BeFo

# Tätning av bergtunnlar

## Injekteringsutförande och resultat

Kai Palmqvist

Stiftelsen Bergteknisk Forskning — BeFo
Statens Råd för Byggnadsforskning — BFR

BeFo 66:1/83

# Tätning av bergtunnlar
# Injekteringsutförande och resultat

Kai Palmqvist

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 791649-3 från Statens råd för byggnadsforskning till BERGAB-Berggeologiska Undersökningar AB, Göteborg.**

INNEHÅLL


| | | |
|---|---|---|
| | FÖRORD | 5 |
| | SAMMANFATTNING | 7 |
| 1 | INLEDNING | 10 |
| 1.1 | Bakgrund | 10 |
| 1.2 | Målsättning | 11 |
| 2 | UPPLÄGGNING | 12 |
| 2.1 | Inledning | 12 |
| 2.2 | Objektbeskrivning | 12 |
| 3 | METODIK | 17 |
| 3.1 | Inledning | 17 |
| 3.2 | Uppläggning av datainsamlingen | 17 |
| 3.3 | Kommentarer till valda parametrar | 17 |
| 3.3.1 | Parametrar över bergförhållanden och grundvatteninläckning | 17 |
| 3.3.2 | Parametrar över injekteringsutförande | 24 |
| 3.3.3 | Bearbetning och utvärdering av grunddatatabellerna. | 25 |
| 4 | INJEKTERING | 26 |
| 4.1 | Ale-tunneln | 26 |
| 4.1.1 | Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag | 26 |
| 4.1.2 | Injekteringshålens läge och riktning | 29 |
| 4.2 | Bolmen-tunneln | 30 |
| 4.2.1 | Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag | 30 |
| 4.2.2 | Injekteringshålens placering och riktning | 32 |
| 4.3 | Göta älv-tunneln | 33 |
| 4.3.1 | Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag | 33 |
| 4.4 | Härryda-tunneln | 36 |
| 4.4.1 | Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag | 36 |
| 4.4.2 | Injekteringshålens läge och riktning | 37 |
| 4.5 | Partille-tunneln med transporttunnel | 38 |
| 4.5.1 | Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag | 38 |
| 4.5.2 | Injekteringshålens läge och riktning | 38 |
| 4.6 | Slottsskogen-Annedal-Mölndal | 39 |
| 4.6.1 | Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag | 39 |
| 4.6.2 | Injekteringshålens läge och riktning | 39 |
| 4.7 | Vreten-Sundbyberg-Rissne | 40 |
| 4.7.1 | Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag | 40 |
| 4.7.2 | Injekteringshålens läge och riktning | 44 |
| 5 | INJEKTERINGSRESULTAT | 47 |
| 5.1 | Inledning | 47 |
| 5.2 | Bergarternas betydelse ur tätningssynpunkt | 47 |

5.3 Sprickmönstertyp - tätningsresultat . 48
5.3.1 Ominjektering . . . . . 48
5.3.2 Efterinjektering . . . . . 51
5.3.3 Synliga läckage . . . . . 59
5.4 Sprickfyllnad - tätningsresultat . . . 84

6 ANALYS OCH SLUTSATSER . . . . . 87
6.1 Orsaker till tätningsproblem . . . . . 87
6.2 Berggrundsförhållanden - tätningsresultat . . . . . 87
6.2.1 Bergarter . . . . . 87
6.2.2 Sprickmönstertyp . . . . . 87
6.2.3 Sprickfyllnad . . . . . 89
6.3 Antal borrhål och borrhålsavstånd i injekteringsskärmarna . . . . . 90
6.4 Cementåtgång vid förinjektering . . . . 93
6.5 Grundvattentryck - synliga läckage . . 103
6.6 Typfall ur tätningssynpunkt . . . . . 113
6.6.1 Indelning i typfall . . . . . 113

7 TYPFALL VID PRAKTISK INJEKTERING . . . 116
7.1 Prognostisering av typfall . . . . . 116
7.1.1 Prognos av typfall vid projektering . . 116
7.1.2 Prognos av typfall under tunneldrivningen . . . . . 117
7.1.3 Information från sonderings- och injekteringsborrning . . . . . 118
7.1.4 Vattenförlustmätningens värde vid typfallsbestämning . . . . . 118

8 TÄTNINGSMETODER OCH RESULTAT . . . . . 124
8.1 Inledning . . . . . 124
8.2 Tätningsresultat efter utförd för- och efterinjektering . . . . . 124
8.3 Berggrundsförhållanden - tätningsmetod - tätningsresultat . . . . . 125
8.4 Vattenförlustmätning - val av injekteringsmedel . . . . . 129
8.5 Injekteringsmedel . . . . . 131
8.6 Tid mellan avslutad injektering och salvborrning . . . . . 131
8.7 Sprängning - skadezon . . . . . 131

9 UTVECKLING AV EFFEKTIVARE TÄTNINGSMETODER VID FÖRINJEKTERING . . . . . 133
9.1 Inledning
9.2 Tätningsutföranden anpassade till täthetskrav och bergförhållanden . . . . . 133
9.2.1 Erforderlig tätningsinsats . . . . . 134
9.2.2 Skärmlängd . . . . . 134
9.2.3 Hålens antal . . . . . 134
9.2.4 Hålens riktning . . . . . 135
9.2.5 Injekteringsmedel . . . . . 135
9.2.6 Tätningsutförande . . . . . 135
9.2.7 Sprängning . . . . . 136

10 LITTERATURFÖRTECKNING . . . . . 138

# FÖRORD

Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo) samlade i november 1978 ett tjugotal representanter för beställare, entreprenörer, konsulter och institutioner för att diskutera vattenproblem i samband med bergbyggande. I en rapport från mötet (Franzén 1979) sammanfattas diskussionen och formuleras några områden, inom vilka konkreta projektförslag borde utformas. En arbetsgrupp tillsattes för att utarbeta projektförslag inom de prioriterade områdena.

I arbetsgruppen ingick

| | |
|---|---|
| Claes Alberts, | Stabilator AB |
| Mats Alestam, | Sydkraft AB |
| Sten Bjurström, | BeFo (ordf) |
| Tomas Franzén, | BeFo |
| Arne Hellgren, | Stockholms Gatukontor |
| Gunnar Nord, | SCG (sekr) |

Arbetsgruppen presenterade i december 1979 fem projektförslag, vilka ansågs värda att snarast påbörjas. Med ett av dessa projekt avsågs att genom successiv uppföljning av geologi, injekteringsteknik och tätningsresultat vid ett antal tunnlar under drivning, söka utvärdera lämpliga tätningsmetoder vid olika geologiska förhållanden och täthetskrav.

BERGAB erhöll 1980, på en ansökan tillsammans med BeFo, medel från Byggforskningsrådet för det beskrivna projektet med fil lic Kai Palmqvist som projektledare.

Vid ett möte på Göteborgs VA-verk 1981-02-19 presenterades projektets uppläggning inför en referensgrupp, som bestod av:

| | |
|---|---|
| Claes Alberts, | Stabilator |
| Tomas Franzén, | BeFo (sekr) |
| Gunnar Gustavsson, | VIAK |
| Arne Hellgren, | Stockholms Gatukontor |
| Bengt Ivarsson, | BESAB |
| Kjell Karlström, | Stabilator |
| Lars Lysén, | VA-verket Göteborg, ordf |
| Gunnar Nord, | SCG |
| Bertil Sandell, | BESAB |
| Gunnar Wedin, | Stockholms Gatukontor |

Mötesdeltagarna bedömde föreslagna parametrar och detaljeringsgrader som rimliga med hänsyn till projektets syfte. Av gruppen föreslagna modifieringar har inarbetats i projektet.

Forskningsprojektet har i huvudsak genomförts med hjälp av personal från BERGAB. Civ ing Ture Nilsson, Stabilator och ing Mats Alestam, Sydkraft AB, har i diskussioner rörande bearbetning och utvärdering lämnat värdefulla synpunkter.

Stöd från byggherrar och entreprenörer har utgått i form av s.k. naturainsatser, dvs direkt utförda arbeten i samband med kartering och övrigt insamlande av data för forskningsuppgiften.

Grundläggande databearbetning har utförts av Marianne Lindström och Anders Sjödin, BERGAB.

Till alla som aktivt medverkat i projektet framföres ett varmt tack.

# SAMMANFATTNING

Vatteninläckning i tunnlar och bergrum förorsakar ofta kostnader som är mycket stora i jämförelse med kostnader för såväl tunneldrivning som övriga förstärkningsinsatser. Speciellt gäller detta vid utförande av berganläggningar i tätorter, där grundvattenförhållandena är sådana att grundvattensänkning med åtföljande sättningsskador kan befaras. Tätningsresultat och kostnader påverkas starkt av bergets grad och typ av uppsprickning.

I avsikt att utvärdera det praktiskt bästa och mest ekonomiska sättet att förhindra inläckning av vatten i olika hydrogeologiska situationer och vid olika täthetskrav har en uppföljning av tätningsarbeten i olika tunnlar utförts.

Datainsamlingen har skett i Bolmen-tunneln, i fem olika tunnlar i Göteborgs-området samt inom några tunnelbaneavsnitt i Stockholm. Sammanlagt omfattar studerade avsnitt drygt 23 km, vilket i undersökningen motsvaras av närmare 3 000 injekteringsskärmar.

Vid uppföljning och datainsamling har målsättningen varit att så långt möjligt få en likvärdig dokumentation av såväl bergförhållanden som tätningsteknik och tätningsresultat från de olika objekten. De insamlade uppgifterna har införts i en grundtabell omfattande 33 parametrar. Med hjälp av dessa har varje injekterat avsnitt kunnat beskrivas utförligt med avseende på såväl bergförhållanden som utförd tätning och uppnått tätningsresultat.

Tätning av berget mot inläckande grundvatten har i samtliga tunnlar i första hand skett genom förinjektering. Som komplement till denna har där så bedömts erforderligt utförts efterinjektering.

Tillåten inläckning har i Göteborgs-tunnlarna varit max 20 l/min km. Inom de studerade sträckorna av tunnelbanan i Stockholm varierar tillåten inläckning mellan 3 och 10 l/min 100 m. I Bolmen-tunneln har tillåten inläckning ökats från 90 till 400 l/min km. För tunnlarna i Göteborg och Stockholm har täthetskraven lett till att tätningsarbetet bedrivits som systematisk förinjektering. I Bolmen-tunneln har förinjektering endast utförts vid viss vattenmängd i sonderingshål.

Med hjälp av olika kriterier har utvärderats om det i de olika tunnlarna förekommit berggrundsförhållanden, som erbjudit speciella tätningsproblem.

Bergarterna längs de studerade tunnlarna är ur praktisk synpunkt täta. Deras betydelse för bergmassans vattenföring och därmed deras inverkan på tätningsresultatet ligger i deras olika sätt att reagera på spänningar och deformationer i jordskorpan. Det synliga resultatet föreligger i form av karakteristiska

mönster för sprickor och brottzoner.

Generellt gäller för de olika tunnlarna att med ökad uppsprickning i bergmassan ökar andelen skärmar med läckage kraftigt. Även läckagens storlek ökar. Detta gäller oavsett använd tätningsmetod.

Vid olika sprickfyllnader gäller att bergmassans totala sprickighet är mer avgörande för hur svårt berget är att täta, än enstaka sprickor fyllda med kalcit, kvarts eller lera. Definitiva tätningsproblem förekommer dock vid mer omfattande vittring i olika typer av krosszoner.

Ett grundläggande problem vid all tätning mot vatten i sprickigt berg är att vattnet oftast följer kanaler längs sprickytorna. I ett sprickrikt berg (krosszon) fordras därför normalt ett stort antal borrhål för att någorlunda fånga in förekommande vattenkanaler.

Vid utvärderingen har framkommit att vissa typer av bergförhållanden erbjuder tätningsproblem oavsett använd tätningsmetod. Som underlag för förslag till effektivare tätningsåtgärder har gjorts en indelning av bergförhållandena i 6 grundläggande typfall ur tätningssynpunkt. Till grund för indelningen ligger parametrarna sprickmönstertyp, sprickfyllnad och vattenföring. I varje typfall beskrivs en bergsituation, som för ett gott tätningsresultat med hänsyn till täthetskrav fordrar ett specifikt utförande. Av största vikt är därvid att bestämma vilket typfall ur vattenförsörjningssynpunkt som föreligger. Avgörande för vattenföringen är inte bara sprickmönstertyp med sprickfrekvens och sprickfyllnad. Av största betydelse är också den vattenförande sprickvidden i olika sprickor.

För bedömning av vilka av de i typfallen ingående spricktyperna som är vattenförande fordras en tektonisk analys mot bakgrund av förekommande bergspänningar

De olika typfallen har med god säkerhet kunnat prognostiseras i de olika tunnlarna. Detta gäller såväl vid förprojektering som vid tunneldrivning.

Som underlag för utformning av effektivare tätningsåtgärder vid de olika typfallen föreslås att prov för att fastlägga injekteringsbehovet, med hjälp av Stockholms Gatukontors metod, utföres i andra typer av tunnlar och under andra geologiska förhållanden.

Vid det praktiska tätningsarbetet bör injekteringsskärmarnas längd bestämmas med hänsyn till typfall och vilka skillnader i sprickvidd som förekommer i bergmassan. Bra bergförhållanden med små variationer i sprickvidd mellan olika sprickor tillåter långa skärmar. Vid ökad sprickighet i bergmassan och därmed vanligen ökad anisotropi ur vattenföringssynpunkt, bör skärmarnas längd minskas. Långa borrhål korsar annars ett stort antal sprickor med varierande vidd.

Detta medför normalt att de finare sprickorna blir ofullständigt tätade.

Antalet borrhål i en skärm bör bestämmas med hänsyn till typfall och täthetskrav. Ökad anisotropi i berggrunden fordrar tätare hålsättning. På basis av vattenförlustmätning med sambandsprovning bedöms om ytterligare hålförtätning är meningsfull. Om närliggande hål har förbindelse vid vattenförlustmätning, borras inget mellanliggande hål.

Vid stora skillnader i vattenföring mellan olika sprickor bör övervägas att utföra tätningsarbetet i två steg. Med hjälp av ett mindre antal hål blockeras i ett första steg sprickorna med stora vattenflöden. Härefter uppborras nya hål i ett andra steg med tätare hålsättning. I dessa utförs kompletterande tätning av de finare sprickorna.

Med hänsyn till att vattenförande sprickkanaler uppträder mer eller mindre anisotropt i bergmassan bör borrhålen även i bättre berg utföras så att de tillsammans får formen av en kon runt tunneln. Vid ökade areor måste borrhål även utföras innanför teoretisk sektion.

Injekteringsmedel bestämmes på basis av vattenförlustmätningar med hänsyn tagen till typfall och täthetskrav.

Med tanke på de vanligen höga kostnaderna för tätningsarbetet och svårigheterna att lyckas med efterinjektering bör sprängningsarbetena utföras så att den förinjekterade "manteln" runt tunneln skonas. För detta fordras att borrningen utförs noggrant samt att laddningarna anpassas så att teoretisk skadezon hålls väl innanför tätad mantel.

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Vattenläckage i berganläggningar förorsakar ofta kostnader, som är mycket stora i jämförelse med kostnader för övriga förstärkningsinsatser. Redan de tätningsåtgärder, som är nödvändiga för drivningen av ett bergrum eller en tunnel kan få omfattande ekonomiska konsekvenser. De verkligt stora kostnaderna uppstår emellertid i samband med utförande av berganläggningar i tätorter där grundförhållandena är sådana att dräneringseffekter med åtföljande sättningsskador kan befaras. Vattenläckage i trafiktunnlar orsakar speciellt i norra Sverige stora problem och kostnader.

Exempel på berganläggningar där stor vatteninläckning under drivningen inneburit stora extrakostnader är Juktan och Bolmentunneln. Tunnlar som orsakat skadliga grundvattensänkningar med höga extrakostnader som följd, är kända från såväl Stockholm som Göteborg. Järnvägstunneln vid Njulla är ett exempel på en trafiktunnel med höga årliga underhållskostnader på grund av svallis. I en rapport visar Helfrich m fl (1979) att de sammanlagda förstärkningskostnaderna vid förekomst av dåligt berg och vatten kan överstiga drivningskostnaderna med mer än 100 %.

Tidigare forskning, som behandlar tätning mot grundvattenläckage har nästan uteslutande inneburit laboratorieundersökning av olika injekteringsmedels inträngning (Bergman m fl 1970). I en fortsättning på detta projekt har dock fältförsök med tunneltätning mot små läckage utförts (Bergman m fl 1975). Tyngdpunkten i denna undersökning har varit att testa inträngningsförmågan hos olika injekteringsmedel. Framtagning av provningsmetoder för olika injekteringsmedel har redovisats av Andréasson m fl (1980).

Ett genomarbetat förslag för bestämning av erforderlig injekteringsinsats vid olika täthetskrav har presenterats av Stockholms Gatukontor (1980) i form av bergtekniska anvisningar. Erfarenheter från användning av anvisningarna vid utbyggnad av tunnelbanan Västra Skogen-Rinkeby har redovisats av Bruce m fl (1982). Den teoretiska bakgrunden till de bergtekniska anvisningarna har presenterats av Bergman (1982). "Lagom täthetskrav" och injekteringens plats i arbetscykeln har studerats av Bergman & Nord (1982).

I ett projekt (Lysén & Palmqvist 1976) redovisas sambandet mellan utförd injektering och geologiska förhållanden. Den utförda forskningen visar att berggrundens grad och typ av uppsprickning i hög grad påverkar injekteringsresultat och kostnader. Vidare bedöms systematisk för- och efterinjektering vara enda möjligheten att begränsa riskerna för en skadlig grundvattensänkning i samband med tunneldrivning. Geologins betydelse för tätningsutförande och resultat un-

derstryks också av Carlsson & Olsson (1981).

## 1.2 Målsättning

Projektet har avsett att bygga vidare på de resultat och erfarenheter som Lysén & Palmqvist redovisade i BFR:s rapport R4:1976. Avsikten har främst varit att genom uppföljning av pågående arbeten på ett systematiskt sätt utvärdera det praktiskt bästa och mest ekonomiska sättet att förhindra inläckning av vatten i olika hydrogeologiska situationer och vid olika täthetskrav.

Det aktuella projektet har sökt belysa följande frågor:

- varför är önskad täthet svår att uppnå inom vissa bergavsnitt?
- varför misslyckas tätningen inom vissa bergavsnitt?
- vilka geologiska och hydrogeologiska parametrar karaktäriserar dylika avsnitt?
- vilka av dessa parametrar har haft störst betydelse där ett tillfredsställande tätningsresultat ej uppnåtts?
- kan berggrunden med avseende på tätning indelas i typfall med olika förutsättningar för en effektiv tätning?
- vad karaktäriserar i så fall dessa typfall?
- kan dessa typfall prognostiseras och i så fall med vilka hjälpmedel?
- kan avsnitt med ur tätningssynpunkt svåra förhållanden förutses under drivningen?
- hur påverkar olika drivningsmetoder resultatet av tätningen?
- kan tätningsmetoder anpassade till typfallen utarbetas?

# 2 UPPLÄGGNING

## 2.1 Inledning

Den detaljerade geologiska och bergtekniska uppföljningen har utförts i sju utvalda underjordsanläggningar. I fem av objekten har drivningen pågått under datainsamlingsperioden medan bergarbetena i två av objekten var avslutade. Sammanlagt omfattar uppföljningen närmare 3 000 injekteringsskärmar.

Följande faktorer har legat till grund för valet av studieobjekt:

- omfattande förundersökningar har utförts
- geologisk och bergteknisk prognos har upprättats
- tunnlarna har varit tillgängliga för geologisk och bergteknisk datainsamling i fält
- protokoll över utförda borrnings- och tätningsarbeten etc har tillhandahållits av resp byggherre
- tunnlarna har god regional spridning och varierande djupläge
- ställda täthetskrav fordrar injekteringsinsatser
- tunnlarna är belägna i olika bergarter och/eller tektoniska regioner

## 2.2 Objektbeskrivning

Södra Sverige representeras i projektet av Bolmentunneln, som skall förse delar av Skåne med färskvatten från sjön Bolmen. Tunneln är ca 80 km lång och går från Bolmen ner till Perstorp i Skåne (se fig. 2.2.1). Därifrån skall vattnet föras vidare i ledning till sydvästra Skåne. Beställare är Sydvatten AB och entreprenör på den i projektet ingående sträckan är konsortiet TUNCO. Längs de studerade sträckorna är berget täckt av lösmaterial.

I Göteborgs-området har fem olika tunnlar studerats. Fyra av dessa är spillvattentunnlar och har GRYAAB (Göteborgs-regionens Ryaverksaktiebolag) som beställare. Den femte tunneln, Göta älv-tunneln, är en tunnel för överföring av hetvatten (spillvärme) från Shells raffinaderi på Hisingen till centrala Göteborg. Beställare till denna tunnel är Energiverken i Göteborg. Tunnlarnas läge framgår av fig.2.2.2. Entreprenör för spillvattentunnel Ale har varit ett konsortium bestående av Skånska Cementgjuteriet AB och BPA. För arbetena i Göta älv-tunneln och spillvattentunnel Slottsskogen-Annedal-Mölndal har BPA svarat. Entreprenör för spillvattentunnel till Härryda har varit Kullenberg AB, som också svarat för arbetena på den södra delen av spillvattentunnel Partille, medan SIAB svarat för den norra delen av Partille-tunneln.

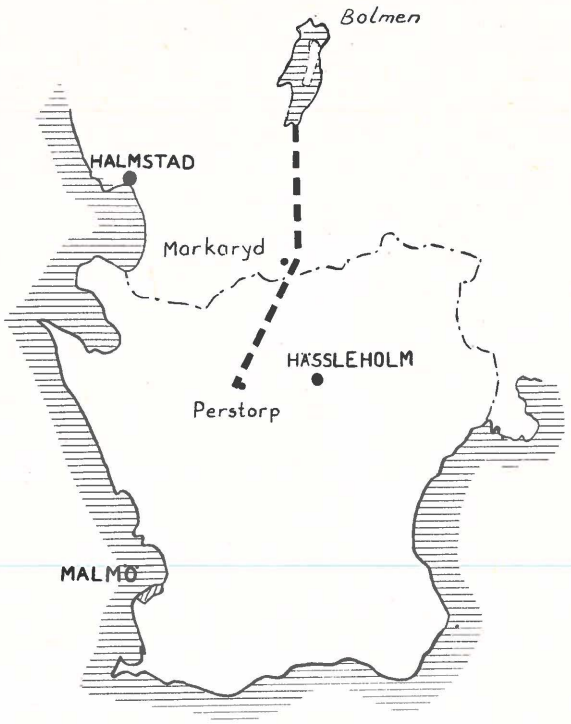



Fig. 2.2.1 Bolmen-tunneln

Göta älv-tunneln passerar i sin lågpunkt under Göta älv. I övrigt går tunneln under tätbebyggda områden. Detta gäller också tunneln Slottsskogen-Annedal-Mölndal som är utförd i centrala Göteborg. Övriga tunnlar är belägna utanför Göteborg i områden med gles bebyggelse. Berget är delvis blottat längs dessa sträckor.

I Stockholms-området har den pågående utbyggnaden av tunnelbanan studerats. De aktuella sträckorna utgör delar av Järvabanans södra bangren genom Solna och Sundbyberg. Järvabanan är 5.5 km lång och är tänkt att förbinda Stockholms nordvästra förorter med de centrala stadsdelarna. Fig.2.2.3 visar en översikt av de fem stationer som ingår på sträckan. Beställare är Stockholms Gatukontor. På sträckan Huvudsta - Vreten har ABV varit entreprenör medan ett konsortium med SCG och JCC svarat för arbetet på sträckan Sundbyberg-Rissne. Området som tunnelbanegrenen passerar är tätbebyggt. Tunnlarna är förlagda 10-50 m under markytan. Bergtäckningen har hållits så liten som, ur bergteknisk synpunkt, varit möjlig.

I Bolmen-tunneln fördelar sig de karterade sträckorna på påslagen 14-20 med undantag av 19. Tunneln har arean 8 $m^2$. Totalt ingår knappt 2 000 m i projektet.

I Göteborgs-området avser de undersökta sträckorna huvudtunnlarna. Undantag utgör dock transporttunnel Björndammen till Partille-tunneln som medtagits för att bl a kunna studera inläckningen vid olika grundvattentryck. Denna tunnelsträcka särredovisas i projektet. I stort ingår hela Ale-, Göta älv- och Slottsskogen-Annedal-Mölndal-tunnlarna, medan endast delar av Härryda- och Partille-tunnlarna studerats.

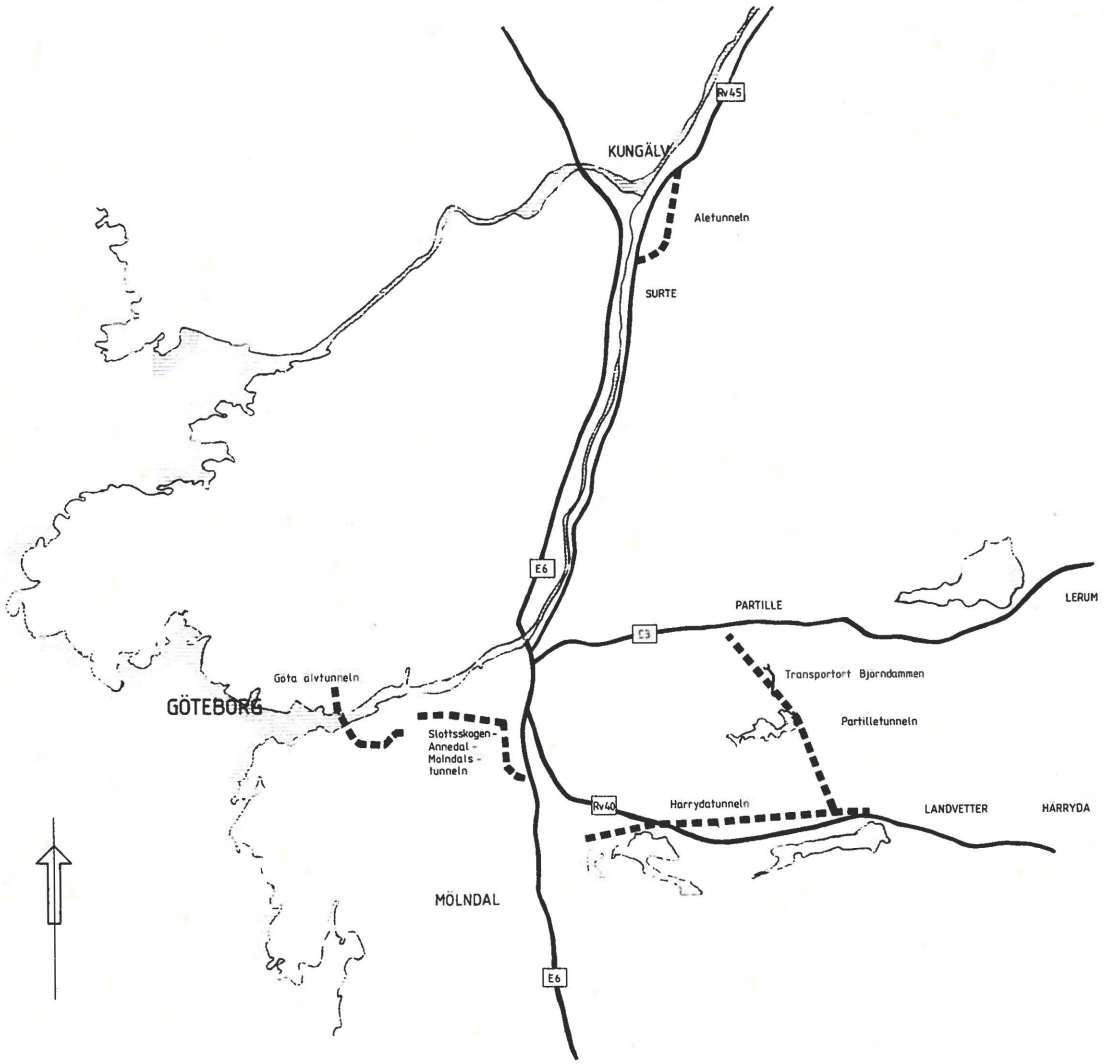



Fig. 2.2.2 I projektet ingående tunnlar i Göteborgsområdet

Av den sammanlagda sträckan på ca 18 300 m har ca 13 900 tunnelmeter arean 5 $m^2$. Ca 900 m avser tunnlar med arean 12 $m^2$. Resterande 3 500 m avser hetvattentunneln som har arean 24 $m^2$.

I Stockholm har sammanlagt 3 110 m karterats. Karteringen har skett vid stationerna Vreten och Sundbyberg samt längs tunnelsträckor på ömse sidor av dessa stationer. Geologisk kartering har även skett i närheten av stationen Rissne.

Tunnelsträckorna utgörs av både enkelspårs- och dubbelspårstunnlar. Arean i enkelspårstunnlarna är 25 $m^2$ medan dubbelspårstunnlarna har arean 48 $m^2$. Station Sundbyberg är utformad som ett bergrum med lastbärande bergpelare mellan två enkelspåriga plattformar. Totala bredden är ca 35 m. Station Vreten är utformad som ett stort bergrum, som avsmalnar både i bredd och höjd i den södra änden. Spännvidden i den breda delen är 22 m medan bergrummet är 14 m brett i den smala delen.




Fig. 2.2.3 Stockholms tunnelbana, delen Västra Skogen-Rinkeby

I Bolmen-tunneln dominerar medelkornig gnejs av varierande sammansättning. Gnejserna tillhör sydvästra Sveriges äldsta gnejser. I den norra delen av tunnelsträckan förekommer inlagringar av amfibolit medan det i den södra delen förekommer diabasgångar. Graden av förskiffring varierar liksom riktningen hos förskiffringen. Vanligast förekommande förskiffringsriktning är kring öst-väst med nordlig lutning och kring N30°W med medelbrant västlig lutning. Tunneln skär dominerande förskiffringsriktningar i 50-90° vinkel. Flera olika sprickriktningar förekommer. Förutom sprickor längs förskiffringen dominerar sprickor kring E-W, N30°W och N20°E.

Berggrunden i Göteborgs-området tillhör sydvästsvenska gnejsregionen. Bergartsleden har en nord-sydlig orientering. Berggrunden som tillhör urberget genomslås av yngre diabasgångar med WNW-ESE-lig riktning samt pegmatiter. Den mineralogiska sammansättningen varierar inom gnejsområdet.

Nedan följer en kort beskrivning av de geologiska förhållandena vid de olika tunnelobjekten i Göteborgs-området.

Ale-tunneln har drivits i en svagt förskiffrad granodiorit. Den mineralogiska sammansättningen varierar längs sträckan. Bergarten har på några ställe tydlig ögonstruktur. Dominerande förskiffringsriktning är nordostlig med flack-medelbrant västlig lutning. Tunneln går i stort parallellt med förskiffringen.

Dominerande sprickriktningar är N40-50°W, N50°E samt kring E-W.

Berggrunden längs Göta älv-tunneln utgörs huvudsakligen av medelkornig granit, som oftast är svagt förskiffrad. I graniten förekommer smärre inlagringar av diabas, amfibolit, finkornig granit och gnejs. Den starkt tektoniserade berggrunden i Göta älvs dalgång utgörs av mylonit. Berget är i denna del helt leromvandlat på en sträcka av ca 3 m i tunnelns lägsta punkt. Berggrunden är norr om dalgången förskiffrad i N60-70°E/60-70°N. Söder om Göta älv dominerar en nord-sydlig förskiffring, som lutar medelbrant mot väster. Tunneln skär förskiffringen under varierande vinklar längs sträckan. Spricktektoniskt dominerar riktningarna N30°W, N50-60°E och kring E-W. Även flacka-horisontella sprickor förekommer.

Härryda- och Partille-tunnlarna är huvudsakligen utförda i medelkornig, grå gnejs med inlagringar av amfibolit och diabas. Avsnitt med fin-medelkornig granit och ögonförande granit förekommer också längs sträckan. Förskiffringen inom området stryker huvudsakligen i N-S med medelbrant västlig stupning. Partille-tunneln går således i stort parallellt med förskiffringen medan tunneln till Landvetter skär förskiffringen i nära rät vinkel. Inom områdena dominerar sprickor längs förskiffringen och sprickor i N70°W - E-W och N40-50°E.

Tunneln Slottsskogen-Annedal-Mölndal har också till övervägande delar drivits i medelkornig gnejs. I gnejsen förekommer inlagringar av amfibolit, diorit, granit och mylonit. Berggrunden är förskiffrad i ung. N-S/45-70°W. I västra delarna skär tunneln dominerande förskiffringsriktning i 50-90° medan tunneln går parallellt eller bildar spetsig vinkel med förskiffringen på resten av sträckan. Dominerande sprickriktningar är N70°W, N40-60°E och sprickor längs förskiffringen.

I Stockholms-området har de aktuella delarna i tunnelbanan drivits i yngre röd och grå massformig-svagt förskiffrad granit (granodiorit). I graniten förekommer inlagringar av aplit, pegmatit, diabas och amfibolit, som ställvis är granatförande. Graniten är i uppkrossade bergavsnitt bitvis kraftigt tektoniserad och breccierad. I de breccierade avsnitten förekommer i flera fall gnejsbrottstycken.

Förskiffringen kring stationerna Vreten och Sundbyberg stryker huvudsakligen i N50°W - E-W och stupar medelbrant-brant mot söder. Tunnelbanan bildar ungefär 50-90° vinkel till dominerande förskiffringsriktning. Vanligast förekommande sprickriktningar inom det undersökta området är N55-75°W, N-S - N20°E och N65°E. Flacka-horisontella sprickor förekommer också längs sträckorna.

# 3 METODIK

## 3.1 Inledning

Vid uppföljning och datainsamling har målsättningen varit att så långt möjligt få en likvärdig dokumentation av såväl bergförhållanden som tätningsteknik och tätningsresultat från de olika objekten. Uppföljningen har i görligaste mån gjorts i takt med drivningen av tunnlarna. Kompletterande uppgifter utöver egen dokumentation och erhållna protokoll m m har inhämtats genom diskussioner med kontrollanter och injekteringspersonal. I några av tunnlarna har också under några etapper injekteringsarbetet följts direkt. Vid några svårtätade avsnitt har också förslag för tätningsarbetet upprättats.

Såväl uppföljning som utvärdering har koncentrerats på utförande och resultat vid den förinjektering som utförts i tunnlarna. Utförd efterinjektering behandlas endast för att belysa olika resultat uppnådda vid förinjektering.

## 3.2 Uppläggning av datainsamlingen

För att möjliggöra utvärdering av de insamlade uppgifterna med hjälp av dataprogram upprättades ett parameterförslag som omfattade 30 parametrar. På referensgruppens förslag utökades antalet till 32 genom att parametrarna grundvattentryck och injekteringstryck tillfördes. Ett exempel på den typ av grunddatatabell som använts i projektet visas i fig. 3.2.1. För varje tunnel har parametervärden för samtliga studerade skärmar förts in i grunddatatabeller. I samband med databearbetningen har även parametern efterinjektering tillförts varför den slutliga tabellen omfattar 33 parametrar.

Utöver datainsamling för tabellerna har ställvis utförts kartering av tunnelfronten vid injektering. Vidare har uppgifter rörande utsprängningen av tunnlarna insamlats liksom läckvattenmätningar.

## 3.3 Kommentarer till valda parametrar

### 3.3.1 Parametrar över bergförhållanden och grundvatteninläckning

Uppgifter rörande tätningsarbetet är alltid i form av protokoll direkt relaterade till den sektion där arbetet utförts.

Uppgifter avseende bergförhållanden och grundvatteninläckning har däremot av praktiska skäl insamlats vid de tillfällen tunnlarna renspolats för kartering. Varje karteringsomgång har härigenom vanligen kommit att omfatta ett större antal injekteringsskärmar.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TUNNEL | SEKTION SKÄRM | DEL-SEKTION | VATTEN-LÄCKAGE | SPRICK-MÖNSTER | BERGART | SPRICK-FYLLNAD | SPRICK-FREKVENS ANTAL/m | SKIV/BLOCK STORLEK (cm) | TUNNEL-RIKTNING | VATTEN-FÖRANDE SPRICKOR | SPRICK-RIKTNING | ANTAL BORRHÅL | VATTENFÖRLUST l/min. m. Mpa | | | ANTAL HÅL I FÖR-BINDELSE | KG CEMENT | | | | CEMENT-SORT O TILLSATS-MEDEL % | VCT | | KEM. INJEKTERING | | | | INJ-TRYCK Mpa | G.V. TRYCK Mpa | TUNNEL-AREA $m^2$ | ANMÄRKNING |
| | | | | | | | | | | | | | SUMMA | MAX | MIN | | SUMMA | ANTAL HÅL | MAX | MIN | | START | SLUT | SUMMA | ANTAL HÅL | MAX | MIN | | | | |
| PARTILLE | 5714 - 5721 - | 5714 - 5716 | | BI | GNE | CA | 0,3 | | N60W | | N10W/80W | 12 | 0,9 | 0,4 | 0 | | 600 | 4 | 250 | 50 | SH BE1 | 3 | 2 | | | | | 2,5 | 1,0 | 5 | |
| | | 5716 - 5720 | V | K3 | -"- | L1 | 2-3 | 30-50 | -"- | N10W/80W | N10W/80W N55E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5720 5721 | | BI | -"- | | 0,2-0,3 | | -"- | | N10W/80W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5854 5861 | 5854 5857 | | A | -"- | | | | -"- | | | 8 | 8,05 | 2,5 | 0 | 2 | 550 | 4 | 200 | 50 | -"- | 3 | 2 | | | | | -"- | 1,5 | -"- | |
| | | 5857 5861 | V | BI | -"- | L1 | 0,3-0,4 | | -"- | N10W/80W | N10W/80W N60W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5876 - 5883 | | V | B3 | -"- | | | | -"- | | E-W N10W | 12 | 1,7 | 0,8 | 0 | | 550 | 6 | 250 | 25 | -"- | 3 | 2 | | | | | -"- | 1,15 | -"- | |
| | 5987 - 5994 | | | B3 | DIA | | 0,5-1 | | -"- | | N10W N25W N70W | 8 | 1,9 | 1,11 | 0 | | 400 | 3 | 200 | 50 | -"- | 3 | -"- | | | | | -"- | 1,10 | -"- | |
| | 6014 - 6021 | | | A | GNE | | | | -"- | | | 12 | 15,8 | 3,3 | 0 | 8 | 1400 | 9 | 700 | 50 | -"- | 3 | 0,5 | | | | | -"- | 1,10 | -"- | |
| | 6019 - 6026 | 6019 - 6025 | | | -"- | | | | -"- | | | 12 | 15,3 | 3,6 | 0 | 2 | 1050 | 8 | 300 | 50 | -"- | 3 | -"- | | | | | | -"- | | |
| | | 6025 6026 | V | K1-K3 | -"- | | | 25-30 | -"- | N20W/35E | N20W/35E N70W N100W/65W | | | | | | | | | | | | | | | | | | -"- | | S=N20W/35E |
| | 6025 - 6032 | | | | -"- | | | | -"- | | | 6 | 3,88 | 1,97 | 0 | 3 | 450 | 5 | 200 | 35 | -"- | 3 | 2 | | | | | | 1,15 | -"- | -"- |
| | 6270 6277 | 6270 - 6275 | V | BI | -"- | L1 | 0,2 | | -"- | N80E | N-S/50E N80E | 14 | 7,9 | 1,94 | 0 | | 250 | 2 | 150 | 100 | -"- | 3 | 3 | 1250 | 8 | 300 | 50 | -"- | 0,8 | -"- | |
| | | 6275 6277 | V | B2 | -"- | CA L1 | 0,5 | | -"- | N60W W10W | N10W/40E N60W N30-60E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | S=N10W/40E |
| | 6318 - 6325 | 6318 - 6323 | V | BI | -"- | L1, CA | 0,5 | | -"- | N40E | N40E | 12 | 26,6 | 5,55 | 0,55 | | 4800 | 9 | 1350 | 50 | -"- | 3 | 0,5 | 500 | 3 | 250 | 100 | -"- | -"- | -"- | |
| | | 6323 6325 | V | K3 | -"- | | 3-4 | 25-30 | -"- | | N25E/35E N40E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | S=N25E/25E |
| | 6324 - 6331 | | V | | -"- | | | | -"- | | | 12 | 13,3 | 5,0 | 0,14 | | 3600 | 7 | 1200 | 50 | -"- | 3 | 0,5 | 500 | 5 | 200 | 50 | -"- | 0,7 | -"- | -"- |
| | 6329 - 6336 | 6329 - 6332 | | | -"- | | | | -"- | | | 12 | 15,4 | 2,5 | 0,27 | | 1900 | 9 | 400 | 50 | -"- | 3 | -"- | 600 | 3 | 250 | 150 | -"- | -"- | -"- | -"- |
| | | 6332 6336 | | BTG | -"- | | | | -"- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6333 6340 | | V | -"- | -"- | | | | -"- | | | 12 | 29,89 | 5,55 | 0,27 | | 1600 | 7 | 1150 | 50 | -"- | 3 | 0,5 | 950 | 12 | 100 | 50 | -"- | | -"- | |
| | 6340 - 6347 | | | -"- | -"- | | | | -"- | | | 12 | 16,9 | 2,78 | 0,55 | 2 | 2050 | 11 | 850 | 30 | -"- | 3 | -"- | | | | | | | | |
| | 6345 - 6352 | | | -"- | -"- | | | | -"- | | | 12 | 15,56 | 2,5 | 0,55 | | 800 | 7 | 200 | 90 | -"- | 3 | 2 | 1200 | 7 | 200 | 100 | -"- | 0,6 | -"- | |

Fig. 3.2.1 Exempel på grunddatatabell för datorbehandling

För att kunna fånga in och hänföra önskade bergparametrar till respektive injekteringsskärm har karteringen utförts mycket detaljerat. Karteringen har dels utförts och redovisats på ritningar (fig. 3.3.1.2) dels i protokoll (fig. 3.3.1.1).

TUNNEL: SUNDBYBERG

| SEKTION (skärm) | DELSEKTION | VATTENLÄCKAGE | SPRICKMÖNSTERTYP | BERGART | SPRICKFYLLNAD | SPRICKFREKVENS (ant spr/m) | SKIV/BLOCKSTORLEK (cm) | TUNNELRIKTNING | VATTENFÖRANDE SPRICKOR | SPRICKRIKTNING | ANMÄRKNING |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8/380-8/242 | - | - | A | GRA | Ca L | - | - | N20W | - | N50W N70W/45N N10W/55E N30E | Vindlande grå granit 30-35 röd granit sprickorna ej genomgående |
| 8/242-8/230 | - | V | K1-K2 | GRA | Ca | 3 | 30-50 | " | | N50W N20E | Tätare sprickfrekvens i K2 |
| 8/230-8/182 | - | flera V | (K3)-B3 | GRA | Ca, L | 3 | 30-60 | " | bankning | bankning N85W/50N N85W N25E | Tätare sprickfrekvens mellan 226-229 K3 i östra väggen Tät bankning |
| 8/182-8/159 | - | flera V | B1 | GRA | Ca, L | 1 | 100 | " | bankning | bankning N85W | Sliriga, vindlande peymatitgångar flera stick |
| 8/159-8/115 | - | V | A | GRA | Ca, L | - | - | " | - | N15E/60E N35E | S=N15E/60E |
| 8/115-8/110 | - | V | B3 | GRA | Ca, L | 1-3 | 30-100 | " | bankning | N40W/65E bankning | |
| 8/110-8/060 | | V | K3 | GRA | Ca, L | 1-2 | 50-100 | " | bankning | N15E, N50E N30W/35E N20W/50W | K3 L1 |
| | 8/087-8/080 | torrt-V | K4 | GRA | Ca, L | 10-30 | 2-5 | " | bankning | N65W/80N | mycket injekterat K4 L3 |
| | | | | | | | | | | | |

Fig. 3.3.1.1. Exempel på geologiskt karteringsprotokoll.

Informationen har därefter förts in i grunddatatabeller (fig. 3.2.1.). I dessa anges i kolumn 1 aktuell tunnel och i kolumn 2 sektionsangivelse för injekteringsskärmarnas början och slut, Kolumn 3 ger möjlighet att dela in en skärm i erforderligt antal delsektioner. En uppdelning i delsektioner utförs om mer än en sprickmönstertyp eller bergart förekommer längs skärmen. Om uppdelning i delsektioner gjorts i en skärm har varje delsektion egna kompletterande geologiska uppgifter i kolumnerna 4, 7-9, 11-12 och 32. Övriga kolumner i tabellen gäller däremot endast en skärms fulla längd utan uppdelning på delsektioner.

Geologiskt beteckningssystem

Vid dokumentationen av bergförhållandena har använts ett av BERGAB framtaget beteckningssystem som använts i mer än 10 år vid såväl projektering av tunnlar och

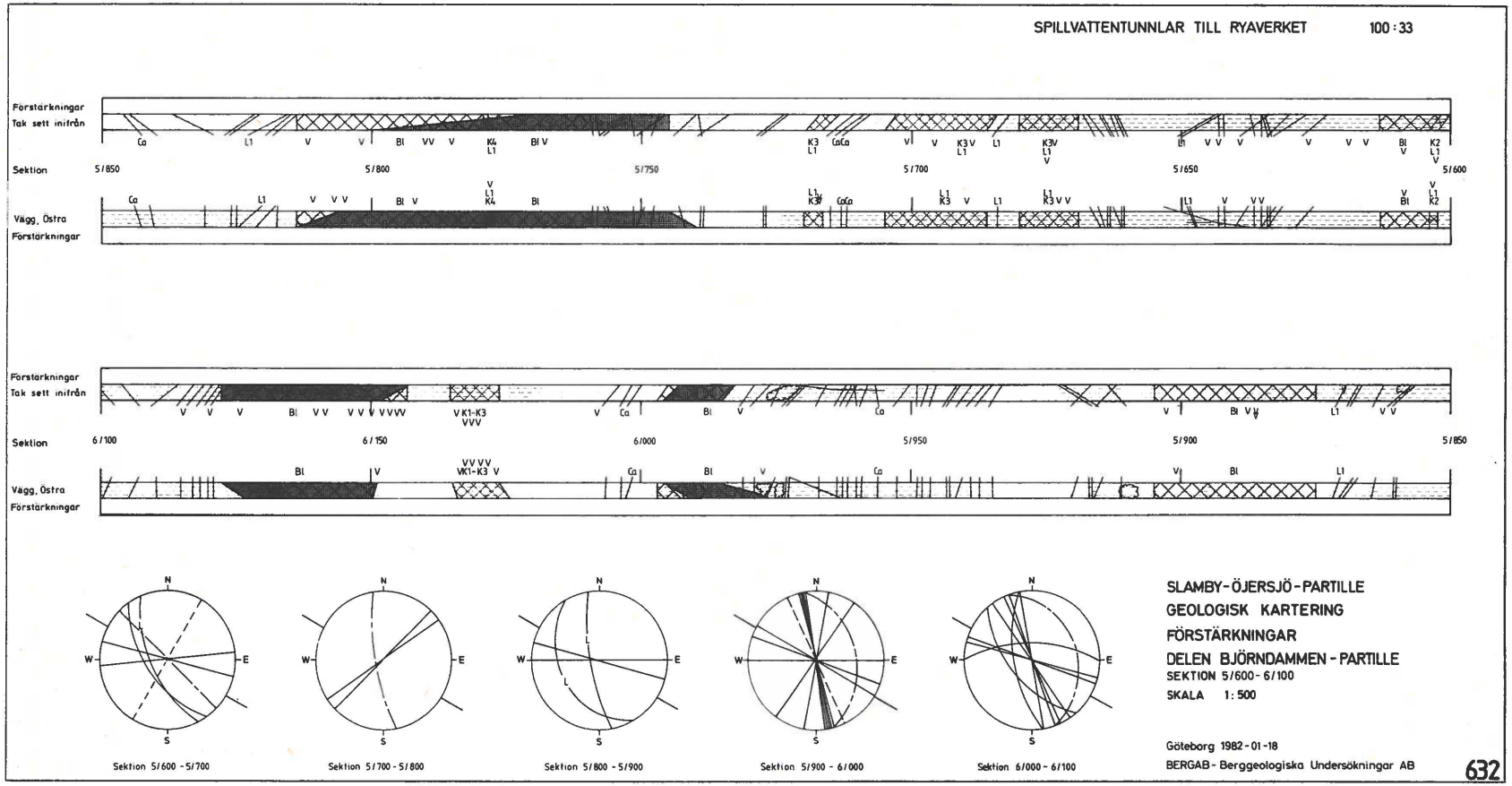



Fig. 3.3.1.2 Exempel på redovisning av geologisk kartering

bergrum som vid dokumentation av utsprängda anläggningar. För att ge möjlighet att studera om det även inom "bra berg" finns varianter som är svårtätade har det ursprungliga systemet kompletterats med ytterligare klasser.

Beteckningssystemet omfattar utöver sprickmönstertyp (kolumn 5) även typ och grad av leromvandling (kolumn 7) samt vattenläckage (kolumn 4).

Systemet bygger på att det svenska urberget oftast är av mycket god kvalitet för bergbyggande och att dåligt berg vanligen är knutet till olika typer av krosszoner. I det bra berget uppträder en eller flera sprickgrupper med relativt låg sprickfrekvens. Med hänsyn till bergets typ och grad av uppsprickning har fyra klasser urskiljts, benämnda A, B1, B2 och B3.

Krosszoner utgör vanligen välavgränsade stråk där berget är mer eller mindre sönderkrossat och sprickfrekvensen hög. Till krosszonsfamiljen har i beteckningssystemet även förts två typer av sprickzoner. Dessa uppbyggs av planparallella sprickor med relativt hög till hög frekvens. De olika typerna av krosszoner har tilldelats kodbeteckningar från K1 till K5. Där varierande grad av sönderkrossning uppträder inom en och samma zon kan flera kodbeteckningar användas vid beskrivningen.

De olika sprickmönstertyperna har schematiskt åskådliggjorts på fig. 3.3.1.3 och definieras enligt följande:

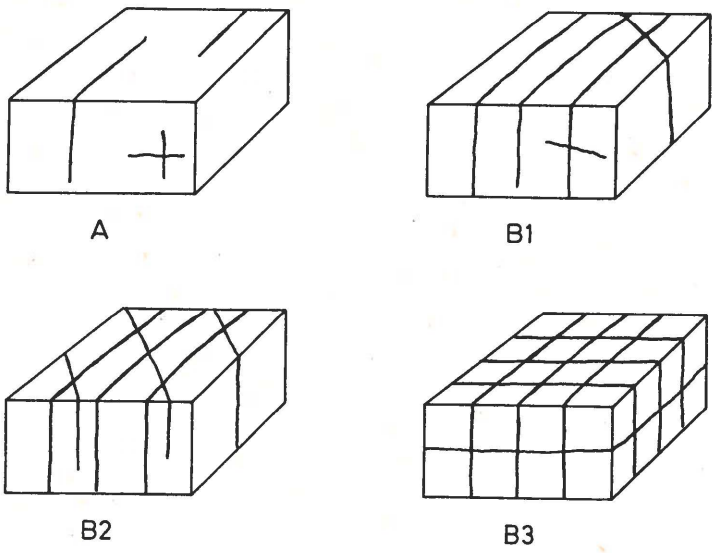
Sprickmönstertyper utanför egentlig sprick- eller krosszon

| | |
|---|---|
| A | "bra berg" (genomgående sprickor saknas) |
| B1 | "berg med sprickor" - huvudsakligen en sprickriktning |
| B2 | "berg med sprickor" - flera sprickriktningar som avgränsar block med starkt varierande storlek |
| B3 | "storblockigt berg" - regelbunden blockig utbildning (blockstorlek 60-200 cm) |

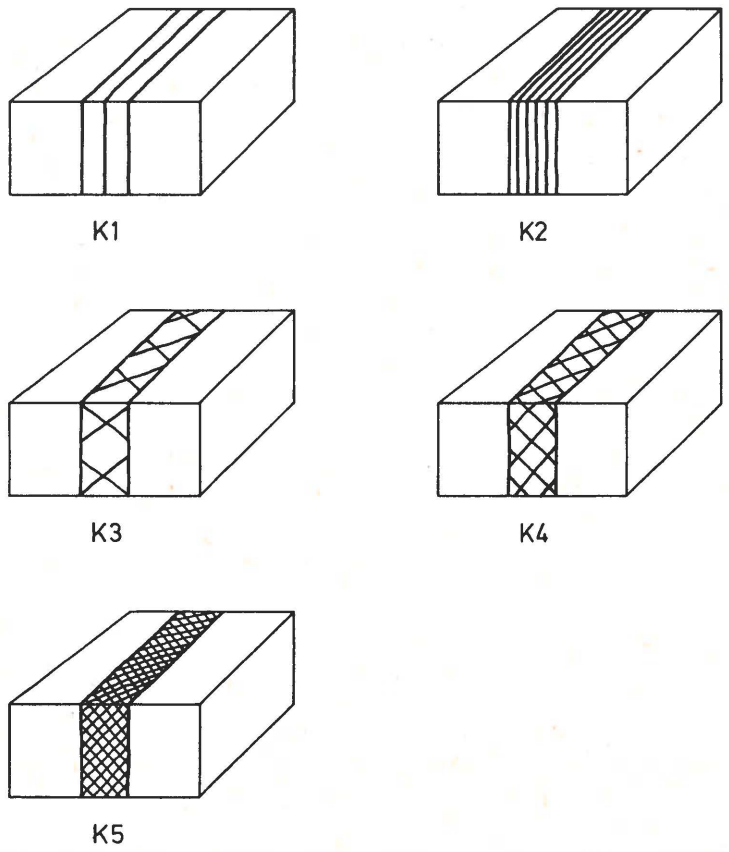
Sprickmönstertyp i sprick- eller krosszon

| | |
|---|---|
| K1 | skivigt berg (skivor $\geq$10 cm) |
| K2 | tunnskivigt berg (skivor < 10 cm) |
| K3 | zon med korsande sprickriktningar (blockstorlek 20-60 cm) |
| K4 | zon med korsande sprickriktningar (blockstorlek < 20 cm) |
| K5 | helt sönderkorssat berg |

Sprickmönstertyper utanför egentlig sprick- eller krosszon




Sprickmönstertyper i sprick- eller krosszon




Figur 3.3.1.3 Schematisk bild över vanliga typer av uppsprickning i berggrunden

Typ och grad av leromvandling åskådliggörs schematiskt på fig. 3.3.1.4 och definieras på följande sätt:

| | |
|---|---|
| L1 | "lerslag", enskilda sprickor med bredden ≤ 10 cm |
| L2 | "lergång" enskilda sprickor med bredden > 10 cm |
| L3 | "zon med leromvandling i de flesta sprickor" |
| L4 | "allmän leromvandling" |

Lermineralisering

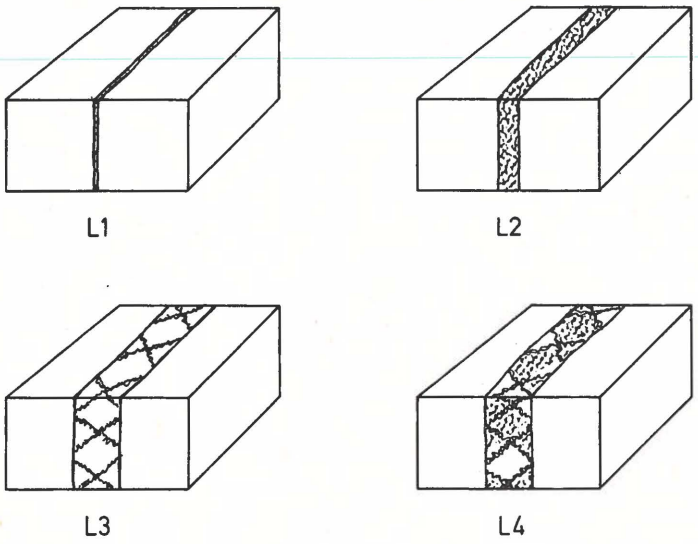



Fig. 3.3.1.4 Schematisk bild över olika typer av lermineralisering i berget

Synliga vattenläckage delas efter storlek in i tre klasser, små läckage (v), måttliga (V) och stora läckage (VV). De definieras:

| | |
|---|---|
| v | fukt - svagt dropp |
| V | starkt dropp - svagt rinnande vatten |
| VV | starkt rinnande - spolande vatten |

Med hjälp av en kombination av kodbeteckningar kan bergförhållanden och vattenläckagen längs en injekteringsskärm beskrivas på ett sådant sätt att jämförelser med andra skärmar är meningsfulla. Önskas en ytterligare detaljeringsgrad i beskrivningen kan detta uppnås med hjälp av kolumnerna 6, 8, 9, 11 och 12. Inom dessa kolumner har använts konventionella beteckningar.

Specifik information av vikt som ej täcks in i de "geologiska kolumnerna" har förts in som anmärkning i kolumn 32.

### 3.3.2 Parametrar över injekteringsutförande

Kolumnerna 13-31 i grunddatatabellen innehåller de parametrar, som valts för att göra det möjligt att statistiskt jämföra injekteringsuppgifter från olika skärmar.

Med det stora antal injekteringsskärmar som studerats inom projektet har det ej varit praktiskt möjligt att i grunddatatabellen ta med uppgifter från de enskilda injekteringshålen. Det har därför gällt att finna ett lämpligt urval av uppgifter ur de många gånger mycket innehållsrika protokollen.

Med hjälp av uppgifterna i kolumnerna 13-17 erhålls en bild av injekteringsskärmens egenskaper vid vatteninpressningsförsök. Genomsnittligt vattenförlustvärde för enbart de injekterade hålen kan erhållas med hjälp även av kolumnerna 18 och 25. Max- och minvärdena i kolumnerna 14 och 15 ger tillsammans med medelvärdena ett grovt mått på spridningen i vattenförlust mellan olika hål. I kolumn 17 anges antal hål i förbindelse. Uppgifter av detta slag saknas dock ofta i protokollen från vattenförlustmätningar. I flertalet av de studerade tunnlarna är vattenförlustprotokollen bristfälliga.

Uppgifter i kolumnerna 18-24 avser beskriva utförd cementinjektering. Lägen och riktningar på skärmens borrhål (kolumn 13) är bestämda i arbetsbeskrivningen för respektive tunnel där även avvikelse vid det praktiska tätningsarbetet beskrivs (se kap. 4). Kolumnerna 23 och 24 anger cementsuspensionens vatten-cementtal vid injekteringens start och slut. Som framgår av kapitel 4 skall vatten-cementtalet i de flesta tunnlar ändras efter det att viss mängd injekterats. I Stockholms-tunnlarna tillämpas i stället tidsbegränsad injektering med successiv ändring under den fastställda tiden. Där samma sprickmönstertyp uppträder i tunnlar med olika uppläggning av injekteringen kan cementåtgång och tätningsresultat jämföras.

Kolumnerna 25-28 innehåller uppgifter som beskriver utförd lösningsinjektering (kemisk injektering).
I kolumn 29 anges använt sluttryck vid injekteringen. Grundvattentryckets inverkan på injekteringsresultatet kan studeras i skärmar med överensstämmande bergkvalitet och injekteringsutförande men med olika grundvattentryck.

Som nämndes under 3.2 har efter inläsningen av grunddatatabellerna på data också en extra kolumn tillfogats där upplysning lämnas om efterinjektering utförts i en skärm eller ej.

# 4 INJEKTERING

Tätning av berget mot inläckande grundvatten har i samtliga tunnlar främst skett genom förinjektering. Som komplement till denna har där så bedömts erforderligt utförts efterinjektering.

Föreskrifterna för tätningsarbetena liksom de praktiska tillämpningarna har varierat från tunnel till tunnel. Gemensamt för alla tunnlar med höga täthetskrav är dock att tätningen i första hand bedrivits som systematisk förinjektering.

Nedan redogörs för föreskrifter och injekteringsutförande i de studerade tunnlarna. Arbetsbeskrivningarna är direkta citat ur förfrågningsunderlagen. Detta är orsaken till skillnader i rubriksättning och sorter mellan olika tunnlar.

## 4.1 Ale-tunneln

### 4.1.1 Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag

Bergförstärkning genom injektering. Tätning av berget mot inläckande grundvatten skall utföras som förinjektering. Efterinjektering skall utföras som komplement till förinjekteringen i den mån som beställaren finner det nödvändigt.

Förinjektering med cementbruk. Systematisk förinjektering tillämpas för samtliga tunnlar inkl nischer, lastorter m m samt dessutom efter behov på order av kontrollanten. Som förinjektering räknas all injektering som utförs inom 30 m från tunnelfront. För lastorter, omlastningsstationer, nischer, ökad tunnelarea m m upprättar entreprenören injekteringsförslag som skall godkännas av beställaren. Förslaget skall vara av samma typ och omfattning som gäller för respektive tunnelavsnitt.

Kontrollanten har rätt att i samband med injektering ändra hålantal, hålplacering, hållutning etc.

I samband med borrning för salva har kontrollanten rätt att kräva förlängning av salvhål för kontroll av risken för grundvattenläckage.

Angivna lägen för utförande av botteninjektering samt fullfrontsinjektering kan efter kontrollantens bedömande flyttas, utökas eller utgå utan att à-priserna ändras.

Salvborrning får påbörjas tidigast 5 timmar efter avslutad injektering. Uppkommer vattenläckage i samband med salvborrning skall denna omedelbart avbrytas och erforderligt antal injekteringshål borras och injekteras. Vattenläckage anses föreligga om i något salvhål grundvatten droppar snabbt eller rinner ur hålen.

### 3.3.3 Bearbetning och utvärdering av grunddatatabellerna

Vid bearbetning och utvärdering av insamlade grunddata om injekteringsskärmarna undersöks vad som kännetecknar de skärmar där förinjekteringen inte givit önskat resultat. Genom jämförelse mellan olika tunnlar studeras om någon injekteringsteknik fungerat bättre än en annan under lika berggrundsförhållanden. Bergkvaliteter som erbjudit tätningsproblem oavsett metod, indelas i ett mindre antal typfall.

Vid nedåtriktande borrhål skall beaktas tiden för hålets fyllning innan stuffens täthet bedöms.

Kontrollanten skall ha godkänt bergets täthet innan salva får laddas.

Utrustning för injektering skall bl a omfatta:

- Blandare typ kolloidblandare eller likvärdig. Blandaren skall vara försedd med anordningar för mätning av vattnet.
- Pump som medger ett inpressningstryck av min 3 MPa (30 kp/cm$^2$).
- Utjämningskärl med omrörare
- Injekteringsmanschetter, ledningar, ventiler och manometrar godkända för pumpens maximaltryck.

Utrustning för injektering skall medge samtidig injektering av minst 4 hål samt vara försedd med anordningar för kontroll av flödet i varje enskilt hål.

Innan injektering påbörjas utförs provtryckning av hålen, varvid protokoll upprättas angående bergets vattengenomsläpplighet. Protokollet skall tjäna som underlag för hur injekteringen skall utföras.

Injektering skall, såvida ej särskilda hinder föreligger, utföras i flera hål samtidigt. Vid förekomst av öppna, breda sprickor i berget åligger det entreprenören att utföra injekteringen på sådant sätt att bruket inte sprids onödigt långt ut från tunneln. Spridningen kan t ex begränsas genom användning av särskilda tillsatser till bruket eller/och genom intermittent pumpning (ett eller flera uppehåll i injekteringen).

Till injekteringsbruk används Portlandscement typ SH. Injekteringen skall utföras med minst 1.0 MPa (10 kp/cm$^2$) högre tryck än grundvattentrycket. Grundvattenytan skall förutsättas ligga 2 m under markytan i tunnellinjen.

Injektering av hål eller hålgrupp skall alltid påbörjas med ett blandningsförhållande cement/vatten 1:3. Blandningsförhållandet skall sedan minskas i följande steg: 1:2, 1:1, 1:0,8, 1:0,5. Övergång till cementrikare blandning får ske först sedan bruk med följande mängd cement injekterats:

| | |
|---|---|
| 1:3 | 200 kg |
| 1:2 | 300 kg |
| 1:1 | 400 kg osv |

Ökar inpressningsmotståndet (dvs trycket stiger) vid visst blandningsförhållande skall denna blandning behållas tills hålet är helt tätt. Injekteringen avbryts

när inträngningen avstannar vid 1.0 MPa tryck över grundvattentrycket eller det högsta tryck som kan tillåtas med hänsyn till berget.

Inträngningen anses ha avstannat när manometern visar konstant tryck eller om trycket sjunker mindre än 0.5 MPa under 1 minut sedan injekteringspumpen stoppats. Injekteringsmanschetter och kranar skall sitta kvar tills salvborrning påbörjas, täta hål fylls med tjockast möjliga cementbruk dock lägst 1:1. Över utförd injektering skall upprättas injekteringsprotokoll som skall innehålla:

Skiss över injekteringshålens placering

Pumptid för respektive hål eller hålgrupp

Blandningsförhållande cement/vatten

Cementmängd

Tillsatsmedel

Tryck

Förinjektering med plast och andra kemikalier. Injektering utförs vid vattenförluster mindre än 1 l/min m borrhål och då cementinjekteringen inte ger önskat resultat.

Halten natriumsilikat 38-40 (N2) skall utgöra 40 volymprocent av lösningen.

De olika komponenterna skall doseras med god noggrannhet (± 1 %). Tiden från pumpningens början tills fast gel erhållits (geltiden) får ej överstiga en timme. Injekteringen skall utföras med 1.0 MPa (10 kp/cm$^2$) högre tryck än grundvattentrycket. Borrhålet förseglas med cementplugg.

Mängden inpressad injekteringsvätska anpassas efter sättet för injektering. Vid geltider kortare än 30 min kan i allmänhet injektering ske till stopp eller nära stopp. Om längre geltider används skall injektering ske med i förväg bestämda kvantiteter anpassade efter vattenförlusterna.

Vid samma tillfälle skall både cement- och kem-injektering kunna användas.

Efterinjektering med cementbruk. Efterinjektering utförs vid behov på order av kontrollanten. Vid betydande läckage med hänsyn till grundvattentrycket i ovanförliggande jord och berg kan efterinjektering beordras intill 30 m från drivningsfront. Beordrad injektering påbörjas omedelbart. Övrig efterinjektering utförs sedan tunneldel färdigsprängts. Efterinjektering utförs i princip som förinjektering. Hålens riktning, djup och antal avpassas från fall till fall med hänsyn till slagriktningar samt läckornas omfattning och utseende. Injekteringen avbryts när inträngningen avstannar vid 0.5 MPa tryck över

grundvattentrycket eller det högsta tryck som bergets kvalitet tillåter.

Efter injekteringen skall hålen fyllas med cementbruk ut till bergytan.

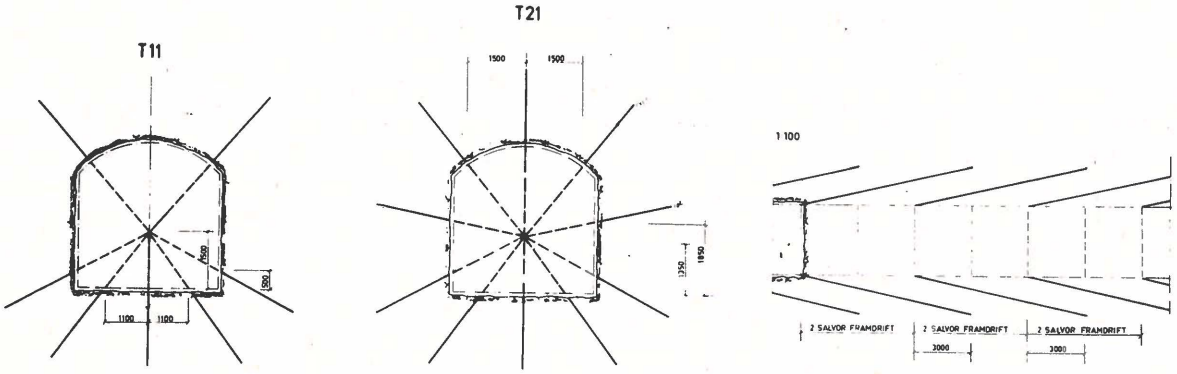
Efterinjekteringsarbetena skall pågå till dess kontrollanten beordrar att arbetena skall avbrytas. Inläckaget av grundvatten till tunneln får då uppgå till max 20 l/min, km tunnel för tunneln som helhet. Kontrollanten äger rätt att för vissa delsträckor ange lägre värde.

Efterinjektering med plast och andra kemikalier. Utförande i enlighet med motsvarande förinjektering.

### 4.1.2 Injekteringshålens läge och riktning

För olika tunnelavsnitt har på ritningar angivits lägen för utförande av botten- respektive fullfronts-injektering. Placering av injekteringshål vid förekommande typsektioner framgår av fig. 4.1.2.1

Typsektion T




Typsektion L

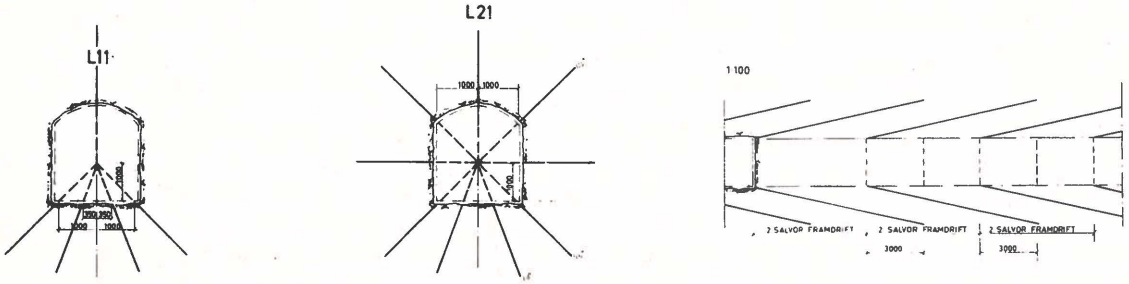



Fig. 4.1.2.1 Ale-tunneln. Systematisk förinjektering, alternativa utföranden.

Vid drivningen tillåts max 2 salvors framdrift mellan injekteringsskärmar. Träffbilden skall ligga 2 m utanför teoretisk sektion. Vid bottenhålen på typsektion T 11 och T 21 skall träffbilden ligga 2,5 m under teoretisk sektion.

Det visade sig snabbt att berget längs huvudtunneln på längre sträckor var sprickfattigt. Vid provtryckning av injekteringshålen var många täta. Placering av injekteringshål enligt L 11 ersattes därför med sondering i 2 hål i enlighet med fig. 4.1.2.2

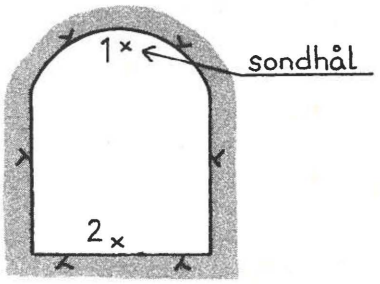



Fig. 4.1.2.2. Ale-tunneln. Sonderingsborrning som underlag för beslut om lämpligt injekteringsutförande.

Om provtryckningen av sonderingshålen visade på tätt berg utfördes inga ytterligare hål i skärmen. Sonderingshålen fylldes med cement. Om vattenläckage uppkom vid salvborrningen borrades injekteringshål runt det läckande salvhålet. Vid läckage även i något eller några av dessa borrades nya hål tills samtliga hål med vattenläckage omgavs av täta hål enligt provtryckningen.

På samma sätt kompletterades med nya hål runt ett läckande sonderingshål. I flera skärmar ledde detta till fullfrontsinjekteringar med större hålantal än vid fullfrontsinjektering enligt L 21.

Såväl sonderingshål som injekteringsskärmar utfördes med längden 10 m.

## 4.2 Bolmen-tunneln

### 4.2.1 Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag

Bergförstärkning genom injektering. Tätningsåtgärder i tunneln har till syfte att förhindra att menlig inverkan sker på grundvattenytan samt att i driftstadiet förhindra att så stor inläckning sker att vattenkvaliteten försämras eller att vattenförlusterna blir oacceptabelt stora.

Tunneln skall göras så tät att inläckningen vid tom tunnel uppgår till högst 1,5 l/s och km. Tätning

skall i första hand ske som förinjektering.

Sondering av vattenläckage i berget framför drivningsfronten utförs i två av salvans kranshål - ett i taket och ett i botten - borrade till minst dubbla salvdjupet inom de avsnitt som angivits på profilritning. Vid vatteninläckning i dessa sonderingshål utförs vattenförlustmätning med ett tryck som är minst 2 kp/cm$^2$ högre än rådande grundvattentryck. Om vattenförlusten därvid överstiger 0.30 l/min m atö utförs injektering enligt följande.

Förinjektering. Förinjektering sker genom de båda sonderingshålen och ytterligare 6 st hål med jämn fördelning runt tvärsnittet och lika djupa som sonderingshålen. Om läckage förekommer i endast ett av sonderingshålen borras först ett hål på varje sida om sonderingshålet. Läcker vatten ut även i något av dessa hål borras ytterligare hål osv.

Innan injektering påbörjas renspolas och provtrycks hålen med injekteringspumpen, varvid noteras om vattenförlusterna är 0, små ($\leq$ 0.3 l/min m atö), medelstora eller stora.

Förinjektering med cementbruk

Utrustning bör bl a omfatta:

- Kolloidblandare med anordning för vattenmätning
- Omrörare
- Pump som medger ett inpressningstryck av minst 25 kp/cm$^2$
- Injekteringsmanschetter, ledningar, ventiler och manometrar avsedda för pumpens maximaltryck.

Flera hål kan injekteras samtidigt - seriekoppling - varvid hål med små vattenförluster injekteras först. Seriekopplingen bryts när flödet i ett eller flera hål minskar väsentligt i förhållande till övriga eller när trycket börjar stiga. Hålen injekteras därefter var för sig genom växling från hål till hål. Tiden mellan två injekteringar bör inte överstiga en timme.

Till injekteringsbruket skall tillsättas 3 % bentonit, räknat på cementvikten.

Injektering av hål eller hålgrupp skall alltid påbörjas med ett vct = 3. Minskningen av vct skall sedan ske i följande steg: vct = 2, 1, 0.8 och 0,5. Övergång till cementrikare blandning får ske först sedan bruk med följande mängd cement injekterats:

| | |
|---|---|
| vct 3 | 200 kg |
| vct 2 | 300 kg |
| vct 1-0.8 | 400 kg |

Om inpressningsmotståndet ökar (ökande tryck) vid visst blandningsförhållande skall denna blandning behållas tills hålet är tätt.

Injekteringen avbryts när inträngningen avstannar vid pumpens maximaltryck eller det högsta tryck som kan tillåtas med hänsyn till berget. Inträngningen anses ha avstannat när tiden mellan två pumpslag uppgår till ca 15 sekunder.

Injekteringsmanschetter och kranar skall sitta kvar tills något tryck inte längre förekommer i hålen.

Förinjektering med plast och andra kemikalier. Utförs i hål med små förluster (< 0,3 l/min m atö) som komplement till cementinjektering där det finns risk för inläckning av starkt förorenat vatten eller där sprickorna är fyllda med finmaterial som hindrar cementbruk att tränga in.

Inpressningstryck som vid förinjektering med cement.

Efterinjektering. Utförs vid behov som komplement till utförd förinjektering sedan tunneldel färdigschaktats. Hålens riktning, djup och antal avpassas från fall till fall med hänsyn till slagriktningar och läckornas omfattning.

Injekteringen skall utföras med det högsta tryck som bergets kvalitet tillåter.

### 4.2.2 Injekteringshålens placering och riktning

Injekteringen har utförts i skärmar med längder vanligen från 10 till 14 m. Hålantalet i skärmarna har varit 8 eller fler. Hålens utvinkling som skall vara $10^{o}$ har i flera skärmar varit mindre än $10^{o}$, varigenom hålens träffbild legat nära teoretisk kontur.

I vissa skärmar har försök gjorts att anpassa hålens riktning till bergets uppbyggnad. Detta gäller speciellt vid i gnejsen flackt inlagrade amfiboliter där kontakten ofta ger upphov till besvärande inläckning.

Med hänsyn till förekommande tätningsproblem har tillåten inläckning ökats till 400 l/min km. Som underlag för bedömning av förinjekteringsbehovet har vanligen legat en värdering av synlig inläckning i sondhål.

I samband med detaljerade uppföljningar har dock mer noggranna vattenförlustmätningar gjorts som underlag för injekteringsutförandet.

## 4.3 Göta älv-tunneln

### 4.3.1 Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag

Bergförstärkning genom injektering. Tätning av berg genom injektering kan utföras som förinjektering eller efterinjektering.

Förinjektering utförs vid tunnelfront genom långa framåtriktade hål (normalt 10-13 m) som ansätts vid tunnelfrontens periferi. Beroende på hålens och salvornas längd kan normalt 2-3 salvor skjutas mellan varje injekteringstillfälle såvida inte kvarvarande läckor påträffas tidigare.

Förinjektering har betydande fördelar framför efterinjektering. De exponerade ytorna är små, vilket medför användning av höga injekteringstryck utan risk för lossbrytning av ytberget och besvärande bruksläckor. Dessutom kan tunnelbotten injekteras, vilket är mycket svårt vid efterinjektering. Allt tätningsarbete skall därför i första hand ske som noggrann förinjektering.

Förinjektering

Hålmönster och håldjup

Förinjektering utförs i hål som borras enligt ritning nr 007-703-3. Vid passage genom det dåliga området under älven borras samtliga hål. För övriga tunneldelar gäller att vartannat hål i tak och väggar borras och att kompletterande hål borras vid vattenförluster $\geq$ 1 l/m borrhål.

Om hålen enligt ritningen inte på ett tillfredsställande sätt övertvärar förekommande sprickor ändras hålens riktning och/eller borras ytterligare hål. Entreprenören kan efter godkännande av beställaren få ändra angivna borrdjup om de inte passar hans drivningsrytm.

För sekt 10/990-11/020 skall förinjektering utföras efter varannan salva om 1.6-1.8 m. För övriga tunneldelar skall alltid finnas minst 3 m tätt berg framför stuffen.

För lastnischer och andra utrymmen skall entreprenören upprätta injekteringsförslag som skall tillställas beställaren för godkännande.

Borrningstolerans

Inriktningen av hålen skall ske med sådan noggrannhet att håländan avviker högst 0.5 m från teoretisk träffpunkt. Entreprenören skall för beställaren redovisa den utsättnings- och inriktningsmetodik han

tänker använda.

Vertikala hål borrade från markytan får avvika högst 1.0 m från teoretiskt hålläge.

Vattenförlustmätning

Vattenförlustmätning utförs i renspolade borrhål i samband med borrningen med 0.5 MPa (5 kp/cm$^2$) högre tryck än grundvattentrycket.

Hela hålet provtrycks på en gång. Mätningen skall ske under 2 min när fortvarighetstillstånd uppnåtts. Vattenförlusten anges i l/m borrhål. Om vattenförlusten överstiger 0.5 l/m borrhål tätas hålet med manschett. Eventuell överströmning till närliggande hål noteras.

Redovisning

Vattenförlustmätningsprotokoll skall upprättas med uppgifter om:

- Tid för inpressning
- Mätsträcka
- Inpressad vattenvolym
- Tryck MPa
- Vattenförlust i l/m borrhål

Injekteringsprotokoll för cementinjektering skall upprättas med uppgifter om:

- Pumptid för respektive hål eller hålgrupp
- Injekteringsdjup
- Blandningsförhållande cement/vatten
- Cementmängd
- Tillsatsmedel
- Tryck

För injektering med natronsilikat upprättas protokoll med uppgift om:

- Pumptid för respektive hål eller hålgrupp
- Injekteringsdjup
- Mängd injekteringsvätska
- Geltid
- Tryck

Övrigt

Salvborrning får påbörjas tidigast 5 timmar efter det att injekteringen avslutats. Uppstår vattenläckage

i samband med borrning för salva skall borrningen omedelbart avbrytas och erforderligt antal injekteringshål borras och injekteras. Beställarens kontrollant skall ha godkänt bergets täthet innan salva får laddas.

## Förinjektering med cementbruk

Cementinjektering utförs i borrhål med vattenförluster $\geq$ 1 l/m borrhål. För cementinjektering används Portlandcement med tillsats av 1 % Intraplast A eller likvärdigt. Injekteringen skall utföras med 1.5 MPa (15 kp/cm$^2$) högre tryck än grundvattentrycket.

Injektering av hål eller hålgrupp skall alltid påbörjas med ett blandningsförhållande cement/vatten 1:3. Blandningsförhållandet skall sedan minskas i följande steg:

1:2, 1:1, 1:0.8, 1:0.5

Övergång till cementrikare blandning får ske först sedan bruk med följande mängd cement injekterats:

- 1:3 200 kg
- 1:2 300 kg
- 1:1 400 kg osv

Om inpressningsmotståndet ökar vid visst blandningsförhållande skall denna blandning behållas tills hålet är tätt. Injekteringen avbryts när inträngningen avstannar vid 1.5 MPa (15 kp/cm$^2$) tryck över grundvattentrycket eller det högsta tryck som kan tillåtas med hänsyn till berget. Inträngningen anses ha avstannat när tiden mellan två pumpslag uppgår till ca 15 sekunder. Injekteringsmanschetter och kranar skall sitta kvar tills något tryck inte längre förekommer i hålen.

## Förinjektering med polymiserande natronsilikat

Förinjektering med natronsilikat utförs på sträckan 10/990-11/120. Entreprenören skall också vara beredd att på beställning utföra injektering med natronsilikat på andra delar av tunneln. Injekteringen utförs vid vattenförluster mindre än 1 l/m borrhål och då cementinjekteringen inte ger önskat resultat.

Halten natronsilikat 38-40 (N2) skall utgöra 40 volymprocent av lösningen.

De olika komponenterna skall doseras med god noggrannhet ($\pm$ 1 %). Tiden från pumpningens början tills fast gel erhållits (geltiden) får ej överstiga en timma. Injekteringen skall utföras med 1.5 MPa (15 kp/cm$^2$) högre tryck än grundvattentrycket.

Mängden inpressad injekteringsvätska anpassas efter sättet för injektering. Vid geltider kortare än 30 min kan i allmänhet injektering ske till stopp eller nära stopp. Om längre geltider används skall injektering ske med i förväg bestämda kvantiteter anpassade efter vattenförlusterna.

Efterinjektering

Utförs vid behov som komplement till utförd förinjektering. Beställaren upprättar i varje särskilt fall injekteringsprogram. Injekteringen skall utföras med det högsta tryck som bergets kvalitet tillåter.

Efterinjekteringsarbeten kan avslutas, då vid betongvallar uppmätt vatteninläckning har begränsats till två liter per minut och 100 m tunnel.

Efterinjektering med cementbruk

Utförs som motsvarande förinjektering.

Efterinjektering med polymiserande natronsilikat

Utförs som motsvarande förinjektering.

### 4.3.2 Injekteringshålens läge och riktning

Injekteringshålens placering vid olika typsektioner framgår av fig. 4.3.2.1.

De i figuren angivna hållängderna har efter godkännande ändrats för anpassning till drivningsrytmen.

Hållängden 12 m har använts på långa sträckor men vid mer svårtätat berg har skärmlängden reducerats, i vissa fall ner till 7 m.

Det visade sig vid tunneldrivningen under Göta älv att planerad injektering med natronsilikat ej gick att utföra på grund av att medlet gelade för snabbt i kontakten med vattnet i berggrunden. Lösningsinjektering på denna sträcka utfördes därför med Terraseal.

## 4.4 Härryda-tunneln

### 4.4.1 Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag

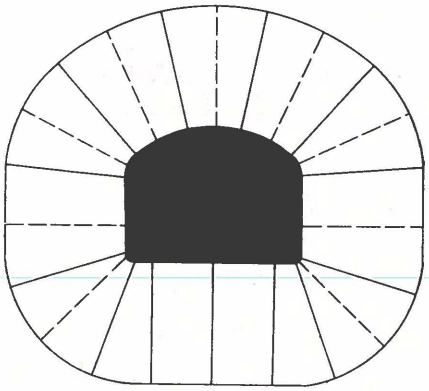
Beskrivningen överensstämmer med några undantag med den som gäller för Aletunneln (se 4.1)

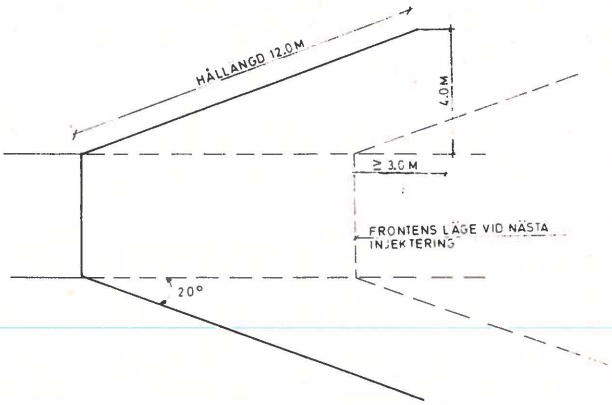
En viktig skillnad är att föreskrifter rörande för- och efterinjektering med plast och andra kemikalier saknas. Tätningen avsågs sålunda endast utföras med hjälp av cementbruk.

### 4.4.2 Injekteringshålens läge och riktning

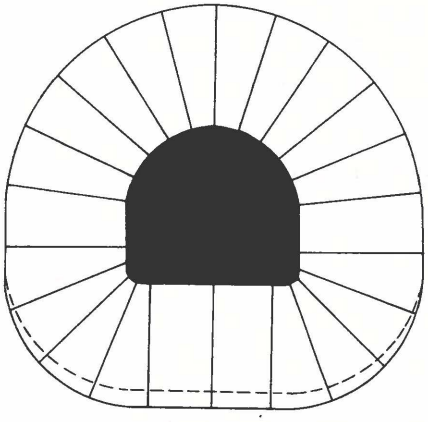
Den systematiska förinjekteringen skulle utföras som botten- eller fullfrontsinjektering. På basis av bedömd bergkvalitet var på ritningar angivet antaget läge och omfattning av respektive typinjektering. Placering av injekteringshål framgår av fig. 4.4.2.1.

Typsektion H1






Typsektion H2



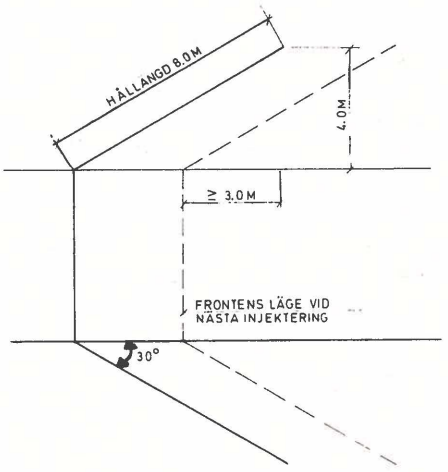



Fig. 4.3.2.1 Göta älv-tunneln. Systematisk förinjektering, alternativa utföranden.

Typsektion L

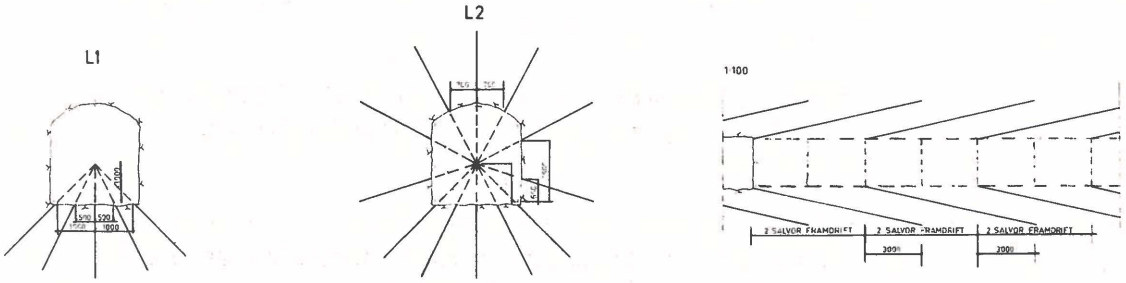



Fig. 4.4.2.1 Härryda-tunneln. Systematisk förinjektering, alternativa utföranden.

Vid drivningen tillåts max 2 salvors framdrift mellan injekteringsskärmar. Träffbilden skall ligga 2 m utanför teoretisk sektion.

Valet mellan botten- och fullfrontsinjektering gjordes efter synlig inläckning i de uppborrade hålen för botteninjektering. Vid rinnande vatten ur något av ytterhålen (nedåtriktade hål) borrades kompletterande hål något upp på väggen. Om även detta läckte borrades nya hål högre upp tills de läckande hålen kunde omges av "torra" hål eller borrning för fullfrontsinjektering utförts.

Injekteringsskärmarnas längd är genomgående 9 m. Vattenförlustmätning har ej utförts i injekteringshålen.

## 4.5 Partille-tunneln med transporttunnel

### 4.5.1 Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag

Beskrivningen är nästan identisk med den för Aletunneln (se 4.1).

### 4.5.2 Injekteringshålens läge och riktning

Liksom vid Härrydatunneln avsågs injekteringen utföras som botten- eller fullfrontsinjektering. Injekteringshålens läge och riktning i respektive typ är för huvudtunneln desamma som för Härrydatunneln (fig. 4.4.2.1).

Injekteringshålens placering i transporttunneln vid Björndammen framgår av fig. 4.5.2.1.

Typsektion T

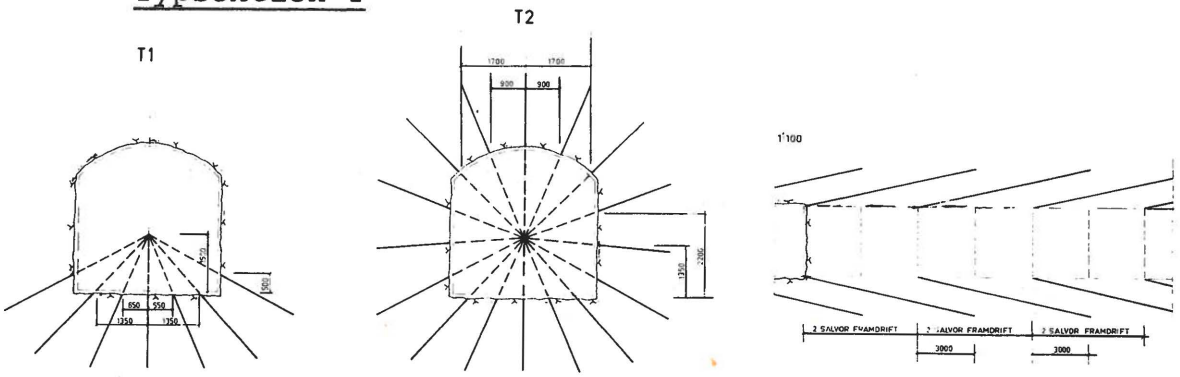



Fig. 4.5.2.1 Transporttunnel Björndammen. Systematisk förinjektering, alternativa utföranden.

Liksom för Härrydatunneln bedömdes behovet av kompletteringen av botteninjekteringshålen med ytterligare hål högre upp på basis av synlig inläckning.

Injekteringsskärmarnas längd är genomgående 7 m. Som underlag för injekteringsutförande har vattenförlustmätning utförts i borrhålen.

## 4.6 Slottsskogen - Annedal - Mölndal

### 4.6.1 Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag

Beskrivningen följer i stort den för Härrydatunneln. Injekteringsutförandet är dock beskrivet lite mer detaljerat.

Efter renspolning och provtryckning av hålen med injekteringspumpen sorteras hål med ungefär lika förluster i grupper. Injektering påbörjas i hål eller hålgrupper med små förluster. Flera hål kan injekteras samtidigt genom seriekoppling. När flödet i ett hål minskat väsentligt i förhållande till de övriga skall detta kopplas bort och injekteras för sig. Seriekoppling avbryts när injekteringstrycket börjar stiga. Hålen injekteras därefter var för sig genom växling från hål till hål. Tiden mellan injekteringar i samma hål bör inte överstiga en timma.

Till injekteringsbruket skall vid vct < 2 tillsättas 1 % Intraplast eller likvärdigt räknat på cementvikten.

Delmaterialen skall tillsättas i ordning vatten - cement - tillsatsmedel.

### 4.6.2 Injekteringshålens läge och riktning

Injekteringen har utförts som botten- eller fullfrontsinjektering med olika grundvarianter för placering av injekteringshålen (fig. 4.6.2.1).

Typsektion L

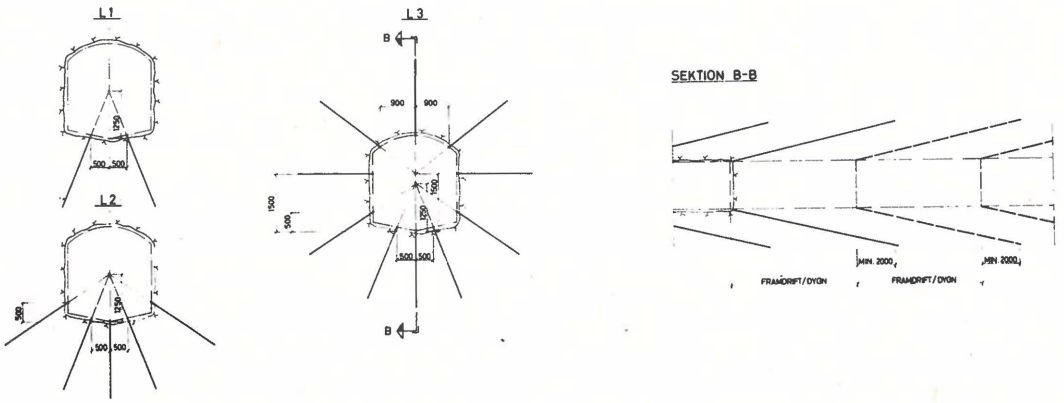



Fig. 4.6.2.1 Slottsskogen - Annedal - Mölndal. Systematisk förinjektering, alternativa utföranden.

Till skillnad från tidigare beskrivna Göteborgstunnlar har de olika varianterna för placering av injekteringshålen använts strikt. En successiv kompletteringav injekteringshål från botteninjektering till fullfrontsinjektering har sålunda ej utförts. Vid märkbart vatten vid borrning av L1 har borrning för L2 utförts. Om vatteninläckning uppträtt i takhål utfört som komplement till L2 har borrning för L3 utförts.

Injekteringsskärmarnas längd är i de små tunnlarna 6 m. I de större tunnlarna är skärmarnas längd oftast 13 m. Protokoll över vattenförlustmätning föreligger ej.

## 4.7 Vreten - Sundbyberg - Rissne

### 4.7.1 Arbetsbeskrivning i förfrågningsunderlag

Kontroll av grundvatteninflöde

Allmänt
=======

Tillåten inläckning Q̂ l/min och 100 m tunnel samt Vg finns angivet på huvudritningen jämte täthetsklass I, II, III eller IV enligt tabell ARB bil. 1. Förekommer flera intill varandra liggande tunnlar skall dessa räknas som ett tunnelavsnitt.

Där krav på viss täthet enligt ovan föreligger utförs kontroll av bergtäthet vid alla tunnlar, sänken, stigorter, lastningsnischer, tappfickor och andra utrymmen utanför den reguljära tunnelsektionen.

Borrning för vattenförlustmätning m m
=====================================

Sådan borrning utförs vid täthetsklass I, II, III kontinuerligt, och vid täthetsklass IV efter särskilt beslut, från stuffen för lokalisering av ev vattenförande zoner i berget. Val av metod och injekteringsmedel sker efter utförd vattenförlustmätning. Se Borrningsschema enligt ritning 55-41 till 55-48. Borrningen anpassas till dessa preliminära borrningsschema enligt tabell ARB bil. 1. Entreprenören skall i sitt anbud ange metod för inriktning av borrhålen som skall ske med stor noggrannhet. Storskaliga ritningar (plan, längdsektion och tvärsektion) skall av entreprenören successivt upprättas för varje area- eller riktningsändring. På ritningen noteras utsättnings- och riktningsdata.

Därhålmönster enligt borrningsschema inte på ett tillfredsställande sätt övertvärar förekommande sprickor och slag kompletteras med ytterligare hål.

Även för lastnischer, tappfickor och andra utrymmen utanför den reguljära tunnelsektionen skall särskilt borrningsschema upprättas och borrning för vattenförlustmätning samt injektering utföras på samma sätt innan utsprängning görs. Injekteringszonens tjocklek skall vara minst lika som för aktuell tunnelsektion.

Efter borrningen renspolas hålen med växelvis vatten och luft, varefter hålen tätas med manschett.

### Vattenförlustmätning

Mätning utförs med 0.5 MPa (= 5 kg/cm$^2$) tryck utöver grundvattentrycket. Hela hålet provtrycks på en gång med manschetten placerad ca 1 m från bergytan. Mätningen skall ske när fortvarighetstillstånd uppnåtts, dock tidigast efter 5 min. Vattenförlust $V_f$ för enskilda hål anges i l/min., m borrhål och MPa utöver på huvudritningen angivet grundvattentryck.

Mätning sker med manschetterna stängda i närliggande hål. Efter utförd mätning skall manschetterna vara stängda.

Mätplatsernas lägen noteras och mätningarna utförs i närvaro av beställaren.

## Injektering

### Allmänt

Tätning av berget skall i första hand utföras som förinjektering enligt ritning 55-41 till 55-48 och tabell ARB bil. 1. Om vid borrning av salvhålen påtagligt vattenläckage uppstår (rinnande vatten) skall en kompletterande förinjektering av stuffen utföras omgående.

Om Q överskrider tillåtet värde utförs vid behov borrning för vattenförlustmätning samt tillhörande mätning. Därefter utförs efterinjektering med cement eller kemiska medel. Lokala läckage efterinjekteras även om läckaget på 100 m tunnel är mindre än angivet värde för tunnelavsnittet.

### Omfattning

#### Manteln

Tabell ARB bil. 1 visar omfattningen av borrning för vattenförlustmätning samt injekteringsåtgärder.

Beteckningar i tabellen:

$V_f$ = vattenförlust i enskilt hål (l/min, m, MPa utöver grundvattentrycket)

$V_{fm}$ = medelvärdet av de vattenförluster $V_f$ som uppmätts i tunnelsektionens samtliga måthål (utom stuffhål)

$V_g$ = beräknat gränsvärde = $\frac{Q}{U.\sqrt{p}}$ där

Q = tillåtet sammanlagt läckage i färdigt tunnelavsnitt (en eller flera tunnlar) (l/min, 100 m tunnel)

U = tunnelns eller tunnlarnas totala omkrets i ett tunnelavsnitt (m)

P = grundvattentryck (teoretisk) på tunnelmittnivå (MPa)

## Stuffen

Borrning av hål för vattenförlustmätning i stuffen görs enligt ritning. Stuffen injekteras om $V_f$ > 2 l/min, m, MPa.

Kompletterande injektering i ytterligare hål erfordras normalt ej. Vid påtagligt läckage i stuffen (rinnande vatten) eller vid längre stopp i drivningen (>2 veckor) borras och injekteras hål med spetsavstånd ≤3 m. Längden skall vid längre stopp i drivningen vara 6 m och vid stora läckage 8 m.

## Maskinutrustning och material

### Cementinjektering

Injektering utförs med en för arbetet speciell anordning samtidigt i flera hål, alternativt med flera injekteringsaggregat. Injekteringsbruket bereds i blandare med omrörare med en rotationshastighet av 1000-3000 varv/min (typ Colcrete eller likvärdig). Ballastmaterial i form av sand, filler eller dylikt får användas endast efter beställanrens medgivande. Utjämningsbehållare med särskild omrörare skall installeras mellan blandare och pump. Cementen skall tillföras blandaren via en sikt med en fri maskvidd av max 12 mm.

Injekteringspumpen skall ha en tryckkapacitet av minst 3.0 MPa och ge jämnt flöde och konstant tryck. Utrustningen skall vara försedd med manometrar, på vilka injekteringstrycket skall kunna avläsas. En extra fläns monteras där kontrollmanometer skall kunna anslutas. Kontrollmanometer tillhandahålls av entreprenören. Möjlighet till flödesmätning för varje hål skall finnas. Injekteringsrören skall vara försedda med manschetter, som ger effektiv tätning vid alla förekommande tryck.

För cementinjekteringen används injekteringscement med tillsatsmedel för svällning, som minst skall kompensera krympningen. Cementinjekteringen skall alltid dessutom utföras med tillsats av bentonit, normalt 3-vikt-%, av typ Yellowstone eller likvärdig. Bentonittillsatsen skall ske successivt efter cementen. Kombinationen cementsort, tillsats av bentonit och tillsatsmedel för svällning skall egenskapsredovisas och godkännas av beställaren. Om analyserna visar att grundvattnet är aggressivt mot järn och/eller betong skall sulfat och/eller syrabeständigt injekteringsmedel användas.

Med "injekteringscement" avses en specialprodukt, som erhålls genom extra finmalning så att en specifik

yta på ca 6000 $cm^2$ per gram erhålls. SH-cement kan efter särskilt medgivande av beställaren få användas för injekteringen.

Keminjektering

För lösningsinjektering (kemisk injektering) används polymeriserande alkalisilikat, härdande plaster eller dylikt som skall egenskapsredovisas och godkännas av beställaren. Speciell utrustning för keminjektering erfordras.

Arbetsutförande

Cementinjektering

Förinjektering

Manschetter öppnas

Hålen töms på vatten

Nedåtriktade hål renblåses med luft

Injektering utförs

Under injekteringsmomentet skall ett antal intilliggande hål som ej just då injekteras ha öppna manschetter. Skulle förbindelse erhållas tillsluts manschetten dock först sedan bruk av normal konsistens börjat tränga ut.

Injekteringstrycket (sluttryck) vid cementinjektering skall normalt vara 2 MPa. Fortvarighetstillstånd skall upprätthållas minst 5 min med max 20 % tryckminskning. Vid injekteringens början används ett tunt bruk vct = 3.0 som därefter förtjockas successivt. Det tunna bruket (vct = 3.0) används i max 30 min, såvida sluttryck ej nåtts dessförinnan. Om sluttryck ej uppnåtts då, utförs förtjockning mellan 30-50 min successivt till vct = 1.0, varefter det tjockaste bruket används i 10 min. Vid exceptionellt stor brukåtgång kan det visa sig nödvändigt att ytterligare förtjocka bruket till vct = 0.5. Kan sluttryck ej nås efter 60 min avbryts injekteringen eller fortsätter den efter beslut av beställaren, varvid den ersätts enligt MF. Accelerator får ej användas. Vid hålfyllning skall bruk med vct = 0.5 användas.

Efterinjektering

Efter uppborrning av injekteringshålen skall dessa renspolas samt sättas under vattentryck så att i slag och sprickor befintliga material bortspolas genom intilliggande hål. Vid vattentryckning får trycket ej någon gång överstiga det injekteringstryck, som kommer att användas. Vattentryckningen skall pågå max 15 min/hål. Vattenförlustmätning se ovan.

Sluttryck vid cementinjekteringen skall normalt vara 0.8 MPa.

Den oinjekterade delen av hålet proppas med cementbruk vct 0.3 med metod som ger väl fyllt hål. Oinjekterade hål fylls med cementbruk (vct = 0,5) i hela sin längd. Aggregatens behållare skall rengöras i container.

Keminjektering

Se text för förinjektering

Allmänt

Om injekteringsbruket tränger ut ur synliga slag och sprickor, skall dessa tätas med träkilar, drev eller dylikt. Manschetterna skall sitta kvar 3-5 timmar. Borrning får, om ej annat anges, påbörjas inom 2 m avstånd från injekteringshål tidigast 2 timmar efter avslutad injektering. Dock skall borrning omedelbart avbrytas om injekteringsbruk tränger ut.

Fortlöpande under injekteringsarbetets gång skall spill avlägsnas, lämpligen med slamsugare.

På sträckor där krav på täthet finns skall hela salvan vara uppborrad och godkänd av kontrollant innan laddning får påbörjas så att möjlighet finns till förnyad injekteringsborrning. Om möjlighet för injekteringsborrning kan ordnas på annat sätt (exempelvis urblåsning av påbörjad laddning) kan detta förfarande accepteras.

4.7.2 Injekteringshålens läge och riktning

Injekteringen har utförts i enlighet med arbetsbeskrivningen. På de angivna ritningarna 55-41 till 55-48 redovisas borrningsscheman anpassade till de olika tunnelareorna. Grundprinciperna vad gäller

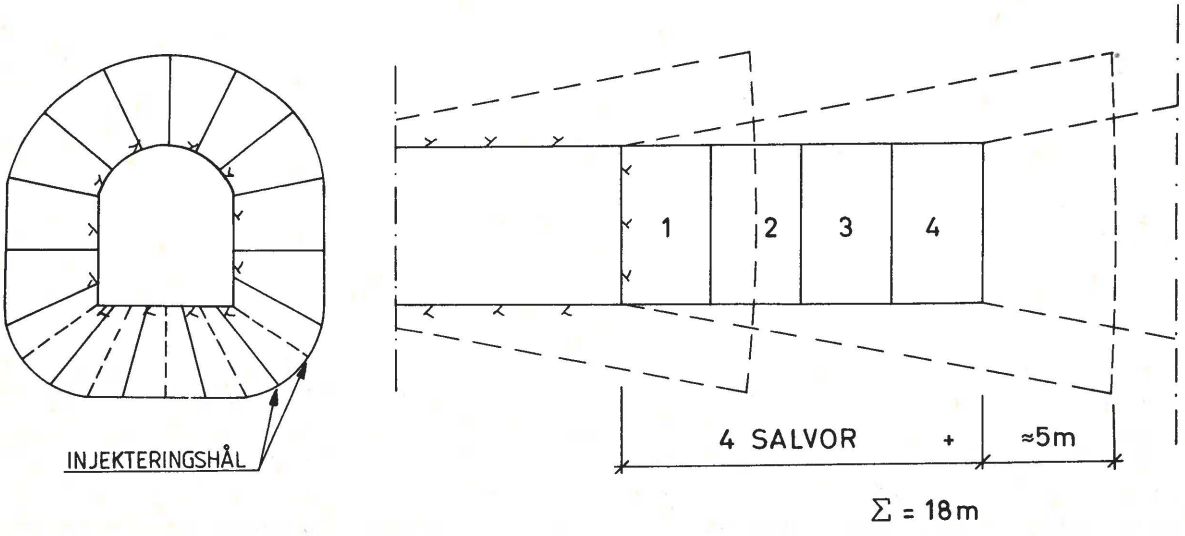



Fig. 4.7.2.1 Vreten-Sundbyberg-Rissne. Systematisk förinjektering i enkelspårstunnel

skärmarnas utformning, övertäckning etc är dock desamma. Som exempel redovisas i fig. 4.7.2.1 injekteringsskärm vid enkelspårstunnel. Hur många av hålen som borras bestäms av täthetsklass. På de studerade sträckorna har i en del skärmar utförts vartannat hål i botten och vart tredje hål i väggar och tak. I övriga har alla hål utförts.

Vattenförlustmätning och injektering

| Täthetsklass | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| Borrning och vattenförlust-mätning, omfattning | Borrning alla hål runt om inkl mellanrad i botten | Borrning alla hål runt om inkl mellanrad i botten | Borrning alla hål i botten exkl mellanrad. Vart tredje hål i väggar och tak | Normalt ingen borrning på vissa avsnitt dock vart tredje hål runt om efter särskilt beslut |
| Vattenförlust-mätningens resultat l/min m och MPa | | | | |
| Botten | | | | |
| Oberoende av resultat, dock $V_f > 0$ 1) | Cementinj i hålen 2) | Cementinj i hålen | Cementinj i hålen 3) | 4) |
| Väggar och tak | | | | |
| Fall A $V_{fm} < Vg$ | Hålen fylls med cem bruk<br>Hål med $V_f>2$ el med rinnande vatten cem inj dock | Enl klass I | Hålen fylls med cem bruk<br>Vid hål med $V_f>2$ borras dock på båda sidor om hålet två ytterligare hål varefter cem inj utförs i de 5 hålen | Enl klass I |
| Fall B $V_{fm} \geq Vg$ | | | | |
| Hål med $V_f \geq 1$ | Cementinj i hålen | Cementinj i hålen | På båda sidor om hålen borras två ytterligare hål varefter cem inj utförs i hålen | Cementinj i hålen |
| Hål med $V_f < 1$ och $V_f > Vg$ | Kemisk inj i hålen | Cementinj i hålen | -"- | Cementinj i hålen |
| Hal med $V_f < Vg$ | Hålen fylls med cem bruk | Enl klass I | Enl klass I | Enl klass I |

1) Om Vf = 0 fylls hålen med cem bruk
2) Kemisk injektering om sådan förekommer i väggar och tak
3) Vid fall B borras på båda sidor om hålet två hål i mellanraden varefter cem injektering utförs
4) Vid fall B cementinj i botten, vid fall A fylls hålen med cem bruk

# 5 INJEKTERINGSRESULTAT

## 5.1 Inledning

Vid utvärderingen av vad som karakteriserar berggrundsavsnitt, där tätning med hjälp av förinjektering misslyckats, kan följande kriterier som tecken på otillfredsställande tätningsresultat användas.

1 Vatten vid sond- eller salvborrning

2 Ominjektering (läckage i stuffen eller enligt 1)

3 Efterinjektering

4 Synliga läckage

5 För höga värden vid läckvattenmätningar

De kriterier som huvudsakligen använts vid utvärderingen är efterinjektering, synliga läckage och i viss mån ominjektering. Däremot är protokollen över vattenföring i sond- och salvhål ofta så ofullständiga att en utvärdering blir mycket osäker. Endast vid så stora vattenmängder att de medfört ominjektering har egentlig utvärdering kunnat ske. Läckvattenmätningar är vanligen svåra att koppla till enskilda injekteringsskärmar. Mätningarna anvisar dock nödvändig omfattning av efterinjektering och hur små läckage som skall åtgärdas.

Inledningsvis redovisas i text bergarternas betydelse för tätningsresultatet. Utvärderingen av de sprickmönstertyper som enligt de använda kriterierna ej lett till ett fullgott tätningsresultat vid förinjekteringen redovisas för varje tunnel i text och i statistiska tabeller och diagram. Först utförs utvärderingen med hänsyn till bergets grad och typ av uppsprickning. Därefter studeras i vad mån förekomsten av lerfyllda sprickor försvårar tätning av berget.

## 5.2 Bergarternas betydelse ur tätningssynpunkt

Huvudbergarterna längs de studerade tunnlarna är ur praktisk synpunkt täta. Deras betydelse för bergmassans vattenföring ligger i deras olika sätt att reagera på spänningar och deformationer i jordskorpan. I varje större bergartstyp har därvid utbildats karakteristiska mönster för sprickor och brottzoner.

I massformiga bergarter, främst granit, uppträder ofta två brantstående sprickgrupper i nära rät vinkel mot varandra och en grupp av praktiskt taget horisontella sprickor med varierande frekvens och inbördes avstånd. Vanligtvis är vattenföringen något större i en av de brantstående sprickgrupperna än i de båda övriga. Undantag kan vara i ytnära avsnitt där de flacka sprickorna kan visa såväl hög frekvens som öppenhet. I de helare bitarna av bergmassan mellan förekommande krosszoner är sprickfrekvensen ofta låg

och uthålligheten av enskilda sprickor dålig. Vattenföringen är i allmänhet ringa i sprickorna. Krosszonerna har en blockig - småblockig (K3-K4) utbildning med varierande grad av vattenföring. Exempel på de beskrivna bergförhållandena utgör de studerade sträckorna på tunneln Vreten - Sundbyberg - Rissne och Göta älvtunneln.

I stort gäller de beskrivna förhållandena även när bergarten utsatts för en svag förskiffring. Skillnaden består i att de flacka sprickorna blir sällsynta och ersätts av enstaka, oftast täta, sprickor längs förskiffringen. Krosszonerna domineras fortfarande av en blockig-småblockig utbildning (K3-K4). Därutöver uppträder dock även skiviga-tunnskiviga (K1-K2) sprickzoner, anlagda längs förskiffringen. Exempel på de beskrivna bergförhållandena utgör Ale-tunneln.

Övriga studerade tunnlar är huvudsakligen utförda i gnejser med varierande utbildning. I dessa bergarter har förskiffringen stor betydelse för såväl sprick- som krosszonsmönster. Skiviga eller skiviga-tunnskiviga sprickzoner längs förskiffringen utgör tillsammans med blockiga-småblockiga zoner de dominerande krosszonstyperna. Inom helare berggrundsavsnitt förekommer förutom sprickor längs förskiffringen en eller två korsande sprickgrupper.

Ur tätningssynpunkt uppstår speciella problem när en tunnel drivs parallellt med förskiffringen. I dessa fall kan vattenförande sprickor och sprickzoner följa tunneln på långa sträckor. Med den normala trumpetformen på injekteringsskärmar fångas denna typ av sprickor och zoner dåligt in av borrhålen. Efter utsprängningen uppträder dropp eller rinnande vatten på en lång sträcka ur en och samma spricka. Exempel på detta finns tydligast i Partille-tunneln och tunneln Slottsskogen-Annedal-Mölndal, där den senare har ungefär nordsydlig sträckning. Problemet förekommer även i Bolmen-tunneln, där det ofta är knutet till kontakten mot längs förskiffringen inlagrade amfibolitskivor. De oftast flackt liggande amfiboliterna är svåra att korsa genom anpassade borrhål.

Gångbergarten diabas förekommer i Bolmen-tunneln, Partille-tunneln, Slottsskogen-Annedal-Mölndal och Göta älv-tunneln. I Bolmen-tunneln uppträder ofta inte vattenproblemen i de blockigt uppspruckna diabaserna utan i det anslutande sidoberget. Diabasen i övriga tunnlar har en småblockig utbildning med liten vattenföring i sprickorna. Någon kraftigare, vattenförande störning i sidoberget förekommer ej.

## 5.3 Sprickmönstertyp - tätningsresultat

### 5.3.1 Ominjektering

Med ominjektering avses när på grund av vatten i sond- eller salvhål i en fullfrontsinjekterad skärm en ny förinjekteringsskärm utförs på samma sträcka som den

tidigare. De fall där förnyad förinjektering utförts redan efter en salva har inte räknats som ominjektering, då de nya skärmarna vanligan även omfattar berggrundsavsnitt, som tidigare ej injekterats.

Ale-tunneln

Ominjektering har utförts i 9 skärmar. Inom dessa som är 10 m långa varierar hålantalet mellan 13 och 23. Med undantag för en skärm har flertalet hål gått att injektera. Injekterade cementmängder går från 1.4 upp till nära 9 ton. Dominerande sprickmönstertyp är K3.

Synlig inläckning efter ominjektering är i en skärm måttlig och i de övriga liten. I två av dessa har dock resultatet uppnåtts först efter efterinjektering.

Bolmen-tunneln

På de studerade sträckorna har ominjektering utförts vid 24 skärmar. Antalet hål i skärmarna varierar mellan 8 och 40. Andelen injekterade hål i varje skärm är vanligen högt. Tre undantag utgör en skärm med 21 borrhål, där endast 8 injekterats, en skärm med 40 borrhål, där endast 19 hål injekterats samt en skärm med 28 borrhål där 17 injekterats.

Av skärmarna utgörs 22 helt eller delvis av krosszoner av olika intensitet. Blockigt - småblockigt berg (K3, K3-K4, K4) dominerar i 20 av dessa. Stora kvarvarande läckage uppträder främst där sönderkrossningen varit intensiv (K4 eller K4-K5). Största sammanlagda cementmängd (17.9 ton) hänför sig till en 14 m lång skärm i sprickmönstertyp K3. Trots injektering i 20 av 22 borrhål förekom vid karteringen ett stort läckage. Stora cementmängder och många borrhål kännetecknar ytterligare 2 skärmar i berg med sprickmönstertyp K3. Kvarstående läckage var vid karteringen måttliga - stora.

Efterinjektering har utförts i 2 skärmar med sprickmönstertyp K4-K5. Sammanlagt hade utförts 24 respektive 20 borrhål i skärmarna, varav samtliga gått att injektera. Trots detta uppträdde vid utsprängningen stora läckage.

Göta älv-tunneln

Ominjektering har utförts i 22 skärmar. Hålantalen varierar mellan 14 och 77. Vid det lägre hålantalet har hålantalet vid första injekteringen varit lägre än normalt för tunneln. I dessa skärmar är cementåtgången relativt liten. Sprickmönstertyp B2 dominerar.

Även i skärmar utförda i någon typ av krosszon K3 eller K4 var cementåtgången mestadels liten. Vid 20-40 borrhål varierade cementmängden med två undantag mellan 0.4 och 1.1 ton.

En stor cementmängd har injekterats i en 7 m lång skärm med sprickmönstertyp K4 och K5. I 77 hål har injekterats sammanlagt 13.2 ton. Trots denna omfattande injektering förekom vid karteringstillfället flera läckage med kraftigt dropp - svagt rinnande vatten.

I en 12 m lång skärm i bergkvalitet K3 förekom efter injektering i 58 av 75 hål med nära 3 ton endast små läckage.

Efterinjektering har utförts i 9 av skärmarna.

Härryda-tunneln

Ominjektering har utförts i 9 skärmar. Blockigt berg (K3) ingår i sex av skärmarna. Trots injektering i 11 av 13 borrhål i en 9 m lång skärm med sammanlagd cementmängd 15,8 ton uppträdde ett stort läckage.

Stora cementmängder har också injekterats i en skärm av AB1-typ (11 ton) och i en skärm av B1B2-typ (12 ton). I det första fallet var endast 4 av 15 borrhål injekteringsbara, medan det i andra fallet gick att injektera samtliga 13 hål.

Sprickmönstertyp K1-K3 har inneburit speciella problem. I en skärm utfördes sammanlagt 16 borrhål men endast två av hålen var injekteringsbara (625 kg). Måttligt läckage uppträdde efter injekteringen. I en annan skärm var 2 av 8 borrhål injekteringsbara (250 kg). Även här förekom vid karteringen ett måttligt läckage. Efterinjektering har utförts i 8 av skärmarna.

Partille-tunneln

Ominjektering har utförts i 6 skärmar. Sprickmönstertyp utgörs av K3-K4. Antalet hål i skärmarna varierar mellan 16 och 35. Andelen injekterade hål är med undantag för en skärm ungefär hälften eller mindre. I en skärm kunde injekteringutföras i endast 6 av totalt 29 hål.

Cementmängderna är relativt små i 4 av skärmarna (0.9-1.4 ton). I de övriga två har injekterats 3.3 respektive 6.8 ton.

Efterinjektering har utförts i 5 av skärmarna.

Slottsskogen-Annedal-Mölndal

Ominjektering har utförts i 19 skärmar. I 14 av dessa förekommer någon typ av krosszon. Dominerande är K3-K4 och K4-K5. I övriga skärmar är sprickmönstertypen B2 och B3. I skärmarna har utförts mellan 15 och 40 borrhål. Med undantag av en skärm (K3) med 15 borrhål där endast 7 injekterats är andelen injekterade hål i skärmarna högt.

Läckagen efter injektering är med ett undantag små till måttliga. Det stora läckaget uppträder i en 6 m lång skärm med sprickmönstertyp K4-K5. Injektering har utförts i 40 hål med sammanlagt 7.1 ton.

Den största injekterade cementmängden (17.2 ton) hänför sig till en 6 m lång skärm i sprickmönstertyp K3-K4. I sprickmönstertyp K4-K5 har i en 6 m lång skärm injekterats 12.2 ton.

Efterinjektering har utförts i 10 av skärmarna.

Vreten-Sundbyberg-Rissne

Ominjektering enligt definitionen ovan har ej utförts vid Rissne och Sundbyberg. Vid Rissne finns däremot långa skärmar i sprickmönstertyp K3 som är utförda med endast någon eller några salvdjups förskjutning.

Längs den studerade sträckan i Sundbyberg har ominjektering utförts i begränsad omfattning på så sätt att några skärmar i en andra omgång kompletterats med ytterligare något eller några hål. Detta har skett vid sprickmönstertyperna A, B3, K3 och K4.

Efterinjektering inom de studerade skärmarna har endast utförts vid Rissne.

### 5.3.2 Efterinjektering

Efterinjektering utförs där tätningsresultatet är otillräckligt. De i arbetsbeskrivningarna angivna täthetskraven avgör hur små synliga läckage som efterinjekteras. Oavsett resultat vid läckvattenmätningar efterinjekteras dock oftast lokala måttliga eller stora läckage. Tidpunkten för efterinjekteringarna varierar. Större läckage åtgärdas vanligen omgående medan mindre läckage ibland tätas i ett senare skede.

Samtliga skärmar där efterinjektering utförts har för varje tunnel undersökts med avseende på eventuellt samband mellan sprickmönstertyp och utförd efterinjektering. De efterinjekterade skärmarna innehåller vardera en eller flera sprickmönstertyper. Där flera sprickmönstertyper förekommer i en skärm har efterinjekteringen ibland utförts i endast en av typerna. Oftast omfattas dock även en del av intilliggande sprickmönster i efterinjekteringen. Detta leder till en viss överrepresentation av sidobergssprickmönster i förhållande till de sprickmönstertyper där efterinjekteringskrävande läckage förekommit. För att eventuella speciellt efterinjekteringskrävande sprickmönstertyper skall kunna framträda tydligare har i den följande genomgången för varje sprickmönstertyp (del av skärm eller hel skärm) antalet efterinjekterade sektioner jämförts med totala antalet sektioner med samma sprickmönstertyp. Sektioner med typerna A, B1, B2 och B3 utgör med undantag för Bolmen-tunneln merparten av delsektionerna. När de uppträder som efterinjekterat sidoberg visar de med det använda re-

dovisningssättet procentuellt mindre siffror än de normalt mer tätningskrävande krossklasserna.

Ale-tunneln

Av tunnelns 469 delsektioner har efterinjektering utförts i 107. I 50 av dessa ingår någon typ av sprickfyllnad med lera. Leran uppträder till största delen som L1 men även L1-L3 och L3 förekommer. I tabell (tab. 5.3.2.1) redovisas den procentuella andelen efterinjekterade respektive ej efterinjekterade delsektioner för varje sprickmönstertyp samt om de innehåller lerfyllda sprickor.

Tab 5.3.2.1 Ale-tunneln. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprickmönstertyp | Eftrinj. delsek m lera | % | Eftrinj. delsek u lera | % | Eftrinj. delsek. | % | Ej eftrinj. delsek. m lera | % | Ej eftrinj. delsek. | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | - | | 9 | | 9 | | 4 | | 91 | |
| B1 | 2 | | 12 | | 14 | | 27 | | 86 | |
| B2 | 17 | | 17 | | 34 | | 41 | | 66 | |
| B3 | 29 | | 8 | | 37 | | 33 | | 63 | |
| K1 | 13 | | 63 | | 76 | | - | | 24 | |
| K1-K2 | 20 | | - | | 20 | | 80 | | 80 | |
| K2 | 50 | | - | | 50 | | 50 | | 50 | |
| K1-K3 | 25 | | 13 | | 38 | | 31 | | 63 | |
| K3 | 26 | | 2 | | 28 | | 68 | | 72 | |
| K3-K4 | 25 | | - | | 25 | | 75 | | 75 | |
| K4 | 40 | | - | | 40 | | 60 | | 60 | |

Av tabellen framgår att endast sprickmönstertyp K1 visar större andel efterinjekterade delsektioner än ej efterinjekterade. Lerfyllda sprickor har inte i någon typ generellt lett till efterinjektering. De efterinjekterade sprickmönstertyper som innehåller flest delsektioner är B1, B2 och K3. Skälet till att efterinjektering utförts i sektioner med typerna B1 och B2 är förutom sidobergseffekten att det i stället för förinjektering i dessa sprickmönstertyper utförts endast två sonderingshål. Detta är också anledningen till att flertalet delsektioner med K1 efterinjekterats.

När det gäller sprickmönstertyp K3 har som regel i de flesta efterinjekterade skärmarna redan vid förinjekteringen utförts 9 borrhål eller fler.

Efterinjekteringen har utförts såväl i skärmar, som vid förinjekteringen var täta, som i skärmar, där förinjekteringen med cement uppgått till närmare 7 ton.

Bolmen-tunneln

Efterinjektering har utförts i 16 av de 199 delsektionerna. I 11 av dessa har lera av typ L1 förekommit som sprickfyllnad. Av tab. 5.3.2.2 framgår att efterinjekteringen utförts i sprickmönstertyperna B3, K3 och K4-K5. Sprickmönstertyp K3 har flest efterinjekterade delsektioner.

Tab. 5.3.2.2 Bolmen-tunneln. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprickmönstertyp | Eftrinj. delsek.m lera | % | Eftrinj. delsek.u lera | % | Eftrinj. delsek. | % | Ej eftrinj. delsek. m lera | % | Ej eftrinj. delsek. | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B3 | 6 | | 18 | | 24 | | 41 | | 76 | |
| K3 | 9 | | 3 | | 12 | | 63 | | 88 | |
| K4-K5 | 75 | | - | | 75 | | 25 | | 25 | |

Sprickmönstertypen K4-K5 visar tre gånger så många efterinjekterade delsektioner som ej efterinjekterade. Lerfyllnad i sprickorna tycks inte i sådan omfattning ha försvårat förinjekteringen att efterinjektering blivit nödvändig. Det bör dock observeras att efterinjektering ej konsekvent utförts vid måttliga och stora läckage.

Förinjekteringsskärmarna omfattar från 8 borrhål upp till 24 borrhål. Cementåtgången i skärmarna varierar mellan 3 och närmare 16 ton.

Göta älv-tunneln

Av tunnelns 630 delsektioner har efterinjektering utförts i 130. I 56 av dessa har förekommit sprickfyllnad av lera. Vanligast är typerna L1 och L1-L3. Dessutom förekommer L3 och i ett fall L4. Den procentuella andelen efterinjekterade sektioner i olika sprickmönstertyper framgår av tab. 5.3.2.3.

De största klasserna är B2, K3-K4 och K3 i nämnd ordning. Tabellen visar att lerfyllda sprickor ej varit någon viktig försvårande faktor vid tätningen av berget med förinjektering.

Andelen efterinjekterade delsektioner är större i krossklasserna än i klasserna B2 och B3.

Cementåtgången vid fullfrontsinjekteringen varierar mellan 0.2 och drygt 13 ton.

Tab. 5.3.2.3 Göta älv-tunneln. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprick-mönster-typ | Eftrinj-delsek.m lera | % | Eftrinj. delsek.u lera | % | Eftrinj. delsek. | % | Ej eftrinj. delsek. m lera | % | Ej eftrinj. delsek. | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B2 | 2 | | 17 | | 19 | | 12 | | 81 | |
| B3 | - | | 9 | | 9 | | - | | 91 | |
| K1 | - | | 43 | | 43 | | - | | 57 | |
| K3 | 23 | | 7 | | 30 | | 55 | | 70 | |
| K3-K4 | 39 | | 5 | | 44 | | 37 | | 56 | |
| K5 | 25 | | - | | 25 | | 50 | | 75 | |

Härryda-tunneln

Av Härryda-tunnelns 705 delsektioner har efterinjektering utförts i 361. I 133 av dessa har lera förekommit som sprickfyllnad. Med undantag för ett litet antal delsektioner med lertyperna L3 och L3-L4 uppträder sprickfyllnaden som lertypen L1. Den procentuella andelen efterinjekterade sektioner i olika sprickmönstertyper framgår av tab. 5.3.2.4.

Tab. 5.3.2.4 Härryda-tunneln. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprick-mönster-typ | Eftrinj-delsek.m lera | % | Eftrinj. delsek.u lera | % | Eftrinj. delsek. | % | Ej eftrinj. delsek. m lera | % | Ej eftrinj. delsek. | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | - | | 35 | | 35 | | - | | - | |
| B1 | 2 | | 34 | | 36 | | - | | 64 | |
| B2 | 4 | | 42 | | 46 | | 7 | | 54 | |
| B3 | 3 | | 63 | | 66 | | 22 | | 34 | |
| K1 | - | | 39 | | 39 | | 22 | | 61 | |
| K1-K2 | 75 | | - | | 75 | | 25 | | 25 | |
| K2 | 43 | | - | | 43 | | 57 | | 57 | |
| K1-K3 | 62 | | 8 | | 70 | | 25 | | 30 | |
| K3 | 72 | | 15 | | 87 | | 8 | | 13 | |
| K2-K4 | 40 | | 40 | | 80 | | 20 | | 20 | |
| K3-K4 | 68 | | - | | 68 | | 32 | | 32 | |

Flest efterinjekterade delsektioner förekommer i sprickmönstertyperna A, B1, B2, B3, K1-K3 och K3. I de fyra först nämnda typerna är andelen delsektio-

ner med lera som sprickfyllnad låg. Det omvända är fallet vid K1-K3 och K3 där delsektioner med lera som sprickfyllnad dominerar stort.

Inom de olika krosszonsklasserna är med undantag för klasserna K1 och K2 flertalet delsektioner efterinjekterade. Också sprickmönster B3 visar hög procent efterinjektering.

I 170 av delsektionerna har endast utförts botteninjektering med 5 hål, i 11 delsektioner botteninjektering plus ett hål och i 21 delsektioner botteninjektering plus två hål. Botteninjektering har inte bara utförts i det bättre berget utan även där del av eller hel skärm utgörs av krosszon.

Cementåtgången vid förinjekteringen varierar mellan 0.1 och drygt 16 ton.

Transporttunnel Björndammen

Efterinjektering har utförts i 63 av tunnelns 136 delsektioner. I 24 av dessa förekommer sprickfyllnad av lera i form av typ L1-L2. Av tabell 5.3.2.5 framgår att efterinjektering utförts i delsektioner med sprickmönstertyperna B1, B2, K1, K1-K2 och K3-K4. Klasserna B1 och B2 innehåller flest delsektioner.

Tab. 5.3.2.5 Transporttunnel Björndammen. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprickmönstertyp | Eftrinj. delsek.m lera | % | Eftrinj. delsek.u lera | % | Eftrinj. delsek. | % | Ej eftrinj. delsek. m lera | % | Ej eftrinj. delsek. | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | - | | 24 | | 24 | | 24 | | 76 | |
| B2 | 4 | | 48 | | 52 | | 6 | | 48 | |
| K1 | 50 | | 25 | | 75 | | 13 | | 25 | |
| K1-K2 | 67 | | - | | 67 | | 33 | | 23 | |
| K3-K4 | 83 | | - | | 83 | | 17 | | 17 | |

Klasserna med någon krosstyp har väsentligt fler delsektioner med efterinjektering än utan. Flertalet delsektioner med krosszon och sprickfyllnad av lera är efterinjekterade.

Sprickmönstren B1 och B2 uppträder dels i fullfrontsinjekterade skärmar tillsammans med någon typ av krosszon, dels som enda sprickmönstertyp i endast botteninjekterade skärmar (14 st). I samtliga skärmar där del av eller hela skärmen består av någon krosszonstyp har fullfrontsinjektering utförts.

Cementåtgången i de botteninjekterade skärmarna är i flertalet skärmar låg. I de fullfrontsinjekterade

skärmarna varierar den mellan 0.4 och 8.5 ton.

Partille-tunneln

Av tunnelns 419 delsektioner har efterinjektering utförts i 113. I 49 av dessa har förekommit sprickfyllnad av lera. Typen L1 dominerar men framför allt i delsektioner med krosszon är även L2 vanlig. Typen L3 förekommer i några krosszoner. Den procentuella andelen efterinjekterade sektioner i olika sprickmönstertyper framgår av tab. 5.3.2.6.

Tab. 5.3.2.6 Partille-tunneln. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprickmönstertyp | Eftrinj. delsek.m lera | % | Eftrinj. delsek.u lera | % | Eftrinj. delsek. | % | Ej eftrinj. delsek.m lera | % | Ej eftrinj. delsek. | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | - | | 25 | | 25 | | 11 | | 75 | |
| B1 | 7 | | 10 | | 17 | | 53 | | 83 | |
| B2 | 6 | | - | | 6 | | 50 | | 94 | |
| B3 | 9 | | 4 | | 13 | | - | | 87 | |
| K1-K3 | 26 | | 13 | | 39 | | 39 | | 61 | |
| K3 | 14 | | 10 | | 24 | | 40 | | 76 | |
| K3-K4 | 38 | | - | | 38 | | 59 | | 62 | |
| K4 | 46 | | - | | 46 | | 54 | | 54 | |
| K4-K5 | 100 | | - | | 100 | | - | | 0 | |

Största klasserna bland de efterinjekterade delsektionerna är B1, B3, K1-K3, K3 och K3-K4. På grund av att ett stort antal delsektioner driftsförstärkts med sprutbetong innan kartering kunnat utföras är med största säkerhet siffrorna för sprickmönster av krosstyp för små. Med undantag för den i tunneln sällsynta typen K4-K5 är det för varje sprickmönstertyp fler delsektioner utan efterinjektering än med. Tendensen är dock densamma som tidigare, dvs att krosszonsklasserna visar en större andel efterinjekterade delsektioner än klasserna A, B1, B2 och B3.

Sprickfyllnad av lera förekommer i större omfattning i delsektioner som ej efterinjekterats än i de som har efterinjekterats. Eftersom en tredjedel av de efterinjekterade delsektionerna driftsförstärkts med sprutbetong före kartering saknas uppgifter om såväl sprickmönstertyp som sprickfyllnad i dessa. Kartering innan förstärkning skulle troligen givit sprickfyllnad av lera i fler delsektioner som efterinjekterats än där detta ej utförts.

Botteninjektering har utförts i 15 skärmar. I övriga har fullfrontsinjektering gjorts i 12 eller fler borr-

hål. Cementåtgången i de botteninjekterade skärmarna har varit låg (50-100 kg). I fullfrontsinjekterade skärmarna varierar cementåtgången mellan 0.4 och drygt 8 ton.

Slottsskogen-Annedal-Mölndal

Efterinjektering har utförts i 259 av 930 delsektioner. I 99 av dessa förekommer sprickfyllnad av lera. Flertalet sprickfyllnader är av typ L1. Dessutom förekommer med lågt antal typerna L1-L2, L2, L1-L3, L2-L3, L3 och L3-L4. Av tab. 5.3.2.7 framgår att efterinjektering utförts i ett stort antal olika sprickmönstertyper. De största klasserna är i fallande ordning B2, K3, K3-K4, B1 och B3.

Tab. 5.3.2.7 Slottsskogen-Annedal-Mölndal. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprickmönstertyp | Eftrinj. delsek.m lera | % | Eftrinj. delsek.u lera | % | Eftrinj. delsek. % | Ej eftrinj. delsek. m lera | % | Ej eftrinj. delsek. % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | - | | 7 | | 7 | 13 | | 93 |
| B1 | 2 | | 47 | | 49 | 2 | | 51 |
| B2 | 5 | | 13 | | 18 | 22 | | 82 |
| B3 | 4 | | 67 | | 71 | 15 | | 29 |
| K1-K3 | 46 | | - | | 46 | 46 | | 54 |
| K2 | 40 | | - | | 40 | 50 | | 60 |
| K3 | 19 | | 16 | | 35 | 44 | | 65 |
| K3-K4 | 17 | | 26 | | 43 | 37 | | 57 |
| K4 | 16 | | 8 | | 24 | 56 | | 76 |
| K4-K5 | 53 | | - | | 53 | 47 | | 47 |
| K5 | 50 | | - | | 50 | 50 | | 50 |

Endast sprickmönstertypen B3 och den relativt ovanliga krossklassen K4-K5 visar större antal delsektioner med efterinjektering än utan. Lerförande sprickor förefaller inte i större omfattning ha gjort berget så svårtätat att efterinjektering blivit nödvändig.

Den längs tunneln helt dominerande sprickmönstertypen är B2 (43 %). I skärmarna förekommer den dels tillsammans med någon krosszonstyp, dels som enda sprickmönster i de botteninjekterade skärmarna. Andelen botteninjekterade delsektioner är 6 % av totala antalet.

Medan 13 % av delsektioner med sprickmönstertyp B2 är efterinjekterade är motsvarande siffror för de stora

krosszonsklasserna K3 och K3-K4 35 % respektive 43 %. Ökad blockighet (B3) och uppkrossning medför ökat behov av efterinjektering.

Cementåtgången i de botteninjekterade skärmarna är i flertalet fall låg (50 kg) men flera skärmar visar relativt stor cementåtgång med högsta värdet 4.5 ton. I de fullfrontsinjekterade skärmarna varierar cementåtgången mellan 200 kg och drygt 12 ton.

Vreten-Sundbyberg-Rissne

Längs tunnelsträckan har tre avsnitt studerats. Avsnitten behandlas var för sig. Delsträckan vid Rissne togs med i uppföljningen på grund av de speciella tätningsproblem som inträffade där. Avsnitten vid Vreten och Sundbyberg särbehandlas på grund av att tunnelareorna varierar kraftigt.

Inom avsnittet vid Vreten har efterinjektering utförts i 16 av totalt 102 delsektioner. Sprickfyllnad av lera typ L1 förekommer i 11 av de efterinjekterade skärmarna. Den procentuella andelen efterinjekterade sektioner i olika sprickmönstertyper framgår av tab. 5.3.2.8.

Tab. 5.3.2.8 Vreten. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprickmönstertyp | Efterinj. delsek.m lera | % | Efterinj. delsek.u lera | % | Eftrinj. delsek. | % | Ej eftrinj. delsek. m lera | % | Ej eftrinj. delsek. | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | - | | 14 | | 14 | | - | | 86 | |
| B2 | 14 | | - | | 14 | | 19 | | 86 | |
| K3 | 16 | | - | | 16 | | 44 | | 84 | |
| K3-K4 | 43 | | - | | 43 | | 43 | | 57 | |
| K4 | 20 | | - | | 20 | | 60 | | 80 | |

Vid förinjekteringen av skärmarna har utförts mellan 30 och 55 borrhål. Cementåtgången varierar mellan 3.5 och knappt 11 ton.

Vid Sundbyberg har efterinjektering utförts i 59 av sträckans 202 delsektioner. Flest efterinjekterade delsektioner har sprickmönstertyperna K3, A och B2. Den procentuella andelen efterinjekterade sektioner i olika sprickklasser framgår av tab. 5.3.2.9. Sprickfyllnad av lera förekommer som typ L1.

Med undantag av den lilla klassen K1 är flertalet lerförande delsektioner med krossat berg efterinjekterade.

Hålantalet i skärmarna varierar mellan 7 och 28. Cementåtgången i skärmarna ligger i intervallet 0 - 4.8 ton.

Tab. 5.3.2.9 Sundbyberg. Samband mellan sprickmönstertyp och efterinjektering. Delsektioner med och utan lerfyllda sprickor.

| Sprickmönstertyp | Eftrinj. delsek.m lera % | Eftrinj. delsek.u lera % | Eftrinj. delsek. % | Ej eftrinj. delsek. m lera % | Ej eftrinj. delsek. % |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 3 | 16 | 19 | 15 | 81 |
| B1 | 38 | - | 38 | 25 | 62 |
| B2 | 21 | 13 | 34 | 42 | 66 |
| B3 | 14 | | 14 | 29 | 86 |
| K1 | - | 100 | 100 | - | 0 |
| B3-K3 | 100 | - | 100 | - | 0 |
| K3 | 69 | - | 69 | 31 | 31 |
| K3-K4 | 100 | - | 100 | - | 0 |

Till skillnad från Vretenavsnittet är flertalet lerförande krossavsnitt efterinjekterade. Betydligt större andelar är efterinjekterade i krosszonsklasserna än i sprickmönstertyperna A, B1, B2 och B3.

Inom den studerade sträckan vid Rissne har efterinjektering utförts i samtliga 20 delsektioner. Inom 8 av dessa är sprickmönstertyp B3 och inom 12 typen K3. Sprickfyllnad med lera av typ L1 uppträder i alla sektioner.

Antalet hål per förinjekteringsskärm varierar mellan 20 och 40 (area 125 $m^2$). Cementåtgången i skärmarna varierar mellan knappt 2 ton och drygt 11 ton.

## 5.3.3. Synliga läckage

Vid karteringen av tunnlarna har synliga läckage delats in efter storlek i tre klasser - små läckage (v), måttliga läckage ($\overset{v}{v}$) och stora läckage ($\overset{v}{\overset{v}{v}}$). Klasserna har definierats i kap. 3. Tätt berg betecknas i figurer med symbolen (-).

Enkla skärmar (endast en sprickmönstertyp).

Vid utvärderingen av samband mellan sprickmönstertyp och synliga läckage har för varje tunnel valts ut de skärmar, som bara innehåller en sprickmönstertyp. Dessa kallas enkla skärmar. Vidare har en uppdelning gjorts i klasser efter hur många borrhål som utförts i skärmarna.

Vid genomgången av de olika tunnlarna redovisas först hur många enkla skärmar varje borrhålsklass innehåller. Därefter visas inom varje borrhålsklass hur stor procentuell andel som upptas av de olika läckageklasserna. Slutligen redovisas för de vanligaste sprickmönstertyperna den procentuella fördel-

ningen av de olika läckageklasserna.

Ale-tunneln

Antalet enkla skärmar uppgår till 302. I kap. 4 beskrevs injekteringsutförandet. Till skillnad från övriga tunnlar har i många skärmar utförts endast två sonderingshål. Vid genomgången redovisas därför såväl borrhålsklassen 0-2 som klassen 0-5 borrhål. Antalet enkla skärmar fördelade på borrhålsklasser redovisas i tab. 5.3.3.1.

Tab. 5.3.3.1 Ale-tunneln. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser.

| Antal borrhål | 0 - 2 | 0 - 5 | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 14 | 15 - |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 178 | 198 | 5 | 76 | 9 | 14 |

Av tabellen framgår att sondering med två borrhål utförts i närmare 60 % av skärmarna. Fullfrontsinjektering (9 borrhål eller fler) svarar för 33 %.

Vid fördelning på sprickmönstertyp svarar A, B1, B2, och B3 tillsammans för drygt 86 % medan resten utgörs av olika typer av krosszoner. Av dessa dominerar typ K3.

I fig. 5.3.3.1 redovisas för varje borrhålsklass den procentuella fördelningen mellan täta skärmar (synliga läckage saknas) och läckande. Tätt berg betecknas i fig. med (-).

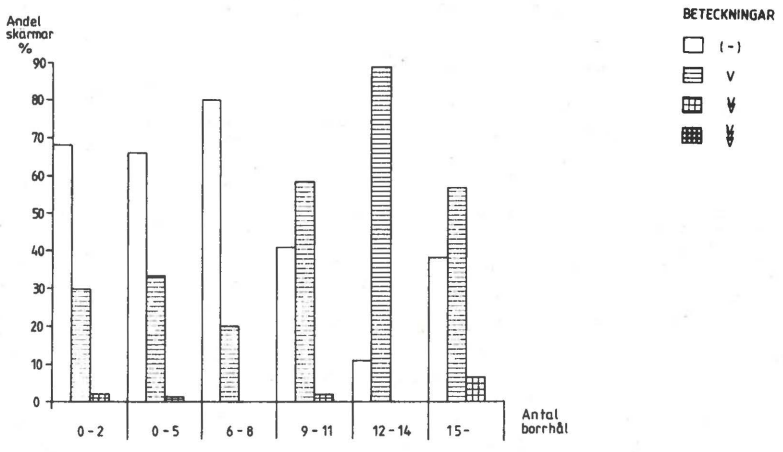
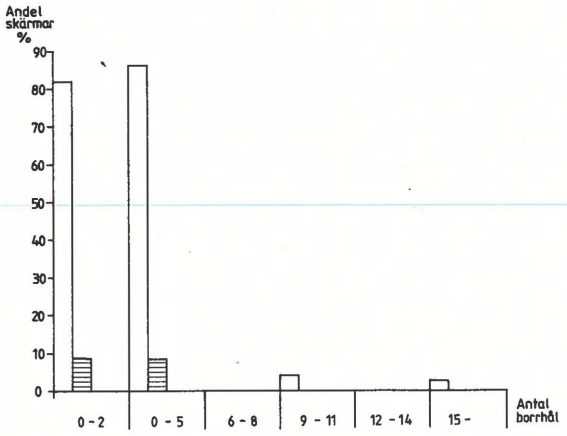


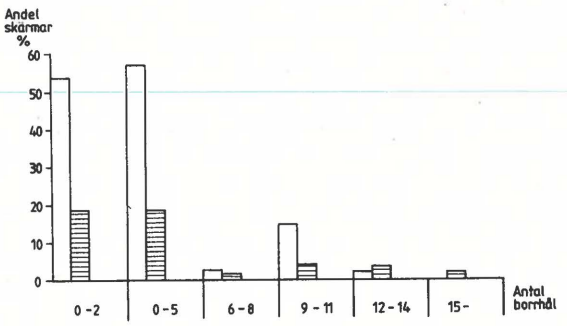

Fig. 5.3.3.1 Ale-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika antal borrhål.

Diagrammet visar inom de stora klasserna hur andelen täta skärmar minskar vid ökat hålantal.

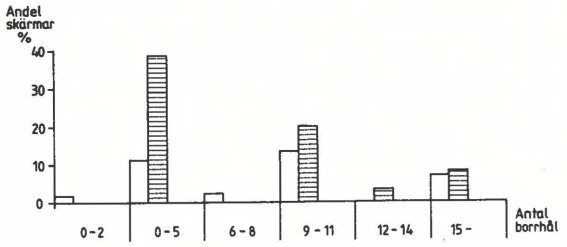
Bergförhållandena ur tätningssynpunkt har varit så bra att det i 60 % av skärmarna resulterat i mindre andel och storlek av läckage genom injektering av endast 2 sonderingshål än vad som uppnåtts vid fullfrontsinjektering i mera sprickigt berg. Hur täta och läckande skärmar procentuellt fördelar sig vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper framgår av fig. 5.3.3.2.



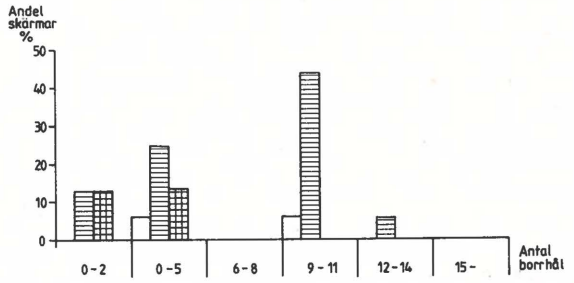

Sprickmönstertyp A



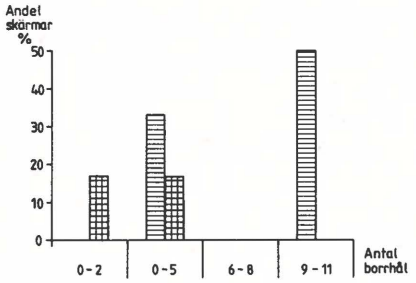

Sprickmönstertyp B1



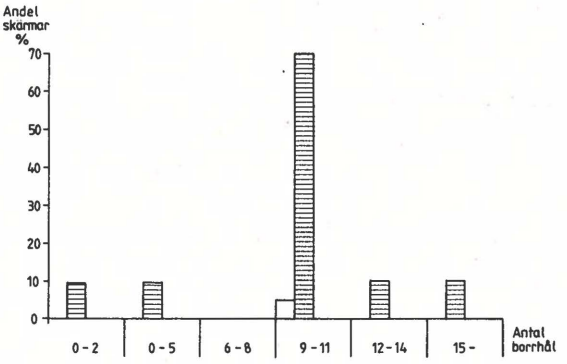

Sprickmönstertyp B2




Sprickmönstertyp B3




Sprickmönstertyp K1-K3




Sprickmönstertyp K3

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.2 Ale-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper.

Diagrammen i figuren visar hur huvuddelen av skärmarna med endast 2 sonderingshål utförts i sprickmönstertyperna A och B1. I dessa typer överväger andelen täta skärmar klart över skärmar med små läckage.

Med ökad uppsprickning i bergmassan ökar starkt andelen skärmar med läckage. Även läckagens storlek ökar. I skärmarna med måttliga läckage i sprickmönstertyperna B3 och K1-K3 har endast utförts sonderingshål. Detta är uppenbarligen för få hål för ett tillfredsställande resultat. Vid krossklass K3 har flertalet skärmar utförts som fullfrontsinjektering. Så gott som alla skärmar visar efter injekteringen små läckage.

Bolmen-tunneln

Inom de studerade sträckorna av tunneln förekommer 78 enkla skärmar. I tab.5.3.3.2 redovisas skärmarna fördelade på borrhålsklasser. Enligt injekteringsanvisningen borras vid injektering 8 hål som i krosszoner kompletteras med ytterligare hål.

Tab. 5.3.3.2 Bolmen-tunneln. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser.

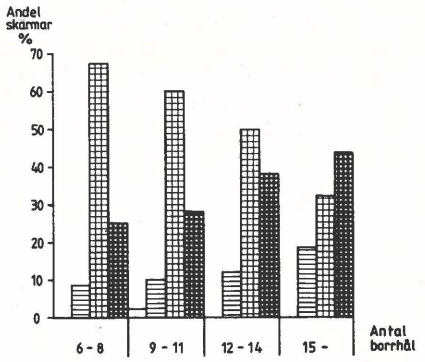
| Antal borrhål | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 14 | 15 - |
|---|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 12 | 42 | 8 | 16 |

Tabellen visar att utökad fullfrontsinjektering krävts i flertalet av de injekterade sprickmönstertyperna. Av dessa svarar typerna B1, B2 och B3 tillsammans för knappt 23 % medan resten utgörs av olika typer av krosszoner. Av dessa är K3 och K3-K4 störst.

I fig. 5.3.3.3 redovisas för varje borrhålsklass den procentuella fördelningen mellan täta och läckande skärmar.

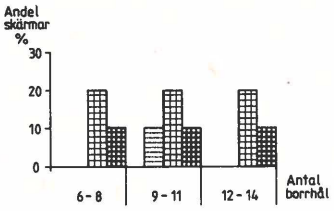
Av figuren framgår tydligt hur med ökat hålantal i skärmarna, andelen måttliga läckage minskar medan andelen av såväl små som stora läckage ökar. Med ökad uppkrossning i bergmassan är tätningen otillfredsställande trots ökat antal hål i skärmarna. För att belysa sprickfrekvensens betydelse för tätningsresultatet kan nämnas att andelen krosszoner inom borrhålsklassen 15 borrhål eller fler är 94 %.

Hur täta och läckande skärmar procentuellt fördelar sig vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper framgår av fig. 5.3.3.4. I figuren har endast medtagits de två största sprickmönsterklasserna med enkla skärmar.

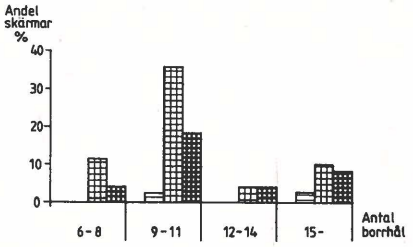



Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.3 Bolmentunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika antal borrhål.




Sprickmönstertyp B3




Sprickmönstertyp K3

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.4 Bolmentunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper.

Diagrammen visar hur måttliga och stora läckage dominerar i båda sprickmönstertyperna oavsett borrhålsklass. Medan B3-berg visar en stabil fördelning av de båda läckageklasserna oavsett antal borrhål, visar krosszoner av typen K3 en ökande andel stora läckage i borrhålsklasser med flera hål. Trots ökat antal hål har flera sprickor i det sprickfrekventa K3-berget förblivit oinjekterade.

Göta älv-tunneln

Antalet enkla skärmar uppgår till 410. I tab.5.3.3.3 redovisas skärmarna fördelade på borrhålsklasser.

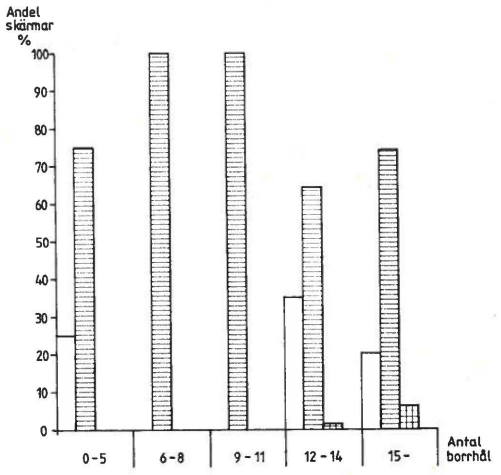
Tab. 5.3.3.3 Göta älv-tunneln. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser.

| Antal borrhål | 0 - 5 | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 14 | 15 - |
|---|---|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 4 | 2 | 4 | 311 | 89 |

Enligt injekteringsanvisningarna utförs fullfronts-injektering normalt med 12-14 hål. Vid behov kompletteras med mellanliggande hål. Med några få undantag ligger också de enkla skärmarna i borrhålsklasserna 12-14 och 15 hål eller fler. Skärmarna i de lägre borrhålsklasserna är kompletteringsskärmar vid påborrat vatten vid salvborrning.

Sprickmönstertypen B2 svarar själv för 71 % av skärmarna. Övriga klasser av någon storlek är K3 (5.6 %), K3-K4 (11.5 %) och B1 (3.7 %).

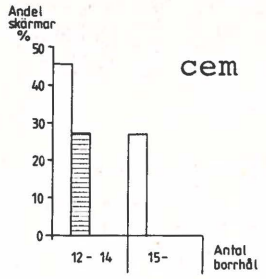
I fig. 5.3.3.5 redovisas för varje borrhålsklass den procentuella fördelningen mellan täta och läckande skärmar.



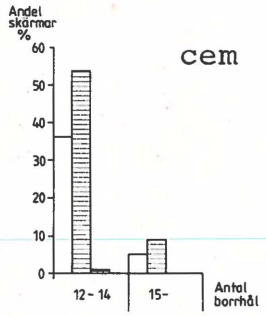

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.5 Göta älv-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar i olika borrhålsklasser.

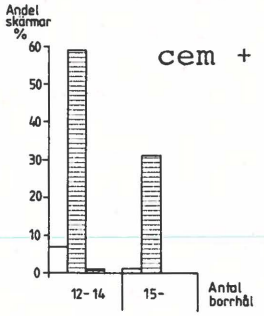
I diagrammet är det bara de två högsta borrhålsklasserna som är intressanta. De övriga klasserna inne-



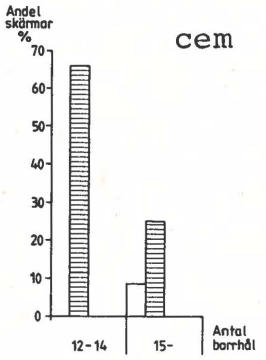

Sprickmönstertyp B1



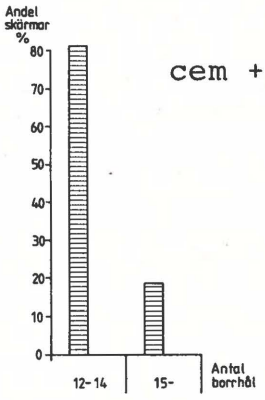

Sprickmönstertyp B2



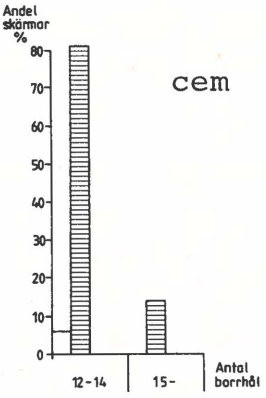

Sprickmönstertyp B2



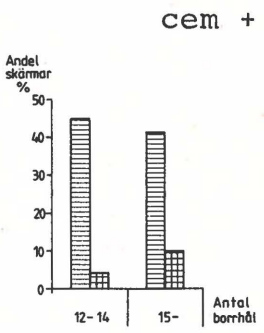

Sprickmönstertyp K3




Sprickmönstertyp K3




Sprickmönstertyp K3-K4




Sprickmönstertyp K3-K4

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.6 Göta älv-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser, sprickmönstertyper och injekteringsmedel vid förinjektering.

håller alltför få skärmar för att kunna värderas. Den högsta borrhålsklassen visar därvid större andelar skärmar med små och måttliga läckage än borrhålsklass 12-14 och andelen täta skärmar är mindre.

Fördelningen av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper framgår av fig. 5.3.3.6. I figurerna redovisas ej borrhålsklasserna 0-5, 6-8 och 9-11 på grund av för få skärmar. Eftersom vid förinjekteringen, i vissa skärmar, använts såväl cementinjektering som kemisk injektering (lösningsinjektering) och i vissa fall enbart kemisk injektering särredovisas dessa.

Av diagrammen framgår att endast sprickmönstertyp B1 har flera täta än läckande skärmar. Med ökad uppsprickning i bergmassan följer ökade andelar läckande skärmar och större läckage.

De skärmar där lösningsinjektering tillämpats ensamt eller tillsammans med cementinjektering visar genomgående högre andelar läckande skärmar och större läckage. En förklaring kan vara svårigheten att täta en bergmassa med hög sprickfrekvens där sprickorna har kraftigt varierande sprickvidd och vattenföringsförmåga. Lösningsinjektering har också utförts i 3 skärmar med sprickmönstertyp B1 i borrhålsklass 12-14. Två av skärmarna är täta och en uppvisar små läckage.

Härryda-tunneln

Antalet enkla skärmar uppgår till 350. I tab. 5.3.3.4 redovisas skärmarna fördelade på borrhålsklasser.

Tab. 5.3.3.4 Härryda-tunneln. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser.

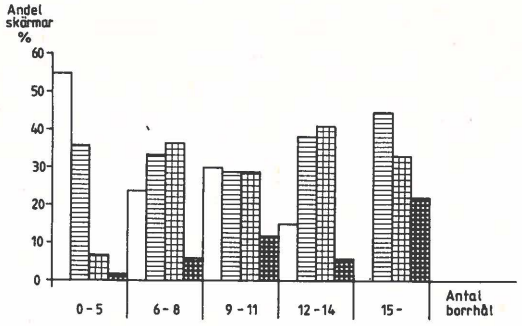
| Antal borrhål | 0 - 5 | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 14 | 15 - |
|---|---|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 225 | 33 | 49 | 34 | 9 |

I enlighet med injekteringsanvisningarna har utförts botteninjektering (0-5 hål), kompletterad botteninjektering (6-8 hål) eller fullfrontsinjektering som i vissa fall utökats med flera hål.

Injekteringsskärmar med 0-5 hål har liksom vid Aletunneln utförts i ca 65 % av de enkla skärmarna. Fördelningen på övriga borrhålsklasser är emellertid jämnare.

I Härryda-tunneln svarar klasserna A, B1, B2 och B3 för 75 % av de enkla skärmarna. Resten utgörs av olika typer av krosszoner där klasserna K1-K3 och K3 är störst.

I fig. 5.3.3.7 redovisas för varje borrhålsklass den procentuella fördelningen mellan täta och läckande skärmar.




Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.7 Härryda-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika antal borrhål.

Diagrammet visar att i den stora borrhålsklassen 0-5 dominerar täta skärmar över skärmar med läckage. I själva verket förekommer närmare 82 % av alla täta skärmar i klassen. Vidare finns 66 % av alla skärmar med små läckage. Måttliga och stora läckage är mer jämnt fördelade mellan klasserna. Största antalet skärmar med stora läckage förekommer i borrhålsklass 9-11.

Vid jämförelse mellan fördelningen av olika läckage inom de olika borrhålsklasserna (fig. 5.3.3.7) framgår att andelen måttliga och stora läckage ökar vid större antal hål i skärmarna.

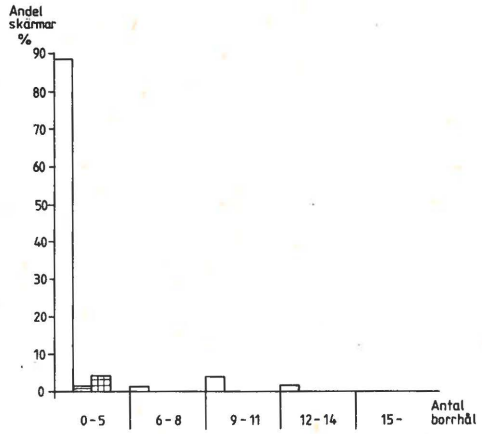
Fördelningen av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper framgår av fig. 5.3.3.8.

Diagrammen i figuren visar att huvuddelen av botteninjekteringarna utförts i klasserna A, B1 och B2. Från sprickmönstertyp A till B2 sjunker andelen täta skärmar markant. I A- och B1-berg har endast i ett litet antal skärmar utförts mer än 5 hål. Vid typ B2 ökar såväl antalet hål i skärmarna som andel och storlek på läckage.

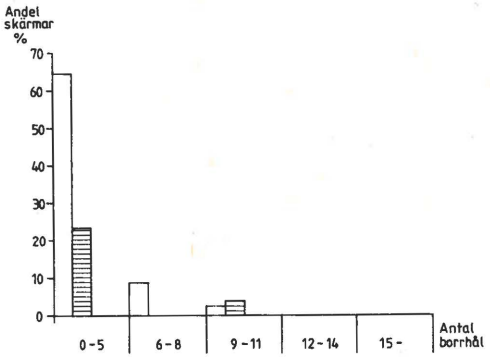
I sprickmönstertyp B3 är skärmarna relativt jämnt fördelade mellan olika borrhålsklasser. Täta skärmar är ovanliga och andelen måttliga och stora läckage har ökat.

I krossklasserna K1-K3, K3 och K3-K4 saknas täta skärmar. Vid sprickmönstertyp K3 uppträder måttliga eller stora läckage i samtliga borrhålsklasser.

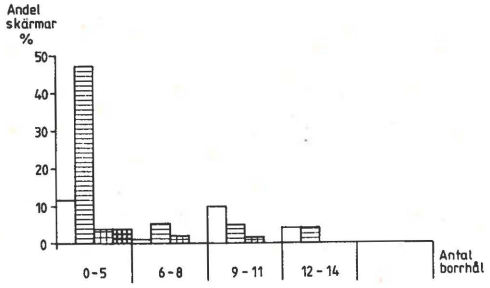
Anmärkningsvärt många skärmar har utförts som enbart botteninjektering där berget varit av någon krosszonstyp. Även om läckagen i många skärmar är små så finns samtidigt många skärmar med måttliga och stora



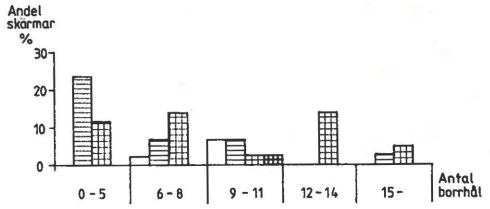

Sprickmönstertyp A



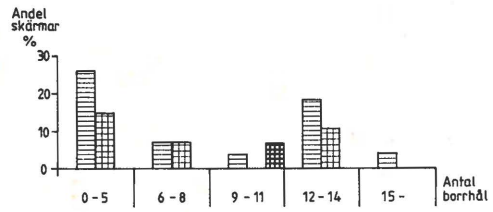

Sprickmönstertyp B1



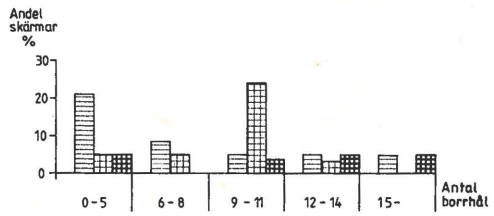

Sprickmönstertyp B2



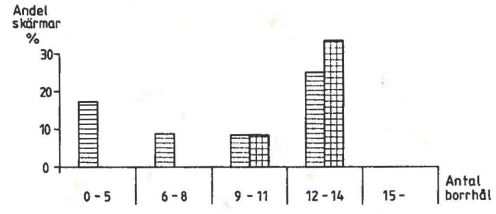

Sprickmönstertyp B3




Sprickmönstertyp K1-K3




Sprickmönstertyp K3




Sprickmönstertyp K3-K4

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.8 Härryda-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper

läckage (jfr avsnittet 5.3.2 Efterinjektering).

I samtliga enkla skärmar framgår skärmarnas sprickmönstertyp redan i stuffen. Vid borrning av injekteringshål fanns sålunda skäl att borra för fullfrontsinjektering.

Transporttunnel Björndammen

Längs tunneln förekommer 79 enkla skärmar. I tab. 5.3.3.5 redovisas skärmarna fördelade på borrhålsklasser.

Tab. 5.3.3.5 Transporttunnel Björndammen. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser.

| Antal borrhål | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 14 | 15 - |
|---|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 43 | 11 | 4 | 21 |

Flertalet skärmar har utförts som botteninjektering eller som fullfrontsinjektering. I den förra ingår enligt anvisningarna 7 hål och i den senare 16 hål. Av skärmarna i borrhålsklassen 15 borrhål eller fler innehåller 16 st 16 hål.

Dominerande sprickmönstertyper är B1 och B2. Tillsammans svarar de för nära 85 % av skärmarna. Dominerande krosszonstyp är K3-K4 (8 %).

I fig. 5.3.3.9 redovisas för varje borrhålsklass den procentuella fördelningen mellan täta och läckande skärmar.

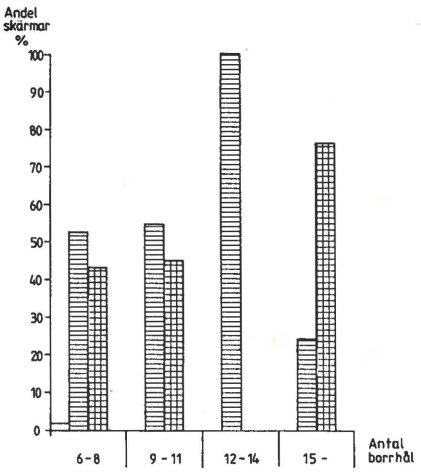
Praktiskt taget samtliga skärmar visar små eller måttliga läckage. Med undantag för den lilla klassen 12-14 hål är andelen skärmar med måttliga läckage större vid ökat antal borrhål i skärmarna.

Täta och läckande skärmars procentuella fördelning vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper framgår av fig. 5.3.3.10.

Vid sprickmönstertyperna B1 och B2 har flertalet skärmar utförts som botteninjektering. I B1-berg är läckagen genomgående små eller saknas. Läckagen i B2-berg är däremot till helt övervägande del måttliga. Fullfrontsinjektering har också utförts i större omfattning än vid B1-berg.

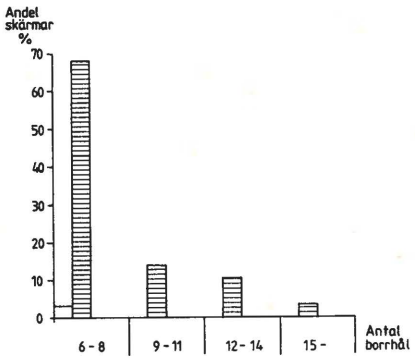
I krossklass K3-K4 har utförts 6 skärmar, vilka samtliga fullfrontsinjekterats. Läckagen i samtliga skärmar är måttliga.

Tendensen är att ökad uppsprickning i bergmassan, trots fler hål vid injektering, resulterar i större läckage och ökad andel läckande skärmar.

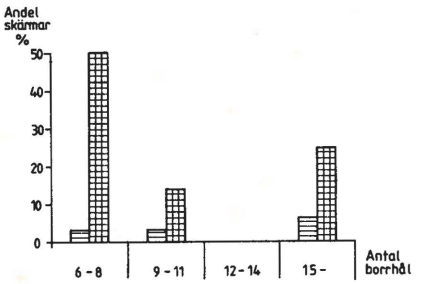



Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.9 Transporttunnel Björndammen. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika antal borrhål.




Sprickmönsteryp B1




Sprickmönstertyp B2

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.10 Transporttunnel Björndammen. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper.

Partille-tunneln

Antalet enkla skärmar uppgår till 204. I tab.5.3.3.6 redovisas skärmarna fördelade på borrhålsklasser.

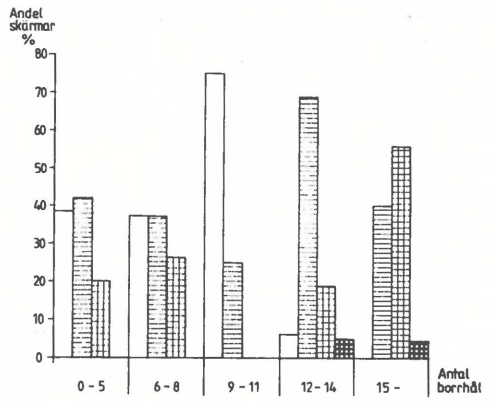
I enlighet med injekteringsanvisningarna har utförts botteninjektering (0-5 hål), kompletterad botteninjektering eller fullfrontsinjektering (12 hål), som i vissa fall utökats med flera hål.

Botteninjektering har utförts i 38 % av skärmarna medan fullfrontsinjektering svarar för 60 %. Sprickmönstertyperna A, B1, B2 och B3 innehåller tillsammans knappt 49 % av skärmarna medan resten utgörs av olika typer av krosszoner. Över 20 % av skärmarna var vid karteringstillfällena sprutbetongförstärkta, varför krosstyp ej kunde fastställas. Störst bland de ej insprutade krosstyperna är K1-K3, K3 och K3-K4.

I fig. 5.3.3.11 redovisas för varje borrhålsklass den procentuella fördelningen mellan täta och läckande skärmar. Av diagrammet framgår att endast i den lilla klassen 9-11 borrhål finns fler täta skärmar än läckande. Vid botteninjektering finns ungefär lika många täta skärmar som skärmar med små läckage. Generellt ökar såväl andelen läckande skärmar som läckagens storlek i klasser med fler borrhål.

Tab. 5.3.3.6 Partille-tunneln. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser.

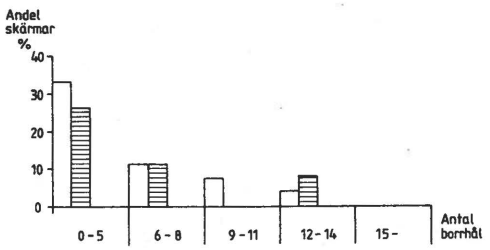
| Antal borrhål | 0 - 5 | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 14 | 15 - |
|---|---|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 50 | 27 | 4 | 98 | 25 |



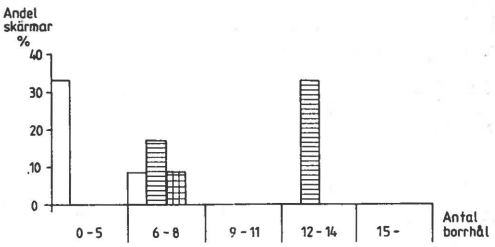

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.11 Partille-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika antal borrhål.

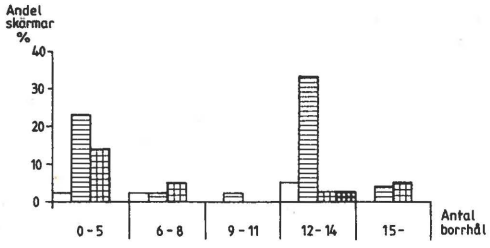
Fördelningen av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper framgår av fig. 5.3.3.12.



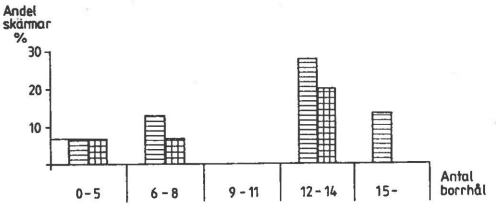

Sprickmönstertyp B1



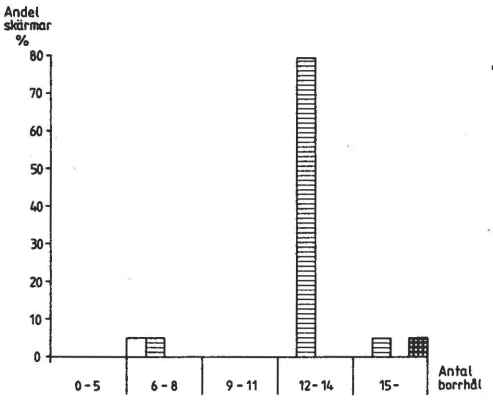

Sprickmönstertyp B2



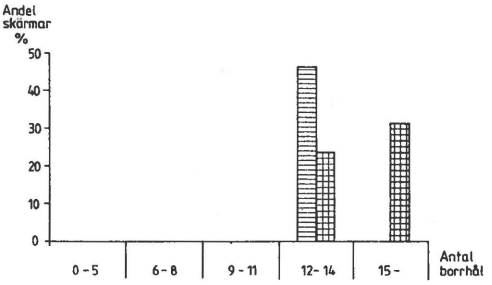

Sprickmönstertyp B3




Sprickmönstertyp K1-K3




Sprickmönstertyp K3




Sprickmönstertyp K3-k4

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.12 Partille-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper.

Diagrammen i figuren visar att huvuddelen av botten-injekteringarna utförts i sprickmönstertyperna B1, B2 och B3. I B1- och B2-berg överväger täta skärmar över skärmar med små läckage. Vid typ B3 överväger däremot andelen läckande skärmar stort över andelen täta skärmar.

Fullfrontsinjektering har endast i ett mindre antal skärmar utförts i sprickmönstertyperna B1 och B2. De flesta skärmarna uppvisar små läckage. Vid fullfronts-injektering i B3-berg dominerar läckande skärmar stort över täta. Vidare förekommer såväl måttliga som stora läckage.

I de olika krosszonstyperna läcker flertalet skärmar. Läckagen är mestadels små eller måttliga. Medan några skärmar med botten- eller utökad botteninjektering förekommer i klasserna K1-K3 och K3 är samtliga skärmar i K3-K4 fullfrontsinjekterade. Även där dessa skärmar kompletterats med ytterligare hål är läckagen måttliga.

Av de 46 skärmar som helt sprutbetongförstärkts före kartering är mer än 90 % fullfrontsinjekterade. Så gott som alla skärmar uppvisar läckage. Andelen skärmar med små läckage är något större än den för skärmar med måttliga läckage. Stora läckage förekommer i 10 % av skärmarna.

Slottsskogen-Annedal-Mölndal

Antalet enkla skärmar uppgår till 506. I tab. 5.3.3.7 redovisas skärmarna fördelade på borrhålsklasser.

Tab.5.3.3.7 Slottsskogen-Annedal-Mölndal. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser.

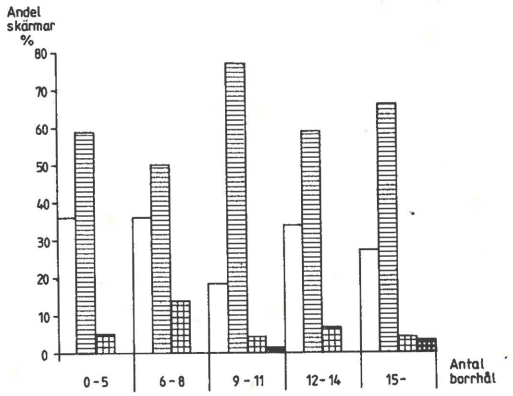
| Antal borrhål | 0 - 5 | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 14 | 15 - |
|---|---|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 104 | 14 | 132 | 185 | 71 |

I enlighet med injekteringsanvisningarna har tätningen utförts strikt som botten- eller fullfrontsinjektering med olika hålantal vid olika sektioner.

Av tabellen framgår att botteninjektering utförts i 23 % av skärmarna och fullfrontsinjektering i övriga 77 %.

Största sprickmönsterklass är B2 som svarar för drygt 54 %. Motsvarande siffra för näst största klass K3-K4 är drygt 12 %. Därefter följer i ordning K3, A, B1 och B3. Tillsammans svarar A, B1, B2 och B3 för 67 %. Resten är krosszoner av olika typer.

I fig. 5.3.3.13 redovisas för varje borrhålsklass den procentuella fördelningen mellan täta och läckande skärmar.




Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.13 Slottsskogen-Annedal-Mölndal. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika antal borrhål vid föriniektering.

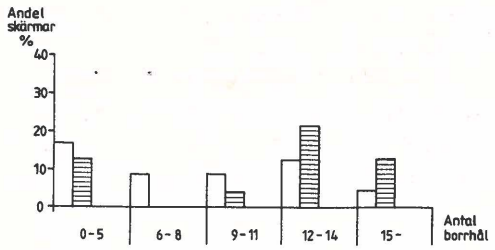
Av diagrammet framgår att andelen skärmar med små läckage dominerar varje borrhålsklass. Täta skärmar svarar i fyra av borrhålsklasserna för ca 30 %. Skärmar med måttliga läckage förekommer relativt sparsamt. Stora läckage har endast noterats i skärmar som fullfrontsinjekterats.

Fördelningen av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper framgår av fig. 5.3.3.14.

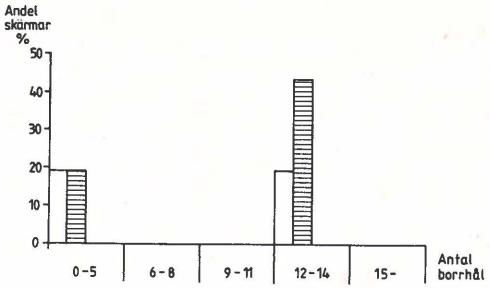
Av diagrammen i figuren framgår att botteninjektering med några få undantag utförts i sprickmönstertyperna A, B1 och B2. I klasserna A och B1 finns fler täta skärmar än skärmar med små läckage. Vid botteninjektering i den vanliga typen B2 överväger däremot läckande skärmar klart över täta. I borrhålsklass 6-8 förekommer dessutom skärmar med såväl måttliga som stora läckage.

I varje sprickmönsterklass förekommer fler skärmar med fullfrontsinjektering än med botteninjektering. Skärmarna i flertalet sprickmönstertyper uppvisar därvid små läckage eller är täta. Måttliga och stora läckage i fullfrontsinjekterade skärmar uppträder i typerna B2, K1-K3, K3 och K3-K4.

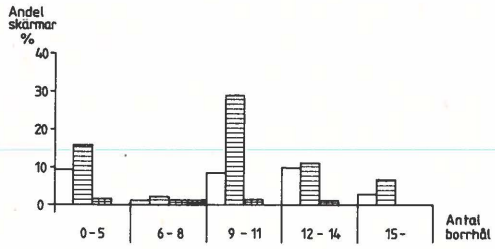
De 36 skärmar som varit sprutbetongförstärkta vid karteringen är till över 90 % fullfrontsinjekterade. I borrhålsklassen 12-14, som innehåller största delen av skärmarna, finns dubbelt så många skärmar med små läckage som täta skärmar. Borrhålsklassen 15 hål eller fler innehåller skärmar med måttliga och stora läckage.



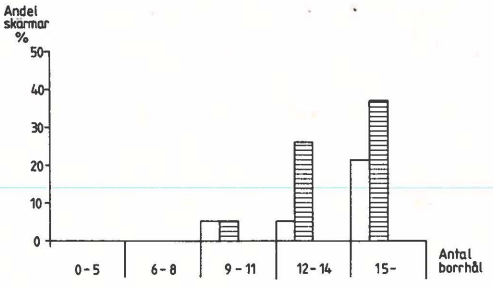

Sprickmönstertyp A



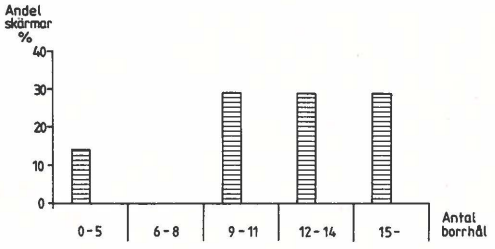

Sprickmönstertyp B1



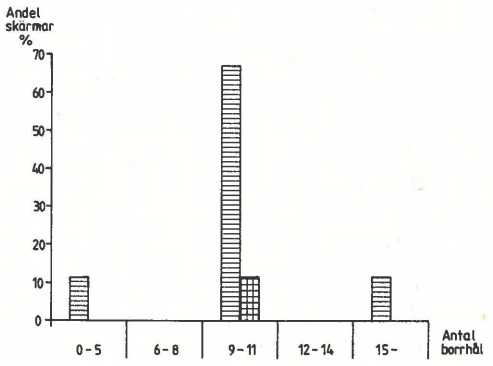

Sprickmönstertyp B2



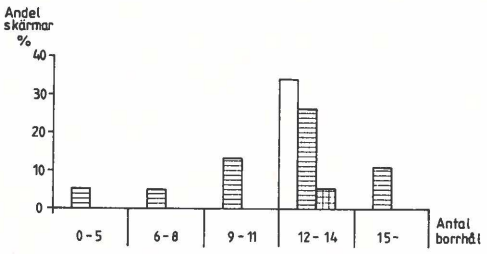

Sprickmönstertyp B3



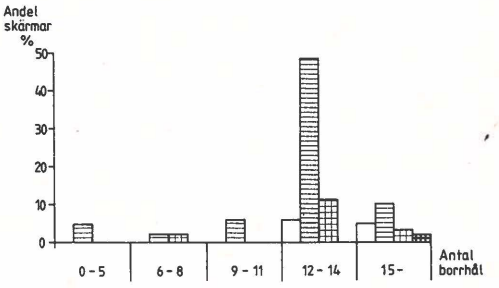

Sprickmönstertyp K1




Sprickmönstertyp K1-K3




Sprickmönstertyp K3




Sprickmönstertyp K3-K4

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.14 Slottsskogen-Annedal-Mölndal. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och bergkvaliteter

Vreten-Sundbyberg-Rissne

Totala antalet enkla skärmar uppgår till 127. Dessa fördelar sig med 24 i Vreten, 95 i Sundbyberg och 8 i Rissne. Till skillnad från övriga tunnlar varierar arean beroende på om det gäller enkelspår, dubbelspår eller station. I den följande utvärderingen har gjorts en grov uppdelning efter area inom respektive tunnelsträcka.

Vreten

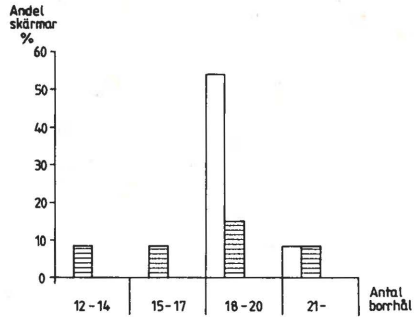
Vid utvärdering har de enkla skärmarna delats upp i två grupper med areor $\leq 30$ m$^2$ respektive $> 30$ m$^2$. I tab. 5.3.3.8 redovisas skärmarna fördelade på borrhålsklasser.

Tab. 5.3.3.8 Vreten. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser och vid olika areor.

| Antal borrhål | area $\leq 30$ m$^2$ | | area $> 30$ m$^2$ | |
|---|---|---|---|---|
| | 12 - 14 | 15 - | 15 - 26 | 27 - |
| Antal skärmar | 1 | 16 | 2 | 5 |

Dominerande sprickmönstertyp är A följt av B2 och B3. Vid areor $\leq 30$ m$^2$ fördelar sig skärmarna så att 7 är täta och 10 uppvisar små läckage. När arean är $> 30$ m$^2$ är 5 skärmar täta och 2 visar små läckage.

I fig. 5.3.3.15 redovisas fördelningen av täta och läckande skärmar i sprickmönstertyp A vid areor $\leq 30$ m$^2$.




Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.15 Vreten. Enkla skärmar, area $\leq 30$ m$^2$. Procentuell fördelning av läckage- och borrhålsklasser vid sprickmönstertyp A.

Av figuren framgår att andelen täta skärmar uppgår till över 60 %. Vid sprickmönstertyp A och arean $> 30$ m$^2$ finns 5 skärmar. Av dessa är 4 täta och en uppvisar små läckage.

Sundbyberg

Liksom vid Vreten har de enkla skärmarna delats i två grupper med areor $\leq$ 30 $m^2$ respektive > 30 $m^2$.

I tab. 5.3.3.9 redovisas skärmarna fördelade på borrhålsklasser.

Tab. 5.3.3.9 Sundbyberg. Antal enkla skärmar i olika borrhålsklasser och vid olika areor.

| Antal borrhål (area $\leq$ 30 $m^2$) | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 14 | 15 - |
|---|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 39 | 8 | 3 | 19 |

| Antal borrhål (area $\geq$ 30 $m^2$) | 12 - 14 | 15 - 26 | 27 - |
|---|---|---|---|
| Antal skärmar | 5 | 10 | 10 |

Dominerande sprickmönstertyp är A följt av K3 och B2. Typ A svarar ensam för 72 % av skärmarna. Motsvarande siffra för K3 är 15 %.

I fig. 5.3.3.16 redovisas för varje borrhålsklass den procentuella fördelningen mellan täta och läckande skärmar.

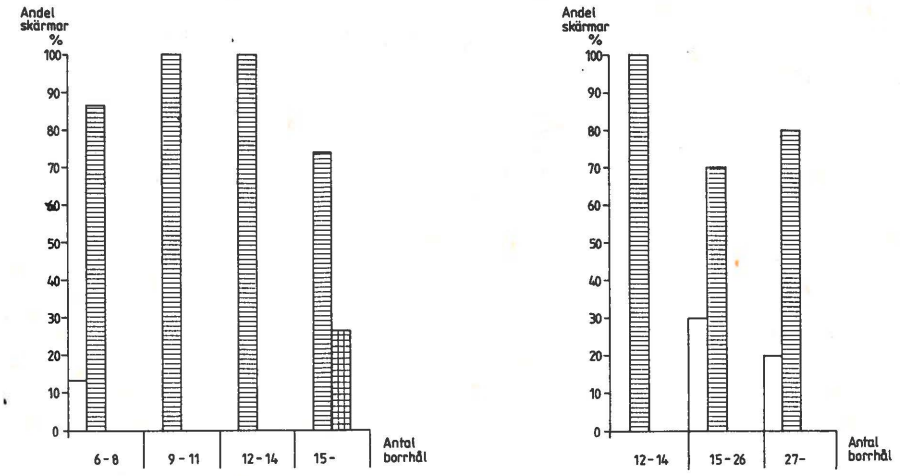
Flertalet skärmar visar små läckage. Måttliga läckage förekommer endast i borrhålsklassen 15 borrhål eller fler.

Täta och läckande skärmars procentuella fördelning vid olika borrhålsklasser, sprickmönstertyper och areor $\leq$ 30 $m^2$ framgår av fig. 5.3.3.17.

Vid typ A har flertalet skärmar utförts i borrhålsklass 6-8. Som framgår av figuren minskar antalet skärmar vid ökat antal borrhål. I borrhålsklass 15 borrhål eller fler sker dock en liten ökning. Vidare förekommer flera skärmar med måttliga läckage.

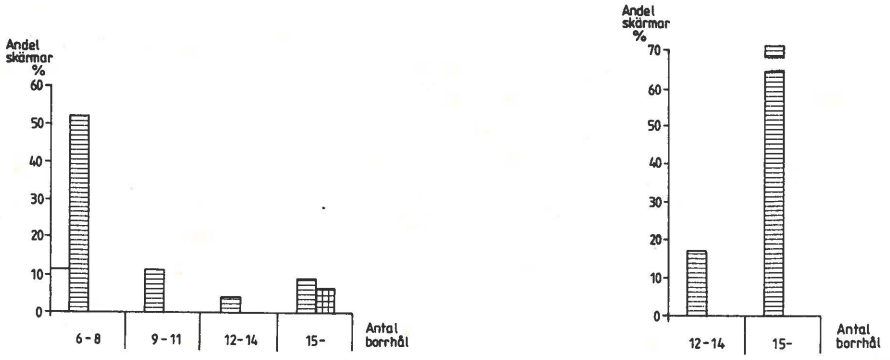
I krossklass K3 har injekteringen utförts med 12 borrhål eller fler. Samtliga skärmar uppvisar små läckage.

Hur täta och läckande skärmar procentuellt fördelar sig vid olika borrhålsklasser, sprickmönstertyper och areor > 30 $m^2$ framgår av fig. 5.3.3.18. Av figuren framgår att skärmar med små läckage dominerar. Vid sprickmönstertyp A är en tredjedel av skärmarna täta.




Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.16 Sundbyberg. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika antal borrhål vid förinjektering med areor $\leq$ 30 $m^2$ respektive > 30 $m^2$

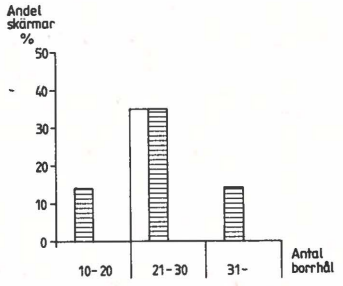



Sprickmönstertyp A

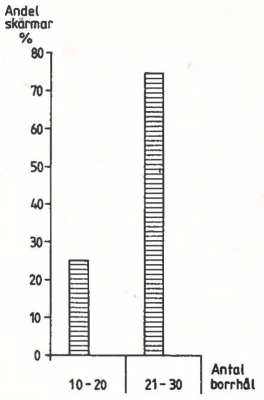
Sprickmönstertyp K3

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.17 Sundbyberg. Enkla skärmar, area $\leq$ 30 $m^2$. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper.




Sprickmönstertyp A




Sprickmönstertyp K3

Beteckningar - se fig. 5.3.3.1

Fig. 5.3.3.18 Sundbyberg. Enkla skärmar, area > 30 $m^2$. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika borrhålsklasser och sprickmönstertyper.

Rissne

Arean på den studerade sträckan är 125 $m^2$. Antalet borrhål i de enkla skärmarna varierar mellan 24 och 40.

Sprickmönstertyp är B3 i två skärmar och K3 i de övriga. I 5 skärmar har utförts mindre än 30 hål i vardera. Av dessa visar 2 skärmar små läckage medan de övriga uppvisar måttliga läckage. Skärmarna med små läckage är utförda i typ B3. medan skärmarna med måttliga läckage är utförda i krosstyp K3.

I 3 skärmar har utförts mellan 35 och 40 hål. Sprickmönstertyp är K3 och synliga läckagen är talrika men små.

Materialet är för litet för en säker värdering. Det antyder dock att de extra hålen vid förinjekteringen i klassen K3 kan ha minskat läckagens storlek.

Sammansatta skärmar (mer än en sprickmönstertyp)

Tidigare har studerats injekteringsskärmar där varje skärm karakteriserats av endast en sprickmönstertyp. I de flesta av tunnlarna uppträder emellertid även ett antal skärmar där varje skärm innehåller två eller tre sprickmönstertyper. Dessa skärmar kallas sammansatta skärmar. I avsnittet om efterinjektering behandlades bl. a. de sammansatta skärmar, som efterinjekterats. I den följande genomgången av de sammansatta skärmarna kommer dels de sprickmönsterkombinationer att behandlas som är relativt vanliga, dels de sammansatta skärmar, som vid karteringen uppvisat

måttliga eller stora läckage.

Ale-tunneln

Längs tunneln förekommer 73 injekteringsskärmar där varje skärm innehåller flera sprickmönstertyper. Vanligast är skärmar av typ AB1. I 9 av de 12 skärmarna av denna typ har endast 2 sonderingshål utförts. Läckage saknas i 7 skärmar medan 5 uppvisar små läckage. Också i skärmar av typ AB2 och B1B2 har det med några undantag räckt med 2 sonderingshål. Kvarvarande läckage är små eller saknas.

Där en av de i en skärm ingående sprickmönstertyperna är någon typ av krosszon föreligger en ny situation. Krossklass K3 förekommer i 25 skärmar. I 85 % av skärmarna har utförts 9 injekteringshål eller fler. I de flesta skärmarna kvarstod små läckage, men i 2 skärmar med AK3 och en B2K3 karterades måttliga läckage.

Bolmen-tunneln

I tunneln har karterats 52 sammansatta skärmar. Skärmar där en av de ingående sprickmönstertyperna är K3 eller K3-K4 dominerar stort. Den första gruppen (med K3) omfattar 16 skärmar medan den andra (med K3-K4) innehåller 20 skärmar. I båda grupperna har utförts 8 injekteringshål eller fler. Vid karteringen uppvisade den första gruppen 9 skärmar med stora läckage och 4 skärmar med måttliga läckage. Grupp två hade 3 skärmar med stora läckage och 7 skärmar med måttliga läckage. Inom övriga skärmar var läckagen vanligen små.

Göta älv-tunneln

Antalet sammansatta skärmar är 85. Sprickmönstertyperna B2 och B3 förekommer tillsammans i 14 skärmar. De 13 cementinjekterade skärmarna fördelar sig på 3 täta och 10 med små läckage. En skärm har tätats med både cement och kem. Den visar små läckage.

Det finns 26 sammansatta skärmar där K3 ingår. Av dessa är 5 injekterade enbart med cement och de övriga 21 med cement och kem. De cementinjekterade skärmarna visar i fyra av skärmarna små läckage och i en måttligt läckage. Av skärmarna som injekterats med cement och kem. är 4 täta och 16 har små läckage. Den återstående skärmen uppvisar måttligt läckage.

Antalet sammansatta skärmar där K3-K4 ingår är 32. Av dessa är 15 cementinjekterade och 17 injekterade med cement och kem. I den första gruppen finns en tät skärm och 14 med små läckage. Den andra gruppen innehåller två skärmar med måttliga läckage och de övriga med små läckage.

Två skärmar där krossklassen K4 respektive K5 ingår har injekterats med enbart kem. med hjälp av 28 respektive 24 hål. Båda skärmarna visar små läckage.

Härryda-tunneln

Längs tunneln förekommer 169 sammansatta skärmar. Liksom vid Ale-tunneln är skärmarna i de största klasserna sammansatta av sprickmönstertyperna A, B1 och B2. Tillsammans svarar de för 44 skärmar. I 37 av dessa har utförts botteninjektering (5 injekteringshål) medan de övriga kompletterats till fullfrontsinjektering (11 injekteringshål eller fler). Där endast botteninjektering utförts är läckagen små eller saknas helt. I en skärm har dock karterats ett stort läckage och i två skärmar måttliga läckage. Där fullfrontsinjektering utförts är läckagen små i fyra skärmar och måttliga i tre skärmar.

Sprickmönstertyp B3 förekommer tillsammans med A, B1 eller B2 i 18 skärmar. I femton av skärmarna har endast utförts botteninjektering. Tre av dessa uppvisade måttliga läckage medan de övriga saknade eller visade små läckage. I en av de fullfrontsinjekterade skärmarna karterades ett stort läckage. De övriga två skärmarna visade små läckage.

I 28 skärmar förekommer krosszonsklassen K1-K3 tillsammans med A, B1 eller B2. Botteninjektering har utförts i 19 av dessa. Vid karteringen visade 10 skärmar små läckage, 6 skärmar måttliga läckage och 3 skärmar stora läckage. Där fullfrontsinjektering utförts visar 4 skärmar små läckage medan 5 skärmar har måttliga läckage.

Krosstypen K3 ingår i 34 skärmar tillsammans med A, B1, B2 eller B3. I 15 skärmar har gjorts botteninjektering. Små läckage har karterats i 8 skärmar, måttliga läckage i 4 och stora läckage i 3 skärmar. Där fullfrontsinjektering utförts visade 6 skärmar små läckage, 9 skärmar måttliga läckage och 4 skärmar stora läckage.

Krosszonsklassen K3-K4 förekommer i 18 sammansatta skärmar. I 9 av dessa har utförts botteninjektering. Vid karteringen förekom små läckage i 4 skärmar och måttliga läckage i 5 skärmar. Av skärmarna med fullfrontsinjektering visade 1 skärm små läckage medan de övriga 8 uppvisade måttliga läckage.

Transporttunnel Björndammen

I transporttunneln har karterats 25 sammansatta skärmar. Endast några få skärmar av varje sprickmönsterkombination föreligger emellertid. Krosszonsklassen K3-K4 ingår dock i 10 skärmar. Botteninjektering har utförts i 1 skärm. Vid karteringen noterades endast små läckage. Av de fullfrontsinjekterade skärmarna visade 1 små läckage medan de 8 övriga uppvisade måttliga läckage.

Partille-tunneln

Längs tunneln har karterats 85 sammansatta skärmar. Av dessa har 20 utförts i sprickmönsterkombinationer A-B3. I de 11 botteninjekterade skärmarna saknas synliga läckage i 4 skärmar. Små läckage har karterats i 6 skärmar och ett måttligt läckage i en skärm. De fullfrontsinjekterade skärmarna visar en skärm utan läckage och 8 skärmar med små läckage.

Sammansatta skärmar med sprickmönstertyp B3 och sprutbetongförstärkning har fullfrontsinjekterats. I en skärm har injekteringen utförts i 14 hål med såväl cement som kem. Vid karteringen noterades måttliga läckage. De 5 övriga skärmarna av denna typ är enbart injekterade med kem. (12 hål i skärmen). Karterade läckage är små i samtliga skärmar.

Krosszonsklassen K1 förekommer tillsammans med B1 i 8 skärmar. De fyra botteninjekterade skärmarna fördelar sig på 2 med små läckage och 2 med måttliga läckage. Där fullfrontsinjektering utförts visar en skärm små läckage och 3 skärmar måttliga läckage.

Krosszonsklassen K1-K3 förekommer tillsammans med någon av sprickmönstertyperna A-B3 i 7 skärmar. Av de 2 botteninjekterade skärmarna visar 1 små läckage medan 1 uppvisar måttligt läckage. Motsvarande siffror för de fullfrontsinjekterade skärmarna är 3 respektive 2.

Antalet sammansatta skärmar som innehåller K3 är 14 st. Två av dessa är botteninjekterade. En skärm har små läckage och en ett måttligt läckage. Av de 12 fullfrontsinjekterade är 3 injekterade med cement, 3 med cement och kem. och 6 med enbart kem. Läckaget i de cementinjekterade skärmarna är måttligt i en och litet i de båda övriga. Av skärmarna injekterade med cement och kem. visar en måttliga läckage och de övriga små läckage. Skärmarna, som injekterats med enbart kem., uppvisar samtliga små läckage.

Krosszonsklassen K3-K4 förekommer i 23 sammansatta skärmar. Samtliga är fullfrontsinjekterade. I 7 av skärmarna har utförts såväl cement- som kem.injektering. Enbart kem.injektering har utförts i 5 skärmar. Av de 11 cementinjekterade skärmarna uppvisar 8 måttliga läckage och de övriga små läckage. De 7 cement- och kem.injekterade skärmarna visar en skärm med stort läckage, en med måttliga läckage och små läckage i de övriga. I skärmar där enbart kem. använts är läckagen små.

Krosszonsklassen K4 ingår i 10 skärmar. Samtliga är fullfrontsinjekterade. I 7 av skärmarna har injektering med såväl cement som kem. utförts. Tre av skärmarna visar stora läckage och de övriga små läckage. De tre skärmarna med enbart kem.injektering visar små läckage.

Oavsett krosszonsklass är tätningsresultatet bra när fullfronts kem.injektering utförts. Kombinationen cement- och kem.injektering visar ofta större inläckning. Orsaken kan vara starkt varierande sprickvidder med därav följande problem att få ut tätningsmedlen även i de finare sprickorna.

I skärmar som injekterats med såväl cement som kem. varierar cementförbrukningen mellan 0.4 och 8.2 ton. Kem.-förbrukningen varierar mellan 450 och 2.450 l. Där enbart kem.injektering utförts är lägsta värde 350 l och högsta 1.400 l.

Slottsskogen-Annedal-Mölndal

Sammansatta skärmar med några av sprickmönstertyperna A-B3 förekommer mycket sparsamt. Däremot förekommer de ofta tillsammans med krosszonstyper, framför allt K3 och K3-K4.

Krosszonstypen K1 förekommer i 12 sammansatta skärmar. Efter botteninjektering visar en skärm små läckage. Små läckage förekommer i samtliga fullfrontsinjekterade skärmar.

Antalet sammansatta skärmar, där K3 ingår, är 72 st. Av dessa är 7 st botteninjekterade med resultatet 1 skärm tät, 5 skärmar med små läckage och 1 skärm med måttligt läckage. Av de 65 fullfrontsinjekterade var 15 täta vid karteringen, 47 visade små läckage och 3 skärmar måttliga läckage.

Krosszonstypen K3-K4 förekommer i 45 sammansatta skärmar. En skärm har botteninjekterats med kvarstående små läckage. De fullfrontsinjekterade har givit resultatet: 3 täta, 26 med små läckage och 15 med måttliga läckage.

Krosszonstypen K4-K5 förekommer i 12 sammansatta skärmar. En botteninjekterad skärm visade kvarstående måttligt läckage. De fullfrontsinjekterade har givit resultatet: 4 med små läckage, 4 med måttliga läckage och 3 med stora läckage.

Vreten-Sundbyberg-Rissne

Totala antalet sammansatta skärmar är 84. Av dessa finns 32 i Vreten, 47 i Sundbyberg och 5 i Rissne.

Vreten

Antalet sammansatta skärmar uppgår till 32. Av dessa ingår K3 i 13. Hålantalet vid förinjekteringen varierar med arean. Vid karteringen var en skärm tät medan 12 visade små läckage.

Sundbyberg

Sammansatta skärmar av typerna AB1 och AB2 uppgår tillsammans till 18. Hålantal varierar med arean. Vid

karteringen var 3 skärmar täta, 15 visade små läckage.

Antalet sammansatta skärmar där krosstypen K3 ingår är 20. Efter injekteringen var en skärm tät medan de övriga visade små läckage.

Rissne

De fem skärmarna sammansätts av sprickmönstertyperna B3 och K3. Skärmarna är fullfrontsinjekterade med cement. Antalet borrhål varierar mellan 20 och 34 i skärmarna (area 125 $m^2$). Fyra av skärmarna uppvisar måttliga läckage och en skärm små läckage.

## 5.4 Sprickfyllnad - tätningsresultat

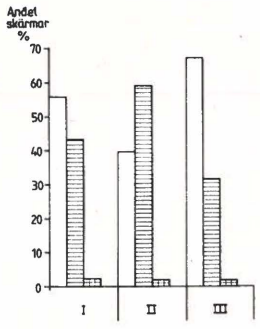
I tunnlarna förekommer olika typer av sprickfyllnader. Sprickfyllnaderna kan uppträda som läkningar eller som mer eller mindre fasta vittringsprodukter. I flertalet läkta sprickor utgörs sprickfyllnaden av kalcit. Läkningen förekommer dels i enstaka sprickor dels i ett flertal sprickor i sprick- eller krosszoner. Kalcitläkningen kan omfatta delar av eller en hel spricka. Vid ofullständig läkning i anslutning till en utsprängd tunnel, brukar synligt läckage i sprickan öka. Anledningen är att kalciten löses ut genom att den kemiska balansen förändras av den efter utsprängning ökade vattengenomströmningen.

En annan typ av sprickfyllnad är att läkningen utgörs av kvarts. Såväl kalcit- som kvartsläkta sprickor är ofta knutna till en sprickgrupp, där de kan uppträda tillsammans med öppna vattenförande sprickor med samma riktning. Där läkningen skett i en krosszon kan brottstycken ibland bli så effektivt hopläkta att zonen blir helt tät (breccia).

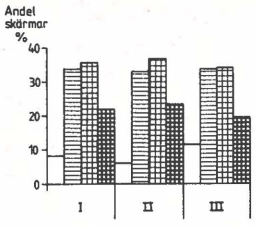
Lerfyllda sprickor av olika typer är normalt knutna till sprick- eller krosszoner. Den vanligaste typen Ll, kan dock uppträda även i till en störningszon angränsande sidoberg. Inom en krosszon förekommer de lerfyllda sprickorna ofta tillsammans med olika typer av harneskytor. En krosszon kan sålunda uppvisa friska harnesk där sprickytan är belagd med epidot, något vittrade glidplan där beläggningen utgörs av klorit och helt lerfyllda sprickor av varierande vidd och uthållighet. Vid mer omfattande leromvandling i berget är vattenföringen dålig. Däremot påverkar knappast enskilda lerslag av typ Ll nämnvärt en bergmassas egenskaper ur vattenföringssynpunkt.

I fig. 5.4.1 jämförs delsektioner med och utan sprickfyllnad med lera med avseende på synliga läckage. Av diagrammen framgår att delsektioner som tillhör grupp II genomgående visar större andelar läckande sektioner och/eller större läckage än grupp III. Skillnaderna är dock i flertalet fall ganska måttliga.

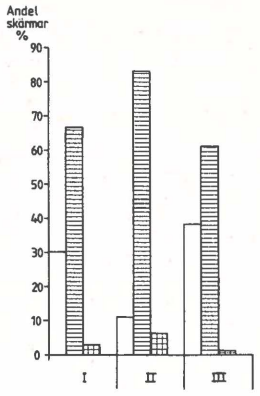
Eftersom de lerfyllda sprickorna till största delen är knutna till olika typer av krosszoner torde skill-



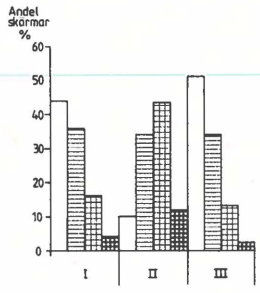

Ale



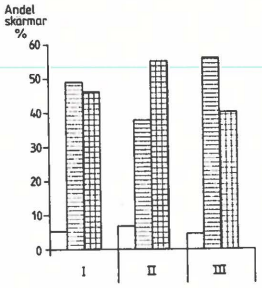

Bolmen



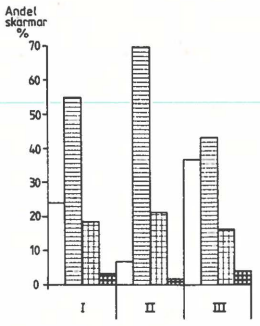

Göta älv



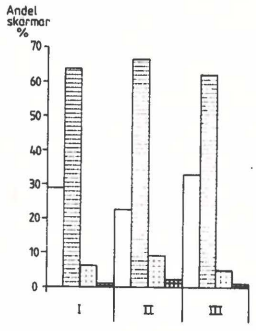

Härryda



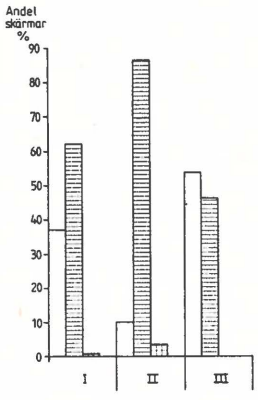

Björndammen



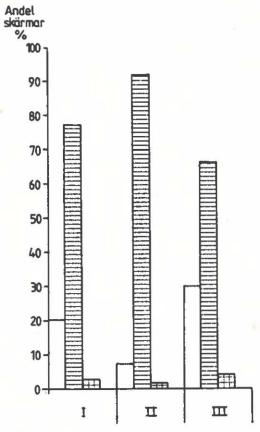

Partille




Slottsskogen




Vreten




Sundbyberg

Beteckningar:

I Samtliga delsektioner

II Delsektioner med sprickfyllnad av lera

III Delsektioner utan sprickfyllnad av lera




Fig.5.4.1 Samband mellan lerfyllda sprickor och synliga läckage. Inom varje grupp - I,II,III - redovisas den procentuella fördelningen av täta och läckande delavsnitt.

naderna i synliga läckage mest bero på att grupp II speglar läckagebilden i sprick- och krosszoner och grupp III i huvudsak läckagen i bättre berg.

Detsamma gäller kvarts- och kalcitfyllda sprickor dvs en bergmassas totala sprickighet är mer avgörande för hur svårt berget är att täta än enstaka mer eller mindre läkta sprickor. Även i en uppsprucken bergmassa utan sprickfyllnader är endast vissa och delar av andra sprickor vattenförande. Även här finns sålunda ur tätningssynpunkt bitvis täta eller helt täta sprickor.

Detta styrks också av genomgången i avsnittet 5.3.2 Efterinjektering. Krosszonsklasserna visar där större andelar efterinjektering än övriga bergkvaliteter. Vidare utgör lerfyllnad ej någon generellt försvårande faktor vid tätningen av berget med förinjektering.

# 6 ANALYS OCH SLUTSATSER

## 6.1 Orsaker till tätningsproblem

I kap. 5 undersöktes med hjälp av olika kriterier, om det i de olika tunnlarna uppträdde berggrundsförhållanden, som erbjöd speciella tätningsproblem. Tätningsproblematiken inrymmer emellertid förutom berggrundsförhållanden även en rad andra parametrar. Bland dessa kan nämnas injekteringsskärmarnas längd och utseende, antal borrhål, injekteringsutförande, injekteringsmaterial, grundvattentryck och tunneldrivning (sprängning). I flera fall kan orsaken till ett otillfredsställande tätningsresultat vara såväl berggrundsförhållandena som otillräckliga tätningsinsatser och kanske skador vid utsprängning. För att belysa betydelsen av olika parametrar har resultaten för utvärderingarna av de olika tunnlarna i kap. 5 jämförts och analyserats. Vidare redovisas kompletterande uppgifter rörande bl.a. cementåtgång vid förinjektering i de olika tunnlarna.

## 6.2 Berggrundsförhållanden - tätningsresultat

### 6.2.1 Bergarter

Vid genomgången i avsnittet 5.6 konstaterades att bergarternas betydelse för en bergmassas vattenföring ligger i de karakteristiska mönster för sprickor och krosszoner som utbildas i olika bergarter vid utlösning av spänningar i jordskorpan. Jämförelsen mellan berggrundsförhållanden och tätningsresultat utfördes därför med hjälp av speciella sprickmönstertyper (kap. 3), vilka något generaliserat speglar de sprickmönster som förekommer i de olika tunnlarna.

Utöver dessa, till i första hand huvudbergarter knutna, sprickmönstertyper nämndes de speciella problem ur tätningssynpunkt, som ofta uppträder i eller i anslutning till kontakter mellan olika bergarter. Speciellt nämndes svårigheter att täta mot kvarvarande läckage i sprickor i kontakten mellan amfibolitskivor och omgivande gnejs. Problemet föreligger framför allt när skivorna stryker mer eller mindre parallellt med tunnelsträckningen.

Vid diabasgångar uppträder vanligen inte tätningssvårigheterna i själva diabasgången utan i det angränsande ofta starkt uppspruckna sidoberget. Beroende på antal sprickgrupper, sprickfrekvens m.m. kan ett dylikt avsnitt placeras i en sprickmönsterklass och jämföras med krossavsnitt inom andra delar av tunneln.

### 6.2.2 Sprickmönstertyp

De använda sprickmönstertyperna har gjort det möjligt att utvärdera vid vilka sprickmönster och sprickfrekvenser svårigheter föreligger att uppnå tillfredsställande tätningsresultat med hjälp av förinjektering.

De kriterier på otillfredsställande tätningsresultat som använts är ominjektering, efterinjektering och synliga läckage efter utsprängning. Värderingen av vilka synliga läckage, som antyder ett otillfredsställande tätningsresultat, har gjorts mot bakgrund av hur uppmätta läckvattenmängder svarar mot uppsatta täthetskrav. Med undantag för Bolmen-tunneln gäller att måttliga och stora punktläckage är tecken på otillräcklig tätning. I dessa tunnlar gäller detta även små läckage, där dessa inom ett avsnitt förekommer i ökat antal. Där synliga läckage på en sträcka inte svarar mot uppmätt inläckningsökning kan delavsnitt med små läckage även anvisa inom vilka sektioner det är troligast att större läckage i sulan uppträder.

Vid den utförda analysen har för varje tunnel valts ut de sprickmönster som med de använda kriterierna visat otillräcklig täthet efter förinjektering.

Ale-tunneln

I tunneln, som domineras av sprickmönstertyperna A,B1, B2 har den största krosszonsklassen K3 (blockigt berg), enligt samtliga kriterier, medfört tätningsproblem. Otillfredsställande tätningsresultat i sprickmönstren B1 och B2 beror till övervägande del på att huvuddelen av skärmarna i dessa sprickmönster endast omfattar två sonderingshål. Detta gäller även dåliga resultat i sprickmönstertyperna B3 och K1-K3.

Generellt gäller att med ökad uppsprickning i bergmassan ökar andelen skärmar med läckage kraftigt. Även läckagens storlek ökar.

Bolmen-tunneln

Genom att förinjektering inte bedrivits systematiskt utan endast där vissa kriterier varit uppfyllda, dominerar andelen skärmar med någon krosszonstyp stort över andelen skärmar med "bättre berg". Bland krosszonstyperna är K3 klart störst följt av K3-K4 och K4. Dessa klasser visar också upp otillfredsställande täthet enligt flera av kriterierna. Även storblockigt berg (B3) uppvisar efter fullfrontsinjektering skärmar med måttliga och stora läckage.

Göta älv-tunneln

Tunnelns dominerande sprickmönstertyp är B2 (58%). Största krosszonstyperna är K3 och K3-K4. Allmänt gäller att med ökad uppsprickning i bergmassan ökar andelen läckande skärmar liksom läckagens storlek. Svårtätade sprickmönstertyper har varit K3, K3-K4 och K4.

Härryda-tunneln

I tunneln utgörs 68 % av delsektionerna av sprickmönsterna A, B1, B2 och B3. Störst av krosszonsklasserna är K1-K3, K3. De använda kriterierna visar att ökad uppsprickning i bergmassan lett till sämre tätningsresul-

tat. Detta märks redan vid sprickmönster B2 och blir väldigt tydligt vid sprickmönster B3 och de olika krosszonstyperna. Viktigast bland dessa ör K1-K3, K3 och K3-K4.

Transporttunnel Björndammen (Partilletunneln)

Tunneln domineras av sprickmönstren B1 och B2, vilka tillsammans svarar för drygt 68 % av delsektionerna. De största krossklasserna är K1, K1-K2 och K3-K4. Ökad uppsprickning har trots fullfrontsinjektering givit ökad andel läckande sektioner och större läckage. Efterinjektering har utförts i K1, K1-K2 och K3-K4.

Partille-tunneln

I tunneln utgör andelen delsektioner med någon krosszontyp eller sprutbetongförstärkning mer än 50 %. De största krosszonstyperna K1-K3, K3 och K3-K4 uppfyller tillsammans med sprickmönster B3 flera av kriterierna på otillräcklig täthet. Liksom tidigare tunnlar gäller att ökad uppsprickning i bergmassan trots fullfrontsinjektering leder till större andelar otäta sektioner och större läckage.

Slottsskogen-Annedal-Mölndal

I tunneln svarar delsektioner med sprickmönstertyperna A, B1, B2 och B3 tillsamman för 55 % med B2 som dominerande med drygt 43 %. De dominerande krosstyperna är K1-K3, K3, K3-K4 och K4. Sprickmönster som uppfyller något eller några av kriterierna på otillfredsställande täthet vid utförd fullfrontsinjektering är B3, K1-K3, K3, K3-K4 och K4-K5. De uppräknade sprickmönstren utgör en serie som svarar mot ökad uppsprickning i bergmassan.

Vreten-Sundbyberg-Rissne

Med undantag för Rissne-avsnittet domineras sträckan av delsektioner med sprickmönstren A och B2. Vid Rissne förekommer sprickmönstertyperna B3 och K3. Vid Sundbyberg är största krosstyp K3 medan Vreten har krosstyperna K3, K4 och K3-K4. Även om efterinjektering har utförts i såväl Sundbyberg som Vreten och då mer i förekommande krosstyper än i "bättre berg", är det Rissne-avsnittet som bjudit på svårtätat berg. Krosszonstyp K3 har därvid inneburit större tätningsproblem än sprickmönster B3. Samtliga skärmar inom avsnittet har efterinjekterats.

### 6.2.3 Sprickfyllnad

Sprickfyllnader av olika typer förekommer i de studerade tunnlarna. Vanligast är den mer eller mindre fullständiga tätning av sprickor, som åstadkommits genom kristallisation av främst kalcit och kvarts.

I sprick- och krosszoner är olika typer av harnesk på sprickytorna vanliga. Sprickytebeläggningen uppbyggs

ofta av epidot och klorit. Den senare beläggningen kan vara mer eller mindre vittrad.

Inom alla tunnlarna har även iakttagits olika typer av lerfyllda sprickor. I samtliga fall är sprickfyllnaden av endogent ursprung. Någon sprickfyllnad av exogent ursprung, där finmaterial från markytan spolats ner i och fyllt en spricka har sålunda ej iakttagits. De lerfyllda sprickorna uppträder inom eller i nära anslutning till sprick- eller krosszoner. Den klart vanligaste typen är L1 men inom krosszoner förekommer i några tunnlar även typerna L1-L3, L3 och L4.

I föregående avsnitt beskrivs hur ökad uppsprickning i en bergmassa lett till ökade andelar läckande sektioner och större läckage. Detta gäller oavsett om sprickfyllnad av lera eller av annan typ förekommer. Även om sprickfyllnad av främst lera och kalcit i enstaka sprickor inte nämnvärt hindrar förinjekteringen av ett avsnitt kan de dock på annat sätt utgöra ett problem. Om det efter utsprängningen uppträder ett aldrig så litet läckage i dylika sprickor så kan detta relativt snabbt öka i storlek genom utlösning av kalciten och en accelererande urspolning av lerpartiklar.

De lerfyllda sprickorna av typ L1 är dock i nästan samtliga fall mycket tunna och egentliga läckage sällsynta. I krosszoner med mera omfattande leromvandling i bergmassan, där förutom lerfyllda sprickor även mellanliggande bergbitar är mer eller mindre vittrade, är vattenföringen i studerade fall mycket liten. Vattenföringen är i stället koncentrerad till den ena eller båda av zonernas kontakter med sidoberget. I några skärmar med dessa berggrundsförhållanden har utförts såväl ominjektering som efterinjektering innan acceptabel täthet uppnåtts.

## 6.3 Antal borrhål och borrhålsavstånd i injekteringsskärmarna

Genomgången i avsnitt 6.2.2 visar att det i stort är samma sprickmönstertyper, som ger tätningsproblem i de olika tunnlarna. Genomgående ökar såväl andelen läckande skärmar som läckagens storlek vid ökad sprickighet i bergmassan. Detta gäller även när fullfrontsinjektering utförts med utökat antal hål.

Som framgår av kap.4 är skillnaderna i hålavstånd i de olika tunnlarnas skärmar vid fullfrontsinjektering små. Avstånden uppgår vanligen till ca 2,5 m mellan borrhålsspetsarna utanför väggar och tak och ungefär halva avståndet i botten. Transporttunnel Björndammen och Göta älv-tunneln har i normalfallet mindre än 2 m. mellan borrhålsspetsarna. Beroende på bl.a täthetskrav, vattenförlustmätningar etc har även i flera tunnlar utförts förtätning med mellanliggande hål. Detta ger i många skärmar ett avstånd mellan närliggande injekteringshål på ca 1 m.

Otillräcklig täthet i många skärmar trots omfattande förinjektering kan bero på att endast vissa borrhål medger injektering. Härigenom kan avstånden mellan injekteringsbara hål bli stora. Detta medför stora risker för läckage mellan hålen, speciellt i sprick- och krosszoner. Andelen injekterade hål i skärmar med olika antal hål har därför studerats i Bolmen-tunneln, Härryda-tunneln och Rissne-avsnittet av tunneln Vreten-Sundbyberg-Rissne. I de valda exemplen är flera av kriterierna på otillräcklig tätning uppfyllda. Diagrammen i fig. 6.3.1 visar att andelen injekterade hål, i det helt övervägande antalet skärmar, är hög. Även där 15 borrhål eller fler utförts överväger måttliga och stora läckage trots att antalet oinjekterbara hål varit obetydligt i flertalet skärmar.

Motsvarande redovisning från Härryda-tunneln framgår av fig. 6.3.2. Diagrammen visar att andelen läckande skärmar och läckagens storlek ökar med antalet hål i injekteringsskärmarna. Intressantaste borrhålsklasserna är de med 9 borrhål eller fler, där borrhålen fördelats runt teoretisk tunnel. Där så gott som alla borrhål injekterats finns de största antalen skärmar med måttliga och stora läckage.

Inom Rissne-avsnittet har samtliga skärmar efterinjekterats. I de flesta skärmarna har dock praktiskt taget samtliga hål injekterats vid förinjekteringen (fig. 6.3.3).

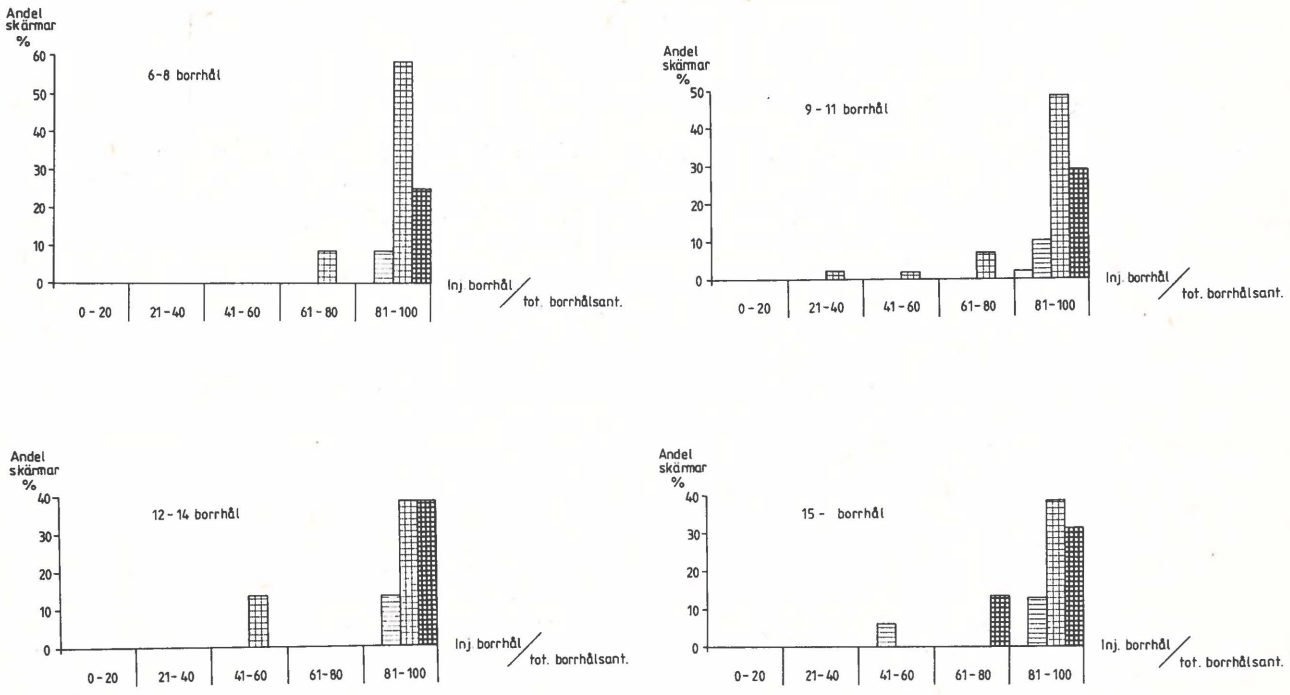



Fig. 6.3.1 Bolmen-tunneln. Procentuella andelar injekterade hål i förhållande till totala antalet hål vid förinjektering

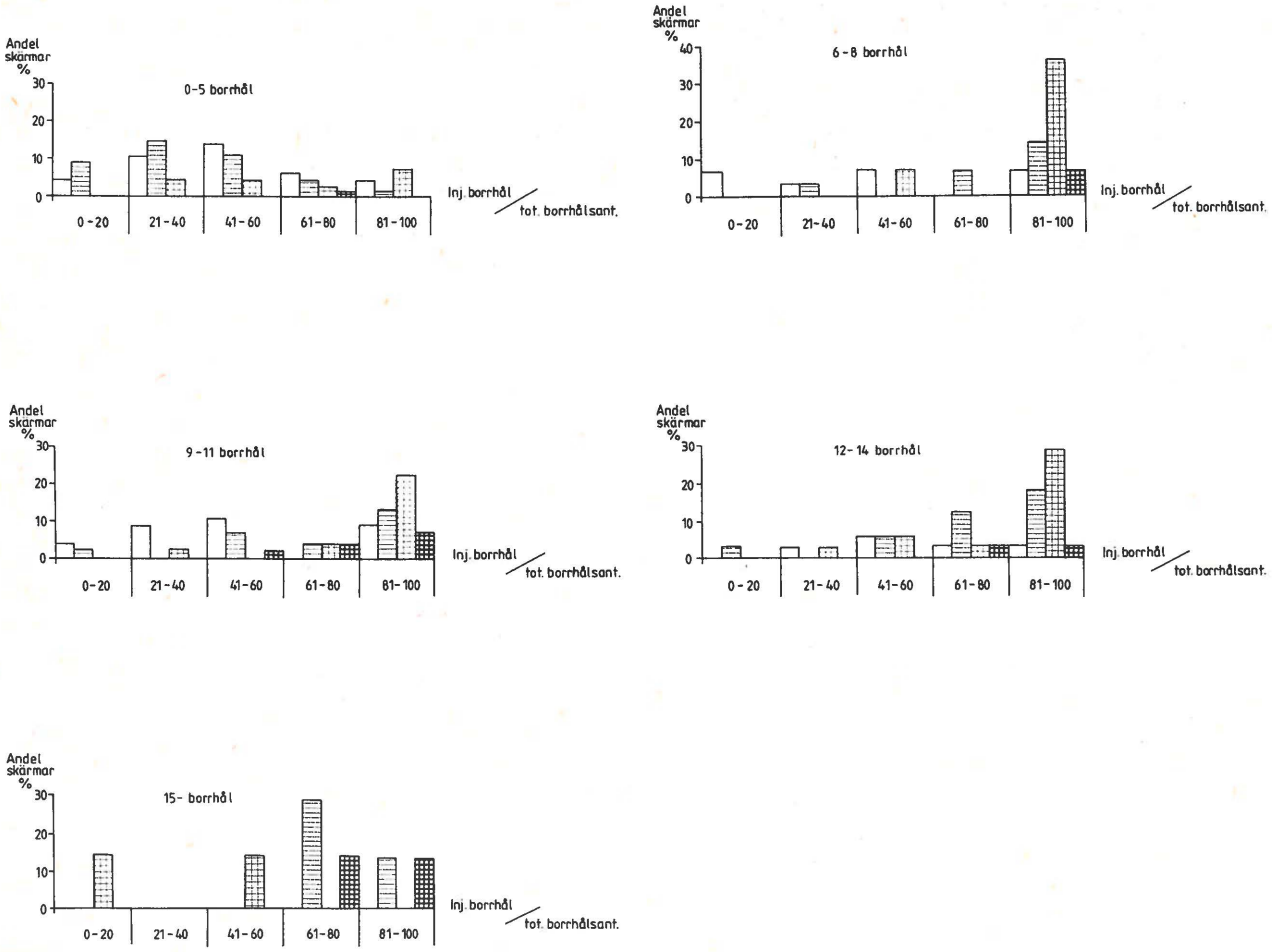



Fig. 6.3.2 Härryda-tunneln. Procentuella andelar injekterade hål i förhållande till totala antalet hål vid förinjektering

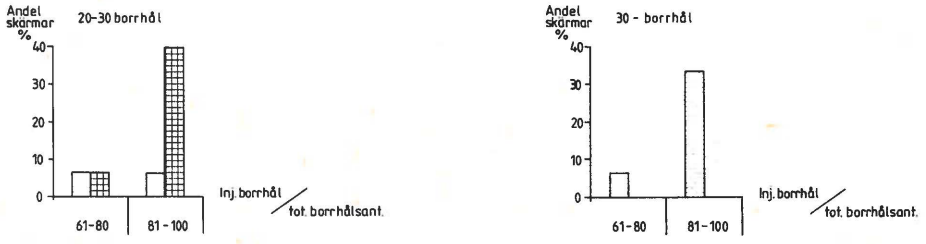



Fig. 6.3.3 Rissne. Procentuella andelar injekterade hål i förhållande till totala antalet hål vid förinjektering.

Av de illustrerade exemplen framgår att trots många gånger små borrhålsavstånd och injektering i praktiskt taget samtliga hål i skärmarna är det uppnådda täthetsresultatet otillräckligt. Ofta har tillfredsställande täthet uppnåtts genom efterinjektering med cement, vilket visar att sprickorna ej varit för fina för tätning med cement.

## 6.4 Cementåtgång vid förinjektering

Vid utvärderingen av cementåtgång i olika tunnlar och sprickmönstertyper, har hänsyn tagits till att förinjektering i ett stort antal skärmar utförts endast som botteninjektering. Det skulle därför vara missvisande att beräkna cementåtgång i förhållande till tunnelomkrets. Eftersom även stora skillnader föreligger i area mellan olika tunnlar, har cementåtgången i stället beräknats i förhållande till meter utfört borrhål i respektive skärm. I grundvarianterna för skärmarnas utseende vid fullfrontsinjektering är skillnaderna i hålavstånd små mellan olika tunnlar (6.3). Hålantalet skall i det ideala fallet anpassas till svårigheterna. I bergkvaliteter med få sprickgrupper och låg sprickfrekvens utförs, beroende på sprickornas vattenföring, uppsatta täthetskrav etc, sondering, botteninjektering eller gles grundmodell för fullfrontsinjektering. I vattenförande krosszoner där sprickfrekvensen är hög, ökas antalet hål i skärmarna. Detta framgår klart av genomgången i avsnitt 5.3.3.

Redovisningen av cementåtgång per borrhålsmeter har för varje tunnel gjorts med ett diagram för varje viktig borrhålsklass. Diagrammen omfattar endast enkla skärmar (se avsnitt 5.3.3). I textkommentarer lämnas uppgifter om vilka sprickmönstertyper, som är vanligast vid en viss cementåtgång. En utförligare redovisning av de olika sprickmönstertypernas procentuella fördelning på olika borrhålsklasser i tunnlarna har lämnats i avsnitt 5.3.3. Cementåtgången redovisas normalt med klassbredden 5 kg. I intervallet 0-5 kg cement per borrhålsmeter har en uppdelning i flera fall gjorts med klassbredden 1 kg.

Ale-tunneln

I borrhålsklassen 0-5 borrhål har, som framgår av tab.5.3.3.1, flertalet skärmar endast utförts 2 sonderingshål. Cementåtgångsklasserna 0-1 och 0-5 kg/bohåm omfattar samma skärmar.

I fig. 6.4.1 redovisas cementåtgången vid olika antal borrhål i förinjekteringsskärmarna.

Som framgår av figuren är cementåtgången per meter borrhål mindre än 1 kg, när endast sonderingshål utförts. Med ökat antal borrhål i skärmarna stiger cementförbrukningen. I klassen 9-11 borrhål är genomsnittlig cementåtgång per borrhålsmeter ungefär 10 kg. Motsvarande värden i klasserna 12-14 och 15 borrhål

eller fler är drygt 15 kg resp närmare 20 kg.

Orsaken till den ökade cementåtgången är en ökad uppsprickning i bergmassan. I klasserna 0-5 och 6-8 borrhål dominerar sprickmönstertyperna A och B1 medan det i klasserna med fler borrhål sker en övergång till dominans för typerna B2 och olika krosstyper.

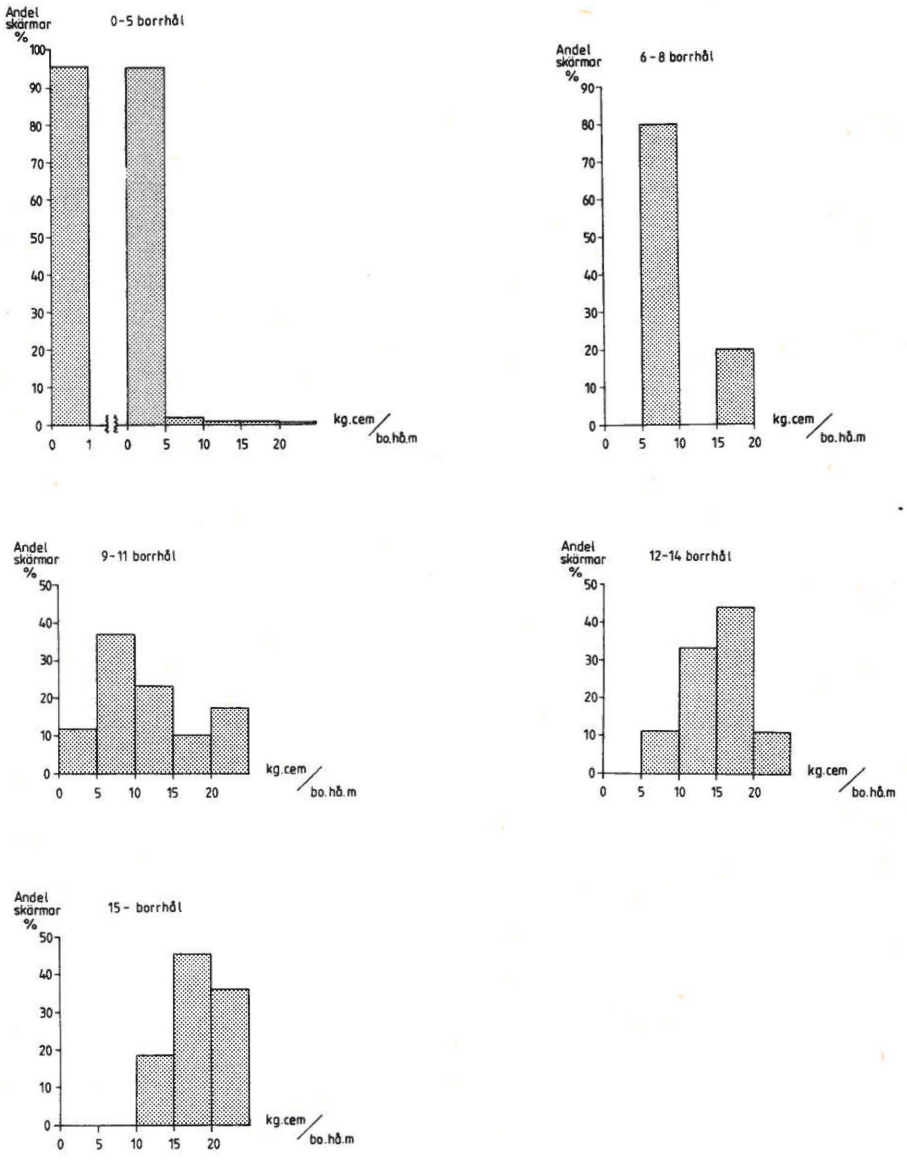



Fig. 6.4.1 Ale-tunneln. Enkla skärmar. Cementåtgång (kg/borrhålsmeter) vid förinjektering.

Bolmen-tunneln

I fig. 6.4.2 redovisas cementåtgången i de förinjekterade skärmarna uppdelade på borrhålsklasser.

Cementåtgången är i flertalet skärmar större än 20 kg per borrhålsmeter. I klassen 9-11 borrhål har nära 30 % av skärmarna en cementåtgång på mer än 40 kg per

borrhålsmeter. Motsvarande siffra i klassen 15 borrhål eller fler är nära 40 %.

I Bolmen-tunneln har till skillnad från övriga tunnlar endast utförts injektering vid viss vattenmängd i sonderingshål. De studerade skärmarna är också till helt övervägande del utförda i olika krosszonstyper.

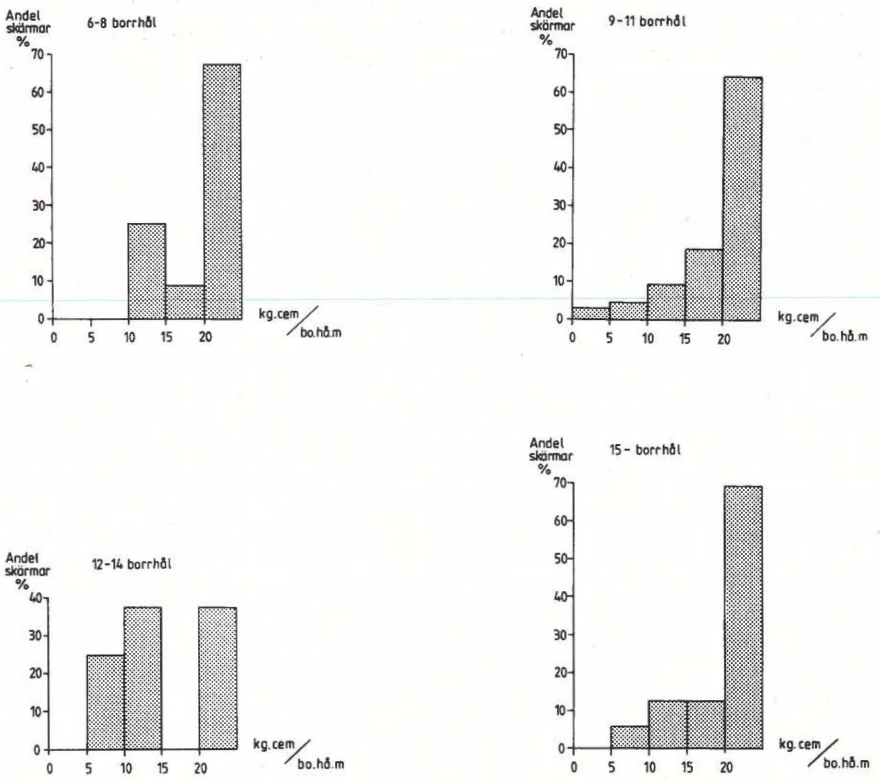



Fig. 6.4.2 Bolmen-tunneln. Enkla skärmar. Cementåtgång (kg/borrhålsmeter) vid förinjektering.

Göta älv-tunneln

I borrhålsklasserna 0-5, 6-8 och 9-11 har endast utförts sammanlagt 10 skärmar. Samtliga har en cementåtgång på mindre än 10 kg per borrhålsmeter.

I fig. 6.4.3 redovisas cementågången i övriga borrhålsklasser.

I den stora klassen 12-14 borrhål (311 skärmar) har klassen 0-5 kg delats upp i intervall om 1 kg. Av figuren framgår att nära 90 % av skärmarna har en cementåtgång per meter borrhål som är mindre än 5 kg. Ungefär hälften av dessa skärmar visar en cementåtgång på 2-3 kg, vilket också är ett genomsnittsvärde. Endast drygt 10 % av skärmarna i klassen har sålunda en cementåtgång som är större än 5 kg per meter borrhål.

De övriga borrhålsklasserna är betydligt mindre och omfattar tillsammans 90 skärmar. Klasserna 15-17, 18-20 och 21-23 borrhål visar stor dominans för skärmar med cementåtgång, som är mindre än 5 kg per meter borrhål. I klassen 24 borrhål eller fler ökar andelen skärmar med cementåtgång större än 5 kg per borrhålsmeter. Skärmar med mindre cementåtgång svarar dock för mer än 50 % av skärmarna.

Sprickmönstertyp B2 dominerar stort i klasserna 12-14 och 18-20. I klasserna 15-17, 21-23 och 24 borrhål eller fler uppträder förutom B2 en ökad andel av krosszonstyper.

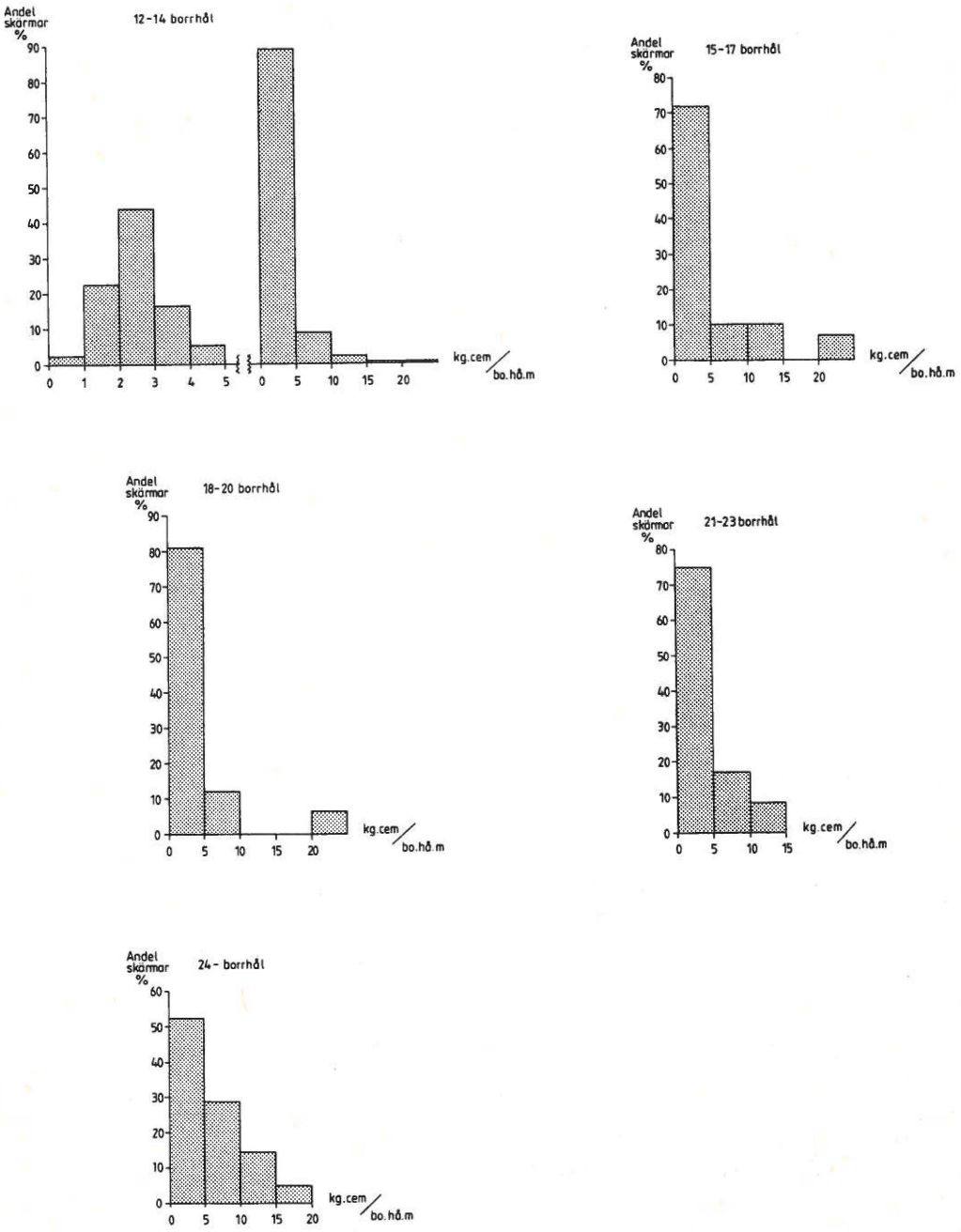



Fig. 6.4.3 Göta älv-tunneln. Enkla skärmar. Cementåtgång (kg/borrhålsmeter) vid förinjektering.

Härryda-tunneln

I fig. 6.4.4 redovisas cementåtgång per borrhålsmeter vid olika borrhålsklasser. Den stora klassen 0-5 borrhål innehåller till mer än 75 % skärmar med cementåtgång per borrhålsmeter som är mindre än 5 kg. Av dessa har 91 % cementåtgången 2-3 kg. Skärmar med större förbrukning per borrhålsmeter än 5 kg visar en relativt jämn fördelning över de olika klasserna för cementåtgång.

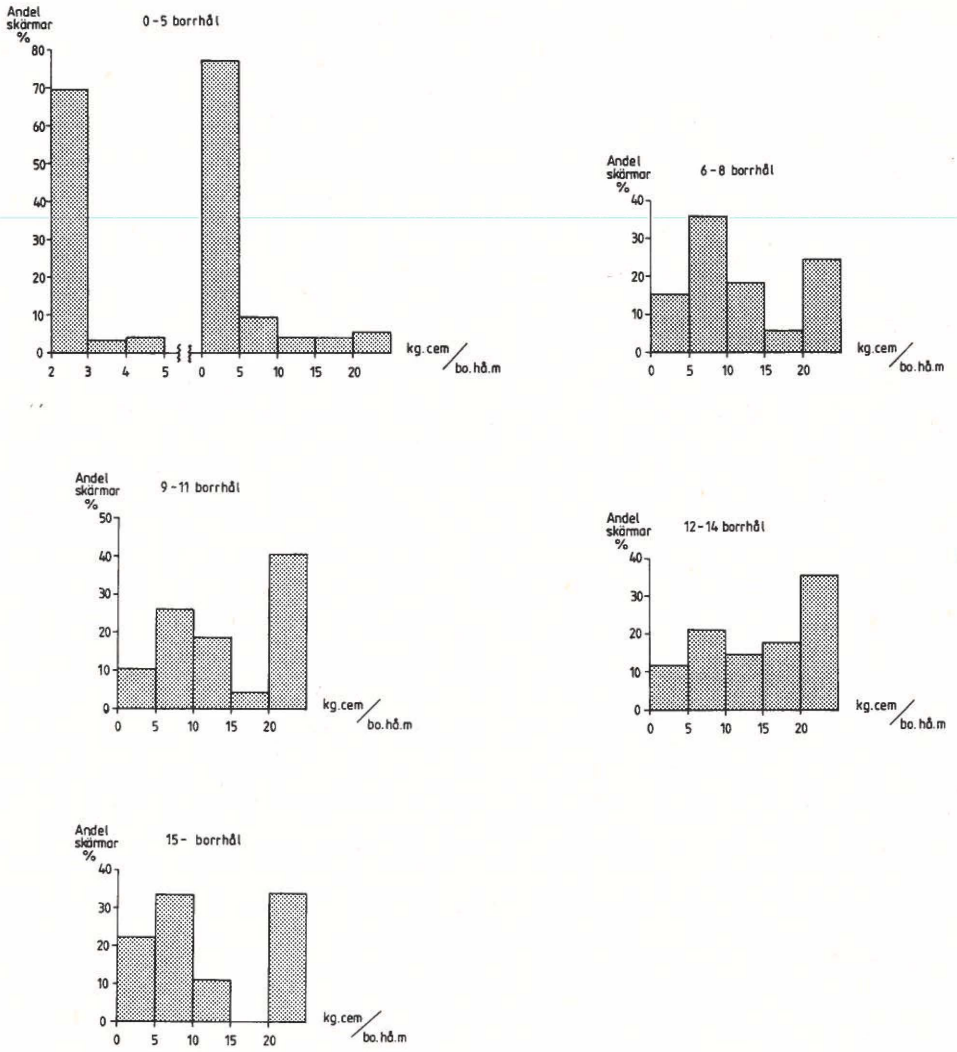



Fig. 6.4.4 Härryda-tunneln. Enkla skärmar. Cementåtgång (kg/borrhålsmeter) vid förinjektering.

I klassen 6-8 borrhål har 35 % av skärmarna en cementåtgång per meter borrhål på mellan 5 och 10 kg och 25 % av skärmarna en cementåtgång som är större än 20 kg. Klasserna 9-11 och 12-14 borrhål visar en förskjutning mot större cementåtgång per borrhålsmeter i skärmarna. Klassen 15 borrhål eller fler är för liten för att ett representativt cementåtgångsvärde skall kunna anges.

I klassen 0-5 borrhål dominerar sprickmönstertyperna A, B1 och B2 medan B3 tillsammans med olika krosszonstyper är vanligast i klassen 6-8 borrhål. Övriga klasser domineras av olika krosszonstyper.

Transporttunnel Björndammen

Cementåtgången per borrhålsmeter fördelad på olika borrhålsklasser redovisas i fig. 6.4.5. Med undantag för klassen 6-8 borrhål är klasserna små. I klassen 6-8 borrhål är cementåtgången i mer än 80 % av

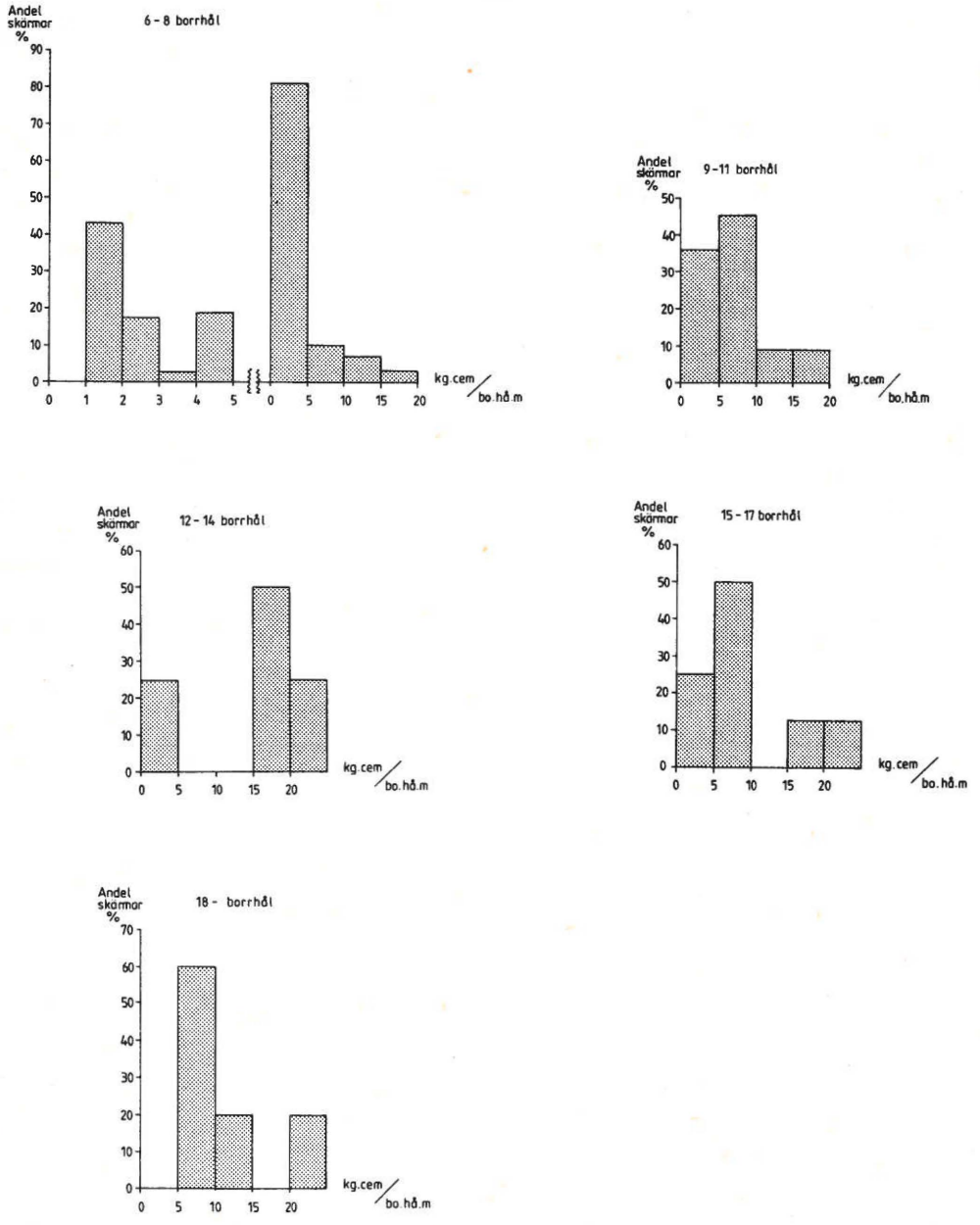



Fig. 6.4.5 Transporttunnel Björndammen. Enkla skärmar. Cementåtgång (kg/borrhålsmeter) vid förinjektering.

skärmarna mindre än 5 kg. Något mer än hälften av dessa skärmar uppvisar en cementåtgång per borrhålsmeter mellan 1 och 2 kilo. Övriga skärmar har med några undantag värden mellan 2 och 3 kg samt mellan 4 och 5 kg.

Skärmar med cementåtgång över 5 kg per borrhålsmeter förekommer i minskat antal vid ökade cementvärden i klassen 6-8 borrhål.

I borrhålsklasserna 9-11, 12-14, 15-17 och 18 borrhål eller fler har de flesta skärmarna en cementåtgång mellan 5 och 10 kg per borrhålsmeter.

I klasserna 6-8, 9-11 och 12-14 dominerar sprickmönstertyperna B1 och B2. Vid ökat antal borrhål (klassen 15-17 borrhål) dominerar B2 och vid 18 borrhål eller fler förekommer olika krosszonstyper.

Partille-tunneln

I fig. 6.4.6 redovisas cementåtgång per borrhålsmeter vid olika borrhålsklasser. De största borrhåls-

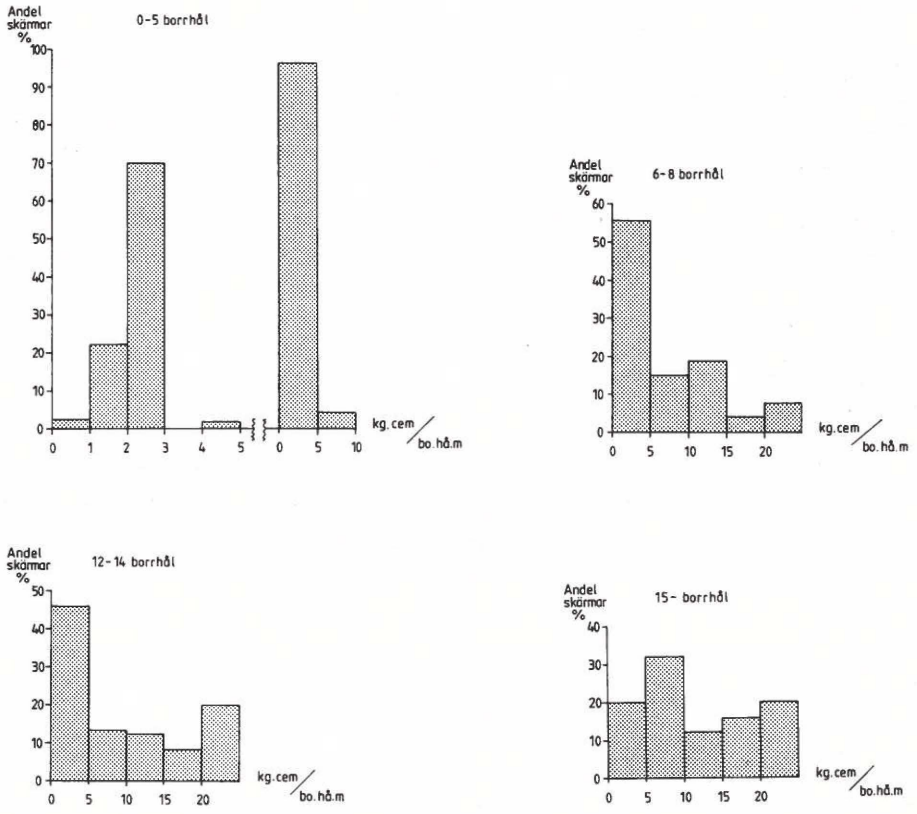



Fig. 6.4.6 Partille-tunneln. Enkla skärmar. Cementåtgång (kg/borrhålsmeter) vid förinjektering.

klasserna är 0-5 och 12-14. Klassen 9-11 borrhål omfattar endast 4 skärmar (< 5 kg/borrhålsmeter) varför

den ej redovisas i diagram.

I klassen 0-5 borrhål har 96 % av skärmarna en cementåtgång per borrhålsmeter som är mindre än 5 kg. Av dessa har 73 % cementåtgång mellan 2 och 3 kg per borrhålsmeter.

Även i klassen 6-8 borrhål har flertalet skärmar en cementåtgång som är mindre än 5 kg per borrhålsmeter. I denna klass förekommer dock också många skärmar med större cementåtgång.

I klassen 12-14 borrhål ökar andelen skärmar med cementåtgång större än 5 kg per borrhålsmeter. Skärmar med mindre cementåtgång utgör dock 46 %.

Vid 15 borrhål eller fler har tyngdpunkten förskjutits mot ca 10 kg per borrhålsmeter.

I borrhålsklass 0-5 dominerar sprickmönstertyperna B1 och B3 stort. Vid 6-8 borrhål har flertalet skärmar någon av sprickmönstertyperna A, B1, B2 eller B3. I klasserna 12-14 och 15 borrhål eller fler dominerar olika typer av krosszoner.

Slottsskogen-Annedal-Mölndal

Cementåtgången per borrhålsmeter fördelad på olika borrhålsklasser framgår av fig. 6.4.7. De största klasserna är 0-5, 9-11 och 12-14 borrhål. I klassen 0-5 borrhål har 74 % av skärmarna en cementåtgång som är mindre än 5 kg per borrhålsmeter. Som framgår av diagrammet är skärmarna relativt jämnt fördelade över klasserna mellan 1 och 5 kg med övervikt för intervallet 1-2 kg.

Skärmarna med cementåtgång större än 5 kg per borrhålsmeter förekommer i minskande antal med ökande cementåtgång.

I klassen 6-8 borrhål förekommer 50 % av skärmarna i intervallet 0-5 kg per borrhålsmeter. Övriga skärmar är mer oregelbundet fördelade. Klassen är dock liten, varför uppgifterna inte får tillmätas för stor betydelse.

De båda klasserna 9-11 och 12-14 borrhål innehåller många skärmar och är mer representativa. Båda klasserna visar i stort minskande andel skärmar med ökande cementåtgång. Klasserna visar dock en liten ökning vid cementåtgång 20 kg eller mer.

I klasserna 15-17 och 18 borrhål eller fler föreligger en tyngdpunktsförskjutning mot större cementåtgång per borrhålsmeter. Medan klass 15-17 borrhål har ett medianvärde runt 10 kg per borrhålsmeter är motsvarande siffra för klasserna 18 borrhål eller fler 10-15 kg.

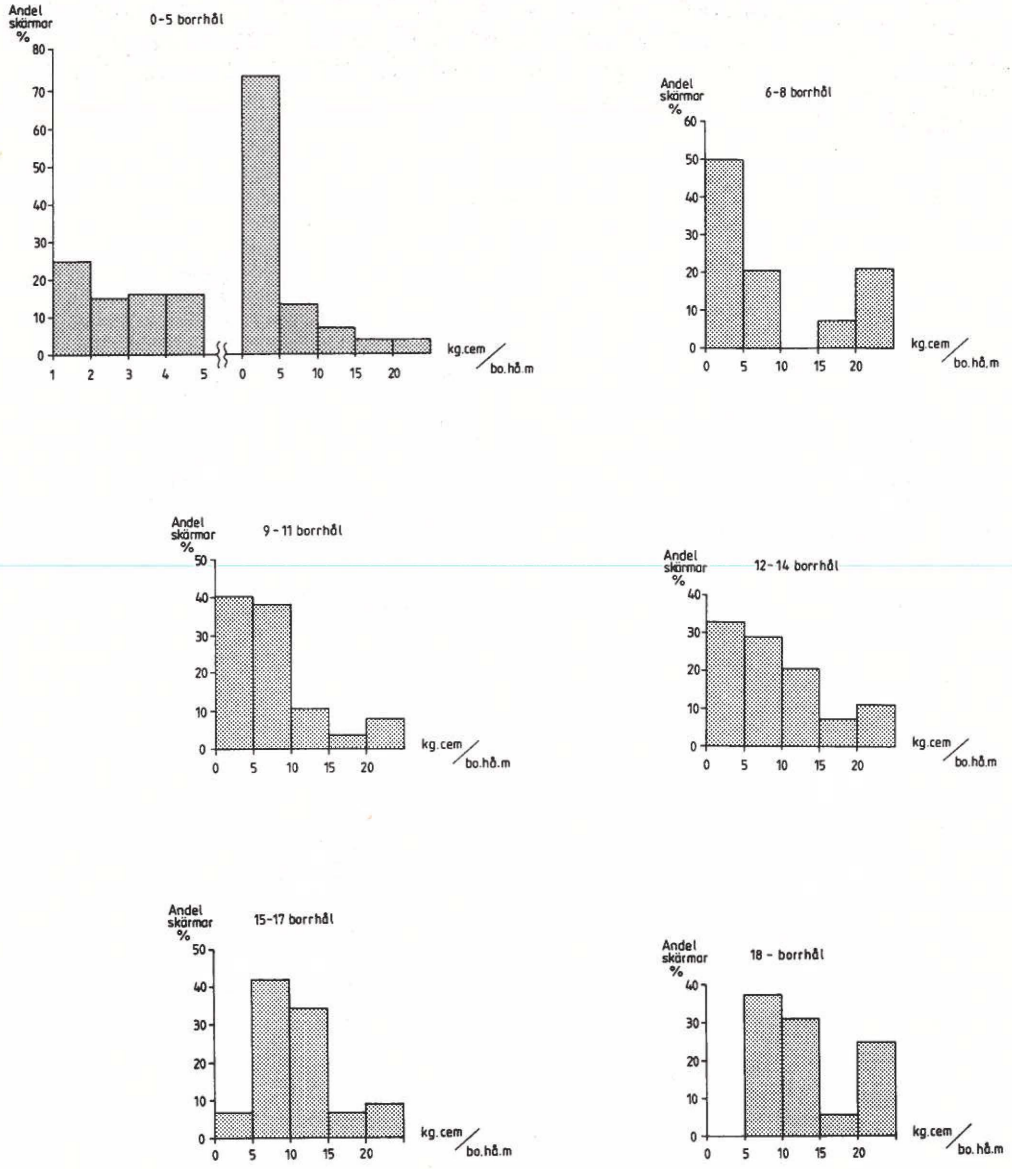



Fig. 6.4.7 Slottsskogen-Annedal-Mölndal. Enkla skärmar. Cementåtgång (kg/borrhålsmeter) vid förinjektering.

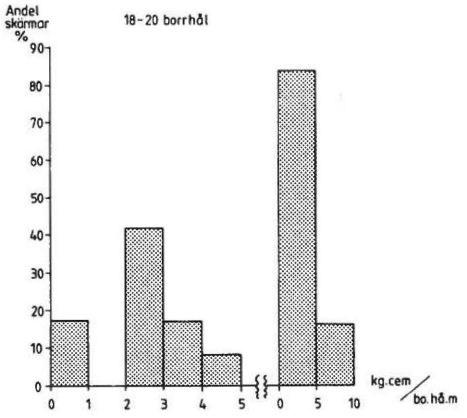
Sprickmönstertyp B2 dominerar stort i borrhålsklasserna 0-5 och 9-11. Den lilla klassen 6-8 borrhål har huvudsakligen B2 i skärmar med cementåtgång mindre än 10 kg. Vid 15 kg eller mer per borrhålsmeter dominerar olika krosszonstyper.

I klasserna 12-14, 15-17, 18-20 och 21 borrhål eller fler är dominerande sprickmönster B2 och olika typer av krosszoner. Andelen skärmar uppbyggda av krosszoner ökar med ökat antal borrhål.

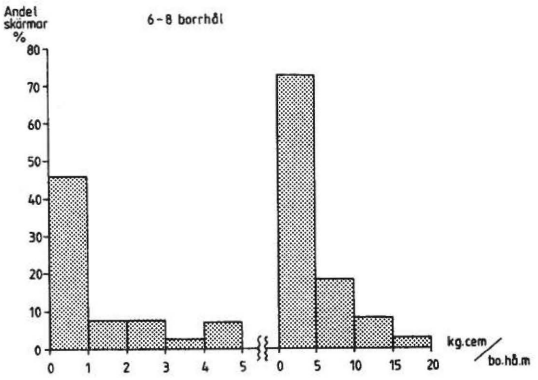
Vreten-Sundbyberg-Rissne

I fig. 6.4.8 redovisas cementåtgång per borrhålsmeter vid olika borrhålsklasser. Inom avsnittet vid Vreten är det endast en borrhålsklass som är tillräckligt stor för ett meningsfullt diagram. Det visar att

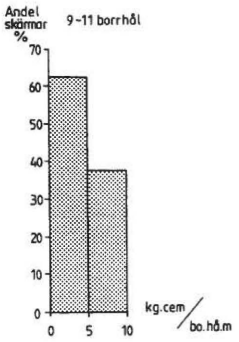
nära 85 % av skärmarna har en cementåtgång mindre än 5 kg per borrhålsmeter. De övriga skärmarna har cementåtgång i intervallet 5-10 kg per borrhålsmeter. I cementklassen 0-5 kg ligger medianvärdet när 3 kg per borrhålsmeter.



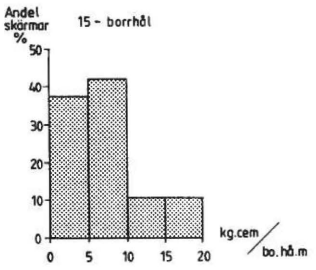

Vreten



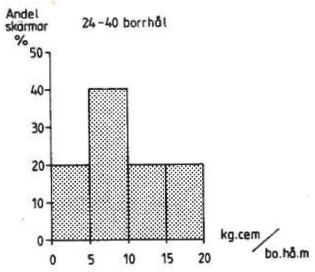

Sundbyberg




Sundbyberg




Sundbyberg




Rissne

Fig. 6.4.8 Vreten-Sundbyberg-Rissne. Enkla skärmar. Cementåtgång (kg/borrhålsmeter) vid förinjektering.

Inom Sundbybergsavsnittet har klassen 6-8 borrhål mer än 70 % av skärmarna i intervallet 0-5 kg cement per borrhålsmeter. Av dessa ligger 64 % i intervallet 0-1 kg per borrhålsmeter. Resterande 36 % är tämligen jämnt fördelade på de olika 1-kilosklasserna.

Vid cementåtgång större än 5 kg per borrhålsmeter minskar andelen skärmar snabbt med högre intervall för cementåtgång. Inga skärmar förekommer i intervallet mer

än 20 kg per meter borrhål.

I den lilla klassen 9-11 borrhål har samtliga skärmar lägre cementåtgång än 10 kg per meter borrhål. De flesta skärmarna ligger i intervallet 0-5 kg.

I klassen 15 borrhål eller fler föreligger en förskjutning av tyngdpunkten för cementåtgång mot ett medianvärde i intervallet 5-10 kg per borrhålsmeter.

Inom det studerade avsnittet vid Rissne ligger medianvärdet vid ca 10 kg per borrhålsmeter.

Vid Vreten samt vid borrhålsklass 6-8 vid Sundbyberg dominerar sprickmönstertyp A stort. Vid 9-11 borrhål förekommer sprickmönstertyperna A och i några skärmar B3. I klassen 15 eller fler borrhål förekommer förutom typ A även ett flertal skärmar med krosszonstyp K3.

Vid Rissne förekommer typerna B3 och K3 med lägst cementåtgång i den förstnämnda typen.

Sammanfattning

Av ovanstående genomgång av cementåtgång vid förinjektering i de olika tunnlarna framgår att cementåtgången i A och B1-berg kan vara mindre än 1 kg per meter borrhål (Ale-tunneln och avsnittet vid Sundbyberg). Med ökad andel skärmar av B1 och B2-typ ökar cementåtgången till 2-3 kg per meter borrhål.

Med ökad uppsprickning i bergmassan och övergång till olika krosszonstyper ökar cementåtgången per borrhålsmeter. I Göta älv-tunneln och i Sundbybergs- och Vreten-avsnitten är cementåtgången även i krosszoner ofta liten medan Bolmen-tunneln ofta uppvisar skärmar med stor cementåtgång. De övriga tunnlarna intar ett mellanläge med cementåtgång, ofta i intervallet 10-15 kg per meter borrhål.

## 6.5 Grundvattentryck - synliga läckage

Grundvattentryckets inverkan på injekteringsresultatet har studerats med hjälp av utförd kartläggning av synliga läckage efter utsprängning. På figurerna 6.5.1 till 6.5.9 redovisas de procentuella andelarna täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck. Inom varje tunnel har de största sprickmönsterklasserna av enkla skärmar studerats.

Som framgår av figurerna föreligger inte i någon tunnel någon entydig tendens till ökad andel läckande skärmar och/eller större läckage vid ökande grundvattentryck. På de djup som tunnlarna är belägna, torde ett ökat grundvattentryck främst öka tätningsproblemen vid zoner med stor vattenföring. I det mellan zonerna liggande bättre berget kan en med djupet minskad vattenföring i sprickorna vara mer avgörande för tätningsresultatet än ett ökat grundvattentryck. Carlsson &

Olsson (1976) har också i Forsmarksområdet visat att bergets hydrauliska konduktivitet avtar med djupet.

Den tillslutning av sprickor som kan föreligga under ytberget beror vanligen inte på horisontalkrafter orsakade av överlagrande bergmassa. I skandinavisk berggrund förekommer ofta horisontalspänningar som inte kan förklaras enbart med hjälp av bergmassans tyngd. I dessa fall är orsaken tektoniska spänningar och/eller residualspänningar (Bergman 1977). I de studerade tunnlarna saknas uppgifter rörande spänningsförhållandena. Det går därför ej att undersöka vilka sprickor som med hänsyn till huvudspänningsriktning bör vara öppna resp. tillslutna. Ej heller kan jämförelser mellan olika tunnlar med hänsyn till spänningsförhållandenas betydelse genomföras. Detta gäller även den minskning i vattenföring runt en injekterad tunnel som beror på den förändrade spänningsbilden efter utsprängning (Bergman 1982).

Betydelsen av använt sluttryck vid injekteringen har ej kunnat utvärderas. Sluttrycket, som bestämts på basis av rådande grundvattentryck, har varierat relativt lite inom och mellan de studerade tunnlarna.

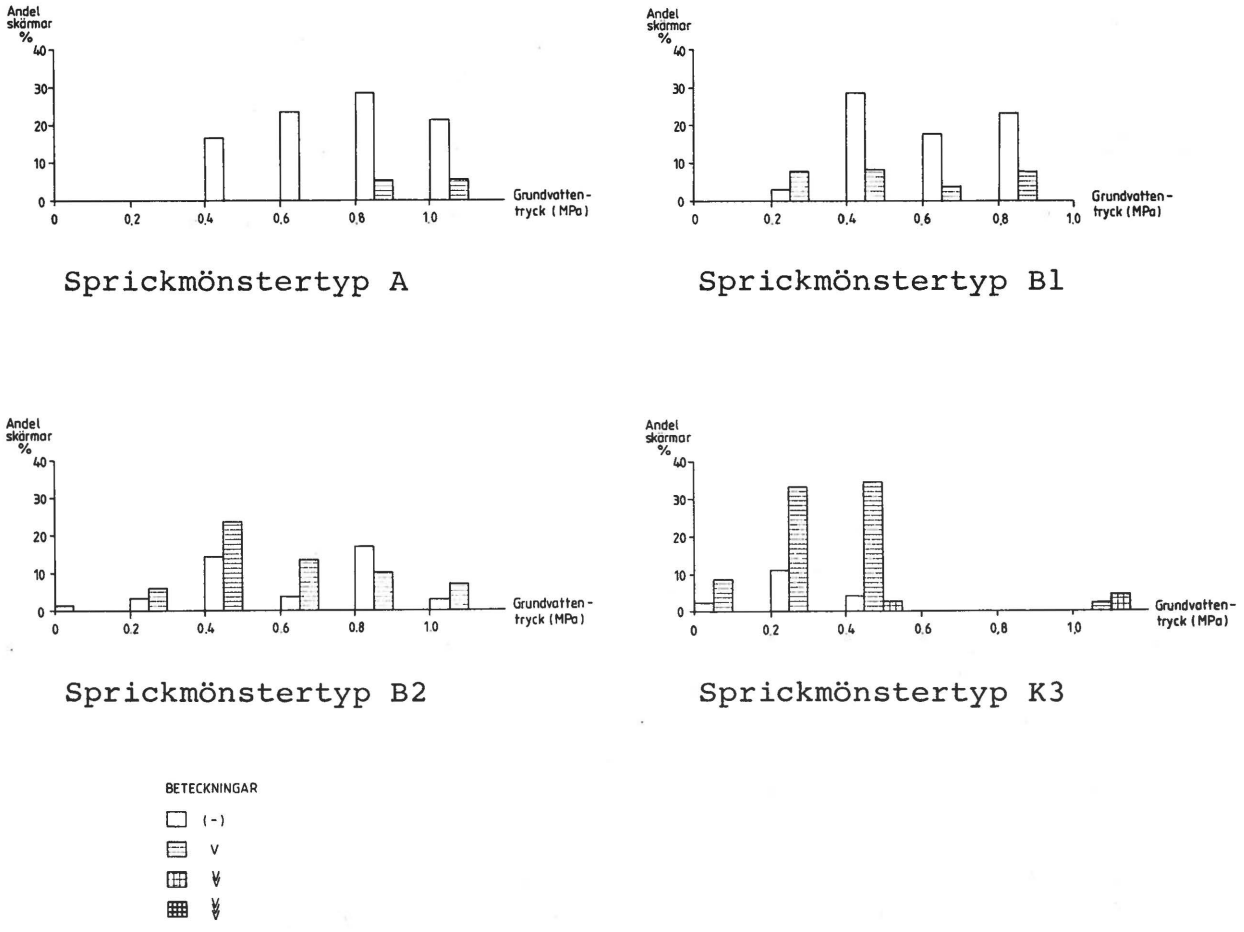
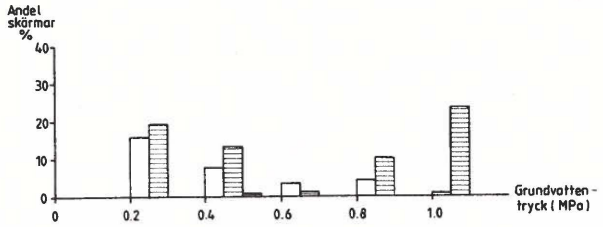
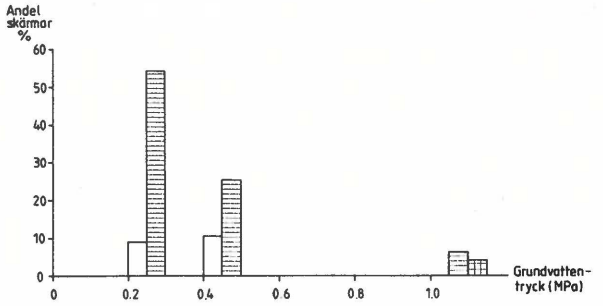


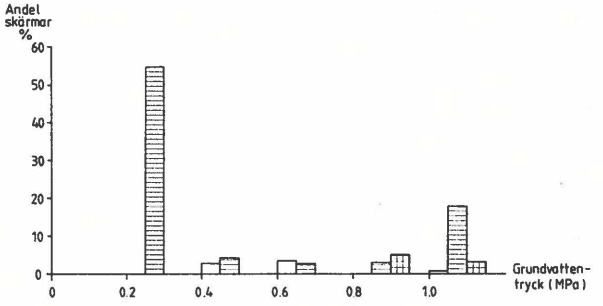

Fig. 6.5.1 Ale-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck




Sprickmönstertyp B2



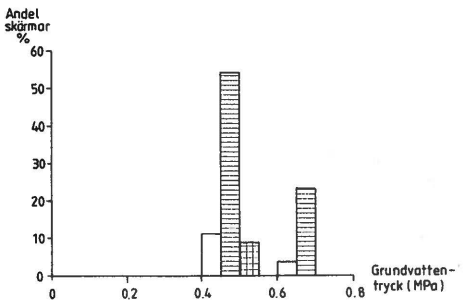

Sprickmönstertyp K3



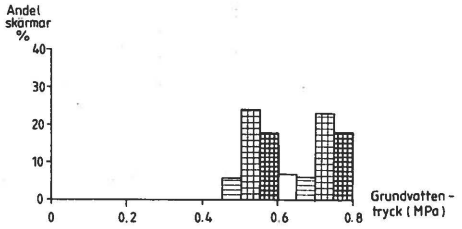

Sprickmönstertyp K3 - K4

Beteckningar - se fig. 6.5.1

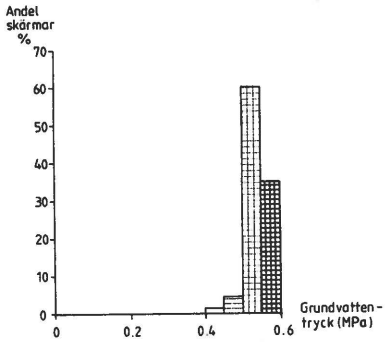
Fig. 6.5.3 Göta älv-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck



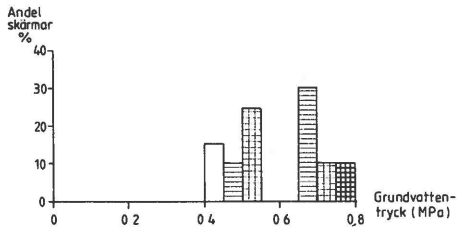

Sprickmönstertyp B2




Sprickmönstertyp B3



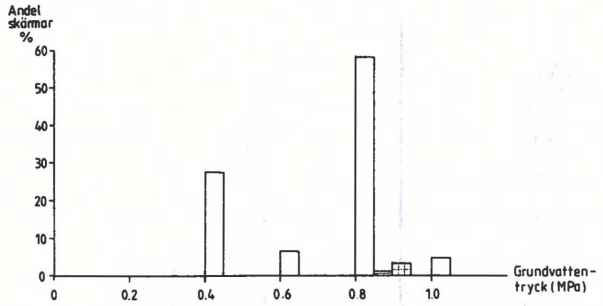

Sprickmönstertyp K3



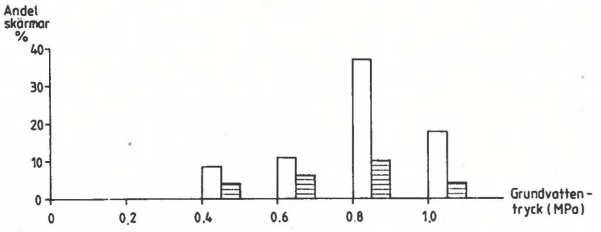

Sprickmönstertyp K3 - K4

Beteckningar - se fig. 6.5.1

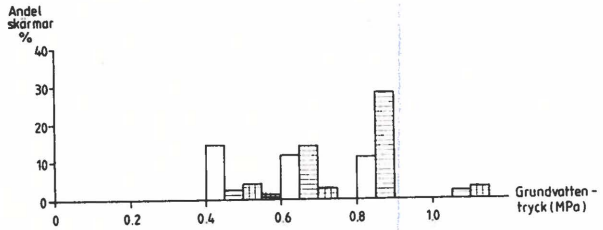
Fig. 6.5.2 Bolmen-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck



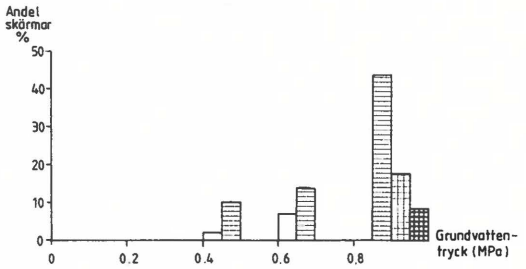

Sprickmönstertyp A



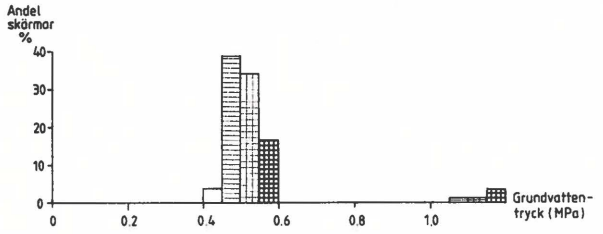

Sprickmönstertyp B1




Sprickmönstertyp B2



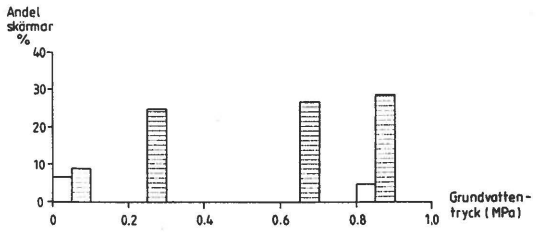

Sprickmönstertyp K1 - K3



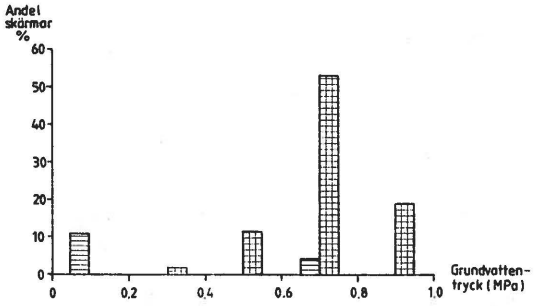

Sprickmönstertyp K3

Beteckningar - se fig. 6.5.1

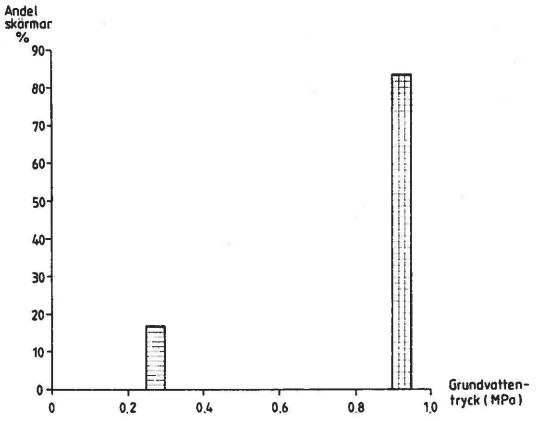
Fig. 6.5.4 Härryda-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck




Sprickmönstertyp B1



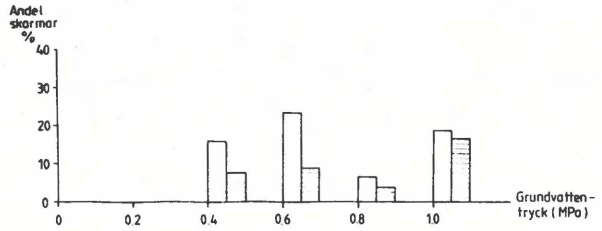

Sprickmönstertyp B2



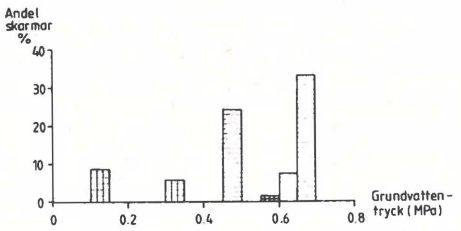

Sprickmönstertyp K3-K4

Beteckningar - se fig. 6.5.1

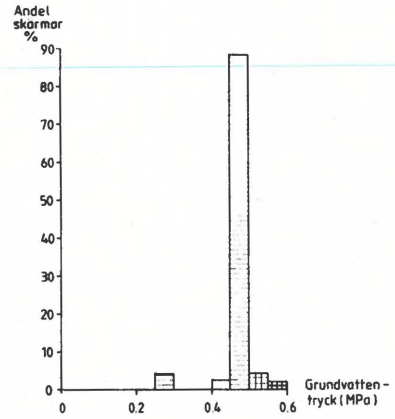
Fig. 6.5.5 Transporttunnel Björndammen. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck.



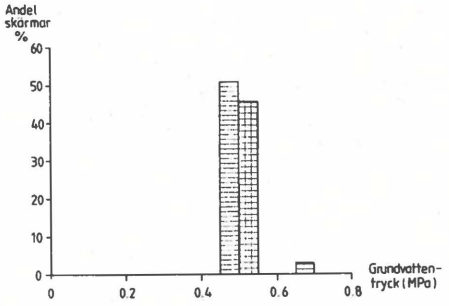

Sprickmönstertyp B1



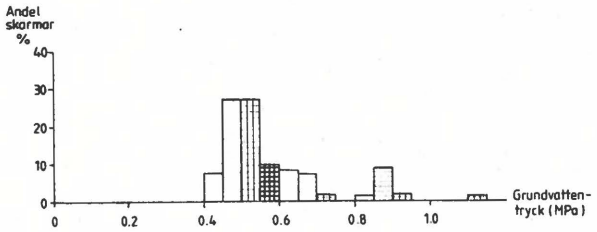

Sprickmönstertyp B3




Sprickmönstertyp K3



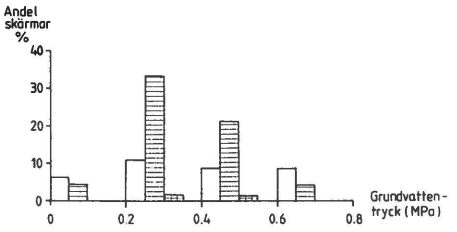

Sprickmönstertyp K3-K4



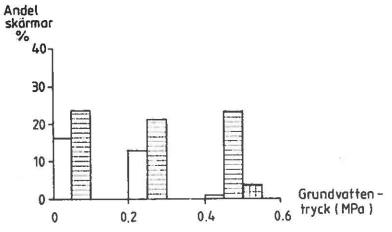

Betong

Beteckningar - se fig. 6.5.1

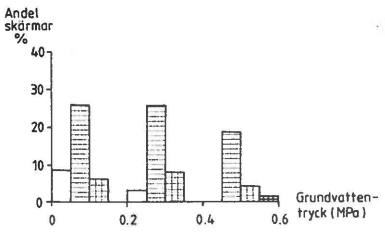
Fig. 6.5.6 Partille-tunneln. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck



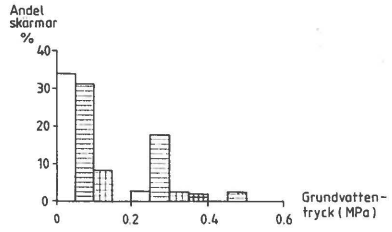

Sprickmönstertyp B2




Sprickmönstertyp K3



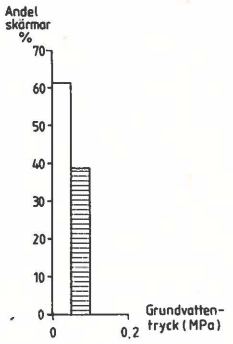

Sprickmönstertyp K3-K4



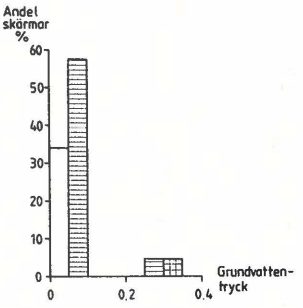

Betong

Beteckningar - se fig.6.5.1

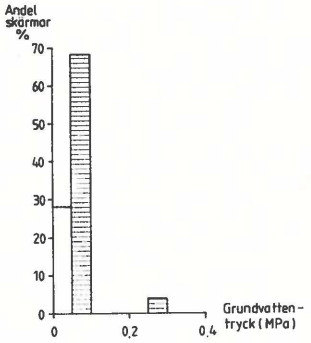
Fig.6.5.7 Slottsskogen-Annedal-Mölndal. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck.




Sprickmönstertyp A



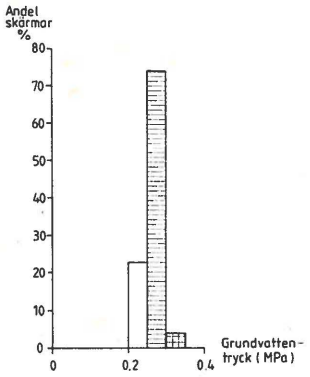

Sprickmönstertyp B2



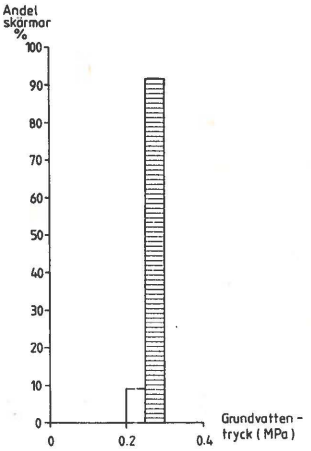

Sprickmönstertyp K3

Beteckningar - se fig.6.5.1

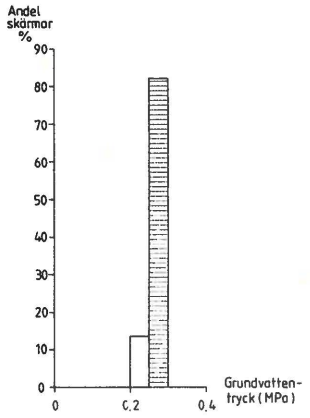
Fig.6.5.8 Vreten. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck.




Sprickmönstertyp A




Sprickmönstertyp B2




Sprickmönstertyp K3

Beteckningar - se fig.6.5.1

Fig.6.5.9 Sundbyberg. Enkla skärmar. Procentuell fördelning av täta och läckande skärmar vid olika grundvattentryck.

## 6.6 Typfall ur tätningssynpunkt

I projektets målsättning ställdes frågan om berggrunden med avseende på tätning kan indelas i typfall med olika förutsättningar för effektiv tätning. Den redovisade utvärderingen har visat att vissa typer av bergförhållanden erbjuder tätningsproblem oavsett använd tätningsmetod. Tätningsproblemen beror därvid på graden av anisotropi i berggrunden ur vattenföringssynpunkt. Anisotropin kan vara knuten till bergartsstrukturer och till kontakter mellan olika bergarter. Den förekommer såväl vid en sprickgrupp som vid ett flertal korsande sprickgrupper. Sprickor tillhörande olika sprickgrupper har vanligen olika vattenföring. Till anisotropin bidrar vidare olika typer av sprickfyllnader.

Till den anisotropi i stort, som beskrivits, kommer vidare vad som är den grundläggande orsaken till många av tätningsproblemen, nämligen vattnets oregelbundna uppträdande även längs en enskild spricka. Vattnet följer därvid ofta kanaler mellan vilka sprickan är tät. Detta nämndes i en rapport rörande grundvattenbildning i jord och berg (Wedel 1978) och har nyligen visats vid en undersökning i Stripa (Abelin & Neretnieks 1981). I fig. 6.6.1 visas principiellt hur vattnet i olika spricksituationer följer kanaler längs sprickytorna. Med ökad uppsprickning i bergmassan ökar antalet kanaler och därmed tätningsproblemen.

Orsaker till tätningsproblem i sprickmönstertyperna B3, K3 och K4 kan därför sammanfattas enligt följande:

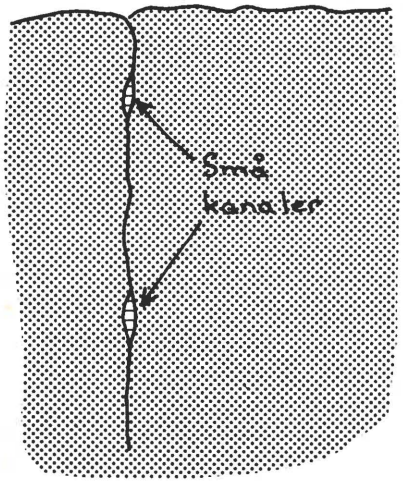
- injekteringshålen har inte fått kontakt med alla sprickkanaler
- Injekteringshålen har korsat såväl stora som små sprickkanaler med dålig tätning av de senare som resultat
- sprickkanalerna har varit för fina för cementinjektering

### 6.6.1 Indelning i typfall

Vid indelning av berggrunden i typfall ur tätningssynpunkt måste hänsyn tagas till en rad faktorer. Grundläggande geologiska faktorer är bergart, sprickmönster och sprickegenskaper. Som komplement till sprickmönster ingår sprickfrekvens. Sprickegenskaper omfattar såväl sprickfyllnad som vattenföring. Viktiga faktorer är vidare bergspänningsförhållanden och grundvattentryck. Dessa faktorer är dock svåra att koppla till en ur tätningssynpunkt praktisk indelning i typfall.

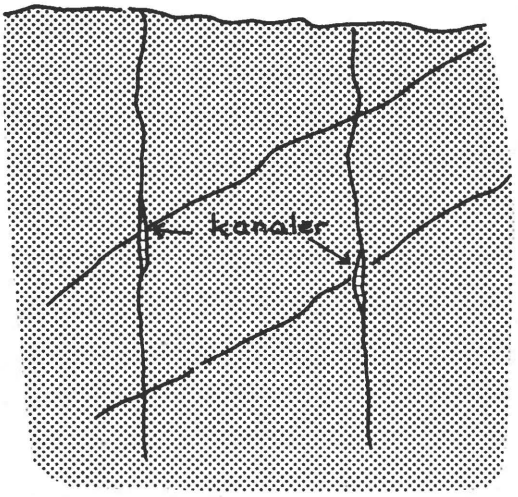
Det har tidigare visats att sprickmönstertyperna A och B1, vid tillåten inläckning på max 2 l/min och 100 m, kunnat tätas tillfredsställande med använda metoder och injekteringsmedel. I flertalet fall kan även ty-

Spricka



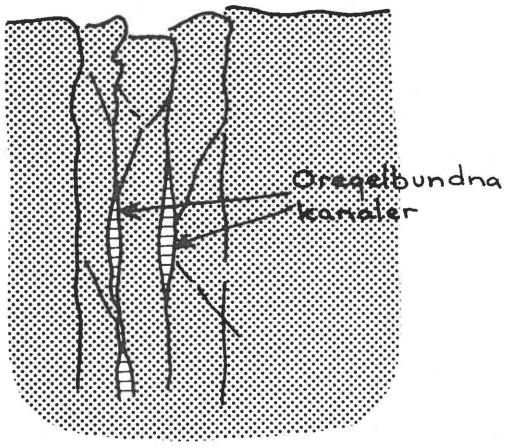

Tät eller kanaler med liten vattenföring (större vattenföring vid bergartsgräns)

Korsande sprickor



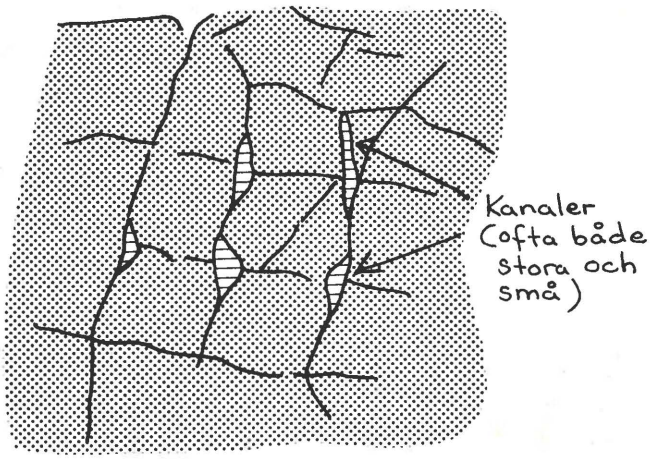

Ofta liten vattenföring

Sprickzon




Varierande grad av vattenföring

Krosszon




Vattenföringen är bl a beroende av krossningsgrad

Fig. 6.6.1 Principskiss över vattnets förekomst i sprickor och krosszoner

pen B2 räknas till denna grupp.

I storblockigt berg (B3) samt i olika krosszonstyper främst K3, K3-K4 och K4 har tätningsproblem förekommit i alla tunnlar.

Utöver denna generella bild har tätningsproblem förekommit när vattenförande sprickplan varit ogynnsamt orienterade i förhållande till tunnlarna. Exempel på detta är läckage i kontakten mellan gnejs och i denna inlagrade flacka amfibolitskivor. Liknande läckage har också uppträtt i sprickzoner (K1 eller K2) där dessa skurit tunnlarna under spetsig vinkel.

Ovanstående erfarenheter ger underlag för en grundläggande del i indelningen i typfall. Efter komplettering med parametrarna vattenföring och sprickfyllnad kan följande indelning i typfall göras (tabell 6.6.1.1):

Tabell 6.6.1.1. Indelning av berggrundsförhållanden i typfall ur tätningssynpunkt

| Bergparametrar | Typfall | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI *) |
| Sprickmönstertyp | A,B1,B2 K1,K2 | B3,K3,K4 | B3,K3,K4 K5 | B3,K3,K4 | B3,K3,K4 | K1,K2 |
| Vattenföring | $v_l$-$v_m$ | $v_l$-$v_m$ | $v_l$-$v_m$ | $v_l$-$v_s$ | $v_s$ | $v_l$-$v_m$ |
| Sprickfyllnad | -,Ca,Q L1 | -,Ca,Q L1,L1-L3 | L3,L4 | -,Ca,Q L1,L1-L3 (L3) | -,Ca,Q L1 | -,Ca,Q L1 |

Beteckningar:

Ca = kalcit
Q = kvarts
i övrigt se kap 3

$v_l$ = liten vattenföring
$v_m$ = måttlig -"-
$v_s$ = stor -"-

*) gäller vid ogynnsam orientering

I tabellen har endast enkla sprickmönstertyper angivits. Vid sammansatta skärmar mellan I och något av övriga typfallen väljes typfall efter de senare.

Den föreslagna indelningen i typfall är gjord med den förutsättningen att täthetskraven kräver tätningsåtgärder, i första hand genom förinjektering med cement. Vid höga täthetskrav är lösningsinjektering ett nödvändigt komplement. Förslag till tätningsutförande vid olika typfall och täthetskrav lämnas i kap 9.

# 7 TYPFALL VID PRAKTISK INJEKTERING

## 7.1 Prognostisering av typfall

Om en indelning av berggrundsförhållandena i typfall ur tätningssynpunkt skall kunna tjäna ett praktiskt syfte fordras att typfallen kan prognostiseras. Det gäller såväl i projekteringsskedet som vid det praktiska tätningsarbetet under jord. På basis av tillgängligt material har därför undersökts i vad mån de viktigare bergparametrarna kunnat förutses.

### 7.1.1 Prognos av typfall vid projektering

Genom att typfall I omfattar sprickmönstertyperna A, B1 och B2 fordras i princip av förundersökningarna att de anger förekomst av "bättre berg" (A, B1, B2), storblockigt berg (B3) och krosszoner (om möjligt med uppdelning på typer). Typ och grad av sprickfyllnad kan vara svår att förutse. Eftersom emellertid endast en mer omfattande lermineralisering vållar problem vid tätningsarbetet är omfattningen av denna typ av problem ofta liten. Den största svårigheten är att prognostisera vattenföringen i berggrunden (Helfrich m fl 1979).

Bolmentunneln skiljer sig kraftigt från de övriga tunnlarna när det gäller förutsättningar för en detaljerad bergsprognos. Berg i dagen är mycket sällsynt och prognosen måste bygga på resultaten från geofysiska mätningar. Eftersom förinjektering endast utförs vid viss vattenföring i bergmassan har tätning framför allt utförts i krosszoner. Där dessa har någon omfattning har de normalt kunnat förutses. Undantag utgör krosszoner som skär tunneln under spetsig vinkel. Någon mer differentierad prognos rörande bergets vattenföring har ej varit möjlig på basis av utförda undersökningar (Stanfors m fl 1982).

I Göteborgs-området är blottningsgraden längs de studerade tunnlarna mestadels hög. De geologiska prognoserna, som i flertalet tunnlar omattat "bättre berg", storblockigt berg (B3) och de olika sprick- och krosszonstyperna visar vanligen god överensstämmelse vad avser såväl omfattning som läge för olika sprickmönstertyper. Avsnitt med mer omfattande lermineralisering har också kunnat förutses. Prognoserna rörande bergets vattenföring har givit olika utslag i de olika tunnlarna. Längs Ale-tunneln och Göta älvtunneln har prognoserna stämt väl bl a längs långa avsnitt, som bedömts ha liten vattenföring. Stora variationer i vattenföring har angivits för övriga tunnlar och speciellt för Härryda-tunneln. Tätningsproblemen har också varit störst i denna tunnel. Avvikelser från prognoserna har dels förekommit vid storblockigt berg dels i samband med flacka slag och vid zoner som skär tunnlarna under spetsig vinkel.

I Stockholms-området anger prognosen för de studerade

tunnelbanedelarna ungefärliga lägen för förväntade sprickzoner samt i text bergkvaliteten mellan zonerna. Prognos rörande bergets grad av vattenföring lämnas ej. Överensstämmelsen är i stort god mellan prognos och verkliga förhållanden.

### 7.1.2 Prognos av typfall under tunneldrivningen

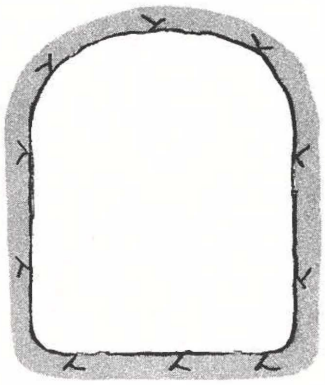
För att undersöka i vad mån bergförhållandena bakom stuff kan förutsägas på basis av bergets utseende i stuffen och längs föregående salvor, upprättades ett enkelt redovisningsunderlag för beskrivning av stuffens utseende (fig. 7.1.2.1). Blankettens tunnelsektion har därvid anpassats till aktuell tunnel. Avsikten med det färdiga underlaget var att undersöka hur väl personer med olika "bergkunskap" kunde karakterisera bergförhållanden i stuffen. Förutom en förkryssning i aktuella rutor önskades en enkel skiss över bergförhållandena i stuffen, med angivande av t ex läge för korsszon, lerslag, läckage etc.

Tunnel:.....

Sektion:.....

Datum:.....

Sign:.....



a. ☐ enstaka småsprickor
b. ☐ genomgående spricka
c. ☐ genomgående sprickor
d. ☐ krosszon
e. ☐ sprickfyllnad
f. ☐ vattenläckage i stuffen

Fig. 7.1.2.1 Redovisningsunderlag för stuffkarakterisering.

Stuffkartering har utförts inom vissa sektioner i samtliga tunnlar utom Slottsskogen-Annedal-Mölndal. Stuffkarteringen har utförts av injekteringspersonal, kontrollanter eller av geologer från BERGAB.

På basis av stuffbeskrivningen och den av BERGAB utförda geologiska karteringen av bergförhållandena i de senaste salvorna fram till stuffen har informationen klassificerats i sprickmönstertyperna "bättre berg", B3 (storblockigt berg) och K1-K5 (krosszoner). Härefter har den klassificerade prognosen jämförts med de geologiska förhållandena efter utsprängning.

Av jämförelsen framgår att bergförhållandena i framförvarande injekteringsskärm oftast väl kan förutsägas om prognosen bygger på förhållandena i stuff och närmast

föregående salvor.

Prognosresultaten är bäst i Göta älv-tunneln med god överensstämmelse i drygt 90 % av skärmarna. Även vid de studerade tunnelbanedelarna ligger prognosutfallet på nära 90 %. För Ale-, Bolmen- och Partilletunnlarna visar i runda tal 80 % av skärmarna förväntade bergförhållanden. Lägst är prognosutfallet i Härryda-tunneln med ca 70 %.

Om hänsyn enbart tas till stuffkarteringen sjunker resultaten i Stockholms-tunnlarna till ungefär 80 %, i Partille-tunneln till ca 60 %, i Ale-tunneln till drygt 50 % och i Härryda-tunneln till under 50 %.

I Bolmen- och Göta älv-tunneln där prognosvärdena är i stort desamma har karteringen utförts av geologer. Anmärkningsvärt högt prognosvärde visar de stuffkarteringar som bergkontrollanterna utfört i Stockholms-tunnlarna.

Den gjorda studien visar att god prognosmöjlighet avseende bergförhållanden i framförvarande injekteringsskärm normalt föreligger. Bättre bergkunskap ger därvid säkrare prognoser. I de tunnlar där kartören visat god bergkunskap beror felaktig prognos på att en ny bergart eller sprickmönstertyp uppträtt inne i berget. Vid en gradvis försämring av bergkvaliteten indikeras denna vanligen genom ökad sprickfrekvens, ändrade sprickegenskaper, mineralomvändlingar m m.

### 7.1.3 Information från sonderings- och injekteringsborrning

Som framgår av kap. 4 har i flera tunnlar utförts sonderingsborrning för bedömning av behov och omfattning av förinjektering. Med hjälp av borrhål från stuffen kan typfallsprognosen kontrolleras och kompletteras. Borrningen ger ingen information om frekvens av enskilda sprickor men kan ge upplysning om övergång till krosszoner och vittrat (mjukt) berg. Med hjälp av vatteninpressningsförsök kan bergkarakteriseringen kompletteras med uppgifter rörande bergets vattenföring.

### 7.1.4 Vattenförlustmätningens värde vid typfallsbestämning

Som underlag för en bedömning av bergets vattengenomsläpplighet och injekterbarhet utförs vanligen vattenförlustmätning. Vattenförluster indikerar var injektering erfordras och bildar underlag för hur tätningsarbetet skall bedrivas. Vid användning av resultat från vattenförlustmätningar för fastläggande av typfall fordras dock viss försiktighet. Vattenförlustmätningar i enstaka sonderingshål ger i flertalet sprickmönstertyper ett för litet statistiskt underlag för bedömning av vattenföringen i bergmassan. Även när borrhål utförs i en skärm runt planerad tunnel ger vattenförlustmätningarna många gånger en missvisande bild av bergets vattenföring. Problemet är att fånga

in de med ökad uppsprickning allt mer komplicerade vattenkanalerna.

Vidare ger vattenförluster i en injekteringsskärm sällan något tillförlitligt underlag för bedömning av cementåtgången. Detta gäller även vid den tidsbegränsade injektering som tillämpats i Stockholms-tunnlarna.

I fig. 7.1.4.1 visas som exempel kurvan över vattenförlust resp. cementåtgång per meter borrhål längs ett avsnitt vid Sundbyberg.

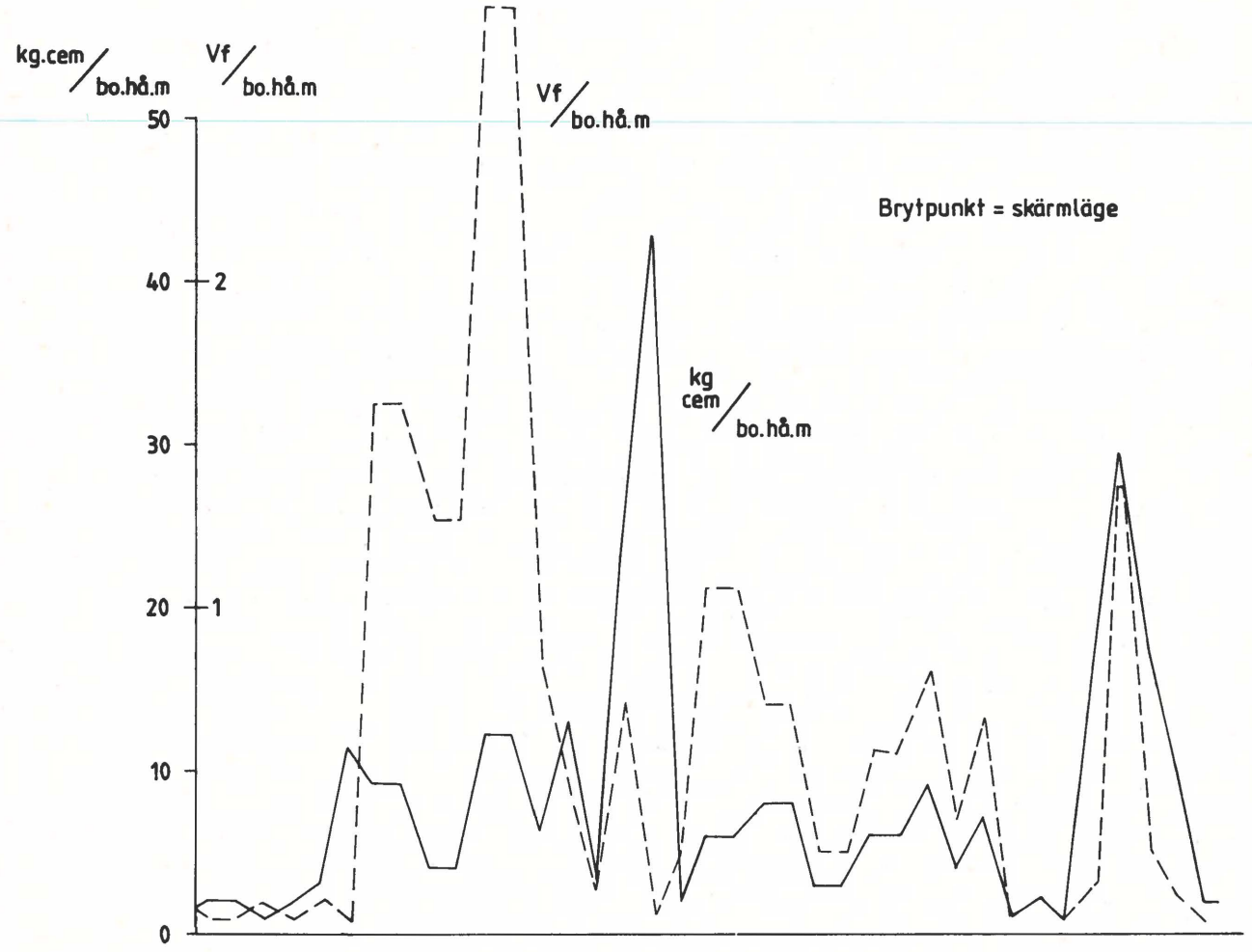



Fig. 7.1.4.1 Enkelspårstunnel vid Sundbyberg. Vattenförluster och cementåtgång per meter borrhål i skärmar med förinjektering

För att undersöka om genomsnittsvärden för ett större antal skärmar ger ett bättre samband mellan vattenförlustvärden och cementåtgång har tabeller upprättats där genomsnittliga vattenförlustvärden beräknats vid olika cementåtgång per meter borrhål. I tabell 7.1.4.1 redovisas beräknade värden för Ale-tunneln, Bolmen-tunneln och Göta älv-tunneln. Motsvarande värden för Transporttunnel Björndammen, Partille-tunneln

och avsnittet vid Sundbyberg redovisas i tabell 7.1.4.2.

Tabell 7.1.4.1 Genomsnittliga vattenförlustvärden (l/min. m. MPa) vid olika antal borrhål och cementåtgång vid förinjektering av enkla skärmar.

| Antal borrhål | Kg cement per meter borrhål | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 - 5 | >5 - 10 | >10 - 15 | >15 - 20 | >20 |
| - 5 | 0.0003 | 0.03 | 0.02 | 0.065 | 0.18 |
| 6 - 8 | - | 0.07 | - | 0 | - |
| 9 - 11 | 0.028 | 0.164 | 0.178 | 0.169 | 0.493 |
| 12 - 14 | - | 0.17 | 0.333 | 0.188 | 0.4 |
| 15 - | - | 0.09 | 0 | 1.357 | 1.068 |

Ale-tunneln. Enkla skärmar: 302 st

| Antal borrhål | Kg cement per meter borrhål | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 - 5 | >5 - 10 | >10 - 15 | >15 - 20 | >20 |
| 6 - 8 | - | - | 0 | 0 | 0.845 |
| 9 - 11 | 0.97 | 0.58 | 0.075 | 0.254 | 0.393 |
| 12 - 14 | - | 0 | 0.233 | - | 0 |
| 15 - | - | 0 | 4.405 | 0 | 0.268 |

Bolmen-tunneln. Enkla skärmar: 78 st

| Antal borrhål | Kg cement per meter borrhål | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 - 5 | >5 - 10 | >10 - 15 | >15 - 20 | >20 |
| 12 - 14 | 0.010 | 0.048 | 0 | 0 | 0.06 |
| 15 - | 0.06 | 0.761 | 0 | 0 | 0 |

Göta älv-tunneln. Enkla skärmar: 411 st

Tabell 7.1.4.2 Genomsnittliga vattenförlustvärden (l/min. m. MPa) vid olika antal borrhål och cementåtgång vid förinjektering av enkla skärmar

| Antal borrhål | Kg cement per meter borrhål | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 - 5 | >5 - 10 | >10 - 15 | >15 - 20 | >20 |
| 6 - 8 | 0.057 | 0.13 | 0.303 | 1.63 | - |
| 9 - 11 | 0.178 | 0.458 | 0.45 | 0.2 | - |
| 12 - 14 | 0.12 | - | - | 0.245 | 1.2 |
| 15 - | 0.06 | 0.198 | 0.24 | 0.1 | 1.13 |

Transporttunnel Björndammen. Enkla skärmar: 79 st

| Antal borrhål | Kg cement per meter borrhål | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 9 - 5 | >5 - 10 | >10 - 15 | >15 - 20 | >20 |
| 6 - 8 | 0.072 | 0.303 | 0.658 | 0.29 | 1.38 |
| 9 - 11 | 0.173 | - | - | - | - |
| 12 - 14 | 0.449 | 1.027 | 0.56 | 1.66 | 2.405 |
| 15 - | 0.368 | 0.411 | 0.663 | 0.48 | 1.35 |

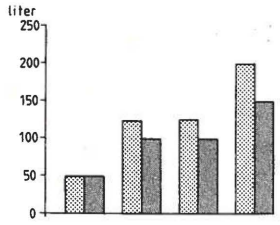
Partille-tunneln. Enkla skärmar: 204 st

| Antal borrhål | Kg cement per meter borrhål | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 - 5 | >5 - 10 | >10 - 15 | >15-20 | >20 |
| 6 - 8 | 0.425 | 0.176 | 0.23 | 0.11 | - |
| 9 - 11 | 0.166 | 0.22 | - | - | - |
| 12 - 14 | 0.11 | 0.49 | 0.77 | - | 1.68 |
| 15 - | 0.209 | 0.974 | 1.173 | 1.12 | - |

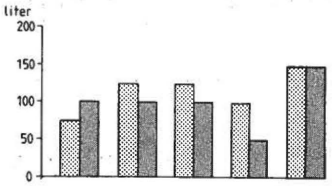
Sundbyberg. Enkla skärmar: 95 st

Som framgår av tabellerna förekommer inte heller vid genomsnittsvärden för vattenförluster från ett stort antal skärmar något samband med cementåtgången. Detta gäller vid förinjektering såväl med som utan tidsbegränsning.

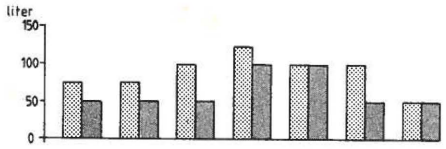
För att undersöka eventuellt samband mellan vattenförluster och mängden lösning vid keminjektering i Partille-tunneln har vattenförlusten för varje hål räknats om till använd geltid vid injekteringen. I fig. 7.1.4.2 och 7.1.4.3 lämnas exempel på keminjekterade hål i sprickmönstertyperna B3 respektive K3-K4. Som framgår av figurerna finns en viss följsamhet mellan vattenförluster och motsvarande injekteringsmängder. Även om avvikelserna ofta är små i procent räknat uppgår de ibland i enstaka hål till 100 %. Som underlag för en grov uppskattning av åtgången lösning i en skärm är vattenförlustmätningarna dock användbara.



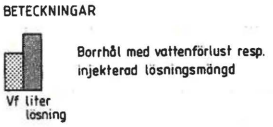

Sektion 6/612

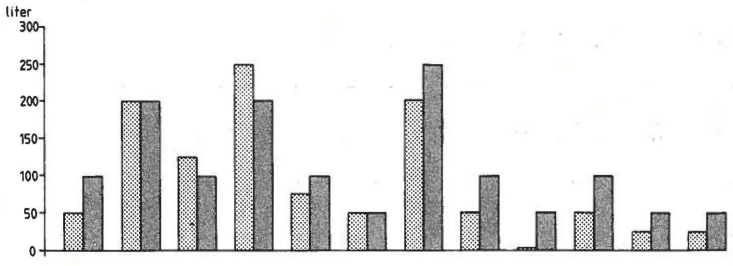



Sektion 6/617



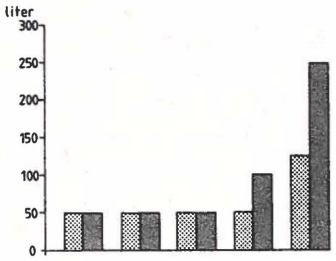

Sektion 6/622



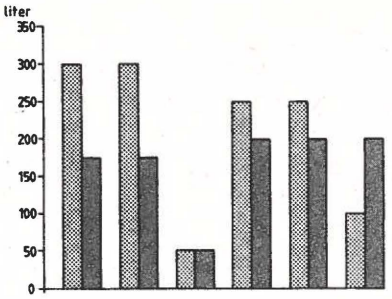




Sektion 6/627

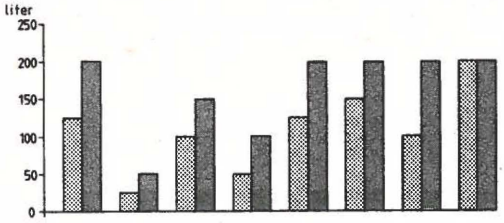
Fig. 7.1.4.2 Partille-tunneln. Samband mellan vattenförluster och liter lösning vid keminjekterade hål i sprickmönstertyp B3



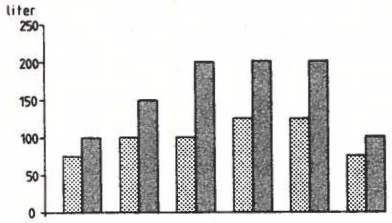

Sektion 6/525




Sektion 6/533




Sektion 6/536




Sektion 6/541

Beteckningar - se fig. 7.1.4.2

Fig. 7.1.4.3 Partille-tunneln. Samband mellan vattenförluster och liter lösning vid keminjekterade hål i sprickmönstertyp K3-K4

# 8 TÄTNINGSMETODER OCH RESULTAT

## 8.1 Inledning

Som bakgrund till synpunkter på lämpligt tätningsutförande vid olika typfall, skall redogöras för de tätningsresultat som, med delvis olika metoder, uppnåtts i de olika tunnlarna. Täthetskravet definierat genom maximal tillåten inläckning har därvid jämförts med uppmätt inläckning. Vidare har studerats i vilken omfattning efterinjektering har erfordrats för de uppnådda tätningsresultaten.

## 8.2 Tätningsresultat efter utförd för- och efterinjektering.

### Ale-tunneln

I Ale-tunneln har uppmätta läckvattenmängder inte vid något tillfälle överskridit maximalt tillåtna 20 lit/min, km. Inläckningen i färdig tunnel uppgår till 12 l/min, km.

Efterinjektering har utförts i 23 % av delsektionerna. I hälften av dessa har vid förinjekteringen endast utförts sonderingshål. Detta innebär att ungefär 25 % av delsektionerna med endast sonderingshål kompletterats med efterinjektering.

### Bolmen-tunneln

I Bolmen-tunneln är det svårt att värdera effektiviteten i utförd tätning, eftersom förinjekteringen endast utförts vid viss vattenföring i sonderingshål. För en utvärdering fordras att inläckningen även på ej injekterade sträckor är känd.

### Göta älv-tunneln

Göta älv-tunneln har den maximalt tillåtna inläckningen 2 l/min, 100 m i stort kunnat hållas för tunneln. På några korta delsträckor har inläckningen dock under hela drivningen varit för stor. För att undvika skadliga grundvattensänkningar har på de känsliga sträckorna ordnats med permanent infiltration. Utförd efterinjektering inom dessa avsnitt har endast till viss del reducerat inläckningen.

Efterinjektering har utförts i 22 % av delsektionerna. Förinjekteringen har i alla skärmar utförts som fullfrontsinjektering.

### Härryda-tunneln

Flera av de studerade sträckorna på Härryda-tunneln har under byggnadstiden haft betydligt större inläckning än de 20 l/min km, som var den maximalt tillåtna inläckningen för tunneln som helhet. Slutlig inläckning överstiger också klart den maximalt tillåtna.

Efterinjektering har utförts i 51 % av delsektionerna. I 60 % av de efterinjekterade sektionerna hade endast utförts botteninjektering.

Partille-tunneln

För hela tunneln har efter utsprängning uppmätts en inläckning på 23 l/min km mot maximalt tillåtna 20 l/min km.

Efterinjektering har utförts i 27 % av delsektionerna. Av dessa är 18 % skärmar där endast botteninjektering utförts.

Slottsskogen-Annedal-Mölndal

Tunneln uppvisar längs större delen av sträckan en inläckning som är klart lägre än maximalt tillåtna 20 l/min km.

Efterinjektering har utförts i 28 % av delsektionerna. Av dessa är 8 % skärmar där enbart botteninjektering utförts.

Vreten-Sundbyberg-Rissne

Täthetskraven på de olika delsträckorna varierar mellan 3 och 10 l/min 100 m. Med hjälp av efterinjekteting har uppmätta läckvattenmängder med undantag för några avsnitt nedbringats under de maximalt tillåtna läckvärdena på de olika sträckorna.

Inom den studerade sträckan vid Vreten har 16 % av delsektionerna efterinjekterats. Vid Sundbyberg har efterinjektering utförts i 31 % av delsektionerna och vid Rissne i 75 % av delsektionerna.

## 8.3 Berggrundsförhållanden - tätningsmetod - tätningsresultat

I avsnitt 8.2 redogjordes för vilka andelar av delsektionerna som efterinjekterats. Insatsens storlek varierar dock kraftigt, från efterinjektering i några få hål till systematisk efterinjektering, som även ställvis omfattat tunnelbotten. Vid den följande värderingen av använda tätningsmetoder har även tagits hänsyn till efterinjekteringens omfattning.

I tunnlarna Ale, Härryda, Partille och Slottsskogen har grundfilosofin varit att endast utföra botteninjektering där bergets vattenföring är liten och att inom övriga delar utföra fullfrontsinjektering. Längs Ale-tunneln har insatsen på längre sträckor reducerats till enbart två sonderingshål.

Vid bra bergförhållanden fungerar uppenbarligen denna metod även vid höga täthetskrav. Andelen efterinjekterade avsnitt är ca 25 % såväl inom gruppen samtliga delsektioner som inom gruppen delsektioner där endast injekterade sonderingshål utförts. Andelen

sektioner med sprickmönstertyperna A, B1 och B2 uppgår till nära 73 %, vilket är ett högre värde än för övriga tunnlar. Som framgår av kap.5 och 6 har tätningen av dessa sprickmönstertyper fungerat tillfredsställande i samtliga tunnlar.

Efterinjekteringen i Ale-tunneln har till helt övervägande del utgjorts av lösningsinjektering. Sammanlagd borrlängd vid efterinjektering utgör 15 % av sammanlagd borrlängd vid förinjektering. Inom de efterinjekterade sektionerna utgör efterinjekterad borrlängd 55 % av förinjekterad borrlängd.

I tunneln Slottsskogen-Annedal-Mölndal har likaledes ett gott tätningsresultat erhållits trots att sprickmönstertyperna A, B1 och B2 endast svarar för 52 % av delsektionerna. Botteninjektering har tillämpats restriktivt. Andelen efterinjekterade skärmar där endast botteninjektering utförts är också mycket låg. Med tanke på att tunneln längs långa sträckor går under sättningskänsliga områden är inte andelen efterinjekterade skärmar hög i förhållande till övriga tunnlar.

Efterinjekteringen har utförts med hjälp av cement. Sammanlagd borrlängd vid efterinjektering utgör 7 % av sammanlagd borrlängd vid förinjektering och 21 % av förinjekterad borrlängd inom efterinjekterade sektioner. Cementåtgången vid efterinjektering är endast 10 % av den vid förinjektering. Motsvarande siffra inom de efterinjekterade sektionerna är 25 %.

I Partille-tunneln märks ökade tätningsproblem på grund av bergförhållandena. Sprickmönstertyperna A, B1 och B2 svarar här för endast ca 23 % medan B3 (storblockigt berg) ensam svarar för nära 25 %. Botteninjektering har även i denna tunnel använts restriktivt och mindre än en femtedel av skärmarna är efterinjekterade. Trots fullfrontsinjektering och ungefär samma efterinjekteringsinsats som i Slottsskogen-Annedal-Mölndal överstiger inläckningen något det maximalt tillåtna.

Efterinjektering har utförts med såväl cement som lösningar. Borrlängd vid efterinjektering utgör 9 % av sammanlagd borrlängd vid förinjektering och 26 % av förinjekterad borrlängd inom efterinjekterade sektioner.

Cementåtgången vid efterinjektering är endast 5 % av åtgången vid förinjektering. Motsvarande siffra inom de efterinjekterade sektionerna är 10 %.

Mängden lösning vid efterinjektering är 28 % av mängden vid förinjektering och 62 % av mängden vid förinjektering inom de efterinjekterade sektionerna.

Härryda-tunneln uppvisar betydligt sämre tätningsresultat än övriga tunnlar. Efterinjekteringsinsatsen är hög jämfört med övriga tunnlar trots att sprick-

mönstertyperna A, B1 och B2 svarar för nära 59 % av delsektionerna. En orsak till det dåliga tätningsresultatet är att botteninjektering utförts inte bara i det bättre berget utan, som påpekades i kap.5, i anmärkningsvärt hög grad även i krosszoner. I 60 % av de efterinjekterade sektionerna har också endast utförts botteninjektering vid förinjekteringen.

Den stora efterinjekteringsinsatsen framträder också tydligt i förbrukade mängder. Efterinjekteringen har till helt dominerande del utförts med hjälp av cement.

Sammanlagd borrlängd vid efterinjektering är 77 % av sammanlagd borrlängd vid förinjektering. Inom de efterinjekterade sektionerna utgör efterinjekterad borrlängd 135 % av förinjekterad borrlängd.

Cementåtgången vid efterinjektering är lika stor som totala cementåtgången vid förinjektering. Inom de efterinjekterade sektionerna är motsvarande siffra 132 %. Dessutom har relativt omfattande efterinjektering utförts som lösningsinjektering.

Det är uppenbart att förinjekteringen inte utförts med tillräcklig hänsyn till de faktiska bergförhållandena. Botteninjektering kan t ex endast utföras i bättre berg om inte tätningsresultatet skall bli lidande.

I Göta älv-tunneln och tunnelbaneavsnitten vid Vreten, Sundbyberg och Rissne har utförts fullfrontsinjektering med varierande håltäthet på olika sträckor. Vid ungefär samma täthetskrav i tunnlarna har hålavstånden i skärmarna varit ungefär desamma. Täthetskraven har med undantag för några avsnitt uppfyllts i tunnlarna.

Där täthetskraven trots omfattande efterinjektering inte kunnat uppfyllas och grundvattenmätningar antyder risk för sättningar, har åtgärder vidtagits för permanent infiltration av vatten i berget.

Andelen efterinjekterade skärmar är i genomsnitt något högre i Stockholmstunnlarna, men med undantag för Ale-tunneln lägre än i spillvattentunnlarna i Göteborg. Vid Sundbyberg svarar sprickmönstertyperna A, B1 och B2 för mer än 68 % av delsektionerna medan motsvarande siffra vid Vreten är ca 57 %. I Göta älv-tunneln är siffran nära 62 %.

Det bör i sammanhanget observeras att de stränga täthetskraven på 2 - 3 l/min 100 m i praktiken innebär att droppläckage måste åtgärdas genom efterinjektering.

Inom de 22 % av delsektionerna, som efterinjekterats i Göta älv-tunneln, är efterinjekteringsinsatsen hög. Sammanlagd borrlängd vid efterinjektering är här nästan dubbelt så stor som borrlängden vid förinjektering. Utslaget på hela tunneln blir siffran 48 %. Injekteringen har utförts med såväl cement som kemikalier.

Cementåtgången vid efterinjektering är 53 % av sammanlagd cementåtgång vid förinjektering i tunneln. Vid en jämförelse med endast de efterinjekterade avsnitten blir motsvarande siffra 146 %. Mängden lösningsinjektering är ungefär lika stor vid för- och efterinjektering inom de efterinjekterade avsnitten. Mängden lösningsinjektering vid efterinjektering är 39 % av använd mängd vid förinjektering.

Trots den höga efterinjekteringsinsatsen finns några avsnitt där inläckningen inte kunnat nedbringas till acceptabel nivå.

Inom de studerade tunnelbaneavsnitten varierar efterinjekteringsinsatsen. Vid Vreten är insatsen enligt erhållna uppgifter mycket låg. Sundbybergsavsnittets sammanlagda borrlängd vid efterinjektering utgör 16 % av borrlängden vid förinjektering. Inom de efterinjekterade avsnitten är efterinjekterad borrlängd 39 % av borrlängden vid förinjektering.

Cementåtgången vid efterinjektering är 10 % av åtgången vid förinjektering. Motsvarande siffra inom de efterinjekterade sektionerna är 19 %. Relativt omfattande efterinjektering med kem. har förekommit.

Vid Rissne har omfattande efterinjekteringsinsatser förekommit. Sammanlagd borrlängd vid efterinjektering är 123 % av borrlängden vid förinjektering. Siffran för enbart de efterinjekterade sektionerna är 130 %.

Cementåtgången vid efterinjektering utgör 85 % av förinjekterad mängd. Motsvarande siffra för enbart de efterinjekterade sektionerna är 89 %. Utöver den omfattande efterinjekteringen med cement har en stor insats gjorts med efterinjektering av kem. Trots insatserna överstiger vatteninläckningen den maximalt tillåtna. Permanent infiltration har satts in för att bevara grundvattenbalansen.

Fintätning vid ökade tunnelareor innebär problem när bergkvaliteten försämras. Vid Rissne är berget storblockigt-blockigt medan det inom de otillräckligt tätade avsnitten i Göte älv-tunneln är blockigt-småblockigt. För ett bättre tätningsresultat fordras uppenbarligen en effektivare förinjektering.

## 8.4 Vattenförlustmätning - val av injekteringsmedel

För bedömning av bergets vattengenomsläpplighet och injekterbarhet har i flertalet tunnlar utförts vattenförlustmätningar i borrhålen. Med hjälp av vattenförlusterna bestäms om injektering behövs. De ger också ett underlag för bedömning av hur injekteringsarbetet bör bedrivas.

Injektering med cement har erfarenhetsmässigt ansetts verksamt vid vattenförluster $\geq$ 1 l/min m MPa. Vid lägre värden anses endast cement-bentonitsuspensioner och lösningsinjektering (kemisk injektering) vara verksamma (Andréasson m fl 1980). I fig.8.4.1 redovisas injekterad mängd cement per borrhålsmeter vid förinjektering i enstaka borrhål där vattenförlusten varit mindre än 1 l/min m MPa.

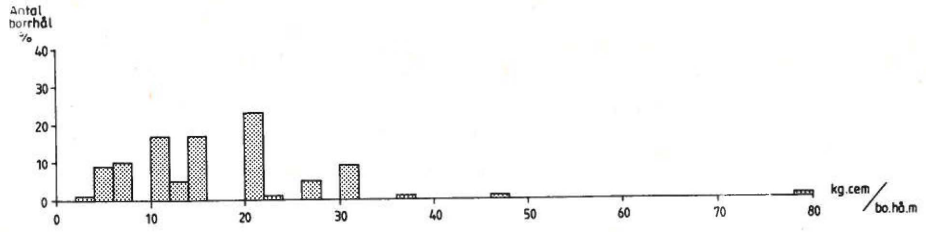
I Ale-tunneln har injekteringen utförts med snabbcement med tillsats av i genomsnitt 3 % bentonit. Sundbybergs-avsnittet är injekterat med injekteringscement med tillsats av 3 % bentonit. Som framgår av diagrammen för Ale-tunneln är cementåtgången för merparten av hålen större än 10 kg per meter borrhål. Detta gäller såväl vid sprickmönstertyp B2 som vid krosszonstyp K3.

I diagrammen över Sundbybergs-avsnittet har huvuddelen av borrhålen en cementåtgång, som är mindre än 6 kg per meter borrhål.I enstaka borrhål förekommer i båda tunnlarna stor cementåtgång per meter borrhål.

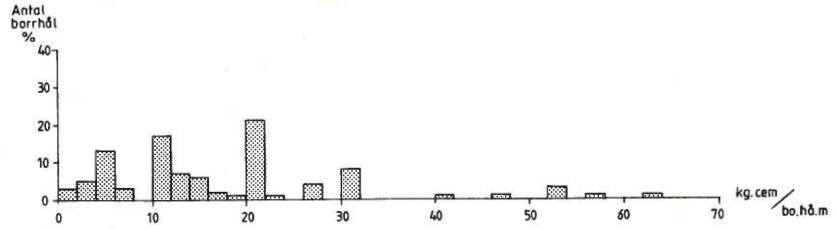
Vid jämförelse med fig.6.4.1 och 6.4.8 framgår att cementåtgången per meter borrhål vid vattenförluster mindre än 1 l/min m MPa i stort visar samma fördelning som vid genomsnittsvärdena för skärmar i de olika borrhålsklasserna. Detta innebär att de enskilda vattenförlustvärdena dåligt förutsäger i vilken grad berget är injekteringsbart med cementsuspensioner.

Om vattenförlustmätningar skall kunna ge tillförlitlig information om bergets injekterbarhet med cementsuspension fordras att vattenförlusterna relateras till typfall (i första hand sprickmönstertyp) med uppskattade frekvenser av vattenförande spricktyper.

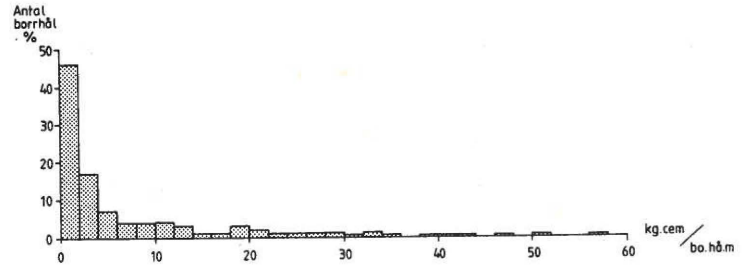
I uppkrossat berg med hög sprickfrekvens kan cementinjektering i borrhål med vattenförluster större än 1 l/min m MPa inte bara vara praktiskt taget verkningslös,utan även genom sin blockering av sprickorna nära borrhålen, förhindra spridningen av lösningar injekterade i andra hål.



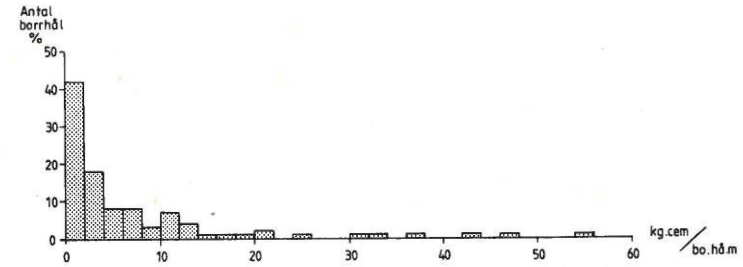

Ale-tunneln. Sprickmönstertyp B2




Ale-tunneln. Sprickmönstertyp K3




Sundbyberg. Sprickmönstertyp A




Sundbyberg. Sprickmönstertyp K3

Fig.8.4.1 Ale-tunneln och Sundbybergs-avsnittet. Enkla skärmar. Cement per meter borrhål vid förinjektering i borrhål där vattenförlusten varit mindre än 1 l/min m MPa.

## 8.5 Injekteringsmedel

I projektet har inte gjorts något försök att utvärdera tätningsresultaten i de olika tunnlarna med hänsyn till injekteringsmedel. Vid cementinjektering har injekteringscement och snabbcement använts i Stockholmstunnlarna och i Göta älv-tunneln. I övriga tunnlar har injekteringen utförts med snabbcement. Som tillsats förekommer någon eller några procents inblandning av bentonit.

Eftersom skillnaderna i partikelstorlek är relativt små mellan olika cementsorter, påverkar valet av cementsort endast i mindre omfattning suspensionens penetration i sprickorna (Carlsson & Olsson 1981).

Lösningsinjektering har utförts i viss omfattning i några av tunnlarna. I huvudsak har denna utgjorts av silikatinjektering. Vid passagen under Göta älv fungerade inte fintätningen med silikatbaserade medel. Injekteringen utfördes därför istället med "TERRASEAL" av typ VP 19-2 med mycket gott resultat i det finsprickiga berget. Medlets egenskaper har beskrivits av Sandell (1980), som påpekar risk för urlakning på sikt. Tecken på urlakning har också iakttagits i Göta älv-tunneln med risk för framtida ökning av inläckning i tunneln.

## 8.6 Tid mellan avslutad injektering och salvborrning

För Göteborgs-tunnlarna gäller enligt arbetsbeskrivningarna att borrning för salva i förinjekterat berg får påbörjas tidigast 5 timmar efter det injekteringsarbetet avslutats. I Stockholms-tunnlarna medgives under vissa förutsättningar salvborrning efter 2 timmar.

En förkortad tid bedöms inte få några negativa konsekvenser på tätningsresultatet så länge sprickor och injekterade mängder är små. I krosszoner med större sprickvidder delvis fyllda med lera finns däremot risk för punktering av ofullständigt härdat injekteringsbruk.

## 8.7 Sprängning - skadezon

Vid sprängning i förinjekterat berg är det viktigt att sprängskador inte äventyrar uppnått tätningsresultat. Någon uppföljning och utvärdering av eventuella sprängskador på utförd tätning i de olika tunnlarna har ej utförts. Nedan kommenteras endast kortfattat troliga sprängskador med de sprängningsutföranden, som angivits i arbetsbeskrivningarna för de olika tunnlarna. Som underlag för bedömningen ligger en utvärdering av inträffad skadezon vid olika sprängningsutföranden och bergförhållanden (Sjöberg m fl 1979).

I Göta älv-tunneln och tunnelbaneavsnitten i Stockholm är laddningskoncentrationen i strossraden innanför konturhålen i väggar och tak reducerad så att skadezonen från dessa ej når utanför skadezonen för konturhålen. Detta innebär en skadezon utanför teoretisk kontur på ca 0.3 m. Vid utsprängning av botten är beräknad skadezon drygt 1 m.

Spillvattentunnlarna i Göteborg har beroende på bergförhållanden beräknad skadezon i väggar och tak på 0.3-0.8 m. I tunnelbotten är teoretisk skadezon drygt 1 m.

I Bolmen-tunneln varierar beräknad skadezon i väggar och tak mellan 0.3 och ca 1 m. Teoretisk skadezon i botten varierar mellan 1.7 och 2.1 m.

De redovisade måtten för skadezon innebär att utförd tätning i Bolmen-tunneln och spillvattentunnlarna i Göteborg kan ha skadats av utförd sprängning.

# 9 UTVECKLING AV EFFEKTIVARE TÄTNINGSMETODER VID FÖRINJEKTERING

## 9.1 Inledning

Av arbetsbeskrivningarna för tätningsutförande i de olika tunnlarna framgår att dessa är generellt hållna och inte i något fall anger hur tätningen skall utföras vid olika uppsprickning och därtill hörande vattenföring i bergmassan. Utförandet kopplas i bästa fall till vattenförlustmätningar och uppsatta täthetskrav. Ett genomarbetat system för tätningsarbetet grundat på bl a dessa parametrar utgör det som Stockholms Gatukontor anger i sina bergtekniska anvisningar vid utsprängning av tunnlar och bergrum med hänsyn till främst bergtäckning och täthetskrav (1980). Systemet syftar bl a till att "täta lagom" med hänsyn till uppsatta täthetskrav. Som underlag för bedömning av typ och omfattning av tätningsåtgärder jämförs beräknad inläckning utan tätning med maximalt tillåten inläckning. I övriga studerade tunnlar har som framgår av arbetsbeskrivningarna typ och omfattning av tätningsåtgärder baserat på enkla övervägande på basis av uppmätt eller uppskattad vattenföring i utförda sonderingshål.

Det har i tidigare kapitel visats att det under vissa bergförhållanden förelegat tätningsproblem i tunnlarna oavsett vilken tätningsmetod som använts. Inom flertalet av dessa avsnitt har efterinjekteringen haft stor omfattning. Eftersom det vanligen är svårt att uppnå ett tillfredsställande resultat vid efterinjektering, även där denna är mycket omfattande, måste det huvudsakliga tätningsresultatet uppnås med hjälp av förinjektering. För detta fordras förbättrade tätningsmetoder speciellt inom de bergförhållanden, som främst visat sig innebära tätningsproblem.

Morfeldt (1977) påtalar också behovet av en instruktionsbok i geo-anpassad bergtätning. Praktiska försök som komplement till i det aktuella och andra forskningsprojekt inom ämnesområdet framlagda ideer, borde därvid kunna utgöra ett lämpligt underlag för framtagandet av en handbok i bergtätning.

## 9.2 Tätningsutföranden anpassade till täthetskrav och bergförhållanden

Genom att definiera tätningsförutsättningar vid olika bergförhållanden bör effektivare tätning med hjälp av förinjektering kunna utföras. Härigenom bör omfattningen av erforderlig efterinjektering väsentligt kunna nedbringas. I det följande skall lämnas förslag till tätningsåtgärder såväl allmänt som vid olika typfall ur berggrundsynpunkt. Förslagen bör kunna arbetas in i arbetsbeskrivningar avseende förinjektering i berg. De till bergförhållandena anpassade förslagen till injekteringsutföranden bör sedan testas genom pilotförsök i lämplig tunnel.

I kap.6 redovisades i tabell 6.6.1.1 förslag till indelning av bergförhållandena i grundläggande typfall ur tätningssynpunkt. Till grund för indelningen ligger parametrarna sprickmönstertyp, sprickfyllnad och vattenföring. I varje typfall beskrivs en bergsituation, som för ett gott tätningsresultat med hänsyn till täthetskrav fordrar ett specifikt utförande.

Det är därvid viktigt att fastställa vilket typfall ur vattenföringssynpunkt som föreligger. Avgörande för vattenföringen är inte bara sprickmönstertyp med sprickfrekvens och sprickfyllnad. Av största betydelse är också den vattenförande sprickvidden i olika sprickor. En spricka med t ex vidden 1 mm kan transportera 1 000 gånger mer vatten per tidsenhet än en spricka med vidden 0.1 mm (Carlsson-Olsson, 1981).

För bedömning av vilka av de i typfallen ingående spricktyperna som är vattenförande fordras en tektonisk analys mot bakgrund av förekommande spänningstillstånd i berget.

### 9.2.1 Erforderlig tätningsinsats

Stockholms Gatukontors metod att fastlägga injekteringsbehov bör prövas vid andra tunnlar och berggrundsförhållanden. Därvid bör utprovas antalet erforderliga borrhål för vattenförlustmätning vid olika tunnelareor och berggrundsförhållanden. I Ale-tunneln har t ex, som ovan redovisats, på långa sträckor utförts endast 2 sonderingshål. Fler borrhål torde erfordras ju mer anisotropa bergförhållandena är.

### 9.2.2 Skärmlängd

I samband med sonderingsborrningen bör även lämplig skärmlängd bestämmas. Vid bra bergförhållanden med små variationer i sprickvidd (låg grad av anisotropi) kan långa skärmar utföras utan att tätningsresultatet menligt påverkas (typfall I i tabell 6.6.1.1). Vid ökad sprickighet i bergmassan och därmed vanligen ökad anisotropi bör skärmarnas längd minskas. Vid långa borrhål kommer annars varje borrhål att korsa ett stort antal sprickor med varierande vidd. Detta medför att de finare sprickorna blir ofullständigt tätade.

När kraftigt vattenförande sprickor påträffas vid borrningen bör skärmlängden bestämmas av dessa Först efter tätning av sprickorna förlängs skärmen eller utförs ny skärm efter ytterligare tunneldrivning.

### 9.2.3 Hålens antal

Hålens antal bör bestämmas med hänsyn till typfall och täthetskrav. Tillfredsställande tätningsresultat uppnås normalt i typfall I även vid relativt gles hålsättning. Vid ökad anisotropi, främst typfall II-IV, fordras tät hålsättning för att kunna uppnå ett tillfredsställande resultat. Stora skillnader i vatten-

föring kan förekomma även mellan närliggande hål. Om närliggande hål har förbindelse vid vattenförlustmätning, borras inget mellanliggande hål.

Vid typfall IV bör övervägas att utföra tätningsarbetet i två steg. Först borras en skärm med relativt gles hålsättning. Injektering i första steget syftar till att runt och nära tunneln blockera sprickorna med stora vattenflöden. Härefter uppborras ny hålomgång med tätare hålsättning. I dessa hål utförs kompletterande tätning av de finare sprickorna.

Vid typfall V och måttliga täthetskrav kan tätningsarbetet utföras i enlighet med steg 1 vid typfall IV.

Vid typfall VI bestämms hålantal på basis av sambandsprovning och täthetskrav.

### 9.2.4 Hålens riktning

Med hänsyn till att sprickkanaler och vattenföring vanligen uppträder mer eller mindre anisotropt i bergmassan bör borrhålen även i typfall I utföras så att de tillsammans bildar en kon runt tunneln. Vidare måste vid ökade areor kompletterande borrhål utföras även innanför teoretisk tunnelsektion.

Vid ökad uppsprickning och anisotropi uppvisar injekteringsmedlen mycket ojämn spridning längs olika sprickor. Där inträngningen varit dålig är risken stor att skadezonen från sprängningen når utanför den uppbyggda "tätmanteln". Vid typfallen II-IV bör därför hålen ges en stickning av mer än $10^{o}$ ut från tunneln.

Typfall VI innebär starkt anisotropa förhållanden, där tätningskrävande sprickor skär tunneln under liten vinkel. Här krävs att skärm och hålriktningar anpassas så att de tillfredsställande skär de vattenförande sprickorna.

### 9.2.5 Injekteringsmedel

Injekteringsmedel bestämmes på basis av vattenförlustmätningar med hänsyn tagen till typfall (eg. sprickmönstertyp) och täthetskrav.

Vid fintätning av berg med hög sprickfrekvens bör lösningsinjektering utföras även vid vattenförluster större än 1 l/min m MPa.

Vid typfall IV och V bör försök med skuminjektering genomföras.

### 9.2.6 Tätningsutförande

Erfarenheter från svårtätade avsnitt i samtliga tunnlar visar att försöken att i en uppborrad skärm klara av att täta både stora och små sprickor ej varit framgångsrika. Den vanligt använda metoden är att in-

jekteringen inleds med ett bruk med hög vattenhalt. Bruket görs efter hand allt tjockare. Detta leder ofta till att när motståndet byggs upp vid injekteringen har bruket för dålig inträngningsförmåga för de finare sprickorna. Metodens nackdelar är vidare att cementåtgången blir stor på grund av att bruket via större sprickor vandrar långt ut i omgivande berg. För ett tillfredsställande tätningsresultat under angivna bergförhållanden fordras som ovan nämnts att tätningsarbetet uppdelas på två steg (jfr 9.2.3).

Tidsbegränsad injektering, som tillämpats i Stockholmstunnlarna, erbjuder arbetstekniska fördelar. Under gynnsamma bergförhållanden, med låg grad av anisotropi vad avser vattenförande sprickor torde inte heller tätningsresultatet bli lidande. I krosszoner med ökade skillnader i vattenföring mellan olika sprickor, torde metoden dock vara otillräcklig. Om tätningsarbetet delas upp i två steg, bör emellertid tidsbegränsad injektering kunna tillämpas i båda stegen.

Typfall III karakteriseras av en mer eller mindre omfattande vittring och sprickfyllnad med lera. Vattnets kanaler är vanligen mycket komplexa. Där lermineralisering och vittring i krosszoner har endogena orsaker bedöms möjligheten till urspolning av lermaterialet före injektering som mycket liten. Urspolning av sprickmaterial av exogent ursprung torde däremot vara praktiskt möjlig (Morfeldt 1977).

Injekteringsordningen bör bestämmas på basis av vattenförlustmätningarna. Hål med stora förluster injekteras först. Hål med samband injekteras växelvis. Däremot är sällan de geologiska förhållandena sådana att de motiverar den vanligt förekommande injekteringsordningen, att börja med sulhålen och avsluta med hålen i hjässan.

Det är sålunda viktigt att redan modellen för antal borrhål och deras riktning anpassas till bergets egenskaper, som de föreligger i stuffen och som erfarenhet i tidigare skärmar. Med detta underlag görs kompletterande datainsamling vid borrning och vattenförlustmätning för bestämmande av skärmlängd, injekteringsförfarande och injekteringsmedel.

Flerhålsinjekteringens för- och nackdelar bör utredas närmare. Mot en uppenbar tidsvinst står de begränsade möjligheterna till individuell behandling av det enskilda borrhålet. I bättre berg torde detta inte innebära några större nackdelar. Däremot kan metoden i mer svårtätat berg inverka menligt på tätningsresultatet.

### 9.2.7 Sprängning

Med hänsyn till kostnaderna för tätningsarbetet och svårigheterna att lyckas med efterinjektering bör den förinjekterade "manteln" skonas vid sprängningsarbetet. Detta gäller generellt men är speciellt viktigt vid ökad uppsprickning i bergmassan. Den teoretiska

skadezonen vid sprängningen måste därför hållas väl innanför den tätade "manteln". En viktig förutsättning för detta är en noggrann borrning.

# 10 LITTERATURFÖRTECKNING


Abelin, H., Neretnieks, I, 1981 "Migration in a single fracture. Preliminary experiments in Stripa" Stripa project 81-03

Andréasson, L. m fl, 1980 "Provning av injekteringsmedel för fintätning av berg". BFR-rapport R121:1980

Bergman, S.G.A., 1970 "Tunneltätning. Injekteringsmedels inträngning i sand och smala spalter". Byggforskningen Rapport R45:1970

Bergman, S.G.A., Lindman,K. Lundström,L., Söderman ,P. och Ullered,S., 1975 "Tunneltätning mot små läckage" Byggforskningen Rapport R25:1975

Bergman, S.G.A. 1977 "Spänningsmätningar i skandinavisk berggrund - förutsättningar, resultat och tolkning". KBS. Teknisk rapport nr 64

Bergman, S.G.A.& Nord,G. 1982 "Täta tunnlar lagom". BeFo rapport nr 64:1/82

Bergman, S.G.A., 1982 "Service formula for pregrouting based on water loss measurements". BeFo rapport nr 64:1/82

Bruce, N-E., Harrysson G. och Ohlsson,L. 1982 "Injektering. Erfarenheter från tunnelarbetena på Järvabanan, delen Västra Skogen - Rinkeby", Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte 1982

Carlsson,A.& Ohlsson,T. 1976 "Bestämning av berggrundens permeabilitet genom vattenförlustmätning", Vannet i Norden, nr 3 1976

Carlsson,A.& Olsson,T., 1981 "Bergtätning genom injektering är både teknik och geologi", Byggmästaren nr 7 och 8 1981

Franzén,T., 1979 "Täta tunnlar bättre. Seminarium november 1978 om behov av forskning för bättre vattenprognoser och tätningsmetoder", BeFo rapport nr 302:1/79

Helfrich,H. m fl 1979 "Förundersökningars värde och omfattning" BeFo 18, Stiftelsen Bergteknisk Forskning

Lysén,L.& Palmqvist,K 1976 "Tätning av bergtunnlar. Projekteringsmetodik, injektering och förstärkning". Byggforskningen Rapport R4:1976

Morfeldt,C.O. 1977 "Är injektering i berg en svartkonst". BeFo Bergmekanikdag 1977.

Sandell,N-O., 1980 "Nya injekteringsmaterial med stor inträngningsförmåga". BeFo Bergmekanikdag 1980

Sjöberg,C., m fl 1979 "Sprängningsmetod för kontrollerad sprickutbredning och ökad säkerhet under jord". Arbetarskyddsfonden. Projekt nr 77/224

Stanfors,R., Eriksson,L. och Klitten,K., 1982 "Prognostisering av vattenläckage i berg. Geofysiska mätningar för Bolmen-tunneln". Geol.Inst. Lunds Universitet

Stockholms Gatukontor "Bergtekniska anvisningar vid utsprängning av tunnlar och bergrum med hänsyn till främst bergtäckning och täthetskrav", BeFo Bergmekanikdag 1980

Wedel,Per O. 1978 "Grundvattenbildning, samspelet jordlager och berggrund"
Chalmers Tekniska Högskola. Meddelande nr 22.