BeFo

TÄTA TUNNLAR BÄTTRE

Seminarium november 1978 om behov av forskning för bättre vattenprognoser och tätningsmetoder

Stiftelsen Bergteknisk Forskning — BeFo

Nr 302:1/79

T Ä T A T U N N L A R B Ä T T R E

BeFo-seminarium november 1978
om behov av forskning för bättre
vattenprognoser och tätningsmetoder

Rapporten sammanställd av
Tomas Franzén

Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo

Stockholm 1979

TÄTA TUNNLAR BÄTTRE

BeFo-seminarium november 1978

Introduktion

Tunnelarbete i Sverige har under senare år i många fall varit förknippat med vattenproblem i en eller annan form. Det må ha gällt svårigheter i samband med drivningen p g a stora inläckande vattenmängder eller problem med att uppnå den täthet som föreskrivits med hänsyn till tunnelns funktion. I båda fallen kan svårigheterna ha varit av organisatorisk art - det är svårt att inordna tätningsarbeten i den normala drivningsrytmen - eller bestått i tekniska problem, där det gällt att finna lämpliga och effektiva metoder för tätningen.

Det har också visat sig mycket svårt att på förundersökningsstadiet förutsäga geohydrologiska förhållanden, vilket försvårar kostnadsberäkningar och upphandling och kan leda till komplicerade eller ofullständiga och därigenom svårtolkade kontrakt.

För att tillgodose krav på hög drivningskapacitet går utvecklingen mot sprängning med stora hål och kraftig laddning, en utveckling som går stick i stäv med strävan att begränsa bergets uppsprickning och därigenom underlätta tätning.

Nämnda svårigheter har särskilt uppmärksammats av entreprenörföreningens bergforskningsgrupp och inom BeFos projekt 18 "Förundersökningars värde och omfattning", där flera berganläggningar följts upp och vattensituationen i många fall visat sig vara en mycket betydelsefull men svårbedömd faktor.

Seminarium

På initiativ av företrädare för Sydvatten och för beställare av tunnelarbeten i Göteborg formulerades under våren 1978 några projektförslag, som aktualiserats av problem bl a vid Bolmen-projektet. BeFo ansågs vara ett lämpligt forum för en diskussion som skulle kunna ligga till grund för en lägesbeskrivning av behovet av forskning för bättre vattenprognoser och tätningsmetoder. Inom BeFo ansåg man ett sådant möte väl motiverat, varför man inbjöd till ett seminarium att hållas i november 1978, där ett tjugotal representanter för beställare, konsulter, entreprenörer och institutioner fick tillfälle att ventilera bergbyggandets vattenproblem. Diskussionerna bandades och har skrivits ut, varefter framförda synpunkter har redigerats och sammanställts av BeFos sekretariat under medverkan av en arbetsgrupp som särskilt utsågs vid mötet, nämligen överingenjör Claes Alberts, Stabilator, ingenjör Mats Alestam, Sydvatten och överingenjör Arne Hellgren, Stockholms gatukontor. En sammanfattning av diskussionsmötet redovisas här under rubrikerna:

- Probleminventering
  - Stora täthetskrav - fintätning
  - Val av täthetskrav
  - Information
  - Utlandserfarenheter
  - Förundersökningar - prognosmetoder
  - Uppföljning av tunnelarbeten
- Framförda projektförslag
- Sammanfattande diskussion och prioritering av projektuppslag.

Som bilagor har bifogats deltagarförteckning (1), inför mötet utsända projektskisser av Palmqvist (2), Karlsson (3) och Stanfors (4) samt ytterligare diskussionsunderlag utsänt före mötet av Hellgren (5), Morfeldt (6), Stille (7) och Sund (8).

PROBLEMINVENTERING

Inledningsvis konstaterades att man främst avsåg att behandla:

- vilka brister ifråga om prognosmetoder och tätningsteknik som kan betraktas som mest allvarliga och därmed mest angelägna för åtgärder
- vilka resurser i form av personal och penningmedel som finns tillgängliga och bör tas i anspråk
- vilka projektidéer som bör prioriteras

Stora täthetskrav - "fintätning"

Många av nu aktuella problem är en följd av att man har ställt mycket stora krav på tunnlars täthet, berättigat eller ej (se "Val av täthetskrav"). I fall då tillåten inläckning satts till mindre än 100 l/min och km tillgriper man vanligen förinjektering. Denna måste integreras i arbetscykeln för borrning, sprängning och lastning. Ofta kommer då injekteringsmomentet i strykklass och väsentliga frågor blir:

- Hur lång tid kan varje injekteringstillfälle ges utan att man stör drivningsrytmen? Hur avgör man bäst att man nått önskat resultat? Hur snart kan man spränga utan att skada nyligen utförd injektering?

En väg för att underlätta samordningen mellan olika arbetsmoment skulle kunna vara att man utnyttjar personal speciellt utbildad för både sprängning och injektering. Flera diskussionsdeltagare befarade dock att detta skulle gå ut över kvaliteten på injekteringen.

Ökad användning och utveckling av metoder för keminjektering (lösningsinjektering), som regel i kombination med cementinjektering (partikelinjektering) kan leda till effektivare fintätning. Här betonades de svårigheter som följer med introduktion av nya kemiska produkter. Man måste noga utreda dessas inverkan på arbetsmiljön, inverkan på grundvattnet och vice versa samt injekteringens beständighet. Det formella kravet på innehållsdeklaration från leverantören utgör ingen garanti för att farliga produkter inte kommer till användning! Med hänsyn till de goda tätningsresultat man anser sig kunna uppnå med keminjektering ansågs det dock anmärkningsvärt att dessa metoder inte "sålts" bättre av konsulter

och entreprenörer. Materialkostnaden är liksom vid cementinjektering måttlig i jämförelse med lönekostnaderna, även om materialet är dyrt räknat per kg.

På material- och metodsidan är det vidare viktigt att man är öppne för studier av uppslag från tillämpningar som kan synas ligga vid sidan av vanliga fall av tunneltätning. De speciella och exceptionellt höga täthetskrav som ställts i samband med studier för förvaring av radioaktivt avfall i berg kan exempelvis resultera i intressant ny utveckling.

På maskinsidan borde en vidareutveckling av flerhålsmetoder, bättre registreringsinstrument för tryck, blandning m m kunna resultera i snabbare injekteringsresultat men kräver samtidigt väl utbildade specialister. Redan injekteringsarbete enligt dagens praxis kan ofta närmast betraktas som en ingenjörsuppgift!

Kraven på tätning i direkt samband med drivningen skulle kunna mildras om man hade tillgång till bättre efterinjekteringsmetoder eller om inläckningen kan kompenseras genom infiltration. Sådana lösningar skulle kunna vara totalekonomiskt väl motiverade i och med att förinjekteringen då kunde förenklas och utföras av mindre specialiserad personal eller eventuellt uteslutas helt. Nya efterinjekteringsmetoder efterlystes sålunda.

Från många håll framfördes starka krav på förbättrade utbildningsmöjligheter för såväl injekterare som arbetsledare och kontrollanter. Sådan yrkesutbildning finns f n bara internt inom företagen och man diskuterar en eventuell firmalicensering som bevis på kompetens. Här borde finnas ett samhällsintresse liksom när det gäller yrkesutbildning av exempelvis svetsare eller elektriker. Beställare borde kunna kräva utbildad personal för denna typ av kvalificerat yrkesarbete.

Val av täthetskrav

Som tidigare nämnts kan det vara mycket att vinna på att välja "rätt" täthetskrav. Vitt skilda motiv kan ligga bakom valet av tillåten inläckning (eller i vissa fall utläckning).

I Stockholms gatukontors nyligen utarbetade bergtekniska anvisningar, som tillämpas både vid upphandling och utförande av tunnelarbeten, anges att studier av grundvattenbalans, geologiska förhållanden och risk för sättningsskador skall ligga till grund för val av täthetskrav. Detaljerade uppgifter ges därefter för sondering, vattenförlustmätning, injektering och uppföljning. Anvisningarna tillämpas bl a för de sex km tunnelbanetunnlar, som nyligen påbörjats för Järvabanans södra gren. Detta kan betraktas som ett omfattande pilotförsök i full skala.

De geohydrologiska bedömningarna måste i många fall göras på relativt vaga grunder eftersom våra kunskaper här är begränsade. Forskning inom området grundvattenbildning, bergvattenhydraulik m m är därför synnerligen angelägen. Inom Vattenfall pågår sedan några år viss forskning kring dessa frågor, dock har man hittills sällan haft anledning att ställa så stränga täthetskrav som vanligen gäller för urban miljö.

När ett bestämt täthetskrav väl är ställt, har man mycket svårt att under arbetets gång göra några större modifieringar bl a med hänsyn till tempoförluster. Man har att leva med det uppställda kravet. Desto viktigare att området "kriterier för täthetskrav" ägnas fortsatta studier. Rätt val har ofta en avgörande ekonomisk betydelse!

Information

BFR har satsat stora belopp på geohydrologisk forskning under sjuttiotalets början men aktiviteten har minskat under de senaste åren. Något provocerande ifrågasattes om dessa insatser givit något av praktiskt nyttig kunskap. Det är svårt att få ett samlat grepp om vad de olika projekten givit och det finns alltså plats för en sammanfattning av praktiskt tillämpbara resultat.

Idéer om en handbok eller någon form av riktlinjer för val av täthetskrav, injekteringsmetoder m m mötte på motstånd.

Injekteringsteknik kan svårligen läras via skriven text då det praktiska injekteringsarbetet kräver en "hantverksskicklighet", som till stor del endast kan uppnås genom lång tids erfarenhet och därunder uppbyggd "känsla för berget".

Däremot låter sig naturligtvis grundprinciper beskrivas i text. Det vore f ö svårt och orimligt att begära att injekteringsfirmor skulle avhända sig sin speciella kunskap för att få den presenterad i handboksform. Översiktlig information eller specialbehandling av vissa områden exempelvis i facktidskrifter är lämpligare vägar för informationsspridning.

Utlandserfarenheter

Från flera andra länder, exempelvis Japan och Frankrike, känner vi till att omfattande och komplicerade tätningsarbeten utföres. Erfarenheter från sådana arbeten måste vara värda att ta del av. Det bedömdes dock att svensk teknik sannolikt står sig väl vid internationell jämförelse framförallt då det gäller fintätning. Sådan tillämpas dock mindre ofta i andra länder där vanligen en vattentät inklädnad ingår som del av den slutliga förstärkningen.

Förundersökningar - prognosmetoder

Utvärderingen av förundersökningar i projektet "BeFo 18" har bl a lett till följande slutsats beträffande förutsägelser av vattenförhållanden:

"Dagens analys och förundersökningsmetoder är föga utvecklade när det gäller möjligheten att utvärdera olika geohydrologiska förhållanden, inläckning och behov av tätning. I många av de studerade anläggningarna har dessa svårigheter helt överskuggat de osäkerheter som gällt förutsägelse av övriga förstärkningskostnader."

Dessa frågor diskuterades intensivt och framförallt bedömdes en utveckling av geofysiska metoder mycket angelägen.

Uppföljning av tunnelarbeten

Gatukontorets uppföljning av 6 km tunnelbanetunnlar har tidigare nämnts liksom att Vattenfall sedan några år följer upp alla objekt, även sådana där man inte väntar några särskilda problem men som kan fungera som jämförelseobjekt. Vid Bolmen-tunneln har gjorts uppföljningar för BeFo-18-projektet och tunneln lämpar sig bl a genom sin längd och tillämpad flerfrontsdrift mycket väl för fortsatta studier.

PRESENTERADE PROJEKTFÖRSLAG

Palmqvist, Karlsson och Stanfors presenterade sina projektförslag, närmast att betrakta som utkast eller skisser, se bilaga 2-4. Diskussionsdeltagarna kommenterade och ställde frågor, varigenom även detta material kom att bilda bakgrund till den följande sammanfattande diskussionen.

SAMMANFATTANDE DISKUSSION OCH PRIORITERING AV PROJEKTUPPSLAG

Den avslutande diskussionen inleddes med ett försök att finna en rimlig ekonomisk ram, inom vilken ett antal konkreta, klart avgränsade projekt kunde tänkas inrymmas. Man fann det sannolik att industri och forskningsfonder vardera borde kunna bidraga med någon miljön för att stödja exempelvis ett treårigt program, förutsatt att projekten i huvudsak läggs upp med sikte på snart tillämpbara praktiska resultat. Det konstaterades att en god argumentering måste till för att få loss medel från forskningsfonder som f n ej prioriterar detta område. Den grundliga genomgång som det nu avhållna seminariet inneburit torde utgöra en god grund för kommande projektansökningar.

Som "pågående projekt" noterades gatukontorets uppföljning (över egen budget) och den "egenskapsredovisning av injekteringsmedel" som inom kort kommer att presenteras och som bildar avslutning på BFR:s tidigare satsning inom området.

Utbildningsfrågan kom åter upp och betecknades som angelägen. F ö förordades följande huvudområden, inom vilka konkreta projektförslag borde utformas:

- Utveckling av förundersökningsteknik med avseende på vattenfrågan
- Kriterier för optimalt val av täthetskrav
- Utveckling av tätningsmetodik genom att vid praktisk tunneldrivning pröva den kunskap vi tror oss ha och att man därvid successivt följer upp och utvärderar geologi, injekteringsteknik och tätningsresultat.

Bilaga 1

Deltagare i seminariet "Täta tunnlar bättre"

Claes Alberts, Stabilator AB
Mats Alestam, Sydvatten AB
Leif Andreasson, Statens Geotekniska Institut
Sten G A Bergman, Stocksund
Anders Bergström, Statens Vattenfallsverk
Sten Bjurström, BeFo
Tomas Franzén, BeFo
Arne Hellgren, Stockholms Gatukontor
Lennart Karlsson, Bergsäker Konsult AB
Lars Lundström, Hagconsult AB
Lars Lysén, Göteborgs VA-verk
Jüri Mårtna, Statens Vattenfallsverk
Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult AB
Kai Palmqvist, BERGAB-Berggeologiska Undersökn AB
Bertil Sandell, BESAB
Bertil Sjöstrand, Sydkraft AB
Roy Stanfors, Geologiska Inst, Lunds Universitet
Buster Sund, Tyréns
Göran Svensson, VIAK AB
Carl Sylvan, Nya Asfalt AB

Bilaga 2, 3, 4

Vattenläckage i berganläggning

Ekonomisk tätning genom förbättrade prognosmetoder och tätningsåtgärder anpassade till de geologiska förhallandena

I ett programutkast över rubricerade daterat 1978-06-12 har lämnats bakgrund, motiv och riktlinjer för hur det planerade forskningsprojektet avsags bedrivas. På anmodan av forskningsdirektör Sten Bjurström BeFo lämnas som komplement till nämnda utkast en uppspaltning i delprojekt. Avsikten är att programutkast och delprojekt skall diskuteras vid ett av BeFo arrangerat diskussionsmöte under september 1978.

Nedan gjorda uppspaltning i delprojekt är mycket kortfattad och avser endast att tjäna som stolpar vid diskussionsmötet. Utförligare förklaringar kommer att lämnas vid den muntliga föredragningen. Denna kommer för respektive delprojekt att göras av den som skissat projektuppläggningen. Sammansättning av arbetsgrupper, referensgrupp m.m. diskuteras lämpligen vid mötet.

De vid delprojekten erhållna resultaten avser vi dels i görligaste mån överföra och utnyttja i det pågående forskningsarbetet dels arbeta samman i en gemensam slutvärdering med tillhörande rekommendationer.

Göteborg och Lund 1978-09-01

Lennart Karlsson Kai Palmqvist Roy Stanfors

Delprojekt_I
Kai Palmqvist

Hydrogeologi - tätningsresultat

I ett projekt (Lysén & Palmqvist 1976,"Tätning av bergtunnlar") redovisas sambandet mellan utförd injektering och geologiska förhållanden. Rapporten visar att berggrundens grad och typ av uppsprickning bestämmer injekteringsresultatet.

För att bygga vidare på denna forskning planerar vi att utföra en utvärdering av resultaten av använda tätningsmetoder i underjordsanläggningar med olika täthetskrav. Syftet med forskningsarbetet är att nå fram till rekommendationer om optimalt tätningsutförande vid olika hydrogeologiska förhållanden.

De objekt som vi kommer att studera är:

gemensamhetstunnel i tätort med höga krav på täthet
spillvattentunnlar med olika täthetskrav
trafiktunnel där grundvattnet avses dräneras
trafiktunnel där berggrunden avses tätas
ev. kraftverkstunnel

Undersökningarna planeras omfatta följande:

A. Kartering i samband med utsprängning av:
bergarter, sprickor, sprickgrupper, sprickzoner, krosszoner, sprickkaraktär, sprickvidd, sprickfyllnad, synliga läckage m m.

B. Insamling av uppgifter rörande berggrundens vattenföring:

borrningsarbeten (sonderings-, salv-, injekterings-, dräneringsborrning)

vattenförlustmätning
mätvallar
protokoll över tätnings- och sprängningsarbetena

C. Bearbetning av insamlade data för att bestämma korrelation mellan:
hydrogeologiska förhållanden
injekteringsresultat / dräneringsutförande

D. Indelning i hydrogeologiskt enhetliga avsnitt (hydrogeologiska modeller)

E. Kan de hydrogeologiska modellerna prognosticeras?

F. Tätningsåtgärder anpassade till hydrogeologiska förhållanden

Delprojekt II

Lennart Karlsson

Utveckling av tätningsmetoder

Forskningsprojektet syftar till att genom praktiska försök i tunnlar, företrädesvis Bolmentunneln, ge svar på följande frågor:

A. Vilken minsta spridning av injekteringsmedeln utantör planerat hålrum erfordras för att uppnå uppställt täthetskrav vid olika hydrogeologiska modeller?

B. Vilka kombinationer av injekteringsmedel och arbetsutföranden svarar mot A.

C. Hur kan man vid injektering av öppna slag och sprickor begränsa spridningen av injekteringsmedlen?

Projektet avser bl.a att omfatta följande:

A. Inledande försök

Försök att pressa in vätskor med olika viskositet för att utröna om en viss vattenförlust är att hänföra till få grova sprickor eller ett stort antal fina sprickor.

Försök att med färg- eller spårämnen bedöma hur injekteringsmedlen spridit sig i berget.

Pilotförsök utförda i zoner med enkel sprickgeometri för att utröna spridningsbild och spridningsbehov för olika injekteringsmedel.

B. Fullskaleförsök

1. Försök i ostörda tunneldelar

2. Rutinmässigt utförda förinjekteringar med noggrann uppföljning

3. Utvärdering och rekommendationer

Delprojekt III — Utvärdering och utprovning av prognosmetoder

Roy Stanfors

Åtgärdande av vattenläckage svarar idag ofta för en mycket stor del av de totala kostnaderna för en berganläggning. Metoder för att inom en rimlig kostnadsram ställa en någorlunda säker prognos för vattenläckage i berganläggningar föreligger inte.

Projektet syftar till att utvärdera de vid projektering mest använda förundersökningsmetoderna - speciellt med hänsyn till vattenläckage. Vidare avser vi undersöka möjligheten att med hjälp av elektriska motståndsmätningar få information som kan möjliggöra prognoser för vattenläckage. Undersökningarna kommer i huvudsak att bedrivas längs Bolmentunneln.

Undersökningarna kommer att läggas upp enligt följande:

A. Noggrann utvärdering av de förundersökningar som utförts för Bolmentunneln

B. Jämförelse mellan förundersökningar och vattenläckage med hänsyn till bl.a
topografi, jorddjup, lösa avlagringars sammansättning, bergtäckning, bergart, bergkvalitet, seismiska och magnetiska mätresultat

C. Kan de använda förundersökningsmetoderna utnyttjas bättre

D. Elektriska motståndsmätningar

E. Elektriska mätresultat korreleras med noggrann tunnelkartering

F. Samtliga mätresultat sammanställes och korreleras

med information från tunnelkarteringen

G. Värdering av elektriska motståndsmätningar

STOCKHOLMS KOMMUN
GATUKONTORET

1978-11-09

Bilaga 5

Vår referens Uk/Hellgren/Mn

Er referens

Till samtliga som av BeFo kallats till arbetsseminarium "Täta tunnlar bättre" 1978-11-21

Ärende Bergtekniska anvisningar

./. För kännedom översänds härmed gatukontorets Bergtekniska anvisningar (BTA), ritning 21 013 F, som av kontoret används vid upprättande av arbetsritningar och i tillämpliga delar arbetsbeskrivningar till tunnelarbeten.

Den formel som används vid beräkning av V_g är avpassad för de bergartsegenskaper man har och de grundvattentryck som man normalt får vid tunnelbyggande i stockholmstrakten. På andra håll kan konstanten C (här = 1) och exponenten över p (här = ½) ev få andra värden.

Med vänliga hälsningar
STOCKHOLMS GATUKONTOR
UTREDNINGSAVDELNINGEN
GEOTEKNISKA SEKTIONEN

Arne Hellgren

Arne Hellgren

GK 96001. 75-05. 10.000

Postadress: Fack 104 20 STOCKHOLM 8
Gatuadress: TEKNISKA NÄMNDHUSET Fleminggatan 4
Telefon: 08 - 22 40 80
Telegram: Stockstreet
Bankgiro: 731-2267
Postgiro: 1308-6

ALLMÄNT

För varje tunnel skall beställaren upprätta erforderliga arbetsritningar över sonderingsborrning, borrning för injektering samt för sprängning. Vidare anges tillåten läckmängd med eventuellt andra krav under arbetstiden, övre och undre grundvattennivåer (GW), V_g enligt C2 nedan m m.

För arbetets projektering och för uppgörande av mängdförteckning m m skall erforderliga uppgifter och tabell E2 tillhandahållas. Uppgifterna kan utgöra underlag vid anbudsförfrågan.

För arbetets utförande gäller denna ritning med följande arbetsschema:

1. Upprättande av program för sonderingsborrning enligt A2, fullständig och vart tredje hals injektering enligt C, angivande av borrningstoleranser enligt Mark AMA 72 eller andra krav.
2. Vattenförlustmätning
   a) borrning enligt B1 och B2
   b) mätning enligt B3
   c) ev prov på grundvatten enligt B4
3. Förinjektering enligt C1-C2 och tabell E1
4. Kontroll av injekteringsresultat enligt B1, C2 och tabell E1
5. Eventuell kompletterande förinjektering
6. Sprängning
   a) upprättande av borrningsplan för sprängning med borrningstoleranser enligt Mark AMA 72 eller andra krav
   b) salvborrning, vilken får påbörjas tidigast 2 timmar efter avslutad injektering med snabbcement inom 2 m avstånd från injekteringshål
   c) kontroll av stuff enligt D1
   d) eventuell vattenförlustmätning
   e) eventuell ytterligare kompletterande förinjektering
   f) laddning och skjutning
7. Kontroll av inläckande vattenmängd Q vid mätdammar och kontroll av att inga oväntade läckage av betydelse uppstått
8. Eventuell efterinjektering

Vid kontroll på arbetsplatsen avses, om arbetet utförs i egen regi, verkmästare eller posthavande skiftbefäl. Vid entreprenad avses kontrollant och entreprenörens platsbefäl.

Beställarens geotekniska sektion eller motsvarande skall meddelas om tidpunkt för tunnelsprängningars igångsättning samt varje månad om framdrift, vattenanalyser och vattenmängder vid mätvallar. Tunnel karteras enligt ritning 10 963 och ritningar upprättas som även visar slutligt vidtagna tätnings- och förstärkningsåtgärder jämte slutliga inläckningsmängder vid såväl provisoriska som permanenta mätdammar. Ritningarna numreras i utredningsavdelningens serier och originalen förvaras i U:s arkiv. Vid entreprenad skall i varje särskilt fall föreskrivas hur dokumentering skall ske. Kopior av ritningarna tillställs i båda fallen geotekniska sektionen (motsvarande).

A. BERGTÄCKNING OCH BERGKVALITET

1. Kontroll av bergtäckning utförs från tunneln på de avsnitt som angetts på huvudritningen. Finner platsbefäl eller kontrollant att berget i övrigt är kraftigt förskiffrat, vittrat eller innehåller skölar och lerfyllda sprickor skall sonderingsborrning utföras även i andra ej angivna avsnitt.
2. Sonderingsborrning utförs enligt Fig 1 med notering av bergtäckning, förekomsten av större sprickor och slag samt vatten. Vattenförande hål noteras och pluggas. Borrhålen skall omgående fyllas med cementbruk i hela sin längd. På nivån för minsta önskvärda bergtäckning, T, skall håltätheten vara $\leq$T inom en plan yta som når ca T/2 utanför tunnelns sidor och stuff. Antalet hål bestäms av tunnelns dimensioner. Utökat antal hål och andra riktningar väljs där bergtäckningen är < T eller andra förhållanden så erfordrar. Jämförelse skall göras med borrningar utförda från markytan. All sonderingsborrning skall redovisas på skisser.

Sonderingsresultaten skall granskas av ansvarigt platsbefäl eller kontrollant. Råder tveksamhet om hur fortsatt sprängning skall utföras och om förstärkningsåtgärder skall vidtas, råder tveksamhet om hur det fortsatta arbetet bör bedrivas, skall geotekniska sektionen (motsv) rådfrågas.

4. Vid bultförstärkning i förinjekterat berg skall bultarna slutas minst 1 meter innanför injekteringsskärmens ytterkontur, dvs maximalt (a - 1,0) m utanför tunnelkonturen, Fig 4 a.

B. GRUNDVATTENINFLÖDE

1. Kontroll av bergtäthet utförs vid alla tunnlar (även t[illf]ttunnlar), sänken, stigorter [och] ventilationschrar, tappfickor och andra utrymmen utanför den reguljära tunnelsektionen samt borrhål av alla slag (genomföringshål) inom de avsnitt där krav på viss täthet föreligger. För genomföringshål gäller i princip typritning 60015. Kraven på täthet bedöms av geotekniska sektionen med hänsyn till grundvattenbalans, geologiska förhållanden och risk för sättningsskador på bebyggelse. Tillåten inläckning Q lit/min och 100 m tunnel samt V_g, (se C2) skall finnas angivna på huvudritningen jämte täthetsklass, vattenförlustmätning, tätnings- och kontrollåtgärder enligt tabell E1. Övre och undre GW anges även (Fig 2 och 3).

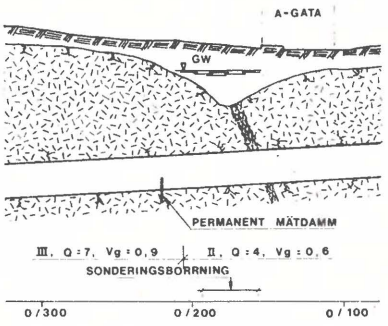


Fig 2

På ritningar angivna GW är i regel värden från närbelägna lösa jordlager. Vid passage genom höga bergspartier vid sidan om grundvattenkänsliga områden kan dock dimensionerande grundvattentryck vid vattenförlustmätning i berget visa sig vara högre. I vissa fall kan hänsyn behöva tas till dessa förhållanden. Fig 3.

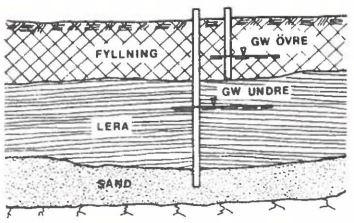


Fig 3

Förekommer flera intill varandra liggande tunnlar skall dessa i regel räknas som ett tunnelavsnitt, se C2. Blir grundvattensänkningarna för stora, trots att bedömda, tillåtna läckmängder inte överskrids, måste överläggning ske om eventuell skärpning av täthetskraven. Andra kombinationer av täthetsklasserna I - IV och tillåten läckmängd kan vid behov väljas.

2. Borrning för vattenförlustmätning m m
Sådan borrning utförs vid täthetsklass I och II kontinuerligt (i regel efter varannan, tredje eller fjärde salva beroende på förinjekteringens räckvidd) från stuffen för lokalisering av eventuella vattenförande zoner i berget och för val av metod och injekteringsmedel efter vattenförlustmätning. Borrningen anpassas till det preliminära injekteringsschemat, Fig 4 a-c, för respektive tunnelsektion som vid given täthetsklass framgår av tabell E1. Vid långa injekteringshål kan avböjningen av hålen bli så stor, att hålavståndet ("uddavståndet") kan behöva minskas med anledning härav. Ytterligare hål för vattenförlustmätning behöver i vissa fall borras, se C2 och C3.

Där hålmönster enligt injekteringsschema inte på ett tillfredsställande sätt överträvärar förekommande sprickor och slag ändras hålens riktning och/eller kompletteras med ytterligare hål. Liten bergtäckning kan bl a ge anledning till minskat injekteringstryck. I samband med borrningen renspolas hålen med växelvis vatten och luft varefter hålen tätas med manschett.
För lastningsnischer, tappfickor och andra utrymmen utanför den reguljära tunnelsektionen skall särskilt injekteringsschema upprättas och borrning för vattenförlustmätning samt injektering utföras på samma sätt innan utsprängning görs. Injekteringszonens tjocklek skall vara minst lika som för aktuell tunnelsektion.

3. Vattenförlustmätning utförs i samband med borrningen med 0,5 MPa (5 kp/cm^2) tryck över grundvattentrycket. Hela hålet provtrycks på en gång med manschetten placerad ca 1 m från bergytan. Vid varje mättillfälle skall trycket stå på i 5 minuter när fortvarighetstillstånd uppnåtts. Vattenförlust V_f för enskilda hål anges i l/min, m borrhål och MPa (10 kp/cm^2) utöver på huvudritningen angivet grundvattentryck. Mät rinnande hål först och notera eventuell överströmning till andra hål, sprickor eller krosszoner. Efter utförd mätning skall manschetterna vara stängda. Erfordras ej injektering skall hålen fyllas med cementbruk. Jfr C2.
4. Vattenanalys Prov på grundvattnet i berget skall tas för kemisk-fysikalisk analys på ca 100 m c/c tunnelavsnitt eller där större lokal inrinning påträffas. Analys skall bl a gälla aggressiviteten mot järn och betong. Provtagningen kan behöva utföras vid flera tillfällen på samma plats. Analys och utvärdering skall ske enligt de tyska DIN-normerna: nr 1045, 4030 och 50930. Proverna måste tas på sådant sätt att injekteringsmedlen inte kan ha påverkat det naturliga vattnet.
5. Mätdammar för kontroll av vatteninläckningen utförs enligt Fig 5 a-c, med ca 100 m c/c avstånd enligt huvudritning. Mätdammarna måste placeras och utföras så att täthet erhålls mot berget och i detsamma. Sprucket berg tätas, exempelvis genom ridåinjektering. Avbördningen mäts och redovisas lämpligen ett antal gånger vid fortvarighetstillstånd, förslagsvis måndag morgon före arbetsskiftets början. För att underlätta mätningarna och få så rättvisande värden som möjligt är det viktigt att fungerande, rensade arbetsdiken finns.

Mätning med mätkärl ger rätta värden endast om vattnet vid fortvarighetstillstånd rinner fritt ur tilloppsröret. Står tilloppsröret helt eller delvis under vatten kan mätningen ske antingen med mätkärl under länspumpning av pumpgropen eller med vattenmätare (vilka alltid har viss uppdämmande

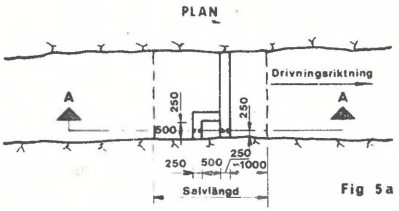


Fig 5a

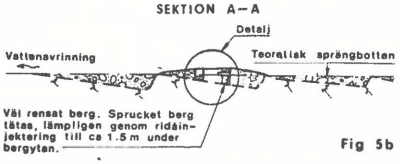


Fig 5b

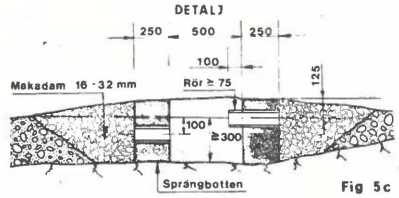


Fig 5c

effekt), i båda fallen efter det att fortvarighetstillstånd inväntats, vilket bl a innebär att vattenytan uppströms dammen har konstant nivå. Anm: Fortvarighetstillstånd innebär att flödet inte ändrar sig med ti-

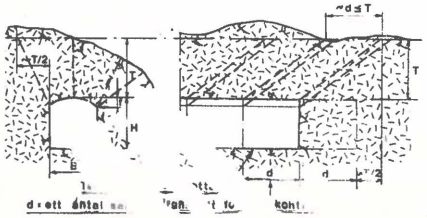


Fig 1

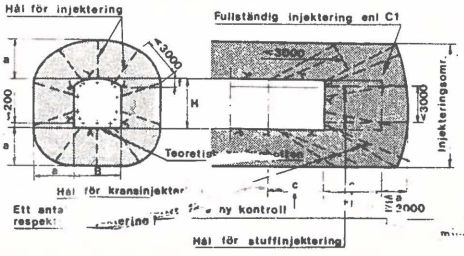


Fig 4a

Fig 4b

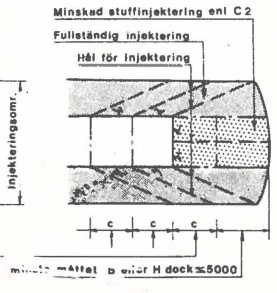


Fig 4c

ex efter 1 dygn). Vattenytan får
is inte nå över dammkrönen (gäller
ppströmsdammen vilkens eventuella
öde också måste beaktas). Mätningarna
senast då sprängningen nått förbi
mätvall" och ett par gånger till med
månaders intervall. En mätning bör
om göras efter relativt lång tid eme-
ackagemängden av olika skäl kan ändras
den. För att korrekta mätvärden ska
as kan avskärmande dammar behöva ut-
i olika slags tvärtunnlar. Mätdammar-
avlägsnas först efter samråd med be-
ren (geoteknisk fråga).

enta mätdammar utförs enligt ritning
'. I tvärtunnlar och liknande med ing-
er ringa makadamfyllning må även per-
damm utföras enligt Fig 5 a-c.

och provtagningsplatsernas lägen note-
fätningar utförs i närvaro av ansva-
latsbefäl och/eller kontrollant och
tollförs noggrant.

KTERING

g av berget skall i första hand ut-
som förinjektering från stuffen en-
Fig 4 a-c och beställarens arbetsbe-
ning. En huvudregel skall, om ej annat
vara: minst två meter injekterat
bortom stuffen, Fig 4 a-b. Om man vid
oll med vattenförlustmätning efter
jekteringen inte uppnått avsett resul-
ker kompletterande förinjektering. Om
id borrning av salvhålen, se D1, fin-
tt föreskriven täthet ej erhållits,
ytterligare kompletterande förinjek-
g (gäller även tunnelbottnarna) ut-
omgående. Jfr tabell E1.

tora spännvidder kan injekteringszoner
a utökas med hänsyn till bergrummets
tri och risk för sättningar i berg-
n. Beställaren avgör tillämpningen
eknisk fråga). Tätning skall, om ej
anges, utföras på sådant sätt att in-
ingen vid varje 100 m tunnelavsnitt

d något tillfälle under byggnadstiden
tiger föreskriven mängd. Lokala läckta-
tag, även om uppmätt läckage på 100 m
l är mindre än angivet värde för tun-
snittet. Beträffande sprängning i in-
rat berg se punkt D.

arje täthetsklass anger tabell E1 och
fattningen av de hål, som skall borras
attenförlustmätning och i vilken ut-
kning injektering skall utföras.

jektering skall utföras om

$$\geq V_g = C \frac{Q}{U\sqrt{p}}$$ där

medelvärdet av de vattenförluster V_f
som uppmätts i tunnelsektionens
samtliga mäthål (l/min, m, MPa)

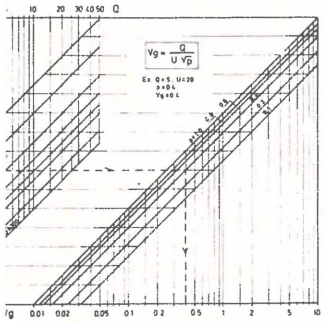
beräknat empiriskt gränsvärde
(l/min, m, MPa)

konstant = 1,0

tillåtet läckage i färdigt tunnelav-
snitt (en eller flera tunnlar)
(l/min, 100 m tunnel)

tunnelns eller tunnlarnas totala om-
krets i ett tunnelavsnitt (m)

grundvattentryck (teoretiskt) på
tunnelmittnivån (MPa)



jektering skall vid täthetsklass I
å sådant sätt att vid mätning i kon-
hål, enligt tabell E1 kolumn 9, vatten-
sten V_f i det enskilda hålet fyller
oret

V_g

äthetsklass II och III, tabell E1,
varje "vart tredje hål" enligt tabell
lumn 3 förinjekteras då

V_g om samtidigt

V_g dock alltid om

2 l/min, m, MPa

ollhål skall borras på ömse sidor om
jekterade "vart tredje hål" i närmast
ande punkter enligt schema för full-
ig injektering och vattenförlust mä-
Hur snart vattenförlustmätning kan ske
utförd injektering utan risk för ur-
spolning av injekteringsmedlet bestäms av
tiden för dess hårdnande. Kompletterande
förinjektering utföres enligt samma regler
med nytt V_{fm} tills varje injekterat berg-
parti i kråmen omges av en kontur med vat-
tenförlustmätta, godkända hål. Injektering
utanför den teoretiska injekteringszonen
skall ej ske om inte särskilda skäl påvisas.
Om så anses lämpligt kan "vart tredjehåls-
principen" frångås och borrning för full-
ständig injektering utföras direkt.
Icke injekterade hål fylls med cementbruk.

Borrhål genom vilka kemisk injektering
skett borras upp 0,5 m och säkras med ce-
mentbruk.

Vid starkt läckande zoner och/eller stränga
täthetskrav kan förinjektering behöva ske
i två etapper med först cementinjektering
och sedan kompletterande lösningsinjekte-
ring (kemisk injektering). Komplettering
av kontrollhål och injekteringshål skall
till läge och antal godkännas av kontrol-
lant.

Om beställaren, för att minska injekte-
ringskostnaderna, under byggnadstiden el-
ler viss angiven tid tillåter större läcka-
ge än Q, t ex 2,5 Q, och anger detta i an-
budshandlingarna, förfars på följande sätt.
Förinjekteringszonen längs den blivande
tunnelomkretsen, kransinjekteringen (mätt
efter borrhålsdjup) skall alltid ligga före
stuffen med ett mått = tunnelns minsta
tvärmått (bredd eller hjässhöjd), dock
högst 5 m när minskad stuffinjektering en-
ligt Fig 4 c tillämpas. Dessutom skall
stuffhålen injekteras om

$V_f > V_g$ och

$V_f > 2$ l/min, m, MPa

Kompletterande injektering erfordras ej
kring dessa hål. Förfarandet kallas minskad
stuffinjektering. Står stuffen mer än 2
veckor skall den dock injekteras.

3. Efterinjektering (sedan tunneln utsprängts)
skall utföras efter mätdammskontroll, eller
om enstaka läckage finns kvar eller om nå-
got oförutsett inträffat.

4. För cementinjektering används injekterings-
cement, alternativt snabbhårdnande cement,
med tillsatsmedel för svällning, som minst
skall kompensera krympningen. Cementinjek-
teringen skall alltid dessutom utföras med
tillsats av bentonit, normalt 3-5 vikt %,
av typ Yellowstone eller likvärdig. Kombi-
nationen cementsort, tillsats av bentonit
och tillsatsmedel för svällning skall egen-
skapsredovisas och godkännas av beställaren.
Om analyserna visar att grundvattnet är
aggressivt mot järn och/eller betong skall
sulfat och/eller syrabeständigt injekte-
ringsmedel användas.

Cementinjektering kan anses verksam om vat-
tenförlusterna är större än 1,0 l/min, m
borrhål och MPa (0,1 l/min, m och kp/cm²).
Vid lägre vattenförlustvärden kan resultat
endast beräknas uppnås med lösningsinjekte-
ring (kemisk injektering) exempelvis poly-
meriserande alkalisilikat, härdande plaster
eller dylikt. Ytterligare tillsatsmedel vid
cementinjektering och injekteringsmedel för
lösningsinjektering skall egenskapsredovi-
sas och godkännas av beställaren. Redovis-
ningen skall även gälla de olika injekte-
ringsmedlens eventuella inverkan på var-
andra samt på järn och betong. Om analyser-
na visar att grundvattnet är aggressivt mot
järn och/eller betong skall sulfat och/el-
ler syrabeständigt injekteringsmedel använ-
das. Protokoll upprättas och redovisas
successivt på ritning för uppföljning av
injekteringen på arbetsplatsen.

D. SPRÄNGNING

1. Salvborrning får, om ej annat anges, på-
börjas inom 2 m avstånd från injekterings-
hål tidigast 2 timmar efter avslutad injek-
tering med snabbcement. Om så bedöms nöd-
vändigt kontrolleras injekteringsresulta-
ten genom vattenförlustmätning i ett erfor-
derligt antal konturhål i varje salva. Där
så erfordras kontrolleras vid sista sal-
van före ny injekteringsomgång även stuf-
fen. Det tillåtna läckaget får därvid upp-
gå till högst det värde som anges under C2
och tabell E1. Uppstår påtagligt vatten-
läckage i samband med borrning för salva
skall borrningen omedelbart avbrytas och
erforderlig ytterligare kompletteringsin-
jektering utföras i borrhål som borras till
samma längdmätning som tidigare injekte-
ringsomgång. På sträckor där krav på täthet
finns skall ansvarigt platsbefäl och/eller
kontrollant ha bedömt och godkänt bergets
täthet innan salva får laddas.

2. Skonsam sprängning skall utföras i förinjek-
terat berg. Noggrann inriktning av borrhålen
krävs. Slätsprängningsmetoden skall till-
lämpas för konturhålen. Följande laddnings-
begränsningar skall gälla i förinjekterat
berg.

Tabell D

Hålgrupp	Bottenladdning		Pipladdning		Största hål-avstånd
	Laddn/hål	Sprängmedel	Laddn kg/m	Sprängmedel	
Konturhål i väggar och tak	Max 0,2 kg	Dynamex A eller likvärdigt	0,24	Gurit A	0,6 m
Konturhål i botten	Max 0,5 kg	Dynamex A eller likvärdigt	Max 0,5	Dynamex A eller likvärdig koncentration	0,6 m
Strosshål närmast innanför konturen	Max 0,5 kg	Dynamex A eller likvärdigt	0,40	Nabit A eller likvärdig koncentration	-

E. DIVERSE TABELLER

Tabell E1

Täthets klass	Tillåten läckmängd Q, l/min och 100 m tunnelavsnitt Se B1	Vattenförlustmätning från stuffen: Omfattning	Kängd V_{fm} l/min, m och Kfa	Förinjektering från stuffen: Omfattning		Medel		Kontroll med ny vattenförlustmätning och ev kompletterande förinjektering	Kontroll vid mätdamm	Efterinjektering efter mätdammskontroll och/eller om något oförutsett inträffat Cement och/eller kemisk injektering
				Bottnar	Övrigt	Cement	Kemisk			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	0 ≤ Q < 2	I alla hål för fullständig injektering av hela tunnelsektionen enligt schema	$V_{fm} > 1$ $1 > V_{fm} > V_g$* $V_{fm} < V_g$	Alltid	Alla " -	x x x	x x x	x långa hål x " x "	x x x	(x) (x) (x)
II	2 ≤ Q < 5	Varje injekteringshål enligt schema i botten och i princip vart tredje injekteringshål enligt schema i väggar, tak bel. stuff*	$V_{fm} > 1$ $1 > V_{fm} > V_g$ $V_{fm} < V_g$	Alltid Alltid	Enl C2 eller alla om detta är ekonomiskt -	x x x	(x) (x) (x)	x " x " - "	x x x	(x) (x) (x)
III	5 ≤ Q < 10	I princip vart tredje hål enligt schema i botten, väggar och tak	$V_{fm} \begin{cases} > 1 \\ > V_g \end{cases}$ $V_{fm} < V_g$	Alltid Alltid	Enl C2 eller alla om detta är ekonomiskt -	x x	- (x)	(x) salvhål -	x x	(x) (x)
IV	10 ≤ Q	Efter bedömning på platsen och med hänsyn till V_g	$V_{fm} > V_g$	Efter bedömning på platsen					(x)	(x)

* V_{fm}, V_g och stuff se C2 x = sannolik åtgärd (x) = av åtgärd

Tabell E2

Exempel på åtgärder vid tunnelbygge

Tunnelavsnitt	Täthetsklass	Q	V_g	Förinjektering cement: botten	Förinjektering cement: övrigt z)	Kontr vid mätdamm	Efterinjektering zz): cement	Efterinjektering zz): kemisk	Anm
1320-1450	IV	10	0,5	-	-	(x)	25 %		
1450-1550	III	8	0,4	100 %	50 %	x	10 %		Minskad stuffinjekt
1550-1650	III	5	0,3	100 %	50 %	x	20 %		
1650-1850	II	3	0,2	100 %	100 %	x	20 %	40 %	
1850-1930	I	1	0,05	100 %	100 %	x	25 %	70 %	

z) % av fullständig injektering av väggar och tak på hela tunnelavsnittet

zz) % av utförd förinjektering inom tunnelavsnittet i regel frånsett bottnarna

x) åtgärd (x) eventuell åtgärd

Tabell E3

Exempel på tunneldimensioner, bergtäckning och injekteringsbredd vid några standard-tunnlar

Typ	H	B	f	T	a
Trapetsformad stationstunnel	8 800	20 300	3 500	12 000	4 500
Stationstunnel	6 750	9 200	1 900	10 000	3 500
Dubbelspårstunnel	6 000	8 100	1 600	9 000	3 500
Enkelspårstunnel	5 600	4 300	1 000	6 000	3 000
Avloppstunnel	2.400	2 200	400	5 000	2 500
Transporttunnel	5 000	4 500	900	6 000	3 000

Normalt väljs $f \geq \frac{B}{5}$ T = önskvärd minsta bergtäckning

Granskad av Statens Vägverk
1977-04-25 L. Angemar

Tunnelbanetunnlar, typritn	160 566
Perm mätdamm f. vatteninläckn i transporttunnlar	30 757
Permanent mätdamm	155 847
Genomföringshål, typritn	21104
Tunnelkart. i samb. med drivning	10 963
Beteckn. för geotekniska berggrundundersökn.	87 616

Rev.	Ant.	Revidering avser	Dat. Konstn	Gr.	Godk.
F		Omarbetad	-77 05-25		

Hänvisning

Byrå	Konstruktör	Rit.	Dat.
Kg	A. Hellgren, Å. Alskär	G.W	77-06-06

Granskad	77-04-06	77-03-28	
Byrå (motes)			
Sign.			

Tegit del B den / 19

Tegit del P den / 19

Godkänd den 7/6 1977

Arbetet utfört enligt ritn. utan/med ändringar | Sign. | Dat.

Skala

Nr 21 013 Rev. F

STOCKHOLMS GATUKONTOR
UTREDNINGSAVDELNINGEN

BERGTEKNISKA ANVISNINGAR VI
UTSPRÄNGNING AV TUNNLAR O
BERGRUM MED HÄNSYN TILL
FRÄMST BERGTÄCKNING OCH TÄ
HETSKRAV

ÄR INJEKTERING I BERG EN SVARTKONST?

Bilaga 6

Is grouting in rock a "Hocus Pocus"?

Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult AB, Stockholm,
under medverkan av injekteringsspecialisterna
Nils Lindblom och Mauritz Fahlgren, Hagconsult

Titeln på mitt anförande är provokativ, men det är med vett och vilja som jag valt denna formulering. Jag har gjort det därför att jag vill fästa uppmärksamheten på att vi, trots att vi hållit på och tätat berg i många år, ännu inte har åstadkommit en rationell modell över hur man skall arbeta med själva injekteringsprocessen.

Vad är det som skall tätas?

De kristallina bergarterna i Sveriges berggrund är vattentäta, dvs. någon vattenvandring av praktisk betydelse mellan mineralkornen (kristallfogarna) förekommer inte. Även en del av de i Sveriges berggrund förekommande sedimentära bergarterna är vattentäta, dvs. såväl sandstenar som kalkstenar kan vara så väl cementerade att något sammanhängande porsystem inte förefinnes.

Berggrunden har under gångna geologiska perioder varit utsatt för påkänningar av olika slag, s.k. tektoniska störningar, vilka medfört att bergmassan blivit uppsprucken och omvandlad. Sålunda genomskäres bergmassan av brottzoner (kross- och sprickzoner) som delar upp den i en mosaik av hela bergpartier (plintar) av varierande storlek från några 100-tal meter till flera kilometer eller mil.

Längs många av dessa brottzoner har vid flera tillfällen rörelser skett och naturen har ofta själv läkt ihop de krossprodukter som uppkommit i samband med rörelserna. En naturlig "injektering" av kalkspat eller kvarts har skett och den uppkomna slutprodukten, breccia, är ofta en mycket hållfast bergart.

Ostridigt är att rörelser i dessa brottzoner förekommit vid upprepade tillfällen i jordens historia och det kan inte uteslutas att det även i vårt land fortfarande, t.ex. i samband med landhöjningen, förekommer rörelser efter desamma.

Även lokalt kan en bergmassa uppvisa mycket varierande sprickfrekvens och sprickmönster. Graniter har t.ex. ofta en regelbunden parallellepipedisk uppsprickning under det att gnejser har en utpräglad huvudsprickriktning parallell med strykningen. sprickor och krosszoner i bergmassan har sedan lång tid tillbaka vattenfyllts och man kan litet tillspetsat säga att bergmassan är i allmänhet vattenförande trots att bergarterna är täta.

Människans ingrepp i berget i form av gruvor, bergrum och tunnlar, borrningar efter vatten och för undersökningsändamål

samt sprängningar i markytan har gett oss en viss uppfattning om berg rundens sprick- och krosszoner.

Det är en gammal tumregel från vattenborrningar i berg, att man har ett sprickigt vattenförande ytberg ned till 30 å 40 m djup och att, om man inte anträffat vatten före 100 m djup, man bör överväga att borra på ett nytt ställe. Rikligt med vatten kan emellertid anträffas på stora djup, men man måste då målmedvetet placera brunnshålet så att det på djupet träffar en större, djupgående brottzon. FIG. 1.

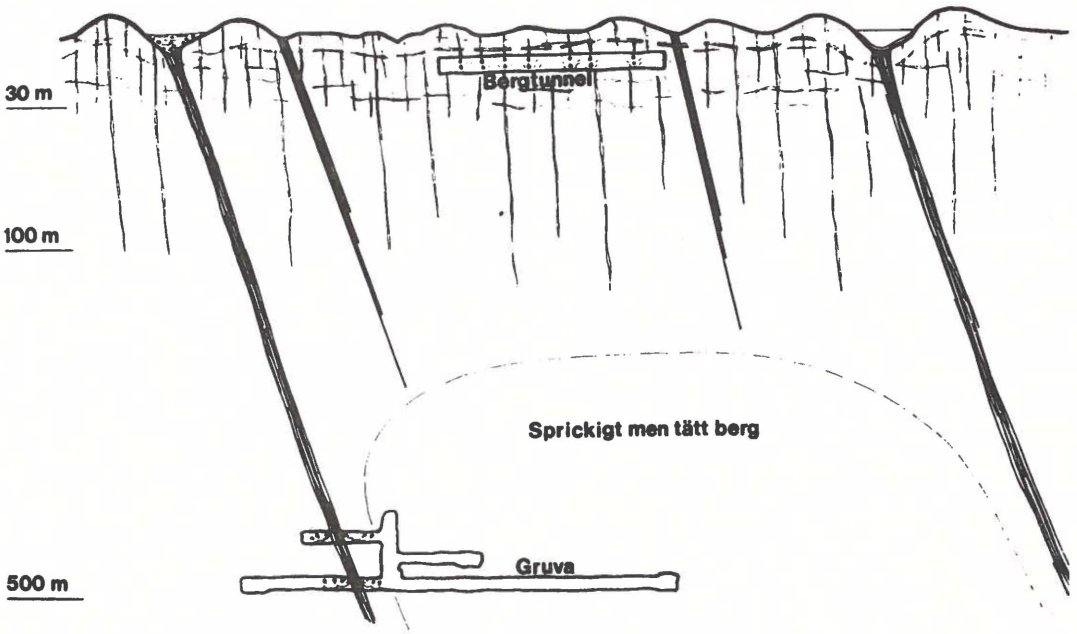


FIG. 1. Sektion visande hur bergets sprickfrekvens avtar mot djupet.

Section showing how frequency of fissures decreases towards the depth.

Det är lätt att underskatta en bergmassas kvalitet

De intryck vi får av bergets sprickighet kommer mestadels från ytberget som går i dagen samt från vägskärningar och ytligt belägna bergrum, tunnlar och bergschakt. Även från borrkärnor, som tagits upp i samband med bergundersökningar har man kunnat studera bergets sprickfrekvens. I alla dessa sammanhang får man emellertid oftast en felaktig bild av bergmassans kvalitet i stort, dvs. man får ett intryck av att berget mestadels är mycket trasigt. Detta beror inte bara på att det är ytberget man studerar utan också på att man vid sprängningarna misshandlat bergytorna (spräckt upp berget).

Vid undersökningsborrningar sker ett selektivt urval såtillvida att man i allmänhet borrar just där man misstänker dåliga bergpartier. Även när det gäller gruvor på stort djup, är berget ofta sprickigt och omvandlat. Här sker också ett urval som inte går till bergets favör, emedan de malmförande zonerna i urberget förekommer just i anslutning till störningszoner i berget. Detta gäller även bergrum och tunnlar vid kraftstationer där man tvingas att arbeta nära de preglaciala dalstråken som utskulpterats längs brottzoner där berget är dåligt.

Sprickigheten avtar mot djupet

Under högsta kustlinjen, där berget är frilagt med hjälp av havsvågorna, kan man studera bergmassans sprickighet. FIG. 2.

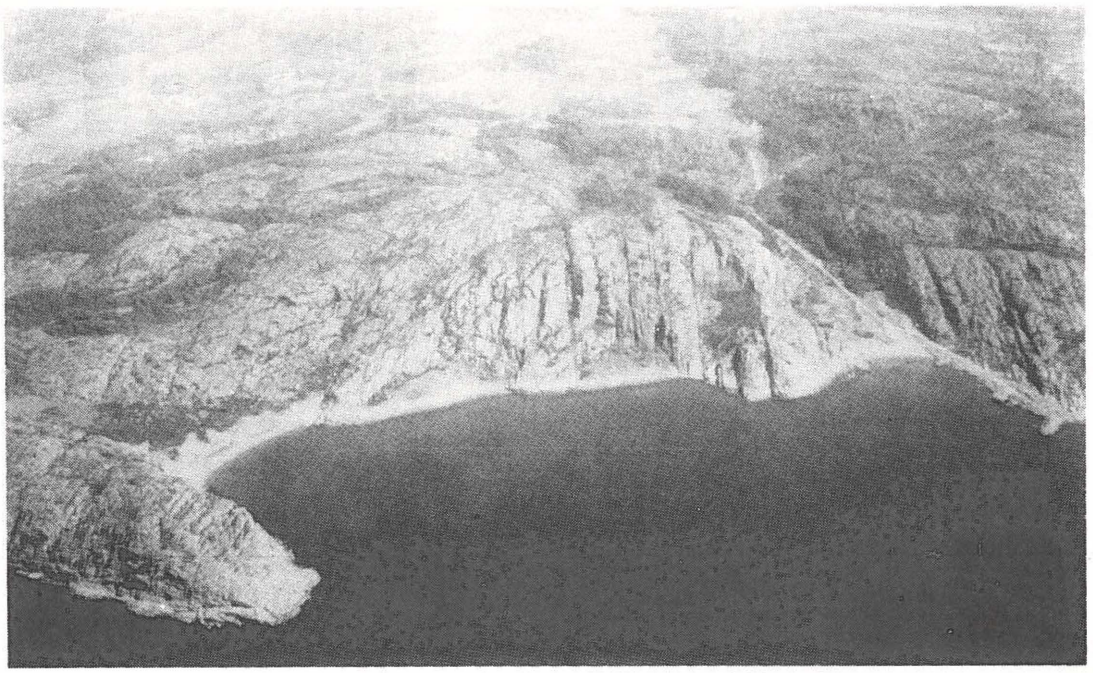


FIG. 2. Granitområde i Bohuslän.
Granitic area in Bohuslän.

Ytberget är uppsprucket i tunna skivor och området genomsättes av några rejäla brottzoner. Även om "berglimporna" ser föga inbjudande ut vad gäller vattentäthet, kan nämnas att man i stora bergrum på 30-50 m djup under havsytan hade ett mycket tätt berg med ett fåtal zoner i vilka havsvattnet trängde in.

Vid borrning ned till 100 m djup under markytan var berget mycket sprickfritt och i den borrkärna som visas på FIG. 3 var den naturliga sprickigheten i genomsnitt en sluten spricka per meter.

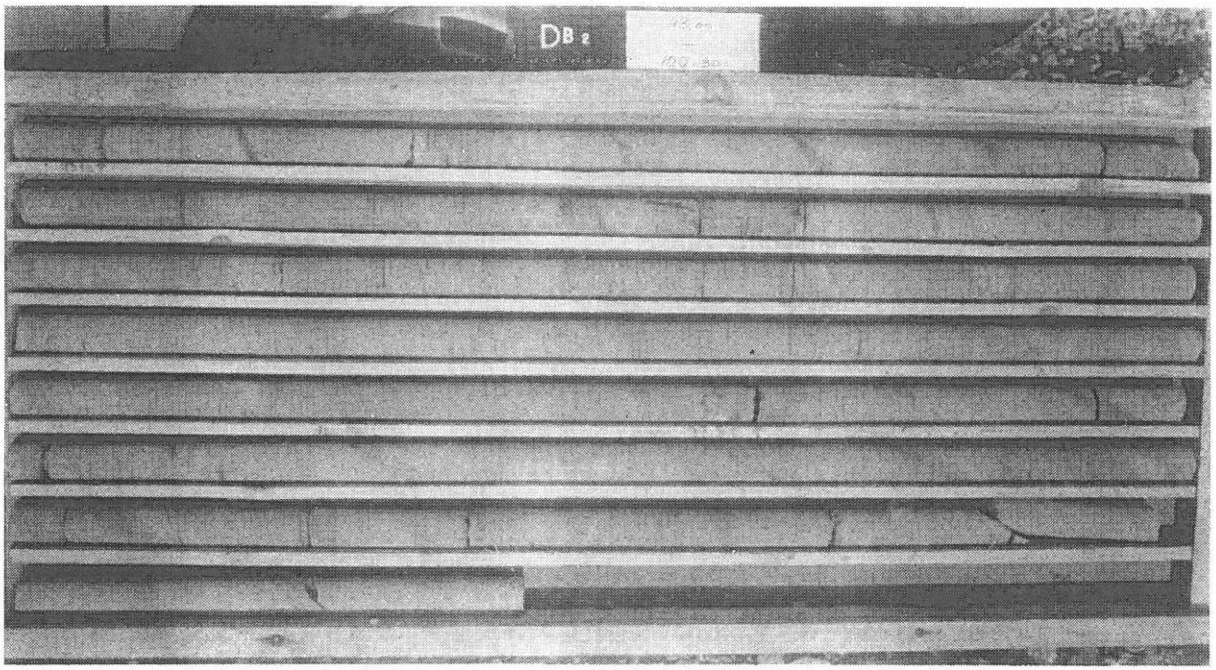


FIG. 3. Borrkärna i granit ca 100 m under markytan.

Core sample in granite approx. 100 m below ground surface.

I och med att man i dag kan utföra tunnlar i berg med s.k. "full-face-borrning", dvs. utan sprängning, har man fått en bättre möjlighet att studera bergets egna sprickor och krosszoner i ett icke sönderspängt berg. Dessa studier har ytterligare bekräftat att det på djupet finns stora sammanhängande bergmassor med mycket låg sprickfrekvens och med väl slutna sprickor.

Tätning av berg genom injektering av stora läckor

Ända fram till början av 1960-talet var det brukligt att i bergrum och tunnlar endast täta de starkt vattenförande sprick- och krosszoner som orsakade översvämning eller hindrade sprängning och lastning.

Ofta stötte man oförberett på "vattenådrorna" i berget, man "sprängde på sig vattnet", och fick långa stopp i bergarbetena tills tätning och ingjutning klarats av. Så småningom lärde man

sig att på basis av geologiska undersökningar skapa en förväntningsmodell vad beträffar de vattenförande störningszonerna i berget och föreskriva i dessa s.k. förinjektering, vilket innebär att man genom långa borrhål i brytfronten tryckte in företrädesvis cementslam för att fylla bergets sprickor och håligheter.

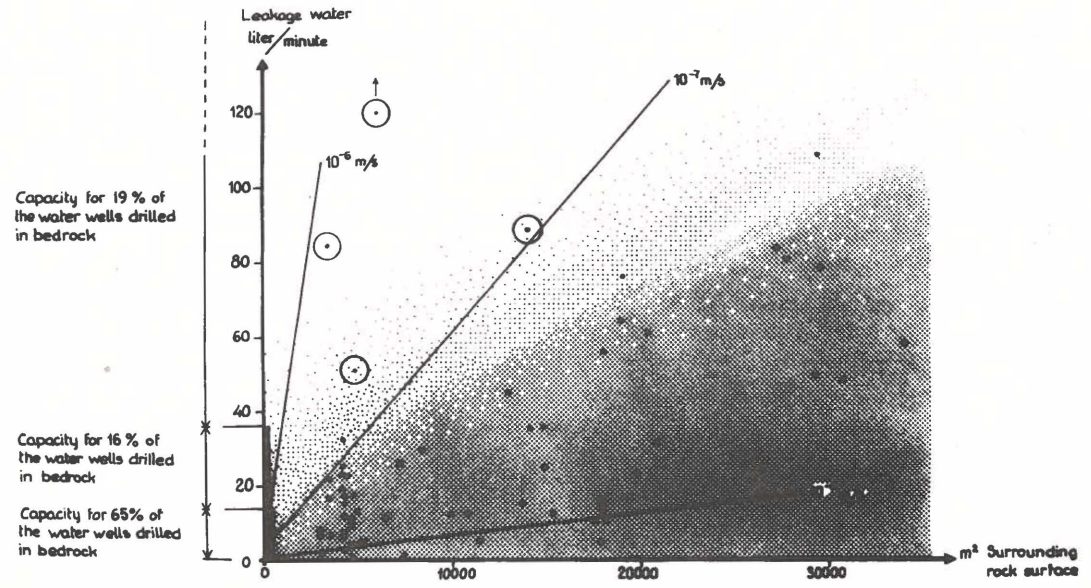
Vid avsaknad av geologiska informationer utföres ofta s.k. kontinuerlig sonderingsborrning för att avslöja eventuella vattenförande sprick- och krosszoner. Jfr Tor Hagerman /1/ ISRM, Oslo, 1969, "Groundwater Problems in Underground Construction".

Injektering vid höga täthetskrav

Först i början av 1960-talet, när det blev klarlagt att även mycket små inläckningar av grundvatten i bergtunnlar kunde förorsaka grundvattensänkning i bebyggelseområden med en förödande skadeverkan på gator och byggnader som följd, började man intressera sig för en fintätning av berg med injektering, /7/.

Efter att under hela 1950-talet ha utfört ett nät av bergtunnlar utan någon tätning alls, började man nu kontinuerligt täta berget genom företrädesvis cementinjektering och man har i dag satt upp vissa täthetskrav som skall uppfyllas. Detta innebär att man praktiskt taget fortlöpande förinjekterar berget och att tätningskostnaderna nu ligger i klass med kostnaderna för själva tunnelsprängningsarbetet. Jfr Lysén och Palmquist /2/, BFR-rapport R 4:1976, "Tätning av bergtunnlar".
De tätningskrav som ställts upp är emellertid inte alltid geoanpassade utan anger inläckande vattenmängder per kilometer och tidsenhet. Man mäter inläckningen mellan mätvallar, som ligger en kilometer eller mer från varandra och talar sålunda om en tillåten inläckning av storleksordningen 20-30 lit/min och km tunnel. Detta betraktelsesätt är emellertid vanskligt då det visat sig att en inläckning av denna storleksordning, koncentrerad endast till ett visst känsligt område, kan förorsaka grundvattensänkning med förödande skador på ovanliggande bebyggelse som följd. FIG. 4.

Ännu högre täthetskrav kommer att ställas på de tunnlar, vilka man har planer på att utföra på stort djup för deponering av radioaktivt avfall.



Läckvattenmängderna har studerats i 73 underjordiska anläggningar i gnejs och granit. Magnus Bergman /8/.
Som framgår av diagrammet ovan har bergmassan vid flertalet av anläggningarna en läckvattenmängd motsvarande 0,36 - -0,036 lit/m^2 och timme.

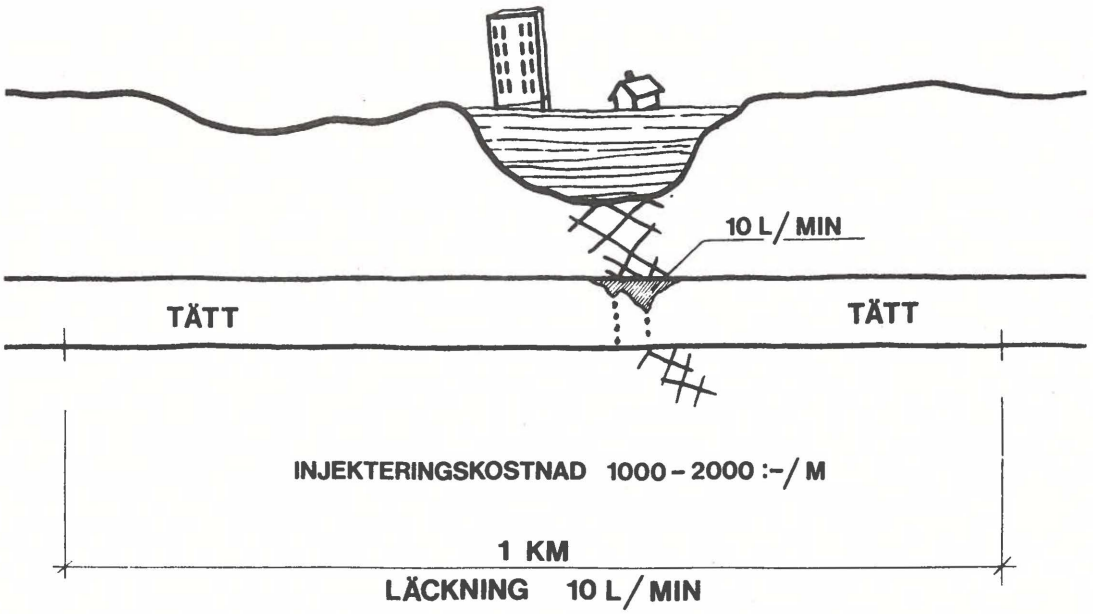


FIG. 4.

Forskning och utveckling beträffande injektering vid höga täthetskrav

I och med att injekteringsinsatserna, speciellt vid tunneldrivning, blivit av stort format har en omfattande forskning bedrivits framförallt i Byggforskningens regi. I BFR-rapport R 45:1970, Sten G.A. Bergman m.fl. /3/, redovisas resultaten från försök som utförts för att utreda olika injekteringsmaterials framträngande egenskaper i sand och i smala spalter, 0,05-0,4 mm.
I BFR-rapport R 25:1975, Sten G.A. Bergman m.fl. /4/, Tunneltätning mot små läckage, redovisas försöken att i en bergtunnel prova olika injekteringsmaterials lämplighet för tätning mot små vattenmängder. Dessa forskningar har utförts i samband med Hagconsult och Stabilator, vilka företag även ekonomiskt bidragit till att forskningarna kommit till stånd.
För närvarande pågår i Byggforskningens regi en undersökning beträffande olika i handeln förekommande injekteringsmaterials sammansättning och egenskaper. Till denn forskning bidrar, förutom de två förutnämnda företagen också Besab.
Lars Lysén och Kai Palmquist /2/ har i rapport BFR R4:1976 redovisat hur man kan samordna injekteringsrutin med tunneldrivning etc.

I BFR-rapport R15:1976, Bergrum och tunnlar - byggnadsgeologisk uppföljning och kartering, Carl-Olof Morfeldt /5/, har angivits riktlinjerna för hur en geo-uppföljning och en geo-redovisning av arbeten i berg inklusive injektering kan ske.

Berginjektering — en komplicerad uppgift

Målsättning: Att fullständigt fylla ut sprickorna (injektera) i en bergmassa med ett hårdnande, resistent material.

Förutsättningar: Sprickornas vidd (varierande grad av öppenhet) — utsträckning — kommunikation (sprickmönster) — rymdorientering — fyllnadsmaterial (mineralisering · skölar · vittringsprodukter av jord och bergartsmaterial) — sprickytornas utseende (grad av planhet) är några av de många geologiska parametrar som gör injekteringsarbetet komplicerat.

Geo-anpassad och projektanpassad förinjektering

Förinjektering [+)] innebär att bergmassan tätas innan utsprängning sker. Borrhålen placeras och riktas så att de "träffar" diskontinuiteterna i berget i enlighet med den injekteringsmodell som göres upp från fall till fall.

Renspolning av sprickorna ett viktigt moment

Sprickfyllnaderna hindrar en fullgod och beständig tätning och måste därför spolas bort. Ofta är det nödvändigt att spola växelvis med vatten och luft samt att ha tätt mellan hålen. Proceduren kan vara tidsödande och bör pågå tills klart vatten erhålles sedan man fått upp förbindelser mellan hålen. Oftast tar urspolningen mer tid än själva injekteringsprocessen. Ofullständig spolning och rengöring av sprickorna medför att grundvattnet efter injekteringen letar sig nya vägar. Vattnet har god tid på sig och plockar sakta men säkert bort sandkorn för sandkorn, lerpartikel för lerpartikel.

Case Histories

Här skall ges några exempel på misslyckanden beroende på ofullständig rengöring av bergsprickorna eller ofullständig injektering med utläckning av cementet som följd.

En avloppstunnel läckte genast efter utsprängningen 1971 18 lit/min per 100 m tunnel. Efter utförd tätning reducerades inläckningen till 3,6 lit/min och 100 m tunnel. I mars 1974 var läckningen åter 18 lit/min per 100 m. Vattnet hade hittat nya läckvägar.

[+)] Hagerman, T.H., Morfeldt, C-O, Air-tight and Water-tight Rock Chambers, Civil Engineering and Public Works Review, Vol. 50, No. 584, 1955 /6/

En berganläggning för oljelager i oinklädda bergrum läckte efter injekteringen vid byggandet av 700 m^3/dygn. Tre år senare hade läckaget ökat till 1.100 m^3/dygn. På grund av att oljan förvaras på uppvärmd vattenbädd (ca 60°C) är det inte bara de ökade pumpningskostnaderna utan framförallt effektförlusten vid bortpumpningen av varmvattnet som i dag gör anläggningen nära oekonomisk.

Miljön i sprickorna kan verka menligt på hårdnandet

Skölmineral på sprickytorna samt lågt pH-värde (kismineral) kan störa såväl cementens hårdnande som plastens härdning. Är detta förklaringen till att man ibland får erfara hur såväl cementvällingen som plastlösningen ifrån en förinjektering rinner ut vid utsprängningen?

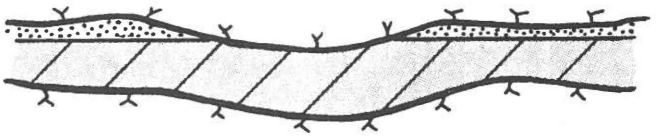
Injekteringsförfarandet

Injekteringsförfarandet skall planeras efter den förväntningsmodell man kan bygga upp på basis av de erfarenheter man fått vid spolningen av sprickorna och den efterföljande stegvisa vattenförlustmätningen i borrhålen. FIG. 5.

- Injekteringen skall drivas från golvnivå och uppåt, vatten-cementförhållandet måste ständigt anpassas till vad berget kan ta emot i de olika borrhålen och i de olika nivåerna i dessa.

- Även trycket anpassas till vattengenomsläppligheten och brukets tjocklek.

- Utfyllnaden skall vara fullständig i såväl horisontella som vertikala sprickor. Särskilt i horisontella sprickor erhålles lätt ovan den hårda "cementkakan" en vattencementblandning som inte hårdnar. Denna rinner ut och det är fritt fram för cementens urlakning enligt skiss.



Ofullständig cementinjektering i bergspricka. Ovan "cementkakan" resterar ett icke hårdnat cementslam.

Incomplete cement grouting in a rock fissure. Above the "cement-cake" there remains an unhardened sludge of cement.

- Bruket skall "hållas levande" och följas upp från hål till hål. "Luftlåsning" i sprickorna måste härvid undvikas så att inte cementvällingen blockeras.

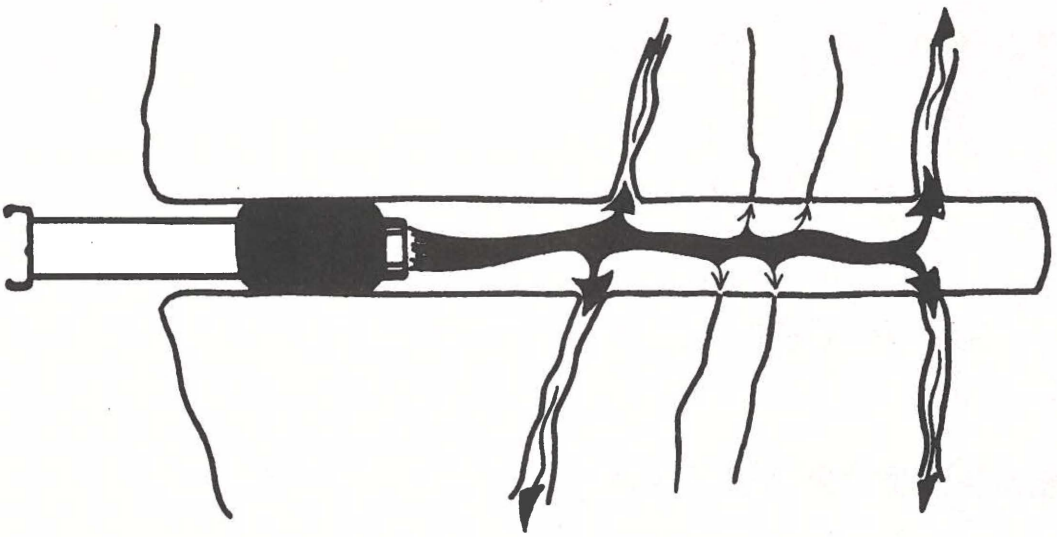


FIG 5 a.

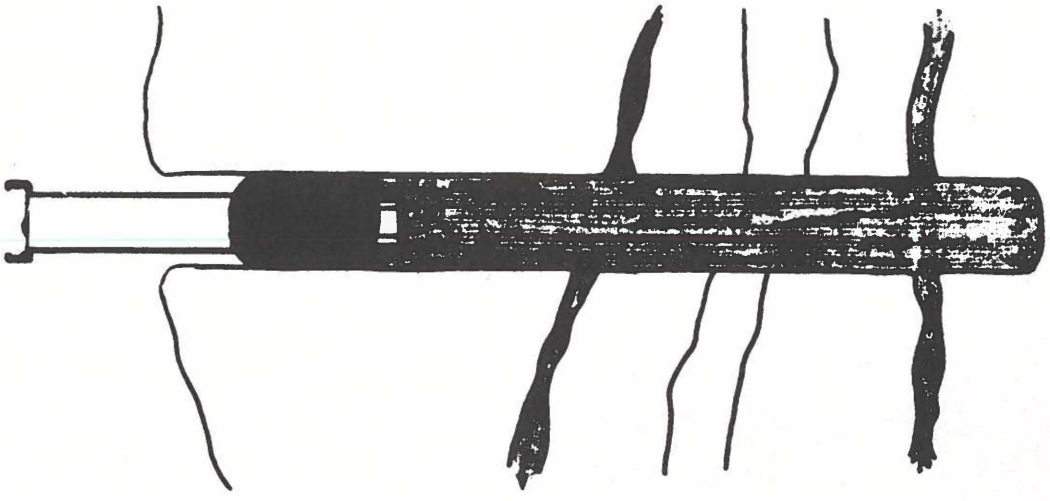


FIG. 5 a och b. Tjocka blandningar blockerar de fina sprickorna. Fintätning erhålles ej. Ofta fylls endast borrhålet och berget omkring förblir otätat.

Thick compounds block the fine fissures. Tight sealing is not obtained. Often the drill hole only becomes filled and the surrounding rock remains unsealed.

Injekteringsförfarandet är en procedur vars resultat i första hand beror på injekteringspersonalens skicklighet och erfarenhet. Det finns ett gäng "super stars" som far land och rike kring och lyckas med det mesta i tätningsväg, där andra misslyckas. Dessa "trollkarlar" har en gemensam melodi. De viker aldrig från injekteringsfronten förrän bruket lyfts över taknivån och de håller hela tiden bruket levande och de vet att ett uppehåll kan betyda en misslyckad injekteringsomgång.

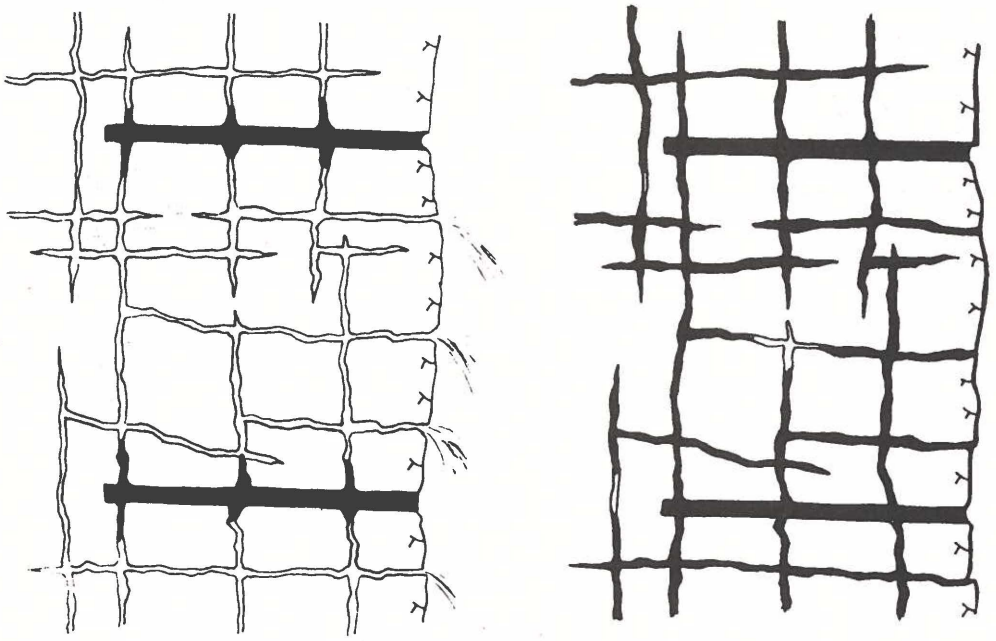


FIG. 6. Skissen visar misslyckat och lyckat injekteringsresultat.
Bilden till vänster: På grund av ofullständig rengöring av sprickorna blir efter en tid berget på nytt otätt.

The figure shows one successful grouting result and one which was not successful.
The left-hand picture: Owing to unsatisfactory cleaning of the fissures, the rock becomes after some time untight again.

Driftsanpassad injektering betyder en kamp om tiden

I och med att injekteringen är en i tunneldrivningen integrerad process med kostnader som är lika med eller större än själva sprängningskostnaden, har man sökt finna tidsbesparande injekteringsförfaranden. Ett av dessa är s.k. multipelinjektering, vilken i princip innebär att man från en och samma injekteringsutrustning över speciella ventiler injekterar flera hål på en gång.

Med detta förfaringssätt kan man inte åstadkomma den individuella anpassning av urspolning, cementblandning och tryck som är nödvändig för ett fullgott injekteringsresultat.

Berginjektering är och kommer att förbli en tidsödande procedur. Bergets skiftande beskaffenhet och anisotropi kräver ständigt speciella hänsynstaganden. Detta medför i praktiken på arbetsplatsen en rad intressekonflikter, vilka ofta löses på injekteringens bekostnad.

Är injekteringen en svartkonst?

Av det ovan anförda torde framgå att man har ett föga ingenjörsmässigt grepp över hur injekteringsproceduren (arbetsoperationerna) skall gå till. Allt skötes i dag av "de kloka gubbarna" men de bli ofta på grund av tidsnöd "trängda i sitt arbete" på grund av att entreprenadkontrakten är så konstruerade att det vid tidsnöd är frestande att göra avkall på renspolningskravet.

I avsaknad av praktisk forskning i här berörda frågeställningar samt av en handbok, instruktionsbok i geo-anpassad bergtätning från framtagandet av den geologiska förväntningsmodellen till det tätade berget, är injekteringsförfarandet ännu någonting av en svartkonst. Denna måste nu, när injekteringsarbetet fått en så dominerande roll i bergarbetet, bemästras.

Det är ett samhällsekonomiskt intresse av stort format, inte bara för en god totalekonomi i bergbyggandet utan framförallt för att vi måste ha garantier för att våra tätade tunnlar och bergrum förblir täta.

Det är praktiskt taget ogörligt att komplettera tätningen av en tunnel som tagits i bruk. Att täta på rätt ställe på rätt sätt är viktigt. Forskning och utveckling behövs, en chans för STU, BFR och BeFo.

SUMMARY

The method of sealing rock by grouting with material insoluble in water has been used for many years, especially in Swedish mines. Only at the beginning of the 1960ies, when large tunnel building projects under our cities started, it became obvious that, in order to avoid a lowering of the groundwater level, it was necessary to thoroughly tighten the rock under clayey areas to avoid crucial damage on surface constructions.

The demands for sealing of rock tunnels before blasting have become much more severe and the aim today, is to keep the inleaking volumes of water very low, i.e. approx. 1-2 lit/min per 100 m tunnel length. This development has resulted in the fact that sealing costs at tunnel driving below built-up areas exceed those of blasting today.

Intensive research and development work is presently being undertaken regarding the grouting material's properties and penetration capacity in fine joints. As regards the grouting--in-rock procedure itself, however, no firm regulations do yet exist. This task is left completely to the judgement of the grouting leaders on the site.

Practical research and development are sought for methods of: establishment of a geological grouting-technical model of results to be expected; cleaning-out of fissures by washing; adaptation of grouting pressure and grouting material to different types of rock and different types of projects.
The aim should be to obtain a "Book of Instructions for geo-adapted and project-adapted sealing of rock through grouting".

REFERENSER

/1/ HAGERMAN, TOR H., "Groundwater Problems in Underground Construction", ISRM, Oslo, 1969.

/2/ LYSÉN, LARS, PALMQUIST, KAI, "Tätning av bergtunnlar, Projekteringsmetodik, injektering och förstärkning", BFR-rapport R4:1976.

/3/ BERGMAN, STEN G.A., m.fl. "Injekteringsmedlens inträngning i sand och smala spalter", BFR-rapport R45:1970.

/4/ BERGMAN, STEN G.A., m.fl. "Tunneltätning mot små läckage, BFR-rapport R25:1975.

/5/ MORFELDT, C-O., "Bergrum och tunnlar, Byggnadsgeologisk uppföljning och kartering", BFR-rapport R15:1976.

/6/ HAGERMAN, TOR, MORFELDT, C-O., "Air-tight and Water-tight Rock Chambers, Civil Engineering and Public Works Review, Vol. 50, No. 584, 1955.

/7/ MORFELDT, C-O., HULTSJÖ, SVEN, "Litet dropp stjälper ofta stor stad", Väg o. Vattenbyggaren No 6, 1973.

/8/ BERGMAN, MAGNUS S,. "Inventering av läckvattenmängder i tunnlar och bergrum", Stockholm 1977.

Bilaga 7

INSTITUTIONEN FÖR JORD- OCH BERGMEKANIK
KUNGLIGA TEKNISKA HÖGSKOLAN
100 44 STOCKHOLM 70
TEL: 08- 787 79 12

DEPARTMENT OF SOIL AND ROCK MECHANICS
ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
S-100 44 STOCKHOLM 70, SWEDEN
TEL: +46 8 23 65 20

ER/YOUR REF. VÅR/OUR REF. DATUM/DATE

1978-11-17

BeFo
Box 5501
114 85 STOCKHOLM

Beträffande injektering av berg

Tätning och förstärkning av berg med injektering är ett arbete vars resultat beror till stor del på injekteringspersonalens skicklighet. Denna hantverkskonst är uteslutande baserad på erfarenhet och finns sålunda i huvudsak samlad hos arbetsledarna i de "stora" injekteringsföretagen såsom t ex Stabilator, Hagconsult, Besab.

Den forskning, som bedrivits, har till största delen varit observerande av speciella problem, såsom inträngning av olika injekteringsmedel i konstgjorda sprickor och spalter eller uppmätning av förbrukad injekteringsmängd i tunnlar.

Jag vill därför föreslå, att kommande forskning inom injekteringsområdet inriktas på följande sätt:

A) Dokumentering av den erfarna injekterarens kunskap.

B) Teoretisk behandling och belysning av olika injekteringsmetoder.

Dessa arbeten kan exempelvis bedrivas genom intervjuer med "experterna" från de olika injekteringsbolagen gällande metodiken vid några typfall vad gäller geologi och krav på tätning. I den teoretiska behandlingen kan ingå dels uppställande av fysikaliska lager, dels bestämning av olika parametrar för injekteringsmetodiken. Det är även viktigt att relationer göres till bergmassans egenskaper och då främst till permeabilitet och porositet.

Vid institutionen för jord- och bergmekanik, KTH, bedrives bergmekanisk forskning inriktad på anläggningstekniska problem. Exempelvis har just arbeten avslutats som har behandlat metodik och teknik för bestämning av bergmassans permeabilitet och porositet.

Den skisserade forskningen om injektering kan utföras vid institutionen för jord- och bergmekanik i samarbete med de nämnda företagen, så den baskunskap som där finns kan bilda grunden för forskningen.

Högaktningsfullt

Håkan Stille

BERGTUNNLAR

En sammanställning av att täta vattenläckage i tunnlar och bergrum, metoden och det forskningsarbete som hittills bedrivits.

Buster Sund, TYRÉNS

Inledning

Injekteringsmetoderna har under de senaste 30 åren utvecklats ungefär i den takt som behovet av en bergtätningsmetodik aktualiserats. Så har t ex den egentliga injekteringsenheten blivit mindre till omfånget, borrmaskinerna snabbare och tätningsmedel för vissa slag av specialtätning har tagits fram av intresserade tillverkare. Trots detta måste man dock slå fast att injekteringsarbetet halkat efter om man jämför utvecklingen på andra områden inom bergbyggandet, t ex tryckluft - hydraulmaskin, sprängningsförfarandet, registrering av vibration.

Historik och tidigare forskning

I anslutning till den intensiva period (1950-talet) av tunnelbyggande och utförande av stora bergrum (oljelager) i och kring våra stora tätorter blev metoden att genom borrhål i berg under högt tryck pressa in cementsuspensioner i bergets spricksystem mera allmänt tagen i bruk. Tidigare hade injektering mot vatteninrinning huvudsakligen använts i samband med gruvbrytning och kraftverksbyggen.

De skiftande grundläggningsförhållanden som fanns i t ex Stockholm gjorde att otillräckligt tätade tunnlar så småningom även skadade fastigheter belägna inom leromräden. Av forskningsgruppen STEGA utfördes mellan åren 1966-73 med anslag från BFR den första moderna inventeringen av byggnadsskador som uppstått på grund av grundvattensänkning. I slutrapporten (R20:1974) behandlades även tätningsproblematiken och STEGA-gruppen påpekade att kravet på tätning av vattenförande spricksystem i bergrum och tunnlar måste höjas för att i tätbebyggda samhällen undvika skador på byggnader. En frivillig begränsning av vatteninrinningen i tunnlar i t ex Göteborg, Västerås skedde också som följd av forskningsresultatet. Även IVA:s bergmekanikkommitté tog redan år 1967 upp frågan om tätning av småvattenläckagen i tunnlar och bergrum. BFR beviljade medel för detta forskningsprojekt, som ekonomiskt även stöddes av företagen Hagconsult AB och Stabilator AB (BFR-rapport R45:1970).

I slutskedet av STEGA-arbetet (1972) startades en målinriktad forskningsperiod med medel från BFR. En särskild programgrupp för "Geohydrologisk forskning" bildades. Denna grupp fick till uppgift att samordna forskningsinsatserna inom området grundvatten och byggande. Inom institutioner (SGU) och högskolor, framför allt CTH, började en vetenskapligt inriktad grundvattenforskning. Av de många undergrupper som bildades fanns även en grupp som kallades "Tunneltätargruppen". I gruppen fanns under Leif Andreassons ledning entreprenörer, konsulter och representanter för de större injekteringsbolagen.

Den hydrogeologiska forskningen har främst inriktat sig på metoder att i förväg kartlägga riskområdena längs en tunnel och tätningsproblematiken i tunneln. Den stora satsningen på geohydrologisk forskning var från BFR:s sida avslutad omkring år 1976. Därefter har i huvudsak "biprodukter" till äldre geohydrologiska forskningsprojekt erhållit BFR-anslag. I detta sammanhang får man icke glömma bort det utvecklingsarbete som kontinuerligt under årens lopp bedrivits hos de större injekteringsföretagen. Givetvis får ej heller glömmas Vattenfalls insatser på injekteringsområdet.

Injektering, kostnadsfördelning och teknik

En uppdelning av injekteringskostnader ser idag ut ungefär enligt följande:

Maskinhyra och arbete	75 - 80 %	av injekt.kostn
Borrning av inj.hål	15 - 20 %	-"-
Injekteringsmedel	5 - 10 %	-"-

Av denna framgår att arbetskostnaden är den allt dominerande där förmodligen lönekostnaden, helt oåtkomlig för "injekteringen" torde vara den största biten. Utnyttjande av flera borrhål samtidigt och effektivare tätningsmedel skulle gemensamt kunna förkorta den totala arbetstiden och därmed även minska på de totala injekteringskostnaderna.

De enskilda delar som ingår i en injekteringsutrustning (pump och blandare) torde idag var för sig tekniskt vara av så hög klass att någon påtaglig förbättring av dagens injekteringsutrustning knappast är trolig. Däremot kan det väl tänkas att samma delar skulle kunna ingå i en helt ny injekteringsapparat. Denna fråga kan endast besvaras av maskintillverkare i Sverige och utomlands.

Borrmaskinerna har undergått en radikal förvandling från tryckluftdrivna handhållna ett-hål-i-taget-maskiner till effektiva hydraulaggregat, som möjliggör borrandet av flera hål samtidigt. Denna sistnämnda egenskap har enligt min uppfattning icke utnyttjats vid planeringen för ett tätningsarbete.

Injekteringsmedel utöver den konventionella cement-vattenblandningen finns på marknaden i form av ett otal preparat. Många har prövats, men den väntade tätningseffekten har oftast uteblivit beroende kanske på okunnighet hos injekteringspersonalen men också hos tillverkaren och grundvattenföringen i urberget. Inom denna sektor, injekteringsmedel, finns goda utvecklingsmöjligheter till fromma för tätningsarbetet. Personliga kontakter med både inhemska och utländska tillverkare av kemisk-tekniska produkter styrker denna uppfattning.

Injekteringsarbetets utförande

Det finns redan idag fullt acceptabla lösningar hur man skall driva en tunnel med största möjliga täthet. Injekteringsformen kallas förinjektering. Där metoden fått utföras utan störande påtryckningar har redan idag redovisats 85 % tätningsgrad i tunneln. Samstämmiga uppgifter framför allt från omfattande tätningsarbeten i såväl Finland som Norge talar för en noggrant utförd förinjektering när det föreligger ett behov av en tät tunnel. Den allvarligaste kritiken mot en helhjärtad insats av förinjektering kommer från tunnelsprängaren, nämligen den att förinjektering inkräktar på framdriften räknat i meter per månad. Skall tunnlar i framtiden över huvud taget få utföras under grundvattenytan måste beställaren ge ett klart besked om önskemålet; en tät tunnel som tar tid att utföra eller en "snabb" tunnel där grundvattenproblemen endast delvis beaktas.

Efterinejktering torde i de flesta fall bli nödvändig att utföra i en tunnel. Här visar erfarenheten att bästa tätningsresultatet erhålls om man utför en systematisk uppborrning av berget kring en läckande spricka. Risken är i annat fall att man endast flyttar läckvattnet från en spricka till en annan.

Förslag till forskningsuppgifter

1. Injektering i flera hål samtidigt (multipelinjektering). Avser både för- och efterinjektering med såväl cementsuspensioner som kemiska lösningar. En viss erfarenhet, som skall inhämtas, finns redan från denna form av injektering. Ett intressant spörsmål är hur tätningsmassan sprider sig. Längs respektive tvärs tunneln. Vidare bör borrhålslängder och hålens riktning, dvs vinkel med tunnelaxeln, undersökas. Tidsvinsten måste givetvis vara intressant att få dokumenterad. Hur skall injekteringshålen kontrolleras, t ex mängd och tryck?

2. Tätning av öppna rikligt vattenförande slag. Erfarenheter från Vattenfall. Hittills har man utöver normalfallet med cementsuspension endast berört tätning av ett finsprickigt berg med kemiska lösningar. Kraven på god arbetsmiljö ökar för ett tunnelarbete.

3. Injekteringsmedel.
Är det viktigt att alltid börja en tätningsomgång med cementsuspension blandningsförhållandet 1:5?

4. Hur skall injekteringsresultatet kontrolleras?
Räcker det att registrera grundvattenytans variationer i grundvattenobservationshålen? Kan en höjning av sprickvattentrycket kring en tätad tunnel utgöra ett bevis för en god tätningsinsats?

5. Vattenförlustmätningen, dess utvärdering och utförande.
Vattenförlustmätningen fungerar idag som en sorteringsmekanism. Resultatet bestämmer tillvägagångssättet vid injekteringen. En säkrare tolkning av mätresultaten ger en ur tätningssynpunkt riktigare arbetsgång. Kan man göra vattenförlustmätning samtidigt i flera hål?

Stockholm som ovan

Buster Sund