläggningar i svenska graniter och gnejser.

Anläggning	Volym m ³	Förstärknings- kostnad kr/m ³	Anm.
A	50 000	30:-	omfattande injektering
B	50 000	11:-	omfattande injektering
C	70 000	6:85	
D	90 000	6:80	
E	>300 000	6:25	
F	35 000	6:20	
G	50 000	3:45	
H	40 000	2:55	
K	50 000	0:55	

I anslutning till denna undersökning har det även varit möjligt att följa ett mycket intressant fullskaleförsök om sambandet mellan läckvattenmängd och aktuell trycknivå i ett bergsrum. Bergsrummet i FIG. 8a och b, som var pluggat alldeles nedanför pump 1, fylldes med vatten genom det vertikala schaktet. Tillfartstunneln och galleriet över bergsrummet var ej vattenfyllda utan stod under atmosfärstryck. Genom att välja vattennivån i schaktet valdes trycknivåerna i bergsrummet till 0,49, 0,61 och 0,98 MPa. Tillrinning av läckvatten vid respektive pumpgröpar kunde mätas vid de olika trycknivåerna. Som framgår ökade läckvattenmängden vid ökad trycknivå i det närmaste rätlinjigt. Avvikelse beror sannolikt på ökade störningar i strömningsförloppet, friktionsmotstånd m. m. vid ökad strömningshastighet i sprickorna.

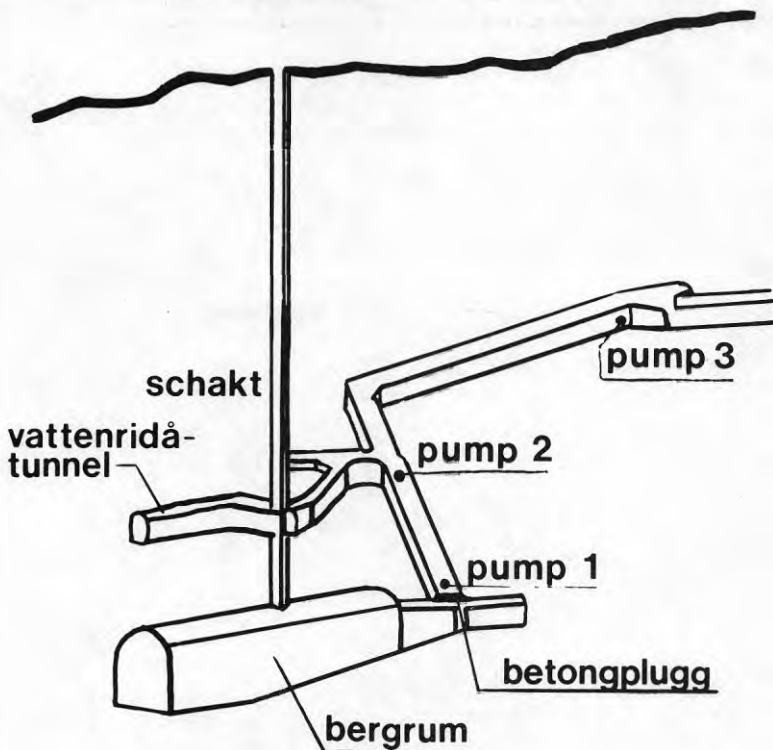


FIG. 8 a. Schematisk beskrivning av det bergrum där tryckflödesförsök i full skala genomfördes. Bergrummet och schaktet vattenfylldes och trycknivån valdes genom att variera vattennivån i schaktet. Tillfartstunneln och vattenridå-tunneln var ej vattenfyllda utan vid atmosfärstryck. Drinningen av läckvatten vid respektive pumpgropar mättes vid de valda trycknivåerna.

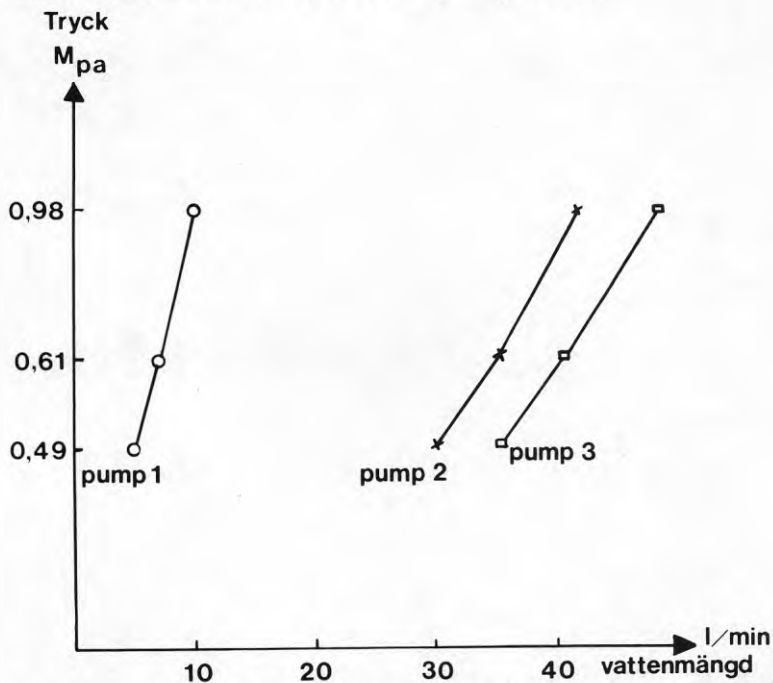


FIG. 8 b. Det erhållna sambandet mellan tryck och flöde vid de valda trycknivåerna enligt FIG. 8 a.

3 DISKUSSION AV RESULTAT

3.1 Värdenas spridning

Jämför man de tre olika redovisningssätten, redovisning av läckvattenmängderna som funktion av blottad bergyta, som funktion av längdmeter tunnel eller bergrum samt som funktion av utsprängd volym (FIG. 4, 6 och 7), kan man konstatera att endast enheten läckvattenmängd/m² blottad bergyta medger direkta jämförelser mellan långsträckta tunnlar med liten tvärsnitt och stora, korta bergrum med stor tvärsnitt. Betraktas enbart tunneldata så framgår av FIG. 9 och 10 att läckvattenmängden ställd mot blottad bergyta alternativt mot längdmeter tunnel principiellt ger samma fördelningsmönster. På motsvarande sätt ger bergrumsdata med läckvatten som funktion av blottad bergyta respektive som funktion av utsprängd bergvolym i väsentliga drag samma fördelningsmönster, FIG. 4 och 7. Att redovisa läckvattendata för tunnlar som funktion av utsprängd bergvolym torde vara direkt missvisande då de utsprängda tunnelvolymerna ofta är små, FIG. 6. Att redovisa läckvattendata för bergrum som funktion av längdmeter bergrum torde likaledes vara missvisande då bergrummen ofta har mycket begränsad utsträckning. I fortsättningen kommer diskussionen att basera sig på enheten l läckvatten/blottad bergyta för att göra diskussionen mera överskådlig. Dessutom erhålls vissa fördelar vid en analytisk utvärdering av resultatet som kommer att beröras nedan.

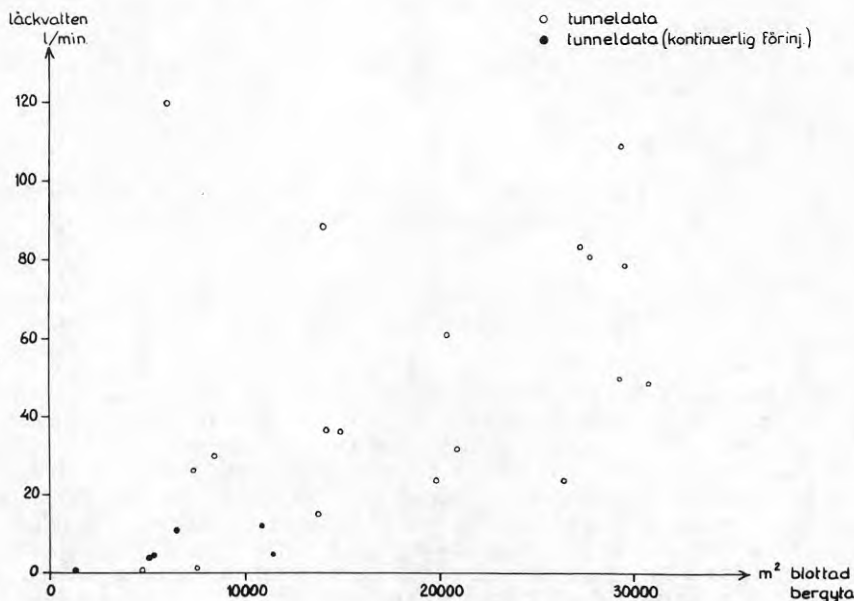


FIG. 9. Samtliga tunnelobjekts läckvattendata redovisade som funktion av den blottade utsprängda bergytan.

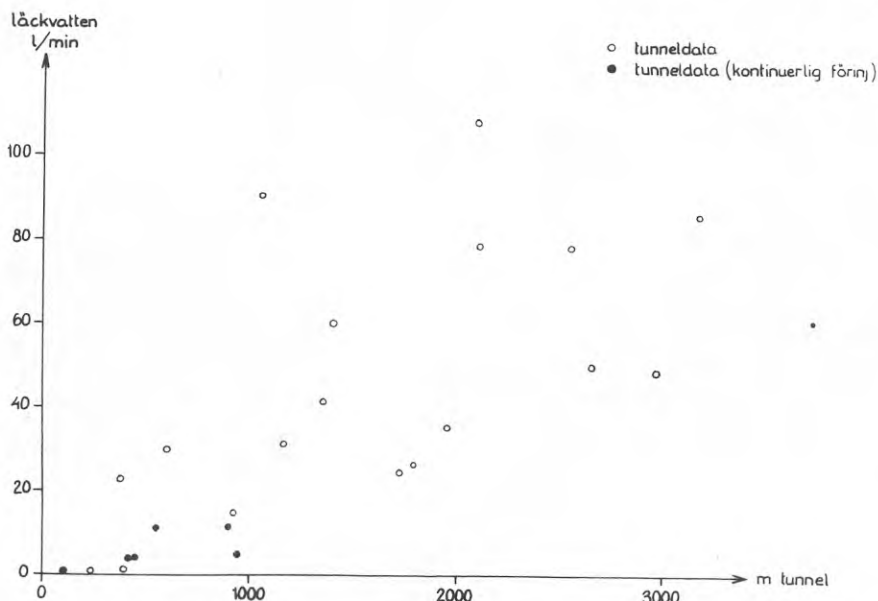


FIG. 10. Samtliga tunnelobjekts läckvattendata redovisade som funktion av den för varje avsnitt signifikativa tunnellängden.

Av FIG. 4 framgår att de olika mätenheternas värden uppvisar en ganska stor spridning. Det finns i princip tre huvudskäl till denna spridning.

1. Begränsade möjligheter att välja läge för anläggningen, såsom låst tunnelläge i höjd eller sidled, tillgänglighet av mark m. m., vilket omöjliggör att vattenförande zoner kan undvikas.
2. Ytlig förläggning av anläggningen varigenom den normala sprickigheten blir större och därmed vatteninläckningen.
3. Mindre utförliga och för ändamålet mindre väl anpassade förundersökningar, vilka medför överraskningar.

Extremvärdena i FIG. 4, 6 och 7 ger sig tillkänna lika markant. Så kan konstateras att samtliga de avvikande anläggningarna med mycket höga läckvattendata, jfr FIG. 11, härrör från anläggningar som antingen ligger mitt i uppsprucket berg eller passerar avsnitt med kraftigt uppsprucket och vattenförande berg. De två bergrumsanläggningarna ligger i mycket dåligt, starkt uppkrossat berg, som inte hade varit helt omöjligt att indikera i förundersökningsstadiet. De två tunnelavsnitten med höga läckvattenmängder härrör sig från tunnelavsnitt som passerar genom vattenförande rörelsezoner. Dessa i figuren med ringar markerade värden är således direkt betingade av alltför begränsade förundersökningsinsatser alternativt restriktioner ifråga om markval, vilket lett till mindre lyckad placering av anläggningarna från vattensynpunkt.

Här skall dock understrykas den väsentliga skillnad mellan tunnlar och bergrum i fråga om valfriheten i lokaliseringen. En tunnel är ju oftast avsedd att fylla ett transportbehov mellan två eller flera platser och således delvis låst till dessa i fråga om sträckningen. Däremellan finns viss valfrihet för dragningen av tunnelsträckningen. Bergmassan måste således väsentligen accepteras i befintligt skick, även i fråga om vattenföring. Tunnlar i tätort drabbas dessutom ofta av att bli förhållandevis ytligt placerade på grund av att de ingår i ett större tunnelsystem och därmed bli låsta i höjdläge. Detta ökar påtagligt risken för vatteninläckning då ytberget är mer uppsprucket än berget på djupet. Vid berggrumslokalisering finns betydligt större möjlighet i fråga om val av läge. Under förutsättning att markägandefrågan inte är helt låst redan innan en geologisk rekognoscering påbörjats torde åtminstone i regel acceptabla bergförhållanden kunna åstadkommas även inom mindre områden.

3.2 Brunnsborrningsdata och borrhålsdata

En väsentlig del av de kunskaper man i dag har om berggrundens vattenförande egenskaper i olika delar av landet är grundad på bearbetning av brunnsborrningsdata ifrån bergborrade brunnar, Wenner (1951), Meier & Sund (1952) och Eriksson (1976). De i olika register uppgivna kapaciteterna på bergborrade brunnar ger ett mått på bergets sprickighet.

Målsättningen i fråga om berggrundens vattenföring vid brunnsborrning är dock den motsatta i jämförelse med målsättningen vid val av tunnel- eller berggrumssträckning. Eftersom man vid brunnsborrning letar efter formationer med maximal vattenföring är det ej relevant att jämföra de data som erhålls från borrade brunnar med läckvattendata som erhållits från tunnelarbeten, eftersom tunnelbyggaren strävar efter att i görligaste mån undvika vattenförande formationer. Då de flesta privata brunnar dock borrar på måfå i närheten av respektive fastighet är dock de vattenmängder som erhålls vid brunnsborrningar i viss mån användbara som jämförelseobjekt. Vid studier av Svenska Diamantborrnings AB (1959) brunnsborrningsförteckning fram till år 1958 kan konstateras att av 2 550 bergborrade brunnar i landskapen Södermanland, Uppland, Östergötland, Bohuslän, Småland och Medelpad (de landskap som väsentligen berörs av de studerade underjordsobjekten) gav 65 % av brunnarna mindre än 1 000 l/h, 16 % mellan 1 000 och 2 200 l/h och 19 % mer än 2 200 l/h. Brunnarna är normalt borrade till ett djup som innebär att man träffar på tillräckligt med vatten för det specifika behovet. I realiteten varierar de mellan 30-100 m djup. Antalsmässigt ligger således tyngdpunkten på utförda brunnar som understiger 1 000 l/h, vilket motsvarar 16 l/min. En bergborrad brunn av 70 m djup av dimensionen 110 mm ger en blottad bergmantelyta av mellan 20-25 m². Om dessa värden ses såsom 0-värdet i FIG. 11 kan man konstatera att flertalet brunnar således hamnar mellan 0 och 16 l/min. Mer än 80 % av brunnarna ligger mellan intervallet 0-35 l/min. och endast 19 % däröver. Dessa 19 % av de utförda brunnarna är sannolikt "lyckade" brunnar som placerats i vattenförande zoner, dvs. sådana zoner som vid de här studerade tunnel- och berggrumsobjekten injekterats till acceptabel läckvattennivå.

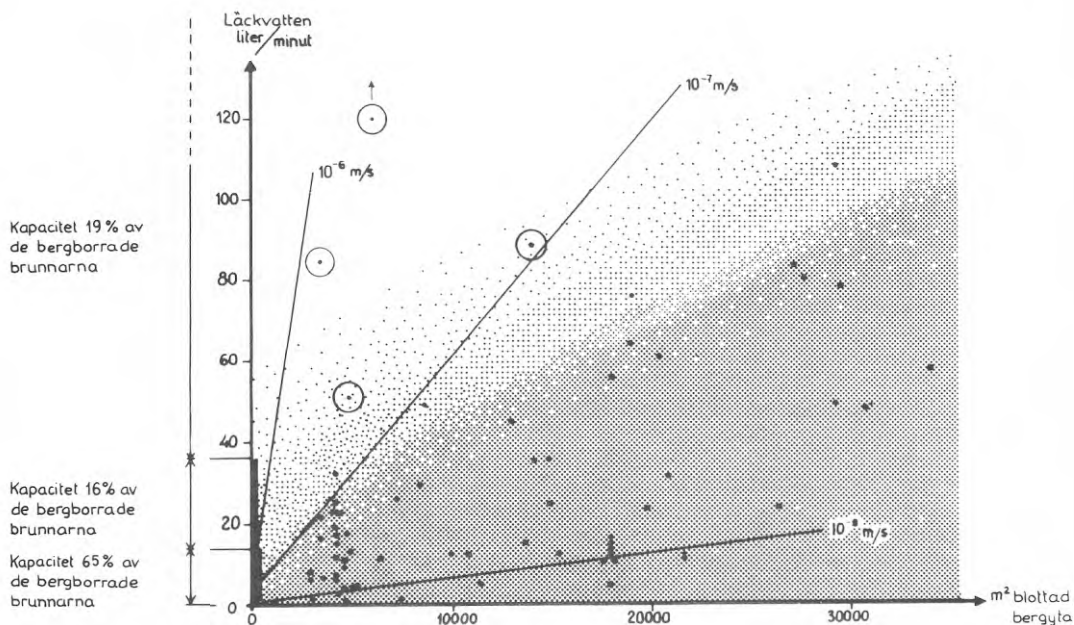


FIG. 11. Läckvattenmängden vid de studerade 73 underjordsanläggningarna. Varje med cirkel omskriven punkt hänför sig till mätobjekt med höga läckvattenmängder. Vattenföringen i prekambriskas gnejs- och granitformationer torde kunna förväntas ligga inom det skuggade området för bergmassan inklusive naturlig sprickighet men exklusive större tektoniskt betingade störningar. Som framgår har bergmassan vid flertalet av anläggningarna en effektiv permeabilitet som ligger mellan 10^{-8} och 10^{-7} m/s.

Man har kunnat konstatera att den prekambriskas berggrunden är mer sprickrik vid ytan än på större djup. (Niini 1972), Eriksson (1976). Detta har bl. a. Snow (1965) visat i kvantitativ form. Genom experiment visar han att de översta 20-30 m av berggrunden i kristallin prekambrisk berggrund innehåller sprickvidder med relativt stora och varierande sprickor men dessa avtar inom intervallet 20 m ned till 75 m ganska konstant från 0,1 mm till 0,05 mm. Denna tendens tycks vara konstant mot djupet även om den avtar något under 75 m djup. Även sprickavståndet avtar mot djupet men permeabilitetens avtagande mot djupet beror mer på minskande sprickvidder än på minskande sprickavstånd. Se även Carlsson & Olsson (1976).

3.3 Vattenföring i berg

Trots att materialet från de i denna undersökning bearbetade objekten i många avseenden är behäftat med större eller mindre osäkerhet torde man dock kunna urskilja vissa samband i fråga om vattenföringen i berg. Det synes som om vattenföringen i de aktuella berggrundsformationerna (se 2.4) i den s.k. normala bergmassan, dvs. bergmassan inklusive naturlig sprickighet men exklusive större tektoniska störningar, såsom sprickzoner, krosszoner, överskjutningszoner etc., mycket grovt skulle kunna skisseras enligt FIG. 11. Vid projektering av underjordsanläggningar i granitisk berggrund kan man sannolikt räkna med att vattenföringen i den normala bergmassan ligger inom det skuggade området i figuren. Mycket låga läckvattenmängder inom det skuggade området kan erhållas men är mer eller mindre omöjliga att förutsäga. För de fall att den i ett specifikt fall betraktade bergmassan bedöms som utsatt för kraftig tektonisk påverkan och förekomst av besvärande bergartsgångar, sprick- och krosszoner konstaterats, måste dessa störningar definieras avseende vattenföring. Sådana zoner är ofta stora potentiella vattenådror och hamnar således ovanför det skuggade området varför de måste adderas till de ovan angivna värdena. Kan inte ens de angivna värdena för naturlig granitisk berggrund accepteras fordras speciella åtgärder under drivning, såsom kontinuerlig förinjektering eller helinklädning av tunneln. Dessa stora potentiella, vattenförande zoner torde med rimlig insats gå att indikera i förundersökningsssammanhang, se bl. a. Bergman & Helfrich (1975).

Grundvattenströmning i berg beror på tryckgradienten, dvs. tryckfallet och permeabiliteten i bergmassan. Både vid porösa bergarter och som i detta fallet vid kristallina bergarter med vattenflödet uteslutande längs förekommande spricksystem kan man analysera grundvattenflödet med hjälp av Darcys' lag

$$v = k \cdot I$$

där v = bruttohastigheten (volymflödet per ytenhet)

I = den hydrauliska gradienten, dvs. tryckfallet och

k = permeabilitetskoefficienten.

Då vi vid alla här studerade objekt har haft en konstant grundvattenyta runt anläggningarna är de i denna rapport behandlade värdena (FIG. 11) just bruttohastigheten v . Den hydrauliska gradienten I påverkas väldigt mycket just närmast tunnelväggarna. Vattentrycket några meter in i bergmassan är starkt beroende på djupläge under grundvattenytan under det att vattentrycket vid tunnelytan är 0. Permeabiliteten påverkas lika så utav den utförda öppningen eftersom sprängningsarbetena självfallet påverkat bergmassans *in situ*-egenskaper. Sprickorna öppnas inom uppluckringszonen närmast öppningen och permeabiliteten påverkas således markant. Detta framgår av bl. a. Lindblom (1973) och Hansson (1973).

Här kommer någon närmare diskussion av permeabilitetskoefficient och hydraulisk gradient för respektive anläggning ej att genomföras då de geologiska förutsättningarna vid de studerade anläggningarna som tidigare nämnts varit mycket olika och

svårdefinierbara. Samtliga dessa anläggningar ligger dock inom intervall 30-90 m under grundvattenytan. Man torde således kunna anta att den resulterande bruttohastigheten v ger ett mått på bergmassans vattengenomsläpplighet. De erhållna värdena kan således betraktas som den effektiva permeabiliteten hos bergmassan.

3.4 Förundersökning och projektering

Det kan först som sist konstateras att det inte existerar någon helt tillförlitlig metod att bedöma eller definiera vattenföringen inom stora bergpartier. Även mycket små läckvattenmängder, såsom vid de ovan beskrivna måttligt uppsruckna bergpartierna, kan medföra avtappning av grundvattenmagasin i ovanliggande jordlager. Att lokalisera och karakterisera dylika potentiella riskområden kräver ett mycket detaljerat bedömningsunderlag såväl avseende jordlagerföljden som bergmassan. Möjligheten att i förstadiet definiera detta jord-bergsystems verkliga beteende i vattenströmningshänseende vid utsprängning av en tunnel är begränsad. Det torde vara mer ändamålsenligt att vid tunnelavsnitt som bedöms medföra allvarliga konsekvenser för jordlagerföljden koncentrera ansträngningarna till att övervaka och åtgärda inläckningen i samband med tunneldrivningen, såsom insats av förinjektering. Förundersökningsinsatser bör i stället inriktas mot att lokalisera och bedöma förekomst och utbredning av vattenförande svaghetszoner. Dessa torde åtminstone vid undersökning på sannolikhetsnivå, dvs. så pass detaljerade undersökningar att rekommendationer och prognoser kan avges på undersökningsunderlaget vara tillräckligt för att med acceptabel sannolikhet definiera förekommande zoner. En verklighetsnära lokalisering av vattenförande zoner före drivning ökar möjligheten att på ett rationellt sätt nedbringa vatteninläckningen till det naturliga värdet för bergmassan.

3.5 Utvärdering av injekterade avsnitt

Det befintliga dokumentationsunderlaget har ej ens medgett någon kvalitativ utvärdering av injekteringsåtgärders läckvattenreducerande effekter. Detta beror framför allt på att varken förhållandena innan injekteringsåtgärden vidtagits eller förhållandena efter har dokumenterats. För de två objekt som uppfyller dessa krav kan separata rapporter från dessa studeras, se vidare Eriksson (1976) och Lysén & Palmqvist (1976). Allmänt kan sägas att i de fall en injektering företagits har injekteringen nedbragt läckvattenmängderna med mellan 30-70 %. Dessa värden är grova uppskattningar.

3.6 Åtgärder

Det torde i fråga om drivning av tunnlar i tätbyggda, sättningssärliga områden vara odiskutabelt att en kontinuerlig övervakning av drivningsarbeten fordras. Kontinuerligt utförd sonderingsborrning vid tunnelfronten i kombination med förinjektering medför höga kostnader och stora störningar vid drivningen. Planeras dessa aktiviteter rutinmässigt in i arbetscykeln minskar dock störningsmomentet. För att följa effekten av dylika åtgärder fordras regelmässiga grundvattenobservationer inom infiltrationsområdet över tunneln samt läckvattenmätningar i

tunneln. Kostnaderna för en dylik hantering skall ställas i relation till eventuella konsekvenser av förändringar av grundvattenbalans och på ovanliggande bebyggelse, enligt FIG. 1. Självfallet måste tätnings- och kontrollåtgärder under drivningsskedet anpassas till behovet. Föreligger inte risk för störning av bebyggelse kan övervakning och kontroll planeras mindre rigoröst. Vid alla underjordsanläggningar måste läckvattenmängderna begränsas för att inte pumpningskostnader och framtida funktion skall bli besvärande. De i denna undersökning studerade objekten har efterinjekterats vid passeringen av större vattenförande zoner, vilket nedbringt läckvattenmängderna till acceptabel nivå. Vid passeringen av besvärliga zoner med potentiell stor vattenföring ger förinjektering en bättre effekt som ej kan uppnås med efterinjektering.

3.7 Geologi och vattenföring

Som tidigare nämnts är samtliga studerade anläggningar placerade i graniter och gnejser. Något direkt samband mellan bergart och vattenföring kan ej utläsas i det studerade materialet då spridningen av värdena är mycket stor, se TAB. II och FIG. 5. Däremot kan konstateras att bergmassans strukturella uppbyggnad är av avgörande betydelse för bergformationens vattenföring. Då de flesta av de här studerade objekten har injekterats i mer eller mindre stor omfattning och dessa injekteringsinsatser inte finns dokumenterade kan ej heller strukturdragets inverkan på vattenföringen meningsfullt utläsas. Konstaterade höga läckvattenvärden har genomgående kunnat hänföras till bergmassor som utsatts för tektonisk påverkan så att zoner med mer eller mindre kraftig vattenföring korsat respektive anläggning. Det förefaller därför finnas möjligheter att definiera den tidigare omtalade naturliga berggrunden med avseende på förväntad vattenföring. Prekambrisk berggrund utan störningszoner kan således förväntas ge en vattenföring inom den skuggade delen i FIG. 11 under det att värden utanför detta område emanerar från störningar i bergmassan som med en rimlig uppläggning av förundersökning torde kunna lokaliseras till läge och eventuellt omfattning även om inte vattenföringen i zonen med någon större säkerhet kan kvantifieras.

- 4 SLUTSATSER PÅ BASIS AV DET STUDERADE MATERIALET
1. Enskilda sprickor och sprickzoner av godartad karaktär förefaller i gnejser och graniter ha en vattenföring på mellan 30-80 l/min. Zoner som för mera vatten kan betraktas som starkt vattenförande.
 2. Att använda läckvattenmängder som mått på berggrundens vattenföring torde ej vara adekvat såvida inte förekommande enskilda sprickor och sprickzoner med avvikande hög vattenföring särskiljs och tas hänsyn till vid mätning och utvärdering.
 3. Brunnborrningsdata från bergborrade brunnar torde kunna användas vid bedömning av berggrundens vattenföring under förutsättning att hänsyn tas till de enskilda brunnarnas specifika vattenföring. Kraftigt vattenförande brunnar torde gå genom uppsprucket berg, vilket inte direkt är av primärt intresse vid underjordsprojektering. Dessutom måste vattentillrinning från det kraftigare uppspruckna ytberget beaktas vid bedömning av djupare belägna tunnlar och bergrum. Medelkapaciteterna på bergborrade brunnar ger således inte direkt användbar information utan brunnborrningsdata från regionen måste betraktas med vissa reservationer.
 4. Varje mätobjekt vid läckvattenmätning måste omfatta ett parti som är geologiskt och tekniskt definierat. Mätsträckans omgivning måste karteras geologiskt med avseende på framför allt vattenförande svaghetszoner.
 5. Injekteringsinsatser måste dokumenteras såväl innan injekteringsarbetet igångsätts som efter det att detsamma är avslutat så att dels injekteringens effektivitet kan mätas, dels injekteringens påverkan på omgivande avsnitt kan utläsas.
 6. Generellt torde behovet av en vederhäftig och enkel dokumentation av underjordsanläggningar vara påkallad. De i denna rapport studerade anläggningarna är med vissa få undantag bristfälligt dokumenterade.
 7. Vattenföringen i prekambriskas gnejs- och granitformationer torde kunna förväntas ligga inom det skuggade området i FIG. 11 för bergmassan inklusive naturlig sprickighet men exklusive större tektoniska störningar, såsom sprickzoner, krosszoner och överskjutningszoner.

5 REFERENSER

- Bergman, M & Helfrich, H, 1976, Bergteknisk borrhåls- och borrkärneanalys. (Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo) Rapport nr 22, Stockholm.
- Broms, B, 1973, Grundvattensänkning - orsaker, konsekvenser och motåtgärder. (Ingenjörsvetenskapsakademien IVA) rapport 56, p. 133, Stockholm.
- Carlsson, A & Olsson, T, 1976, Bestämning av berggrundens permeabilitet genom vattenförlustmätning. (Särtryck från Van-net i Norden) nr 3.
- Eriksson, A, 1976, Grundvatteninläckning i bergtunnlar. (Statens Råd för Byggnadsforskning) rapport ännu ej publicerad. Stockholm.
- Hanson, T, 1973, Tätning av gaslager i kalksten. (Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo), Bergmekanikdagen 1973, p. 269, Stockholm.
- Lindblom, U, 1973, Bergtekniska beräkningsmetoder. En metod för kopplad strömnings-spänningsanalys vid anläggningar i uppsprucket berg. (Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo) Stockholm.
- Lysén, L & Palmquist, K, 1976, Tätning av bergtunnlar. Projekteringsmetodik, injektering och förstärkning. (Byggforskningsrådet) rapport R4:1976, Stockholm.
- Meier, O & Sund, B, 1952, Geologins betydelse vid vattenborrning i Sverige. (Föreningen för vattenhygien) Vattenhygien nr 1.
- Morfeldt, C-O, 1967, Problem med vatten vid tunneldrivning i berg. (IVA Bergmekanikkommittén) diskussionsmöte, Stockholm.
- Morfeldt, C-O, 1969, Significance of Groundwater at Rock Constructions of Different Types. (International Symposium on Large Permanent Underground Openings), Oslo.
- Morfeldt, C-O, 1972, Drainage Problem in Connection with Tunnel Construction in Precambrian Granitic Bedrock (in Sweden). (International Society for Rock Mechanics) Proceedings, Stuttgart.
- Morfeldt, C-O, 1974, Storage of Oil and Gas in Unlined Caverns. (Society of Petroleum Engineers of Aime Meeting), Amsterdam.
- Niini, H, 1972, Om krosszoner och deras undersökning ur praktisk synpunkt. (Ingenjörsvetenskapsakademien IVA) rapport 45, Stockholm.
- Snow, D, T, 1965, Rock Fracture, Openings and Porosities (SM 1, Proc. A.S.C.E.) Vol. 94.
- Svenska Diamantbergborrnings AB, 1959, Brunnsborrningar. (C. Davidsons Boktryckeri AB) Växjö.
- Wenner, C-G, 1951, Grundvattenförhållanden i Sveriges södra berggrund (Sv. Teknologföreningen) Tekn. Tidskr. 81 p. 1101.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730237-8 från
Statens råd för bygnadsforskning till Hagconsult AB,
Stockholm**

R51: 1977

**ISBN 91-540-2730-6
Statens råd för bygnadsforskning, Stockholm**

Art.nr: 6600651

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

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

Cirkapris: 20 kronor + moms