



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R4:1976

Tätning av bergtunnlar

**Projekteringsmetodik,
injektering och förstärkning**

**Lars Lysén
Kai Palmquist**

Byggforskningen

Rapport R4:1976

TÄTNING AV BERGTUNNAR

Projekteringsmetodik, injektering och förstärkning

Lars Lysén & Kai Palmquist



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740140-5
från Statens Råd för byggnadsforskning till Göteborgs
vatten- och avloppsverk

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2526-5

LiberTryck Stockholm 1976

Förord

BFR:s programgrupp för geohydrologisk forskning tog 1973 upp frågan om fortsatt utveckling av tätning i bergtunnlar. En särskild arbetsgrupp bildades för framtagna forskningsprogram avseende kriterier på täthet samt injekteringsmedel och injekteringsmetoder.

Inom avsnittet erfarenhetsåterföring föreslog undertecknad utvärdering av erfarenheterna från ett av Göteborgs va-verks tunnelarbeten under centrala delar av staden, där målsättningen från början var, att göra en så tät tunnel som möjligt till rimlig kostnad. Kostnaderna för projektets genomförande delas mellan Statens Råd för Byggnadsforskning och Göteborgs va-verk.

Projekteringen av va-verkets tunnlar bedrivs i egen regi med anlåtande av utomstående konsulter enbart för de byggnadsgeologiska undersökningarna. Projekterings- och uppföljningsmetodik har successivt utvecklats i samarbete mellan va-verket och Bergab-Berggeologiska undersökningar AB, Göteborg.

Inom va-verket finns en särskild organisation för byggledning med erfarna bergkontrollanter som bl a övervakar och leder injekterings- och förstärkningsinsatserna samt svarar för uppföljning av grundvatten- och sättningmätningar samt besiktningar.

De redovisade erfarenheterna är baserade på det underlag som rutinmässigt framtages för tunnelprojekten. Någon särskild uppläggning av dokumentationen med hänsyn till framtida användning som forskningsmaterial har ej gjorts. Materialet är begränsat till såväl omfattning som typ av berggrundsförhållanden. Alltför generella slutsatser kan ej dras, men va-verket anser det likväl värdefullt att redovisa de resultat som erhållits.

Medarbetare i utredningen har varit civilingenjör Jan Adamsson, Göteborgs va-verk samt fil lic Kai Palmquist, Bergab.

Göteborg 1975-05-15

Lars Lysén

INNEHÅLL

1	INLEDNING	6
1.1	<u>Bakgrund</u>	6
1.2	<u>Målsättning</u>	7
2	PROJEKTERING	8
2.1	<u>Allmänt</u>	8
2.2	<u>Tunnelkartering</u>	12
2.3	<u>Beskrivning av undersökningsområdet</u>	12
2.3.1	Berggrund	13
2.3.2	Tektonik	14
2.3.3	Leromvandling	15
2.4	<u>Jämförelse mellan projekteringsunderlag och karteringsresultat</u>	16
2.4.1	Berggrund	17
2.4.2	Tektonik	17
2.4.3	Leromvandling	20
2.4.4	Slutsatser	21
3	DRIVNING	22
4	INJEKTERING	24
4.1	<u>Förinjektering</u>	25
4.1.1	Kvantiteter och kostnader	25
4.1.2	Jämförelse mellan cementåtgång och geologisk struktur	26
4.1.3	Slutsatser	32
4.2	<u>Efterinjektering</u>	33
4.2.1	Kvantiteter och kostnader	33
4.2.2	Jämförelse mellan cementåtgång och geologisk struktur	35
4.2.3	Slutsatser	38
5	SPRUTBETONG	40
5.1	<u>Kvantiteter och kostnader</u>	40
5.2	<u>Jämförelse mellan förstärkningsbehov och geologisk struktur</u>	40

5.3	Slutsatser	43
6	ÖVERBERG	44
7	GRUNDVATTENOBSERVATIONER OCH SÄTTNINGSMÄTNINGAR SAMT LÄCKVATTENMÄTNINGAR . . .	45
8	BESIKTNINGAR OCH SKADOR	48
9	KOSTNADSBEDÖMNING	49
10	LITTERATUR	51

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Lösningen av avloppsfrågorna inom göteborgsregionen är baserad på utbyggnad av regionalt bergtunnelnät för anslutning av regionens avlopp till ett centralt reningsverk, Ryaverket. Tunnelsystemet omfattar vid full utbyggnad ca 125 km tunnlar med arean 5-40 m². Utbyggnaden av tunnelsystemet påbörjades 1968 och har sedan kontinuerligt pågått med ca 10 km om året. För närvarande är ca hälften av tunnelnätet utbyggt. Utöver det regionala tunnelsystemet finns inom Göteborgs lokala nät ytterligare ca 50 km va-tunnlar inkopplade.

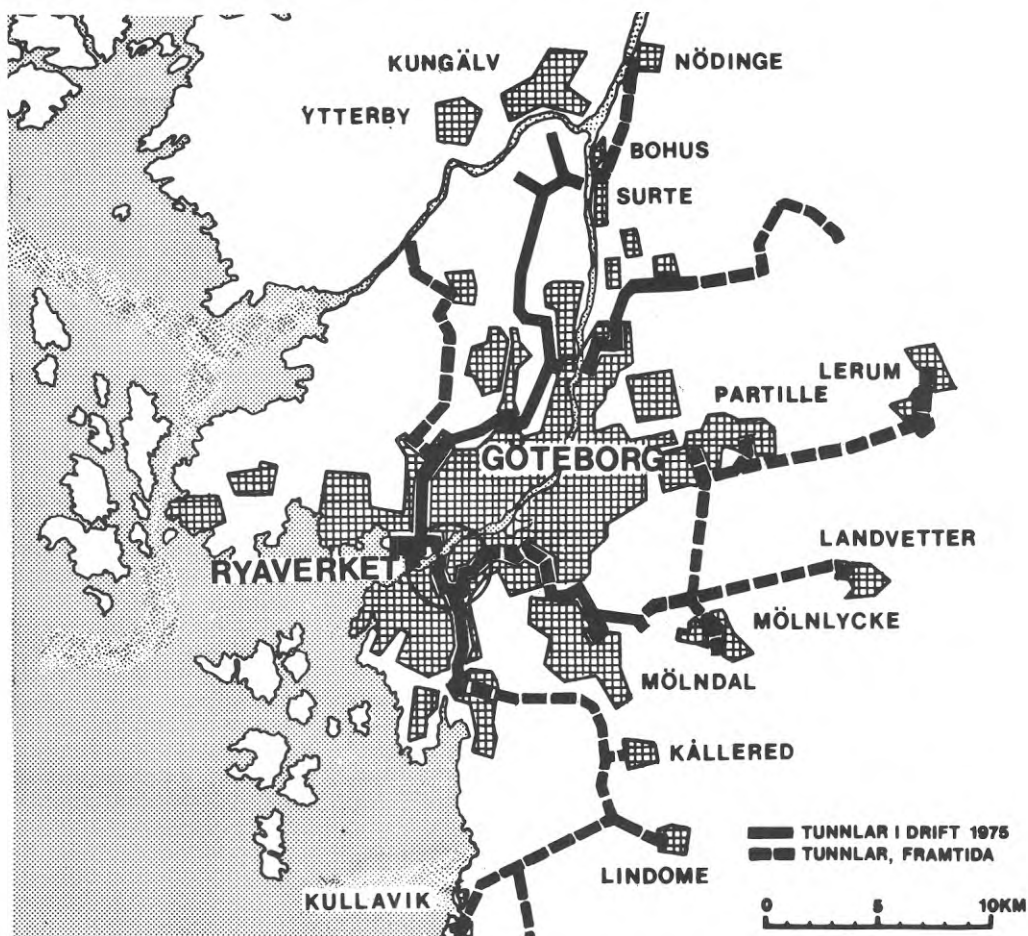


Fig. 1:1 Regionalt bergtunnelnät, ○ undersökningsområde

Under det inledande utbyggnadsskedet beaktades ej till fullo risken för tunnelsystemets inverkan på grundvattenförhållandena. Man kunde inom vissa delar av Hisingen relativt kort tid efter tunneldrivningen konstatera en sjunkande grundvattennivå i anslutning till svaghetszoner i berget. Vidtagna åtgärder som omfattade betongsprutning och efterinjektering med cement lyckades i en del fall ej återställa den ursprungliga grundvattennivån med påföljd att betydande sättningar inträffat inom vissa jordtäckta områden. Vid påbörjande av en etapp genom för grundvattensänkning synnerligen känsligt belägen bebyggelse inom centrala delar av Göteborg vidtogs

därför särskilda åtgärder för att ge tunnelsystemet så hög teknisk standard som möjligt för att förhindra grundvattensänkning.



Fig. 1 Va-tunnlar inom undersökningsområdet

Vid upphandlingen av tunneletappen våren 1972 förutsattes att hela tunnelnätet som omfattade ca 8 km bergtunnlar med arean 5-13 m² skulle förinjekteras med cement. Med hänsyn till svårigheterna att upptäcka och i efterhand täta eventuella läckage i tunnelbotten beslöts att botteninjektering skulle tillämpas generellt. Injekteringen utökas till att omfatta tunnelsektionen i sin helhet vid svaghetspartier i berggrunden. Upphandlingen föregicks av omfattande byggnadsgeologiska undersökningar samt utläggning av observationsnät för grundvattenobservationer och sättningsmätningar.

1.2 Målsättning

Projektets målsättning är att utvärdera erfarenheterna från en tunneletapp där projektering och byggande inriktats på att med förebyggande åtgärder förhindra grundvattensänkning.

Utvärderingen omfattar undersökning av tillförlitligheten i tillämpad projekteringsmetodik samt injekterings- och förstärkningsbehovet med hänsyn till de geologiska förhållandena. Dessutom redovisas omfattningen av utförda läckvattenmätningar, grundvattenobservationer och sättningsmätningar.

2 PROJEKTERING

2.1 Allmänt

Projekteringen inleddes med en översiktlig geologisk-tektonisk undersökning. Denna omfattade sammanställning av information från geologiska kartblad, flygbilder, tidigare utredningar, litteratur samt dokumentation av befintliga tunnlar och bergrum inom området. I fält utfördes en översiktlig geologisk-tektonisk kartering kompletterad med seismiska mätningar och sonderingsborrningar inom jordtäckta områden. Undersökningen vilken redovisades såsom en tektonisk översiktskarta där de större stråken med sönderkrossad berggrund lokaliserats bildade sedan underlag för en teknisk-ekonomisk optimal utformning av tunnelnätet med hänsyn till de va-tektoniska förutsättningarna.



Den detaljerade undersökningen utgjordes av noggrann kartering av bergarter och tektoniska element utefter preciserade tunnelsträckningar. Framkomna data analyserades, varefter en teoretisk modell av berggrunden beräknades. De fortsatta undersökningarna i form av seismiska mätningar, jordbergsondering och kärnbörning begränsades till att kontrollera den geologisk-tektoniska modellen.

Den geologisk-tektoniska undersökningen redovisas enligt ett för tunnelprojekt särskilt utformat system på anbuds- och arbetsritning. Ritningen redovisar 500 m tunnel med planbild, profil och typsektion samt sprängnings- och förinjekteringsföreskrifter.

De olika bergarterna markeras såväl i plan som i profil med rasterbeteckningar. Rastren orienteras därvid i görligaste mån efter bergarternas struktur. På plankartan betecknas berggrundens planskiffrighet och stänglighet på konventionellt sätt, varvid symbolerna orienteras efter uppmätt strykning och stupning. Stupningsbeloppet anges med gradtal. För att beskriva karaktären av svaghetszonerna i berggrunden anges grad och typ av sprickighet, mineralomvandling och vattenföring. Plan- och profilritningarna ger på detta sätt en såväl kvalitativ som kvantitativ bild av de avsnitt som kan bedömas orsaka särskilda svårigheter. Till varje ritning följer en kortfattad geologisk beskrivning. På omstående sida redovisas exempel på plan- och profilritning med tillhörande beteckningssystem.

BETECKNINGSSYSTEM FÖR GEOLOGISK-TEKTONISK UNDERSÖKNING

BERGARTER**TEKTONIK**Plastisk deformation

 strykning och stupning av planskiffrihet (S-yta).  strykning och stupning av stänglighet (B-axel).

Rupturell deformation
















Plan
Stupning

$\leq 75^\circ$ $> 75^\circ$

Profil





Slag: Sprickbildningar med bredd < 10 cm och längdutsträckning > 20 m.

Tektonisk zon: Sönderkrossade berggrundsstråk med bredd ≥ 10 cm.

- | | | | | |
|---|---|----|---|--|
|  |  | K1 |  | "Skivigt berg", stråk där berggrunden är uppbruten längs huvudsakligen planparallella sprickor med ett inbördes avstånd ≥ 10 cm. |
|  |  | K2 |  | "Skiffrikt berg", stråk där berggrunden är uppbruten längs huvudsakligen planparallella sprickor med ett inbördes avstånd < 10 cm. |
|  |  | K3 |  | "Blockigt berg", stråk där berggrunden är uppbruten längs huvudsakligen korsande spricksystem, som avgränsar block med en kantlängd ≥ 20 cm. |
|  |  | K4 |  | "Delvis sönderkrossat berg", stråk där berggrunden är uppbruten längs huvudsakligen korsande sprickbildningar, som avgränsar block med en kantlängd < 20 cm. |
|  |  | K5 |  | "Helt sönderkrossat berg", stråk där berggrunden är fullständigt fragmenterad av korsande sprickriktningar. |
| | | S1 | | "Sekundärläkt sprickzon", stråk där sprickorna är ihoplänkta av kvarts, kalcit, epidot etc. |

LEROMVANDLING

Leromvandling: Omvandlingar i berggrunden, som medfört utbildning av lermineral av såväl svällande som icke-svällande typ.

- | | | |
|----|---|---|
| L1 |  | "Lerslag", enskilda slag (bredd 0,5-10 cm) med lermineral mellan sprickplanen. |
| L2 |  | "Lergång", enskilda slag (bredd > 10 cm) med lermineral mellan sprickplanen. |
| L3 |  | "Zon med leromvandling i alla slag", tektoniska zoner där berggrunden är helt genomkorsad av lerslag. |
| L4 |  | "Allmän leromvandling", tektoniska zoner där hela berggrundsmassan är leromvandlad. |



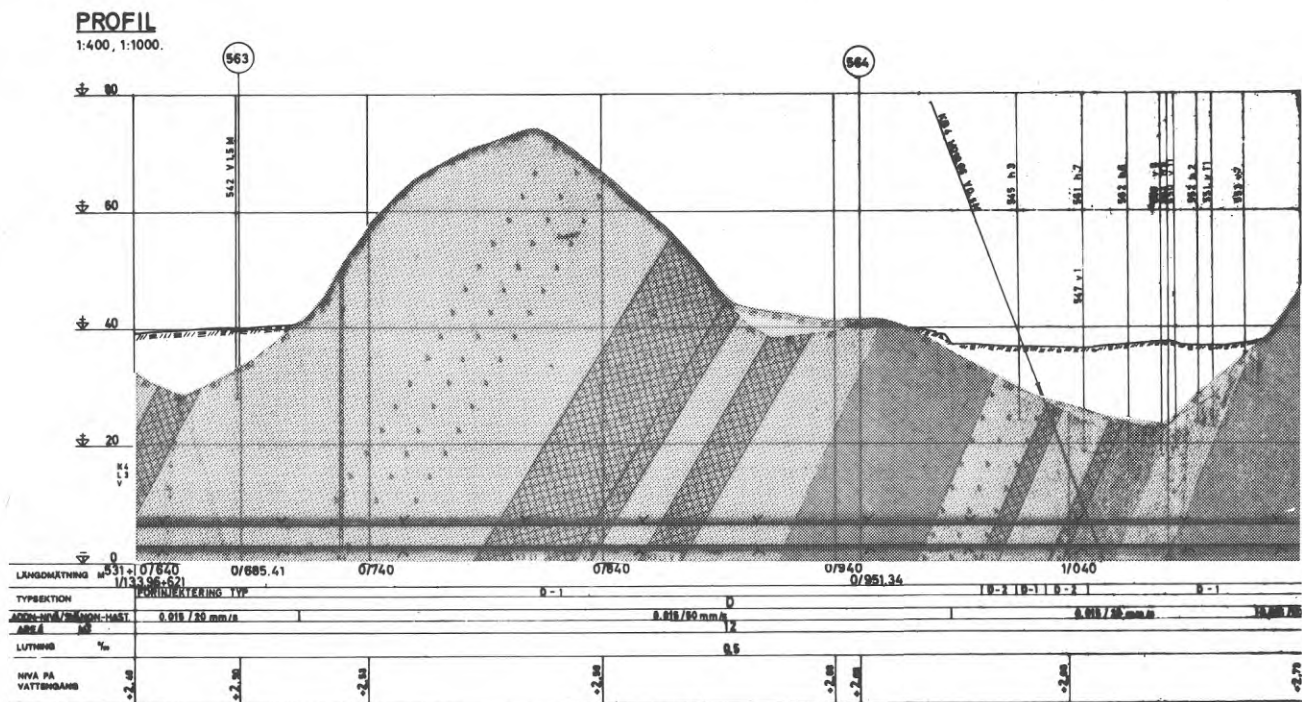
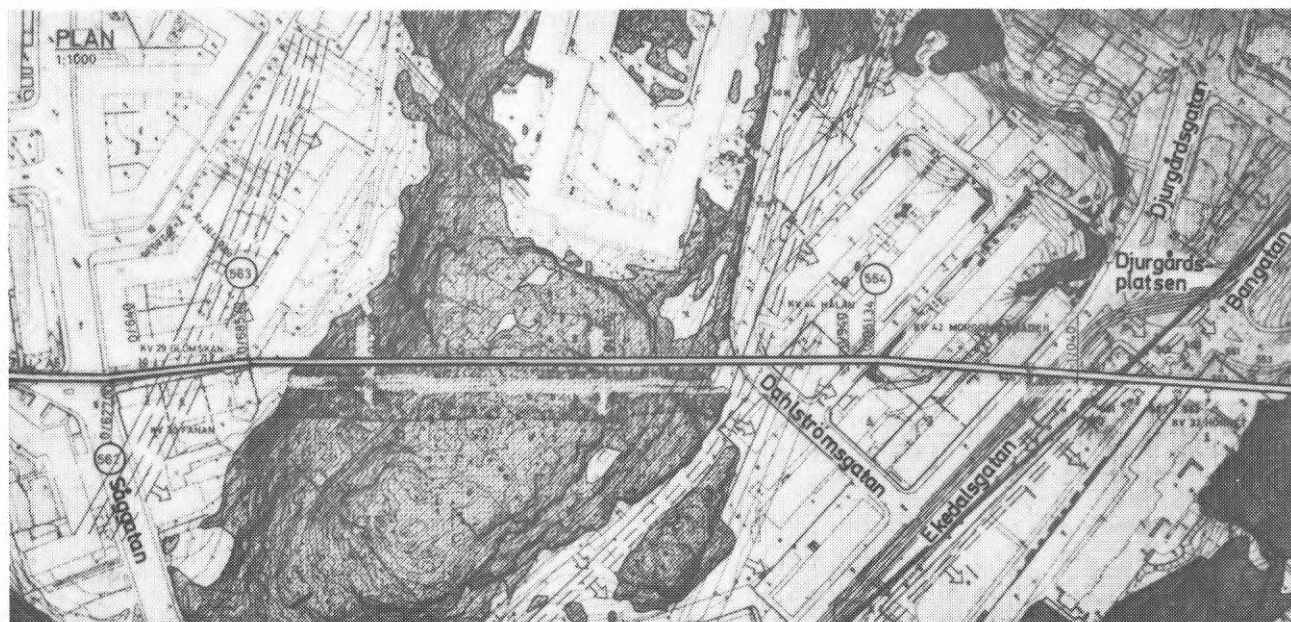
Analyserat lerprov innehållande svällande lermineral (främst montmorillonit men även svällande klorit eller vermikulit).



Analyserat lerprov innehållande s k "mixed-layer"-mineral (främst klorit-vermikulit).



Analyserat lerprov innehållande icke svällande lermineral (illit, kaolinit, klorit m fl).



GRUNDVATTENFLÖDE

Vattenföring: Bedömd grundvatteninläckning till tunneln från vattenförande slag eller zoner om tätningsåtgärder ej vidtages.



"Ringa", fuktade bergytter med enstaka vattendroppar.



"Måttligt", intensiv droppbildning, vilken stundtals kan övergå i rinnande vatten.



"Kraftigt", rinnande - spolande vatten, inläckningen vanligen koncentrerad till enskilda större öppna slag.

Fig 2.

Plan- och profilritning (anbuds- och arbetsritning) med tillhörande beteckningssystem.

BETECKNINGSSYSTEM FÖR TUNNELKARTERING

BERGARTER

Granit

	} d:o i		} d:o ö

fk = finkornig
 mk = medelkornig
 gk = grovkornig
 s = salisk
 i = intermediär
 b = basisk
 ö = ögonförande
 sg = slirig
 bd = bandad

Diorit
 Gabbro
 Norit
 Diabas

Pegmatit (bredd ≥ 1 m)
 Pegmatit (bredd < 1 m)

Gnejs

	} d:o i		} d:o ö

sg
 bd

Amphibolit (bredd ≥ 1 m)
 Amphibolit (bredd < 1 m)

Kvartsit
 Mylonit
 Kalcit
 Grusvittrat berg
 Betongsprutat område

GRUNDVATTENFLÖDE

Ringa
 Måttligt
 Kraftigt

FÖRSTÄRKNINGAR

	5 cm oarmerad sprutbetong
	8 cm enkelarmerad sprutbetong
	10 cm dubbelarmerad sprutbetong
	Armerad sprutbetongbåge

TEKTONIK

Slag

KROSSZON (bredd > 10 cm)

Skivigt berg (skivornas tjocklek ≥ 10 cm)
 K 1

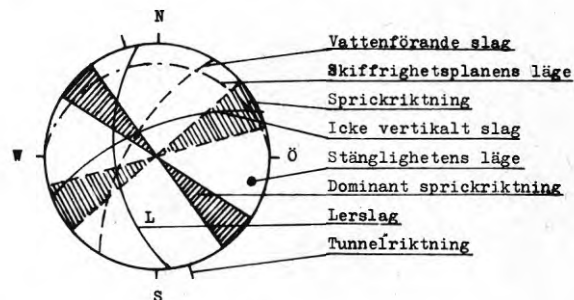
Skiffrigt berg (skivornas tjocklek < 10 cm)
 K 2

Blockigt berg (kantlängd ≥ 20 cm)
 K 3

Delvis sönderkrossat berg (kantlängd < 20 cm)
 K 4

Helt sönderkrossat berg
 K 5

S1 Sekundärläkt



LEROMVANDLING

Lerslag (bredd 0,5-10 cm)
 L 1

Lergång (bredd > 10 cm)
 L 2

Zon med leromvandling i alla slag
 L 3

Zon med allmän leromvandling
 L 4

Analyserat lerprov inneh svällande lermi-
 neral (främst montmorillonit)

Analyserat lerprov inneh s k "mixed-layer"-
 mineral (främst klorit-vermikulit)

Analyserat lerprov inneh icke svällande lermi-
 neral (illit, kaolinit, klorit m fl)

INJEKTERING

	10 kg cement/tunnelmeter
	100 kg " / "
	1000 kg " / "

B = Bottenförinjektering
 F = Fullfrontsförinjektering

2.2 Tunnelkartering

Det aktuella tunnelsystemet har karterats i takt med drifningen och redovisats enligt samma beteckningssystem som vid projekteringen. Varje arbetsritning motsvaras härvid av en tunnelkarteringsritning omfattande samma sträcka. Karteringen redovisas för tunneltak och en väggsida i längdskala 1:500. Den tektoniska informationen har dessutom sammanställts i diagram för var 100 m. På ritningarna har införts utförda injekteringar och förstärkningar.

Den vid tunnelkarteringen valda skalan medger en mycket detaljerad dokumentation av de geologisk-tektoniska förhållandena. Karteringen tjänar inte endast ett dokumentärt syfte utan utgör även underlag för var och hur permanentförstärkningar skall utföras. Där driftförstärkningar i form av sprutbetong utförts innan den geologiska karteringen lämnas ofäst små avsnitt osprutade så att en geologisk bedömning och kartering kan göras.

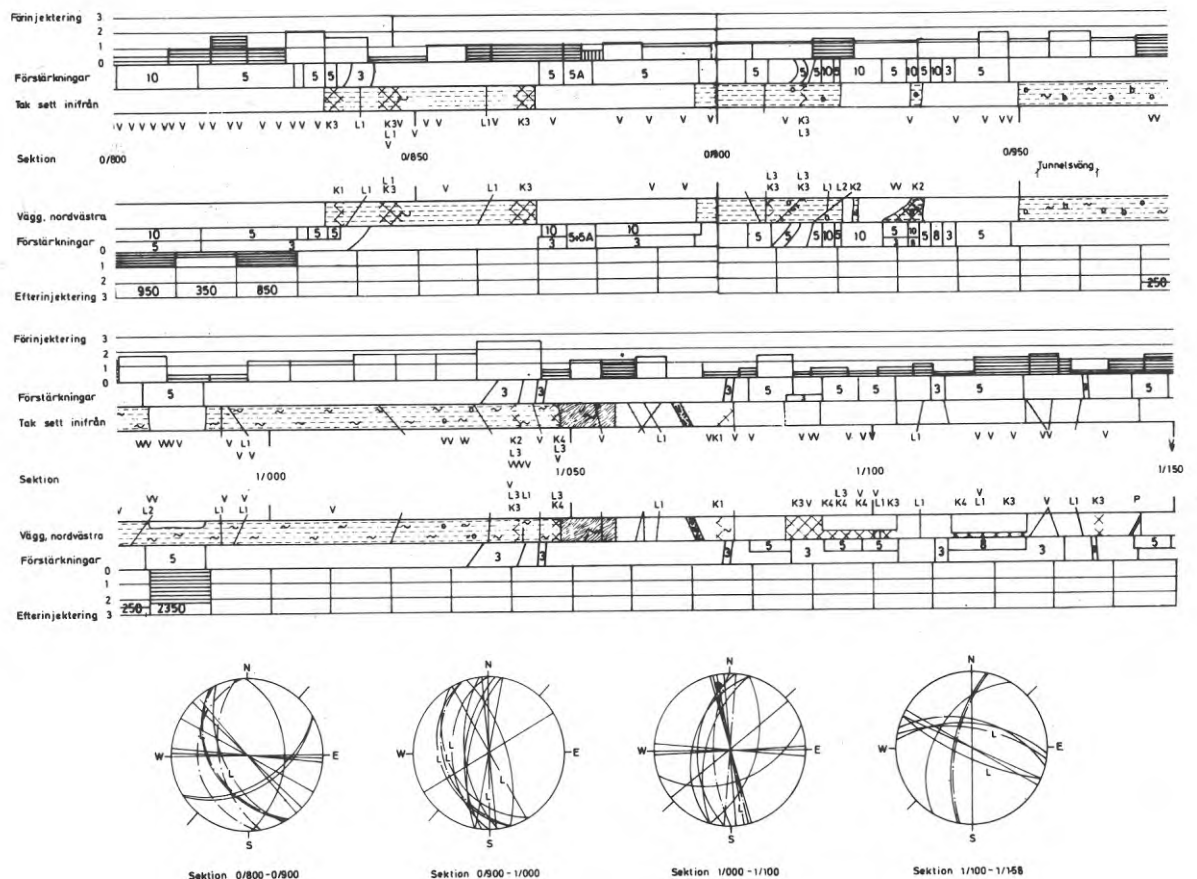


Fig 3. Karteringsritning med tillhörande beteckningssystem.

2.3 Beskrivning av undersökningsområdet

Området domineras topografiskt av kala, uppstickande bergpartier och delvis djupt nedskurna dalgångar med friktionsmaterial och lersediment. Den äldre bebyggelsen är främst lokaliserad till dalsänkorna, där grundläggning skett på

lera eller på lera och berg men endast mera sällan helt på berg. Under senare tid har fortsatt utbyggnad främst utförts på de högre belägna bergpartierna.

2.3.1 Berggrund

Bergarterna är i projekteringsunderlaget kraftigt generaliserade. Varje bergartsled innehåller många variationer som inte redovisats då dessa saknat betydelse för tunneldrivningen. Följande bergartsled har urskiljts:

G r a n i t

Under samma beteckning har sammanförts granittyper med varierande kemisk sammansättning. De flesta av dessa är svagt förskiffrade. Huvudmineralen, som har olika inbördes mängdförhållanden, utgöres av kvarts, kalifältspat, kalk-natronfältspat och biotit. Stundtals förekommer ögon av kalifältspat, men i övrigt är berggrundsmassan relativt jämnkorning. Undantaget i sprick- och krosszoner framträder graniten som frisk och ovittrad och med god sammanhållning mellan enskilda mineralkorn.

G n e j s

Under denna beteckning har sammanförts fin- och medelkorniga gnejser med varierande utseende och kemisk sammansättning. Samtliga bergartsled är mer eller mindre utpräglat skiffrika. Huvudmineralen, som har olika inbördes mängdförhållanden, utgöres av kvarts, kalifältspat, kalk-natronfältspat och glimmer. Som varianter i bergartsledet ingår bandade typer, typer med sliror och ådror av kvarts och fältspat samt typer med löst sammanfogade förskiffringsplan. Sammanhållningen mellan enskilda mineral-kärn varierar mellan olika gnejsvarianter. Typer med sliror och ådror av kvarts och fältspat har i regel god sammanhållning, medan typer med löst sammanfogade förskiffringsplan företer släppor. Bandade varianter uppvisar inom olika delar båda egenskaperna. Täta finkorniga gnejser uppvisar ofta hög sprickfrekvens.

N o r i t

Som norit betecknas mörka bergarter uppbyggda av mineralen pyroxen (rombiskt kristalliserad), hornblände och kalk-natronfältspat. Bergarten uppvisar stora variationer inom undersökningsområdet, både med avseende på mineralsammansättning och struktur. Såväl skiffrika som massformiga och fin-grovkristallina partier växlar oupphörligt och vidare förekommer band och sliror av granitiskt material i bergarten. Sammanhållningen mellan enskilda mineralkorn är god inom ostörda delar av noriten. I samband med sprick- och krosszoner kan emellertid bergarten vara starkt förskiffrad, kalcitläkt och mineralomvandlad, vilket medför försämrade hållfasthet.

D i o r i t

Som diorit betecknas mörka bergarter uppbyggda av mineralen hornblände och kalk-natronfältspat. Inom undersökningsområdet förekommer diorit endast inom smärre avsnitt och med egenskaper liknande noritens.

D i a b a s

Basisk gångbergart som huvudsakligen består av kalk-natronfältspat, pyroxen, olivin och magnetit. Bergarten förekommer som en sammanhängande gång med ost-västlig riktning.

P e g m a t i t

Extremt grovkristalliniska aggregat av kvarts, fältspat och glimmer benämnes pegmatit. Denna bergart förekommer som gångar eller körtlar i andra bergarter inom hela undersökningsområdet. Pegmatiterna uppvisar normalt ett friskt och sprickfattigt utseende. I samband med rörelsezoner kan dock öppna slag förekomma.

A m f i b o l i t

Amfibolit användes som sammanfattande benämning för mörka band av basiska bergarter, vilka kan vara både skiffrigt och massformigt utformade. Banden ligger konformt inlagrade med gnejsernas förskiffringsplan och stänglighet. Mineralsammansättningen är likartad hos de båda typerna, där huvudmineralen hornblände, kalk-natronfältspat och biotit kan urskiljas. Amfiboliten är i rörelsezoner kraftigt förskiffrad och ofta även leromvandlad med dålig sammanhållning inom hela bergartmassan.

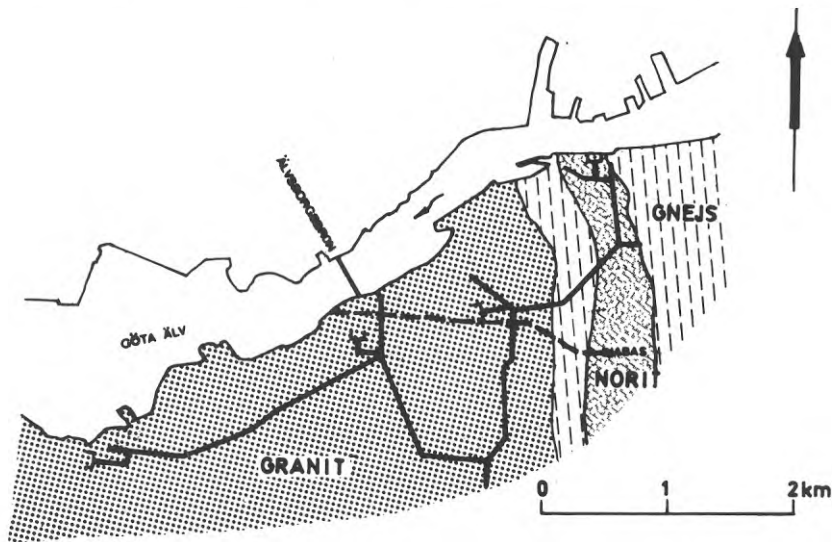


Fig 4. Generaliserad bild över utbredningen av dominerade bergarter inom undersökningsområdet.

2.3.2 Tektonik

Berggrundens strukturella utformning har inom Göteborgsområdet utvecklats under två principiellt åtskilda deformationsepoker.

P l a s t i s k d e f o r m a t i o n, när berggrunden gentemot ansatt tryck reagerat med veckningar och glidningar.

R u p t u r e l l d e f o r m a t i o n, när berggrunden av ansatt tryck sönderdelats utmed sprickplan.

Den plastiskt tektoniska deformationsbild som berggrunden inom Göteborgsområdet företer synes sammanhånga med en genomgripande deformation i WSW-ENE-lig riktning. Tidigare deformationer är svåra att spåra, medan man däremot kan fastlägga en senare mindre genomgripande, där trycket varit orienterat i NW-SE-lig riktning. Under dessa faser har berggrundsmassan delvis omkristalliserats, samtidigt som förskiffringsplan (s-plan) och stängligheter (b-axlar) ut-

bildats. I medeltal stryker s-planen $NO-20^{\circ}W$ och stupar medelbrant mot väster, medan b-axlarna uppvisar samma strykning men stupar flackt mot norr.

Under de plastiska deformationerna har ansatt tryck utjämnats genom att olika berggrundspackar glidit upp över varandra utefter s-planen. På detta sätt har den för hela göteborgsområdet karakteristiska överskjutningstektoniken anlagts med olika bergartsled överlagrande varandra utefter västligt stupande gränsplan.

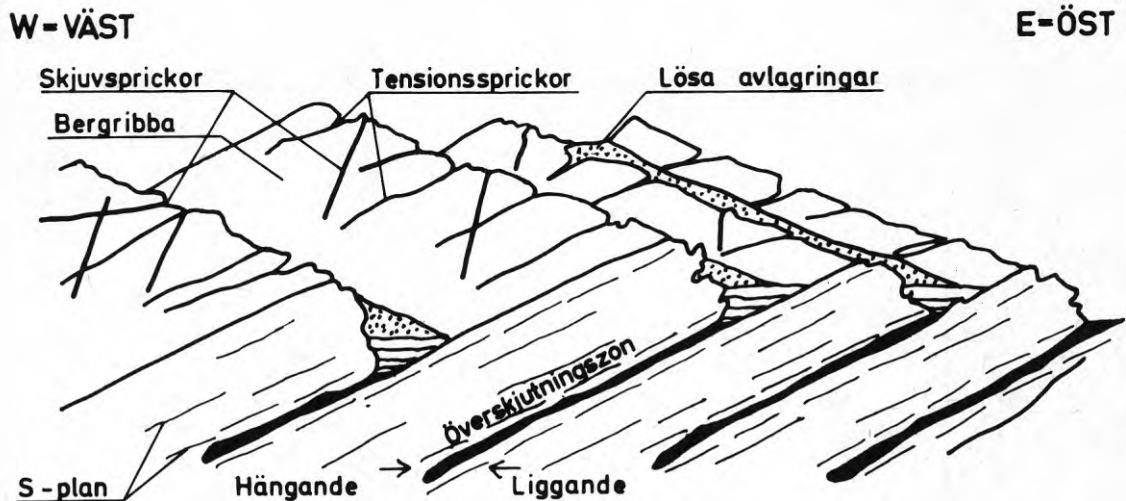


Fig 5. Överskjutningstektonik inom göteborgsområdet.

Efter det att berggrunden konsoliderats till en rigid massa har den ånyo utsatts för deformationer. Dessa rupturrella deformationer har varit orienterade i ungefär E-W-lig riktning. Äldre förskiffrade överskjutningszoner har därvid verkat som svaghetslinjer. Längs dessa har berggrunden skjutits samman i ett system av skivor (skollor), som taktegelformigt täcker varandra utefter västligt stupande rörelseplan. I ett tidigt skede utbildades brantstående mer eller mindre öppna tensionsprickor och tensionszoner med ungefär E-W-lig riktning. Dessa har i flera fall utnyttjats vid senare skjuvningsrörelser. Brantstående skjuvzoner utvecklade samtidigt med överskjutningszonerna förekommer i riktningarna $N70^{\circ}W$ och $N45^{\circ}E$.

Berggrunden framträder nu som ett system av överlappande skollor, där överskjutningszoner bestående av sönderkrossad och ofta även leromvandlad berggrund skiljer skollorna från varandra. De olika skollorna är i sin tur sönderskurna av brantstående sprickzoner, varigenom det system av bergplintar omgivna av svaghetszoner som nu går att iaktta utbildats.

2.3.3 Leromvandling

Leromvandlat berg förekommer inom hela undersökningsområdet. Lermineraliseringen uppträder i och i anslutning till slag och krosszoner. Utförda analyser visar att såväl svällande som icke svällande lermineral förekommer. Leromvandlingen förekommer i sin enklaste form som lerslag, vilka vanligen

har en bredd från några millimeter till några centimeter. Ibland är bredden emellertid betydligt större och den lerfyllda sprickan benämns då lergång (bredd > 10 cm). Inom och i samband med krosszoner förekommer dels enskilda lerslag, dels oregelbundna sprickmönster där varje spricka är lerförande. Framförallt inom överskjutningszoner finns avsnitt där berget är mer eller mindre fullständigt leromvandlat.

2.4 Jämförelse mellan projekteringsunderlag och kar- teringsresultat

Eftersom såväl den geologisk-tektoniska prognosen som tunnelkarteringen är utförda med hjälp av ett beteckningssystem som tydligt definierar olika typer av bergarter, sprickor, krosszoner, leromvandling etc. möjliggörs en jämförelse mellan prognos och tunnelkartering.

Av totala tunnel längden, ca 8,2 km, utgörs i tunnelsträckningarna ca 40 % av berg i dagen och 60 % av jordtäckt mark. Inom ett mindre avsnitt har seismiska undersökningar, sammanlagt omfattande 340 meter, utförts för att bestämma läget av några förmodade störningszoner. Inom jordtäckta områden har utförts ca 100 bergkontrollborrningar för att fastställa bergtäckning och lämpligaste detaljsträckning inom avsnitt med liten bergtäckning. För att erhålla ökad information om några större störningszoner utfördes fyra kärnborrhål. Av nedanstående diagram framgår att huvuddelen av tunnelsystemet har en täckning av minst 30 meter.

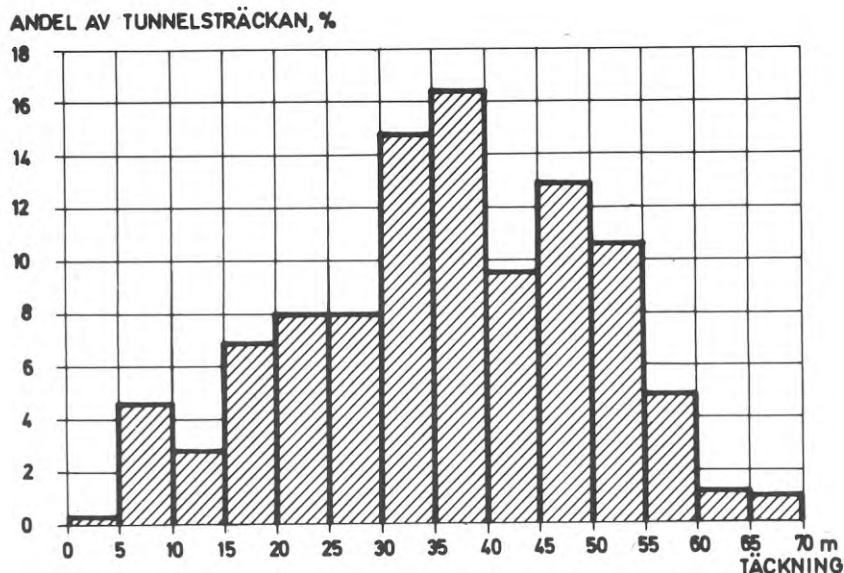


Fig 6. Tunnelldjup under markytan

2.4.1 Berggrund

Den geologiska prognosen rörande berggrundens sammansättning längs tunnelsträckningarna visar med smärre undantag mycket god överensstämmelse med tunnelkarteringen. Undantagen utgörs av smärre skivor eller linser av bergarter som ej förekommer i bergblottningar inom de aktuella tunnelavsnitten.

2.4.2 Tektonik

Vid ytkarteringen för projekteringsunderlaget betecknas varje krosszon inom blottade bergpartier i enlighet med beteckningssystemets K-klassindelning, fig 2. Efter sammanställning och utvärdering av materialet klassificeras de krosszoner, som bedömes förekomma inom jordtäckta avsnitt. I dessa fall betecknas zonerna vanligen med endast en K-klass.

Vid tunnelkarteringen kan en bred krosszon ofta uppdelas på flera K-klasser och vad som t ex i prognosen betecknas som 10 m K 3 kan vid tunnelkarteringen motsvaras av 2 m K 1 + 4 m K 3 + 1 m K 4 + 3 m K 3. Detsamma gäller den varierande leromvandling som kan förekomma inom olika delar av en zon.

Vid tidpunkterna för tunnelkarteringen har driftsförstärkningar vanligen utförts. Tunnelavsnitt där berget är helt täckt av betong har sålunda ej kunnat karteras och har därmed ej heller kunnat jämföras med prognosen. Däremot har de avsnitt som bara är delvis betongförstärkta, klassificerats i enlighet med beteckningssystemet. Det i den följande jämförelsen upptagna meterantalet för betongsprutade, ej karterbara avsnitt gäller sålunda endast helt inklätt berg.

Tab. 1 Sammanställning av totala antalet meter krosszoner fördelade efter K-klass dels enligt projekteringsunderlaget (P), dels enligt tunnelkarteringen (T).

Uppkrossningsgrad										Betongsprutade ej karterbara avsnitt	Summa		
K1		K2		K3		K4		K5			T	P	T
P	T	P	T	P	T	P	T	P	T			m	m
110	207	149	65	334	548	180	202	0	0	275	773	1297	

Av tabellen framgår att endast kolumnen för K 2 visar en prognos som överstiger tunnelkarteringen. Detta beror på att skiffrika krosszoner av typ K 2 ofta driftförstärkts med sprutbetong och härigenom karterats som sprutbetong.

En stor del av de konstaterade krosszonerna kan konnekteras till projekteringsunderlaget dvs en i prognosen angiven krosszon motsvaras i anslutning till förutsatt läge av någon form av krosszon (K 1-K 5) eller utförd betongsprutning i tunneln.

Tab. 2 Sammanställning av antal meter krosszoner som kun-
nat konnekteras mellan projekteringsunderlaget (P)
och tunnelkarteringen (T).

K1		K2		Uppkrossningsgrad						Betongspru- tade ej kar- terbara av- snitt T m	Summa	
P	T	P	T	K3		K4		K5			P	T
m	m	m	m	P	T	P	T	P	T		m	m
87	142	135	26	255	245	160	139	0	0	275	637	827

Av ovanstående sammanställning framgår att de karterade kon-
nekterbara zonernas sammanlagda längd överstiger prognosen
med drygt 20 %.

Krosszonerna har genomgående större bredd i tunneln än i pro-
jekteringsunderlaget. I huvudsak beror detta på att när en
zon skär genom tunneln sker i många fall vid utsprängningen
en ytlig uppsprickning i anslutning till zonen. Denna upp-
sprickning gör att den egentliga genomgående krosszonen
framstår som bredare än den i själva verket är. Mest märk-
bart blir detta när tunneln drivs i liten vinkel mot zonen,
eftersom ett spetsigt och ett trubbigt "hörn" mellan zon och
tunnel då bildas i vardera tunnelväggen. De spetsiga hörnen
har en stor tendens att spricka upp, särskilt om stora par-
tier skjuts ut i varje salva. Även vid inklädnad med sprut-
betong fås ofta ett större antal meter inklätt berg än vad
som motsvaras av krosszonens bredd. Detta beror på att in-
klädnaden mestadels börjar och slutar en bit från den ofta
leromvandlade zonen där tunnelväggen är stabil nog att ut-
göra ett stöd för betongen.

Totala antalet krosszoner bedömdes uppgå till 82. Enligt
tunnelkarteringen uppgår antalet till 93, varav 69 zoner el-
ler ca 75 % är konnekterbara. I fig. 7 redovisas avvikelser
från bedömt läge för de konnekterade zonerna på tunnelnivå.
De största skillnaderna uppgår till ca 40 meter. Att dessa
zoner ändå konnekterats, beror på att mycket markerade
krosszoner finns både enligt prognosen och tunnelkartering-
en inom i övrigt homogena och hela avsnitt. De stora skill-
naderna förekommer inom långa jordtäckta avsnitt. Inom des-
sa kan krosszoner som genom indikationer i angränsande berg-
områden säkert kan förutses inte fastläggas exakt utan komp-
letterande geofysiska undersökningar. Avvikelse kan också
uppstå när tunneln ligger djupt under markytan. En liten
vinkelförändring av sprickplanens stupning kan ge en skill-
nad på 10-tals meter när en flack krosszon extrapoleras ned
till tunnelnivå. Värdet av att exakt fastlägga en krosszons
läge på tunnelnivå måste naturligtvis alltid vägas mot de
kostnader som kompletterande undersökningar med seismik och
borrning medför.

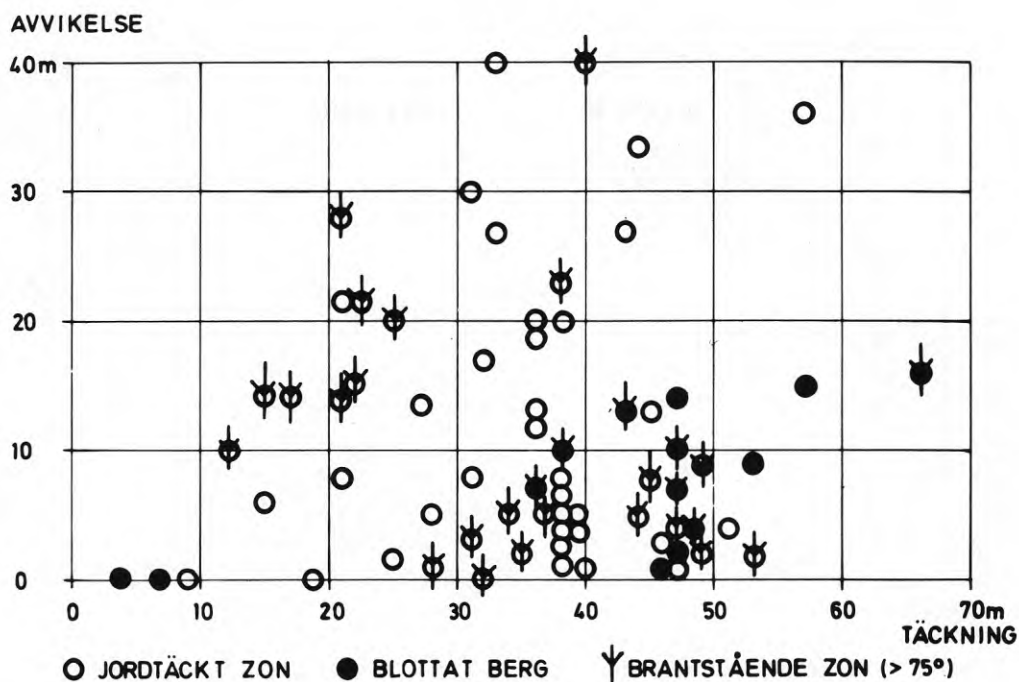


Fig. 7 Avvikelse från bedömt läge på tunnelnivå hos konnekterade zoner mätt efter zonernas centrum.

Av fig. 7 framgår att avvikelsen är maximalt ca 15 meter för zoner iakttagna i blottat berg med täckningen mer än 45 meter.

På ritning redovisas brantstående slag och zoner (stupning $\geq 75^\circ$) som vertikala. Beteckningssystemet kan därför vid t ex 45 meter täckning ge en avvikelse upp till 12 meter.

De stora avvikelserna gäller jordtäckta zoner där zonernas skärning med bergöverytan ej varit känd.

Av de konnekterade zonerna är det endast ett fåtal där läget fastlagts med hjälp av seismik och borrhningar. Trots att mer än hälften av tunnelsystemet är jordtäckt är avvikelsen mindre än 10 meter för 60 % av zonerna. Någon tendens hos prognosen att systemtiskt ge antingen brantare eller flackare stupningar för de lutande krosszonerna har ej konstaterats.

Graden av uppkrossning i krosszonerna enligt den geologiska prognosen visar för de konnekterade zonerna god överensstämmelse med tunnelkarteringen. Som nämnts ovan är större krosszoner enligt tunnelkarteringen ofta sammansatta av olika K-klasser. Den K-klass som angivits för en krosszon i prognosen utgör dock vanligen den dominerande K-klassen för samma zon i tunnelkarteringen.

För att undersöka orsakerna till den relativt stora avvikelsen mellan prognos och tunnelkartering för totala längden krosszoner sammanställs nedan skillnaden mellan sammanlagd zombredd och bredd konnekterbara zoner.

Tab. 3 Sammanställning av skillnaden mellan totala antalet meter krosszon (tab. 1) och sammanlagd bredd konnektierbara zoner (tab. 2).

Uppkrossningsgrad										Betongsprutade ej konnektierbara avsnitt	Summa	
K1		K2		K3		K4		K5			T	P
P m	T m	P m	T m	P m	T m	P m	T m	P m	T m	m	m	m
23	65	14	39	79	303	20	63	0	0	0	136	470

Av tabellen framgår att 136 meter krosszon enligt prognosen ej kunnat konnektieras med tunnelkarteringen. Enligt tunnelkarteringen uppgår motsvarande restvärde till 470 meter krosszoner. Efter reduktion för prognosens i textkommentar angivna zoner (110 meter) återstår 360 meter, vilket utgör en tredjedel av sammanlagda längden krosszon. Det aktuella beteckningssystemet ger vid tunnelkarteringen en mycket noggrann dokumentation också av smala zoner med låg grad av uppkrossning. Huvuddelen utgöres av skivigt och blockigt berg (K 1 och K 3). Dessa typer av krosszoner medför vanligen med de aktuella spännvidderna inga större förstärkningar. Om ingen leromvandling uppträder i samband med krosszonerna brukar enstaka bergbultar vara enda förstärkningsåtgärden.

Vid uppdelning av totala antalet krosszoner med hänsyn till bildningssätt utgöres 44 % av skjuvzoner, 17 % av tensionszoner och 39 % av överskjutningszoner.

3.4.3 Leromvandling

I projekteringsunderlaget har angivits 62 krosszoner inom vilka någon typ av leromvandling bedömts förekomma. Vid tunnelkarteringen har lermineralisering iakttagits i 79 fall. Överensstämmelse mellan prognos och tunnelkartering föreligger i 49 av dessa, vilket motsvarar 62 % av totala antalet. Även den inbördes fördelningen överensstämmer väl.

Tab. 4 Sammanställning av leromvandlingstyper fördelade efter L-klass dels enligt projekteringsunderlaget (P), dels enligt tunnelkarteringen (T).

Leromvandlingstyp								Lera under sprutbetong	Summa	
L1		L2		L3		L4			T	P
P st	T st	P st	T st	P st	T st	P st	T st	st	st	st
45	49	0	5	17	14	0	1	10	62	79

2.4.4 Slutsatser

Trots att större delen av tunnelsystemet är jordtäckt har en tillfredsställande prognos rörande bergförhållandena på tunnelnivå kunnat utföras utan kostsamma borrhningar.

I projekteringsunderlaget redovisad bergartsmässig sammansättning överensstämmer väl med de verkliga förhållandena.

Totala antalet krosszoner uppgår till 93 med en sammanlagd längd av ca 1300 meter eller 16 % av totala tunnellängden. I projekteringsunderlaget bedömdes zonantalet uppgå till 82 med en total längd av ca 770 meter. Härav har 69 zoner eller 75 % kunnat konnekteras med tunnelkarteringen. Av fig. 8 framgår fördelningen efter K-klass.

Genomgående har krosszonerna större bredd i tunneln än i prognosen. Krosszoner som med hänsyn till osäkert läge ej angivits på ritning utan endast i textkommentar uppgår till 110 meter. Huvuddelen av resterande ej konnekterbara zoner utgöres av skivigt och blockigt berg (K 1 och K 3), vilket normalt medför förstärkning endast när leromvandling förekommer.

Den kvalitativa bedömningen av krosszonerna i prognosen överensstämmer väl med verkliga förhållanden.

Leromvandling har påträffats i 79 zoner. I prognosen förutsattes antalet uppgå till 62, varav 49 har kunnat konnekteras till tunnelkarteringen, dvs ca 60 % av totala antalet lerbeförekomster. Även den inbördes fördelningen överensstämmer väl.

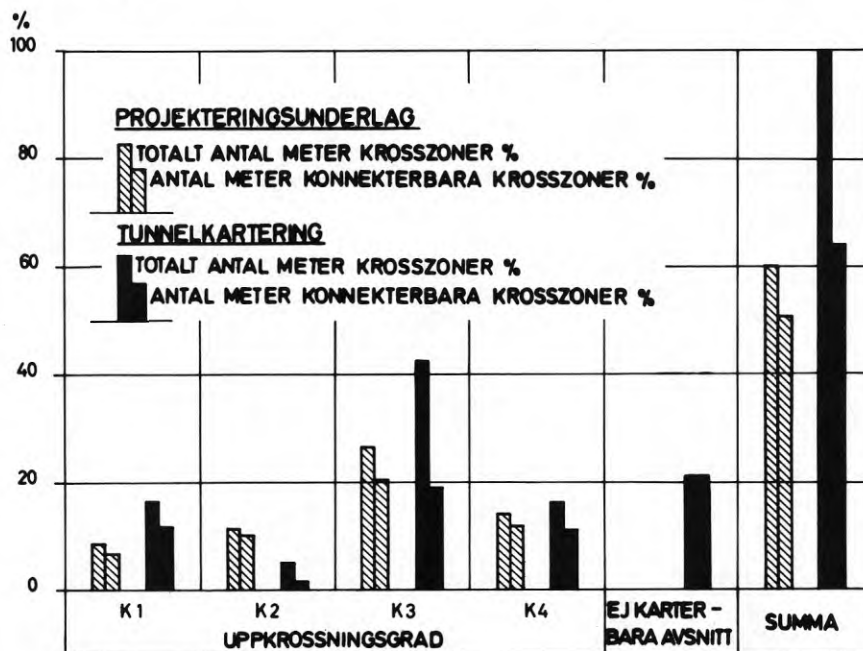


Fig. 8 Fördelning på K-klasser av totalt respektive konnekterbart antal meter krosszoner enligt projekteringsunderlag och tunnelkartering. (Procentuell andel av totalt antal meter krosszoner enligt tunnelkartering).

3. DRIVNING

Den studerade etappen omfattar 4950 m spillvattentunnlar med arean 9-12 m² och 2800 m med arean 5-8 m². Drivning av tunnelsystemet har utförts via fyra transporttunnlar med arean 13 m² och en total längd av 400 m.

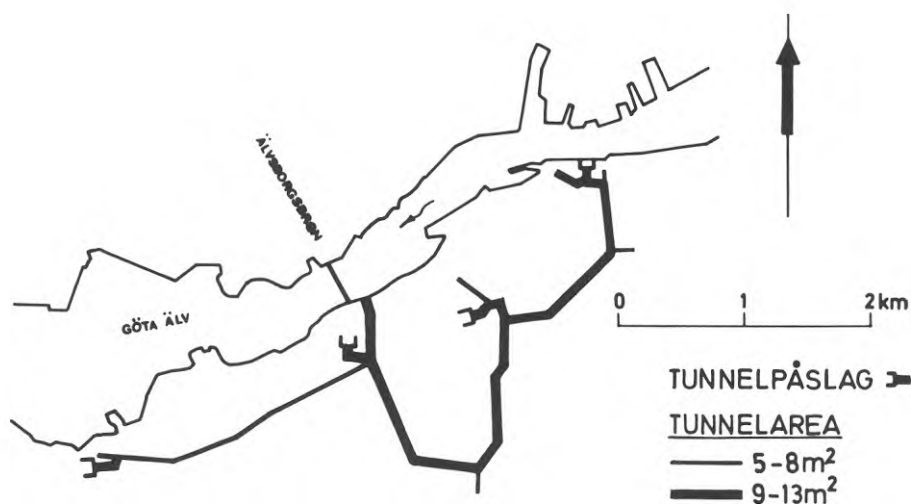


Fig. 9 Tunnelnätets utformning i undersökningsområdet.

För arbetenas bedrivande har följande restriktioner gällt:

sprängningsarbeten mellan kl 0700-2000

förstärkningsarbeten hela dygnet

slätsprängning med konturhål i tak och väggar med maximalt hålavstånd 60 cm samt guritrörsledning

markvibrationer begränsade genom på ritning angiven laddningsnivå och maximal svängningshastighet i byggnader och anläggningar, 18-50 mm/s beroende på grundförhållandena

förinjektering av tunnelbotten generellt för hela tunnelsystemet med fullfronts-injektering inom angivna avsnitt med grundvattenförande större slag och zoner.

Arbetena upphandlades på mängdkontrakt med à-priser för bl a

sprängning: tunnelmeter

injektering: bormeter
injekteringshål
cementmängd med graderad skala efter åtgång per
injekteringskärm

sprutbetong: yta mätt efter teoretisk tunnelsektion



Fig. 10 Tunnelkontur efter slätsprängning.

Sprängningsarbetena påbörjades i maj 1972 med AB Skånska Cementgjuteriet som huvudentreprenör och sista tunnelgenomslag erhöles i november 1973.

Småtunnlarna ($5-8 \text{ m}^2$) har drivits med handhållen utrustning (BBC 24) och utlastats med dels spårbunden utrustning (LM56H lastmaskin och 3 m^3 vagnar), dels hjulburen utrustning (CAT 951 B bandtraktor och 3 m^3 dumprar).

De större tunnlar ($9-13 \text{ m}^2$) har drivits med 2- och 3-boms hydraulbommar (Garden Denver DH 123 och Atlas Copco BUT 10 med bormaskin COP 90).

Framdriften har för småtunnlar varierat mellan 90-150 m/månad och i genomsnitt uppgått till 120 m/månad.

För de större tunnlar har framdriften på sträckor med pendeldrift uppgått till 90-130 m/månad och i genomsnitt till 110 m/månad samt vid enkelfront 120-180 m/månad och i genomsnitt 140 m/månad.

4. INJEKTERING

Den systematiska förinjekteringen har i princip utförts enligt nedanstående.

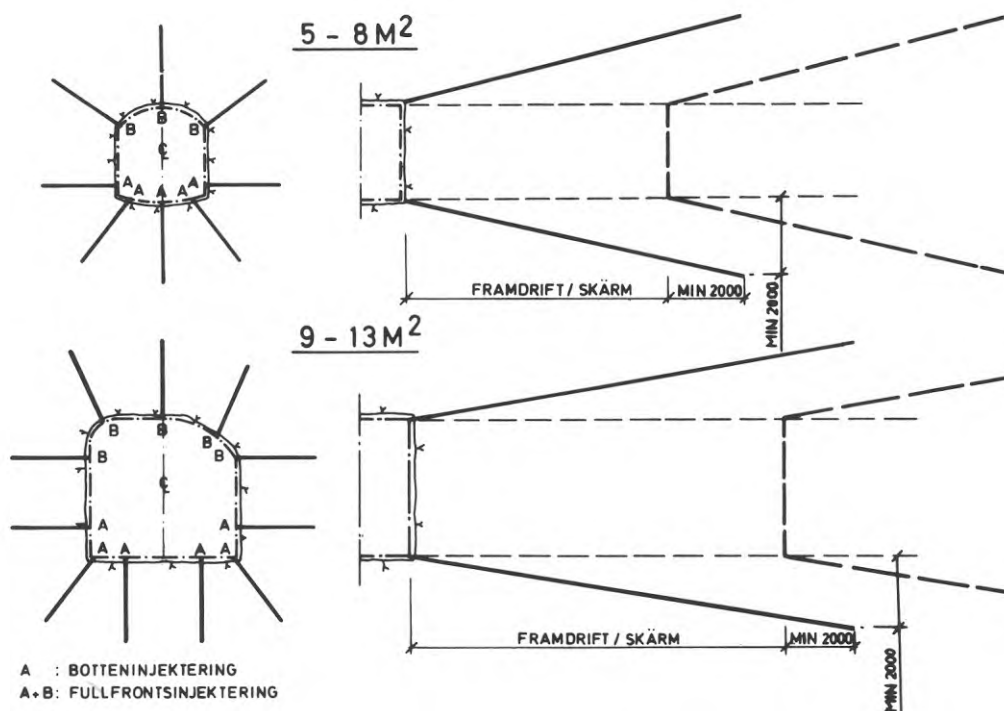


Fig. 11 Förinjekterings-skärm

Längden av varje injekterings-skärm har entreprenören själv fått bestämma, dock fick utsprängning ske längst till 2,0 m från borrhållsskärmens front. Entreprenören arbetade normalt med 9 m borrhållslängd och tre salvor à 2,3 m per skärm i de små tunnlarna samt 12 m borrhållslängd och fyra salvor à 2,4 m per skärm i de större tunnlarna. Borrningen av injekterings-hålen utfördes av tunneldrivningslaget, medan själva injekteringsarbetet utfördes av underentreprenör, AB Sprutkonsult, Göteborg.

För injekteringsarbetenas utförande gällde att kontrollanten ägde rätt att ändra hålantal, hålplacering, hållutning etc med hänsyn till de geologiska förhållandena. Utrustningen bestod av kolloidblandare och såsom injekteringspump vid förinjektering användes företrädesvis enkelverkande kolvpump. Vid injektering provtrycktes hålen med vatten för bestämning av injekteringsordning. Injektering påbörjades i de lägst belägna hålen med stora vattenförluster. Kunde förbindelse spåras mellan hål utfördes injekteringen växelvis. Till injekteringsbruk användes Limhamns snabbcement med tillsats av 1 % Intraplast. Injekteringen påbörjades med vct = 3

som successivt minskades i ordning 2, 1, 0,8 och slutligen 0,5. Injekteringen avbröts när inträngning avstannat vid det normalt tillämpade maximala inpressningstrycket 3 MPa (30 kp/cm²). Injekteringshålens proppades med träpluggar. Vid mycket stora injekteringar parallellkördes två utrustningar. Försök med 6-håligt ventilspel gav ej tillfredsställande resultat.

Om vid borrning för salva inom för grundvattensänkning känsliga avsnitt grundvatten påträffades trots utförd fullfrontsinjektering, stoppades borrningen och kompletterande injekteringshål utfördes och injekterades. För kontroll av injekteringsarbetena, vilka normalt bedrevs på tredje skift, tillämpades skiftgång även för bergkontrollanterna.

4.1 Förinjektering

4.1.1 Kvantiteter och kostnader

I tunnelsystemet har totalt förinjekterats 740 ton cement eller 80 och 120 kg cement/tunnelmeter för 5-8 m² - respektive 9-13 m² - tunnlar.

Tab. 5 Specifika kvantiteter för förinjektering

Arbetstyp	5-8 m ² tunnlar		9-13 m ² tunnlar	
	Botteninjektering	Fullfrontsinjektering	Botteninjektering	Fullfrontsinjektering
Injekteringstyp % av tunnellängd	92	8	84	16
Cementmängd kg/tunnelmeter	70	285	80	240
Specifik borrning borrmeter/tunnelmeter	8,5	19,5	8,5	18,4
Specifikt hålantal antal borrhål/tunnelmeter	1,1	2,5	0,9	2,0

Tab. 6 Kostnader för förinjektering
(kostnadsläge maj 1972)

Kostnadslag	5-8 m ² tunnlar		9-13 m ² tunnlar	
	Botteninjektering	Fullfrontsinjektering	Botteninjektering	Fullfrontsinjektering
Tilläggskostnad till tunneldrivning	50	50	50	50
Stillestånd	5	15	10	50
Borrning				
Rörlig kostnad per borrmeter	130	290	155	330
Injektering				
Fast kostnad	165	375	135	300
Rörlig kostnad	160	620	150	520
Injekteringskostnad kr/tunnelmeter	510	1350	500	1250

Tilläggskostnaden för förinjekteringen motsvarar vid botteninjektering i genomsnitt ca 30-35 % och vid fullfrontsinjektering ca 75 och 100 % av sprängningskostnader för 9-13 m² respektive 5-8 m²-tunnlar.

4.1.2 Jämförelse mellan cementåtgång och geologisk struktur

För att undersöka hur den specifika injekteringsåtgången påverkas av bergbeskaffenheten har injekteringsresultaten bearbetats och indelats med hänsyn till injekteringstyp och bergbeskaffenhet i fem grupper. Materialets fördelning på bergbeskaffenhetsgrupper med avseende på kvalitet, bergart och tunnelarea framgår av fig. 12.

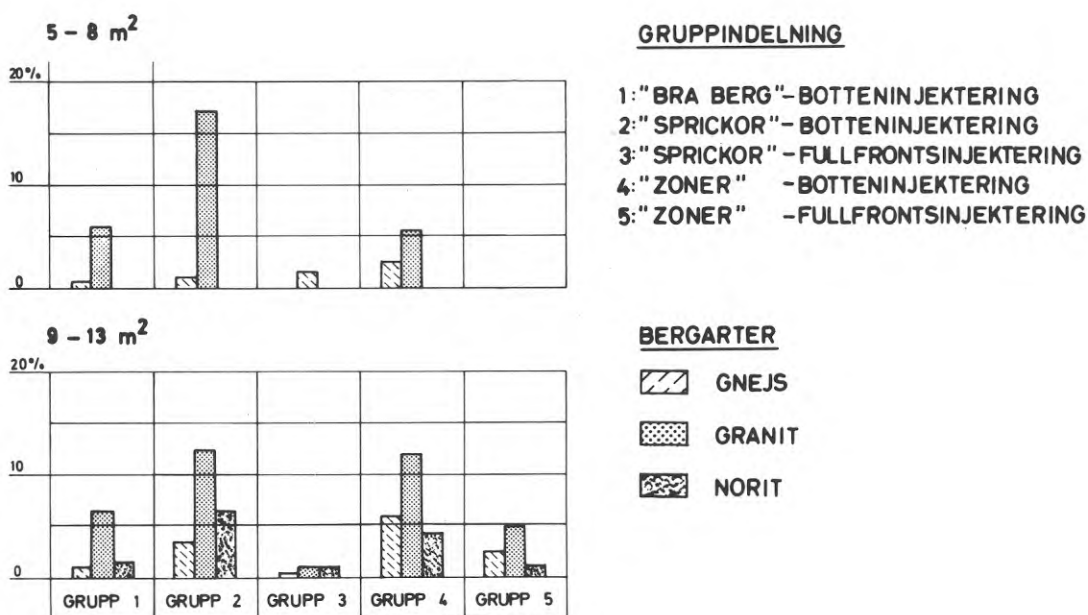


Fig. 12 Gruppindelning samt bergartsfördelning i procent av tunnellängden.

Den specifika injekteringsåtgången anges härvid såsom cementåtgången per skärm utslagen på tunnelsträckan mellan två på varandra följande injekteringsfronter och redovisas i kg cement per tunnelmeter. Inom avsnitt med nedsatt bergkvalitet som sträcker sig över flera skärmar har dessa betraktats som en enhet vid framräkning av den specifika cementåtgången.

Tab. 7 Sammanställning av specifik förinjekteringsåtgång (kg cement/tunnelmeter) med hänsyn till bergkvalitet, bergart och tunnelarea.

Grupp	Hela tunnelsystemet			Tunnelarea 5-8 m ²			Tunnelarea 9-13 m ²					
	Totalt	Varav i		Totalt	Varav i		Totalt	Varav i				
		gnejs	granit	norit	gnejs	granit	norit	gnejs	granit	norit		
1. BRA BERG - BOTTENINJEKTERING												
Andel av tunnellängd												
hela systemet %	16	2	12	2	7	1	6	-	9	1	6	2
inom klassen %	100	10	79	11	42	4	38	-	58	6	41	11
Undre kvartilvärde kg/m		12	15	17		10	14	-		20	17	17
Medianvärde kg/m		24	23	25		15	21	-		32	30	25
Övre kvartilvärde kg/m		157	42	42		33	39	-		163	43	42
2. SPRICKOR - BOTTENINJEKTERING												
Andel av tunnellängd												
hela systemet %	40	5	29	6	18	1	17	-	23	4	13	6
inom klassen %	100	11	73	16	44	3	41	-	56	9	31	16
Undre kvartilvärde kg/m		17	17	20		11	15	-		21	24	20
Medianvärde kg/m		32	33	41		19	28	-		34	38	41
Övre kvartilvärde kg/m		79	93	153		26	68	-		116	79	153
3. SPRICKOR - FULLFRONTSINJEKTERING												
Andel av tunnellängd												
hela systemet %	4	0,4	2,8	0,8	1,6	0	1,6	-	2,4	0,4	1,2	0,8
inom klassen %	100	10	70	20	41	1	40	-	59	9	30	20
Undre kvartilvärde kg/m		81	36	37		-	80	-		-	55	37
Medianvärde kg/m		100	150	92		-	150	-		-	100	92
Övre kvartilvärde kg/m		725	414	306		-	250	-		-	420	306
4. ZONER - BOTTENINJEKTERING												
Andel av tunnellängd												
hela systemet %	31	9	18	4	8	2,5	5,5	-	23	6	12	5
inom klassen %	100	28	57	15	27	8	19	-	73	20	39	14
Undre kvartilvärde kg/m		21	32	29		19	24	-		22	44	29
Medianvärde kg/m		45	58	58		44	45	-		54	76	58
Övre kvartilvärde kg/m		125	110	93		121	86	-		130	150	93
5. ZONER - FULLFRONTSINJEKTERING												
Andel av tunnellängd												
hela systemet %	9	2,5	5,5	1,0	1	0,2	0,8	-	8	2,3	4,7	1,0
inom klassen %	100	30	59	11	12	4	8	-	88	26	51	11
Undre kvartilvärde kg/m		67	64	56		-	91	-		67	64	56
Medianvärde kg/m		142	138	244		-	138	-		142	120	244
Övre kvartilvärde kg/m		175	283	692		-	275	-		179	283	692

Grupp 1 - Botteninjektering i "bra berg": Omfattar berg där varken slag eller krosszoner noterats vid tunnelkarteringen, totalt 16 % av tunnellängden. De erhållna resultaten visar att i "bra berg" bergarten ej påverkat injekteringsåtgången.

Grupp 2 - Botteninjektering i "berg med sprickor": Omfattar berg med enstaka sprickor men utan krosszoner, totalt 40 % av tunnellängden. Spridningen i medianvärdena för de olika bergarterna är liksom i grupp 1 obetydlig. Fortfarande är injekteringsåtgången beroende av tunnelarean. Specifika cementåtgången har dock ökat jämfört med gruppen "bra berg".

Grupp 3 - Fullfrontsinjektering i "berg med sprickor": Omfattar totalt 4 % av tunnellängden. Injekteringsmängden har ökat markant. Materialet är dock alltför begränsat för att bedöma inverkan av bergart och tunnelarea.

Grupp 4 - Botteninjektering i berg med zoner: Omfattar berg med krosszoner, totalt 31 % av tunnellängden. Jämfört med botteninjektering i berg med sprickor föreligger en påtaglig ökning av injekteringsmängden. Tendens till något mindre cementåtgång i gnejs än i granit och norit kan spåras. Materialet visar ej något entydligt beroende av tunnelarean.

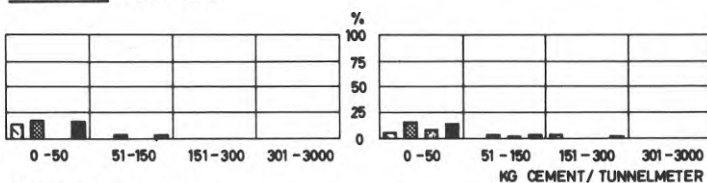
Grupp 5 - Fullfrontsinjektering av zoner: Omfattar 9 % av tunnellängden. Vid jämförelse med fullfrontsinjektering i "berg med sprickor" konstateras att båda grupperna representerar liten del av materialet. Dock framgår att en högre cementåtgång normalt erhålles i berg med zoner.

BOTTENINJEKTERING

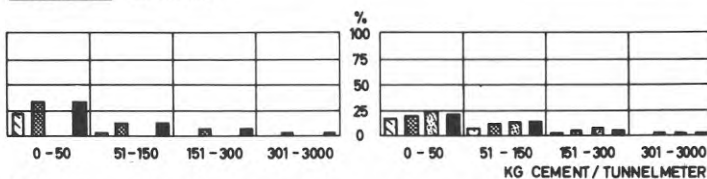
5-8 m²

9-13 m²

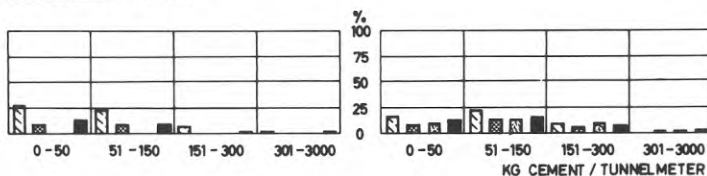
GRUPP 1--"BRA BERG"



GRUPP 2--"SPRICKOR"



GRUPP 4-- "ZONER"

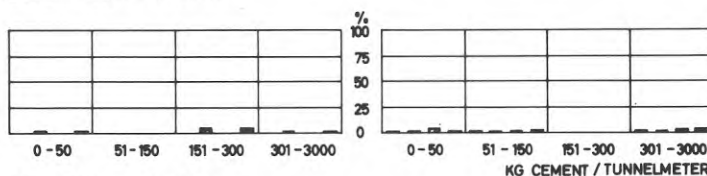


FULLFRONTSINJEKTERING

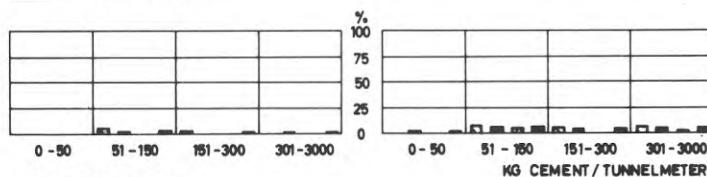
5-8 m²

9-13 m²

GRUPP 3--"SPRICKOR"



GRUPP 5-- "ZONER"



BETECKNINGAR



Fig. 13

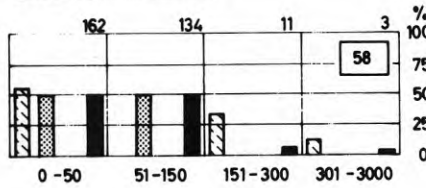
Förinjektering av tunnelbotten - Bergart och bergkvalitet.

Materialet har vidare bearbetats med avseende på krosszoner-
nas bildningssätt (zontyp) i huvudtyperna skjuv-, tensions-
och överskjutningszoner för såväl tunnelstorleken 5-8 m² som
9-13 m². Av materialet utgör 85 % rena zontyper. I de fall
två eller flera tektoniska zontyper förekommer i samma in-
jekteringsavsnitt har dessa sammanförts. Förekommer över-
skjutningszon har denna valts som huvudtyp. Skjuv- och ten-
sionszon i samma avsnitt betecknas som tensionszon.

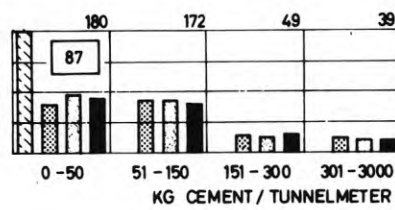
BOTTENINJEKTERING

5-8 m²

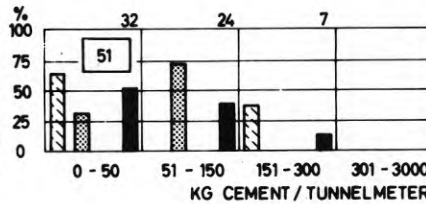
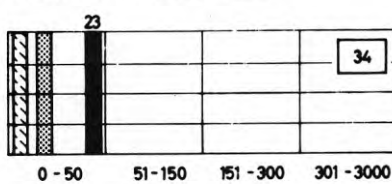
SKJUVZONER



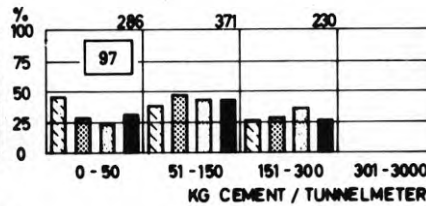
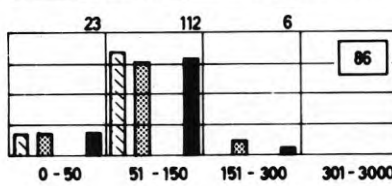
9-13m²



TENSIONSZONER



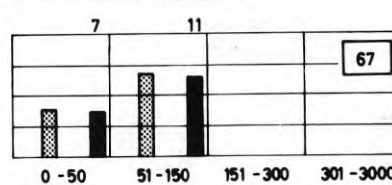
ÖVERSKJUTNINGZONER



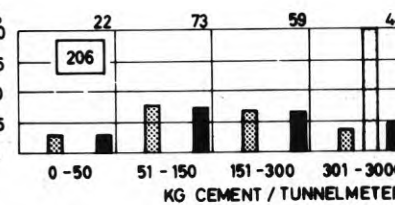
FULLFRONTSINJEKTERING

5-8 m²

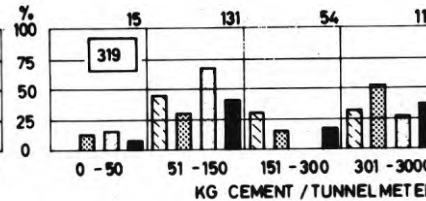
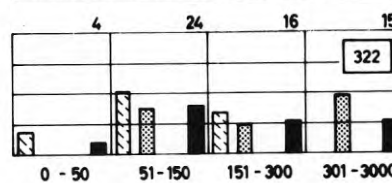
SKJUVZONER



9-13m²



ÖVERSKJUTNINGZONER



BETECKNINGAR

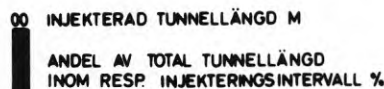
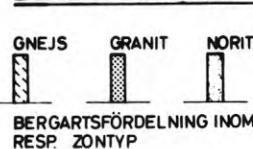


Fig. 14 Förinjekterade zoner - Zontyp.

Av fig. 14 framgår att injekteringsåtgången vid botteninjektering för tensionszoner huvudsakligen ligger inom intervallet 0-50 kg cement/tunnelmeter, för skjuvzoner jämnt fördelat mellan 0-150 kg/m samt för överskjutningszoner med tyngdpunkten i intervallet 50-150 kg/m. Även vid fullfrontsinjektering föreligger tendensen att överskjutningszonerna kräver högre specifik cementåtgång än skjuvzonerna. Av totala antalet zoner har skjuvzonerna till 16 % och överskjutningszonerna till 36 % föranlett fullfrontsinjektering. Inga tensionszoner har fullfrontsinjekterats.

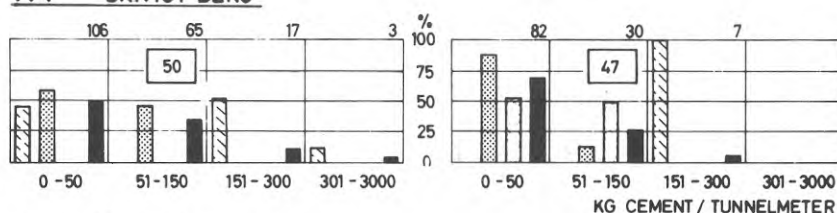
Inverkan av zonernas uppkrossningsgrad (K1-K4) på injekteringsåtgången åskådliggöres i fig 15 och 16.

BOTTENINJEKTERING

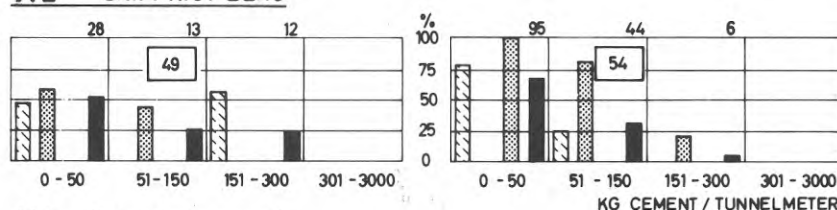
5-8 m²

9-13 m²

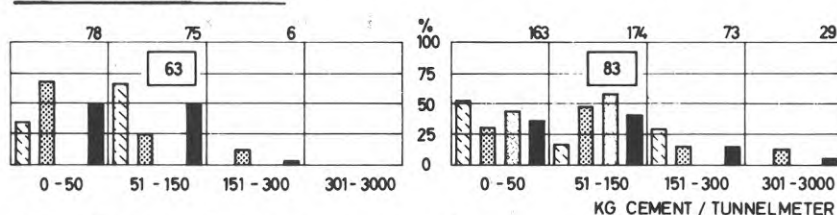
K1 — "SKIVIGT BERG"



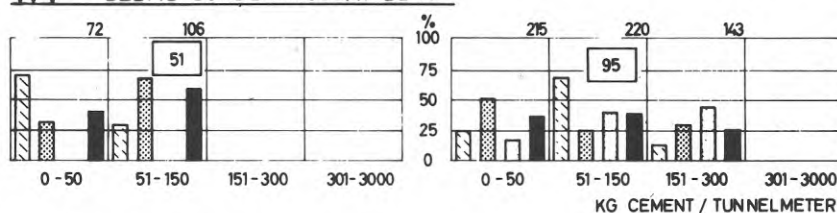
K2 — "SKIFFRIGT BERG"



K3 — "BLOCKIGT BERG"



K4 — "DELVIS SÖNDERKROSSAT BERG"



BETECKNINGAR



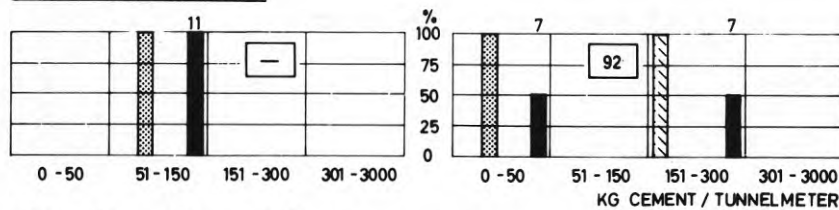
Fig. 15 Förinjekterade zoner, botteninjektering. - Uppkrossningsgrad.

FULLFRONTSINJEKTERING

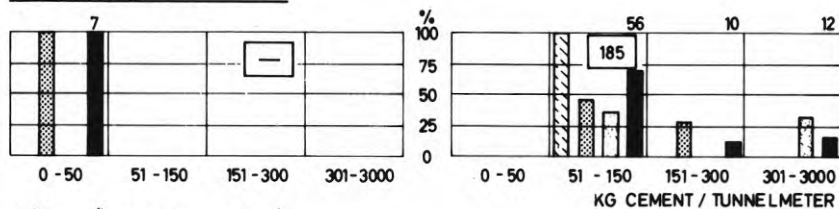
5-8 m²

9-13 m²

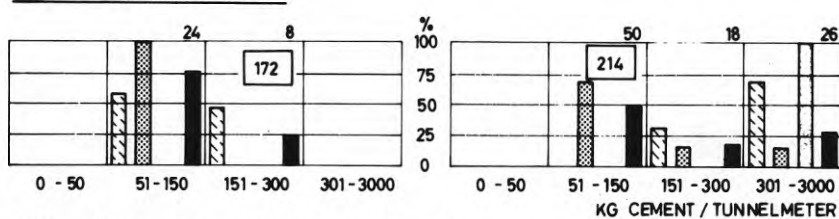
K1 — "SKIVIGT BERG"



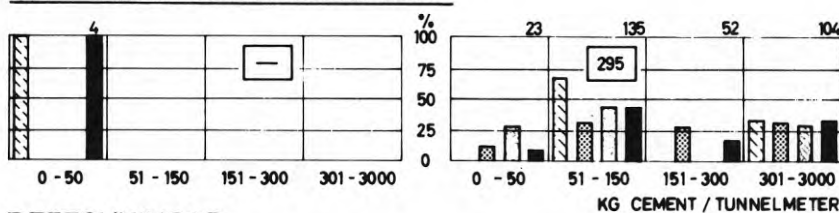
K2 — "SKIFFRIGT BERG"



K3 — "BLOCKIGT BERG"



K4 — "DELVIS SÖNDERKROSSAT BERG"



BETECKNINGAR

GNEJS
GRANIT
NORIT

BERGARTSFÖRDELNING
INOM RESP. ZONTYP.

000 INJEKTERAD TUNNELLÄNGD M
ANDEL AV TOTAL TUNNELLÄNGD
INOM RESP. INJEKTERINGSINTERVALL %

000 MEDELVÄRDE FÖR RESP ZONTYP
KG CEMENT/TUNNELMETER.

Fig. 16 Förinjekterade zoner, fullfrontsinjektering.
- Uppkrossningsgrad.

Krosszoner med "skivigt berg" (K1) har endast till ca 10 % av antalet zoner fullfrontsinjekterats. Botteninjekteringen ligger huvudsakligen inom intervallet 0-150 kg cement/tunnelmeter. Någon bergartsinverkan kan ej utläsas. Någon skillnad mellan botteninjektering av små och stora tunnlar föreligger ej.

Inom "skiffrigt berg" (K2) har ca 30 % av totala antalet zoner fullfrontsinjekterats. Injekteringsåtgången överensstämmer i stort med klass K1. Inom klass K2 kan inverkan av bergart och area ej spåras.

"Blockigt berg" (K3) har till ca 20 % fullfrontsinjekterats. Injekteringsåtgången har ökat jämfört med K1 och K2. Vidare har de större tunnarna i genomsnitt högre injekteringsåtgång. Bergartsinverkan kan ej spåras.

"Delvis sönderkrossat berg" (K4) har fullfrontsinjekterats i ca 30 % av antalet zoner. Botten- och fullfrontsinjekteringen för de större tunnlarna ligger markant högre än i övriga klasser. De relativt låga värdena för småtunnlarna är till en del beroende av att klass K4 här ofta förekommer i smärre finkorniga gnejsinneslutningar i granit, vilka normalt erhållit en K4-karaktär utan att genomgående zon föreligger. Bergartsinverkan i övrigt kan ej spåras.

4.1.3 Slutsatser

Någon tydlig bergartsmässig inverkan på injekteringsåtgången föreligger ej för de tre huvudbergarterna.

Bergkvaliteten har avgörande betydelse för injekteringsåtgången vid såväl botten- som fullfrontsinjektering. Vid injektering i "bra berg" har för 5-8 m² och 9-13 m²-tunnlarna den specifika injekteringsåtgången normalt legat kring 15-20 respektive 25-35 kg cement/tunnelmeter. Motsvarande värden har vid botteninjektering i "berg med sprickor" och "berg med zoner" ökat ca 30 respektive ca 130 %. Vid fullfrontsinjektering av zoner för arean 9-13 m² ligger värdena genomsnittligt ca 5 gånger högre än i "bra berg".

Med hänsyn till krosszonernas bildningssätt har vid botteninjektering cementåtgången för tensionszoner i huvudsak legat i intervallet 0-50 kg/m. Skjuv- och överskjutningszoner har i genomsnitt krävt ca 50 respektive 100 % högre injekteringsåtgång än tensionszonerna. Motsvarande inbördes förhållande mellan skjuv- och överskjutningszoner föreligger även vid fullfrontsinjektering.

Medelvärde för botteninjekterade respektive fullfrontsinjekterade krosszoner uppgår till 75 respektive 205 kg/m. Krosszonernas grad av uppkrossning (K1-K4) ger en med högre K-klass ökad injekteringsåtgång. Sålunda erhålls för botteninjektering en spridning i medelvärdena för K-klasserna mellan 65 till 115 % av medelvärdet för samtliga botteninjekterade zoner. Motsvarande spridning för fullfrontsinjekterade zoner ligger inom intervallet 50-140 %.

4.2 Efterinjektering

Med ledning av utförda läckvattenmätningar, geologisk tunnelkartering och okulärbesiktning samt bedömning av risken för grundvattensänkning har den utförda förinjekteringen successivt kompletterats med efterinjektering med cement. Inom begränsade avsnitt har även injektering med silikatbaserat injekteringsmedel utförts.

4.2.1 Kvantiteter och kostnader

Efterinjekteringen uppgår till totalt 276 ton cement eller ca 20 och 50 kg cement/m för 5-8 m² respektive 9-13 m²-tunnlarna. Kemisk injektering har omfattat totalt 5 ton silikatbaserat injekteringsmedel.

Tab. 8 Specifika kvantiteter för efterinjektering

Arbetstyp	5-8 m ² tunnlar Förinjekterad		9-13 m ² tunnlar Förinjekterad	
	botten	fullfront	botten	fullfront
Andel efterinjekterade förinjekteringsskärmar %	12	10	17	34
Cementmängd kg/meter efterinjekterad förinjekteringsskärm	150	90	270	120
Specifik borrning borrmeter/meter förinjekteringsskärm	10,3	3,0	22,5	6,0
Specifikt hålantal antal borrhål/meter förinjekteringsskärm	3,0	1,0	3,9	1,5

Såsom verksam längd för efterinjektering har räknats längden av den efterinjekterade förinjekteringsskärmen.

Tab. 9 Kostnader för efterinjektering

Kostnadsslag	5-8 m ² tunnlar Förinjekterad		9-13 m ² tunnlar Förinjekterad	
	botten	fullfront	botten	fullfront
Borrning Rörlig kostnad	185	55	450	120
Injektering Fast kostnad	480	155	620	240
Rörlig kostnad	320	180	550	240
Efterinjekteringskostnad kr/m efterinjekterad förinjekteringsskärm	985	390	1620	600

Tab. 10 Total injekteringskostnad

Injekteringstyp	5-8 m ² tunnlar Förinjekterad		9-13 m ² tunnlar Förinjekterad	
	botten	fullfront	botten	fullfront
Efterinjektering kr/tunnelmeter	150	70	285	220
Förinjektering kr/tunnelmeter	510	1350	500	1250
Total injekteringskostnad kr/tunnelmeter	660	1420	785	1470

Totalt uppgår för- och efterinjekteringskostnaden till ca 50-60 % av sprängningskostnaden vid förinjektering av enbart botten och ca 100 % vid fullfrontsinjektering.

Vid upprättandet av förfrågningsunderlaget för tunnelentreprenaden bedömd omfattning av injekteringsarbetena samt slutliga kvantiteter och kostnader framgår av tab. 11.

Tab. 11 Sammanställning över bedömda injekteringskvantiteter, kostnader enligt anbud och verkligt utfall

Arbetstyp	Kvantitet		Kostnad	
	Bedömd	Verklig	Anbud	Slutlig (exkl index)
<u>Förinjektering</u>				
Borrning m	65 700	69 900		
Borrhål st	12 600	7 990		
Cement ton	651	740		
Kostnad Mkr			3,90	3,83
<u>Efterinjektering</u>				
Borrning m	10 500	20 630		
Borrhål st	2 180	4 140		
Cement ton	320	276		
Kostnad Mkr			0,96	1,62
<u>För- och efterinjektering</u>				
Borrning m	76 200	90 530		
Borrhål st	14 780	12 130		
Cement ton	977	1 016		
Kostnad Mkr			4,86	5,45

Förinjekteringsprognosen överensstämmer väl såväl vad avser cementåtgång som kostnad med verkligt utfall. Även cementåtgången för efterinjektering är hyggligt uppskattad, däremot har hålantal och bormeter praktiskt taget fördubblats. Totalt överstiger de verkliga injekteringskostnaderna ej prognosen med mer än 12 %.

4.2.2 Jämförelse mellan cementåtgång och geologisk struktur

Resultaten av utförda efterinjekteringar har sammanställts med hänsyn till bergart, bergkvalitet samt specifik cementåtgång vid förinjektering. Härvid har samma uppdelningsgrunder för bergkvaliteten (grupp 1-5) använts som under förinjekteringsavsnittet. Någon uppdelning med hänsyn till tunnelareans storlek har ej gjorts.

Av fig. 17 framgår hur efterinjekteringarna i sin helhet fördelas inom grupperna "bra berg" (1), "sprickor" (2-3) och "zoner" (4-5) med hänsyn till specifik cementåtgång. För varje efterinjekteringsintervall redovisas även den specifika cementåtgången för motsvarande förinjekterings-skärmar.

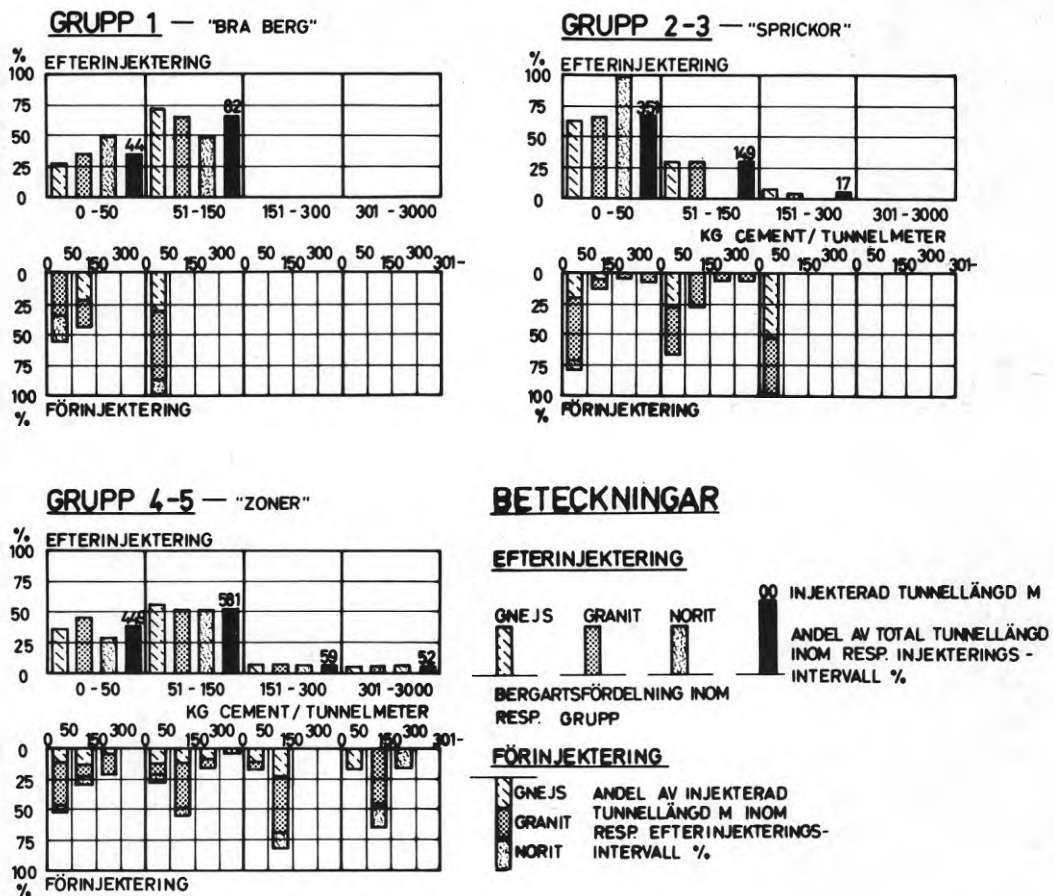


Fig. 17 Efterinjekterade zoner - Bergart och bergkvalitet samt utförd förinjektering.

Inom "bra berg" ligger injekteringarna med tyngpunkten inom intervallet 50-150 kg cement/tunnelmeter inom respektive kompletterad förinjekterings-skärm. För intervallet 0-50 kg/m har motsvarande förinjektering legat jämnt fördelat på 0-150 kg/m, medan efterinjekteringsintervallet 50-150 kg/m helt kompletterar låga förinjekteringar. Totalt har 13 % av antalet injekterings-skärmar inom gruppen erfordrat komplettering.

Gruppen "berg med sprickor" domineras av injekteringar i intervallet 0-50 kg/m och även här har förinjekteringen huvudsakligen legat i samma intervall. Totalt har 22 % av injekterings-skärmarna efterinjekterats.

I "berg med zoner" ligger ca hälften av efterinjekteringarna i intervallet 50-150 kg/m. Förinjekteringarna visar större spridning och bortsett från det lägsta efterinjekteringsintervallet ligger förinjekteringarna huvudsakligen inom 50-150 kg/m. Totalt har 44 % av injekterings-skärmarna efterinjekterats.

Inverkan av krosszonernas bildningssätt (zontyp) samt uppkrossningsgrad (K1-K4) på efterinjekteringsinsatserna åskådliggöres i fig. 18 och 19. Härvid har materialet även uppdelats med avseende på förinjektering i botten- och fullfrontsinjektering.

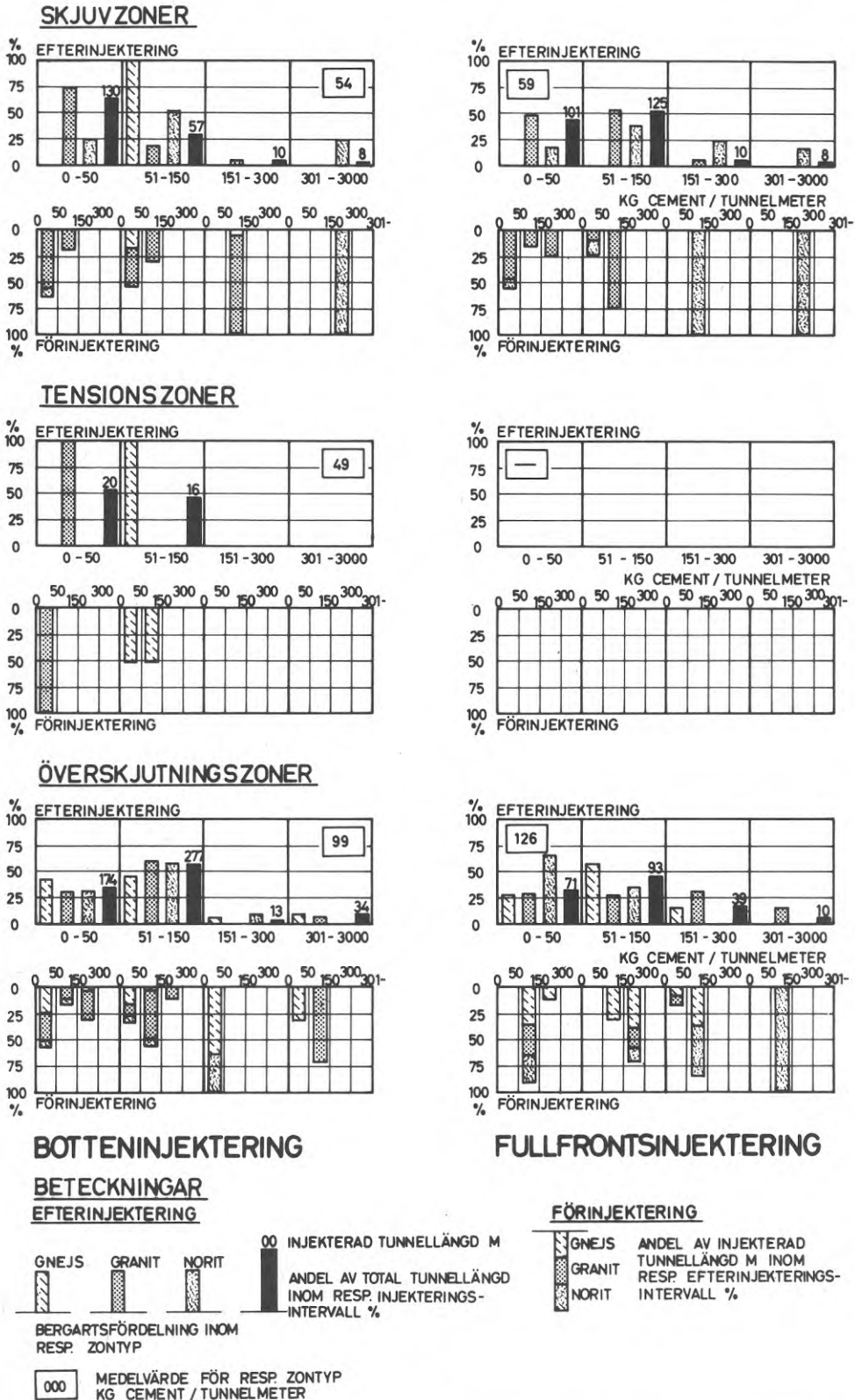


Fig. 18 Efterinjekterade zoner - Zontyp samt utförd förinjektering.

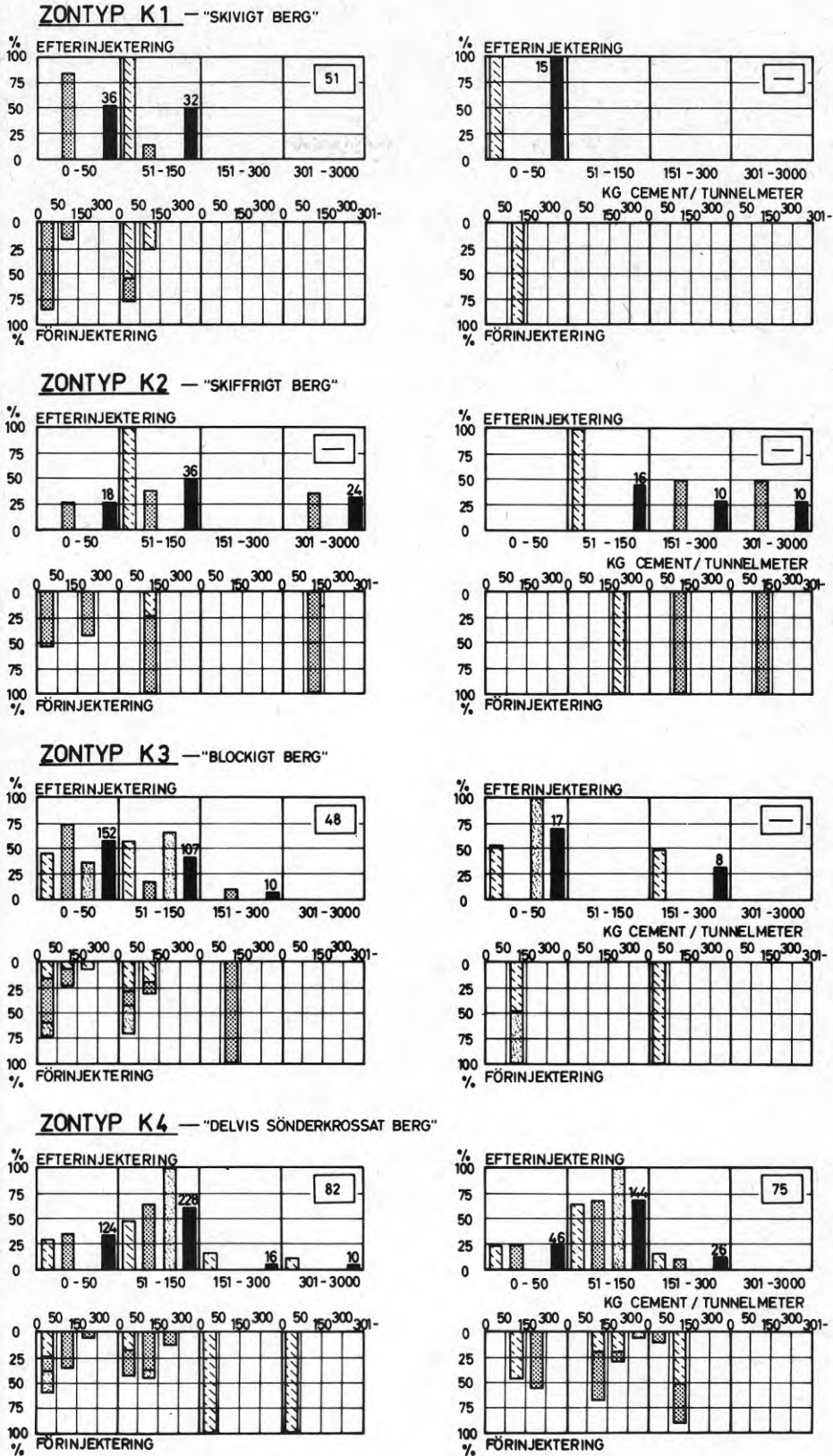


Fig 19. Efterinjekterade zoner - Uppkrossningsgrad samt utförd förinjektering.

Av de förinjekterade skjuvzonerna har ca 30 % av de botteninjekterade och 40 % av de fullfrontsinjekterade zonerna krävt kompletterande efterinjektering.

Av tensionszonerna har 30 % efterinjekterats.

Överskjutningszonerna utgör det mest omfattande materialet. De botteninjekterade zonerna har till 55 % krävt efterinjektering och de fullfrontsinjekterade till 60 %. Injekteringsåtgången ligger inom de botteninjekterade avsnitten högre än motsvarande värden för skjuv- och tensionszoner. Däremot är det ingen större skillnad mellan botten- och fullfrontsinjektering inom gruppen. Karakteristiskt är även att förinjekteringarna genomgående ligger högre än i de båda andra grupperna.

Krosszoner med "skivigt berg" (K1) har fordrat efterinjektering i ca 25 % av antalet botteninjekterade K1-zoner.

Krosszoner med "skiffrikt berg" (K2) har efterinjekterats i ca 20 respektive 40 % av antalet zoner. De förinjekterade avsnitten ligger genomsnittligt relativt högt liksom även efterinjekteringsinsatserna. Materialet har dock begränsad omfattning.

"Blockigt berg" (K3) har efterinjekterats i 50 respektive 25 % av antalet zoner. Tyngdpunkten för efterinjekteringen ligger inom intervallet 0-50 kg/m. Förinjekteringarna är huvudsakligen koncentrerade till samma intervall.

"Delvis sönderkrossat berg" (K4) har efterinjekterats i 50 respektive 75 % av antalet zoner. Efterinjekteringarna domineras av intervallet 50-150 kg/m. Motsvarande förinjekteringar är fördelade över intervallen 0-300 kg/m.

4.2.3 Slutsatser

Komplettering av utförd förinjektering med efterinjektering har inom de enbart botteninjekterade avsnitten utförts i 12 och 17 % av antalet botteninjekteringsskärmar för 5-8 m² respektive 9-13 m²-tunnlar. Motsvarande värden för fullfrontsinjektering uppgår till 10 respektive 34 %.

Liksom vid förinjektering har bergkvaliteten betydelse för omfattningen av erforderlig efterinjektering. Jämfört med gruppen "bra berg" har "berg med sprickor" och "berg med zoner" fordrat efterinjektering i dubbelt respektive fyra gånger så stor andel av injekteringsskärmarna.

Överskjutningszoner har i genomsnitt krävt dubbelt så hög specifik efterinjektering som skjuv- och tensionszonerna.

Med hänsyn till krosszonernas uppdelning efter uppkrossningsgrad (K1-K4) visar medelvärdena för efterinjektering i bottenförinjekterade skärmar en med högre grad av uppkrossning ökad injekteringsåtgång. Förinjekteringsskärmarna i K3- och K4-zoner har krävt ca dubbelt så hög efterinjekteringsfrekvens som K1 och K2-zonerna.

För att undersöka möjligheterna att komplettera cementinjekteringar inom mycket finsprickiga avsnitt gjordes försök med silikatbaserade injekteringsmedel. För närvarande är dock tekniken ej tillräckligt utprovad för att till rimlig kostnad rutinmässigt kunna tillämpas.

5 SPRUTBETONG

5.1 Kvantiteter och kostnader

Totalt har i samband med tunneldrivningen utförts 6900 m² driftförstärkning med sprutbetong eller 5 och 12 % av teoretisk vägg- och takyta för 5-8 m²- respektive 9-13 m²-tunnlarna.

Permanentförstärkningen har uppgått till totalt 11600 m² sprutbetong eller 14 och 17 procent av teoretisk vägg- och takyta för 5-8 m²- respektive 9-13 m²-tunnlarna.

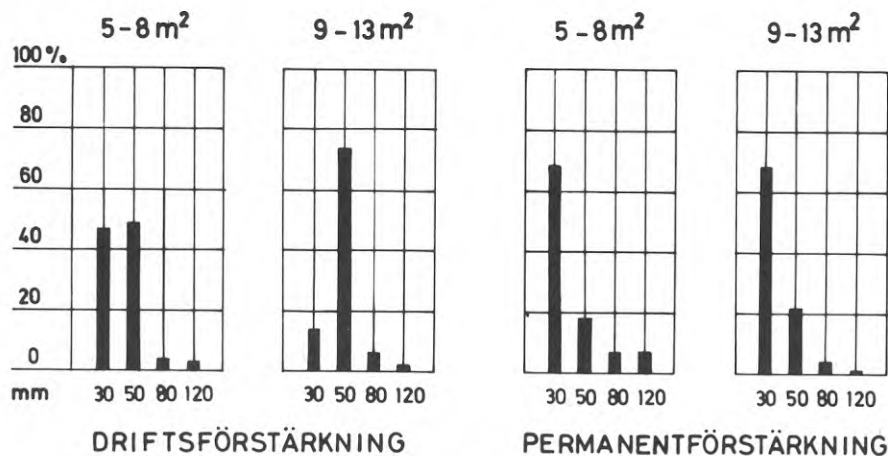


Fig. 20 Drift- och permanentförstärkningens procentuella fördelning efter tjocklek för tunnelareorna 5-8 m² och 9-13 m².

Såsom komplement till sprutbetongen har i mindre omfattning även bultning använts, totalt cirka 350 bult.

Vid upprättandet av förfrågningsunderlaget bedömdes kvantiteterna uppgå till totalt 9350 m² driftförstärkning och 14500 m² permanentförstärkning motsvarande en kostnad av totalt 998000 kronor. Verkliga kostnaderna uppgår till 768000 kronor exkl. index.

5.2 Jämförelse mellan förstärkningsbehov och geologisk struktur

Utförda sprutbetongförstärkningar har uppdelats med hänsyn till typ av nedsatt bergkvalitet inom de förstärkta avsnitten. Härvid har endast de avsnitt medtagits där en störning i form av krosszon dokumenterats i såväl tak- som väggsida i tunneln. Dessa avsnitt utgör ca 40 % av total förstärkningsinsats. Resterande del avser huvudsakligen slag och lerslag samt avsnitt där orsaken till sprutningen ej framgår av tunnelkarteringen. Materialet har sammanställts med avseende på störningarnas bildningssätt i huvudtyperna skjuv-, tensions- och överskjutningszoner, dels för tunnlar i sin helhet, dels med uppdelning på tunnelarea. I de fall två eller flera tektoniska zontyper förekommer i samma avsnitt har dessa sammanförts. Där överskjutningszon ingår väljes denna som huvudtyp. Kombinationen skjuv- och tensionszon betecknas som tensionszon. Av materialet utgör 85 % rena zontyper.

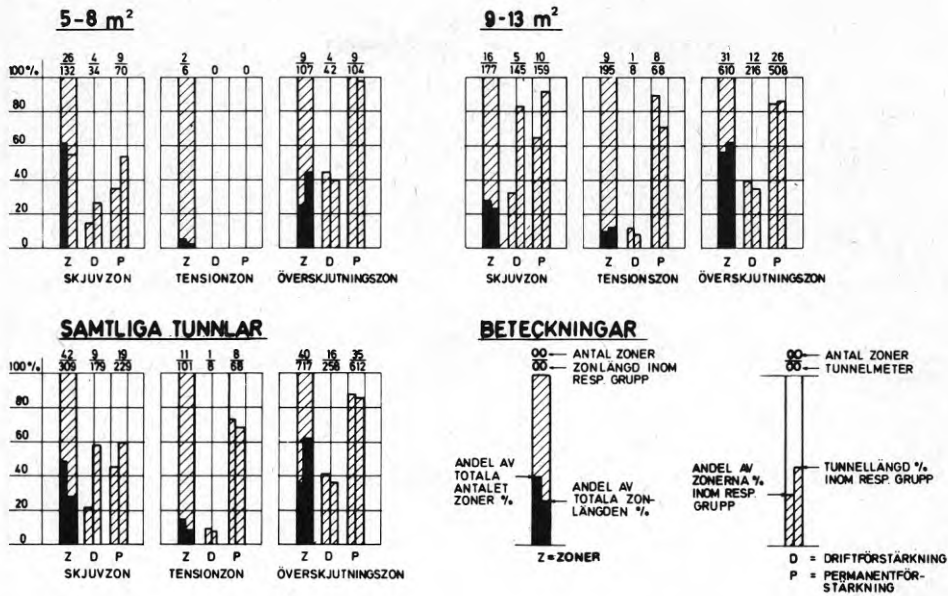
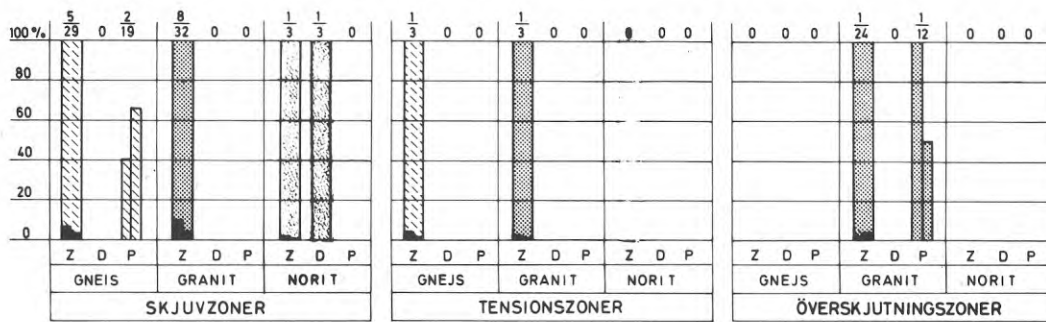


Fig. 21 Zoner förstärkta med sprutbetong - zontyp.

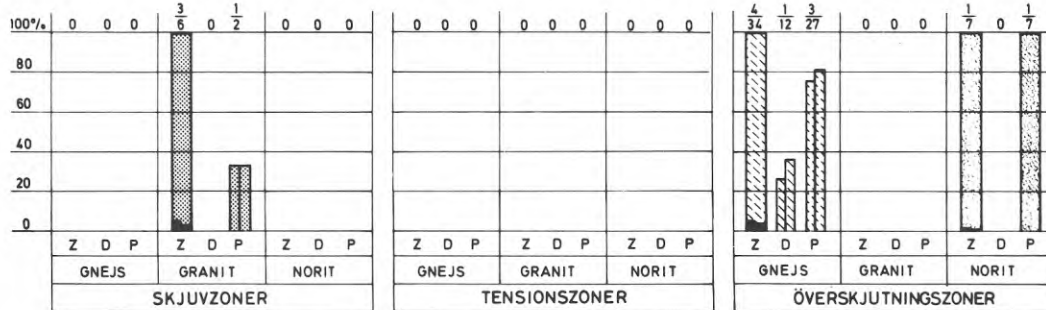
Enligt figur 21 erfordrar normalt tensionszoner ingen driftförstärkning, medan såväl skjuv- som överskjutningszoner på 40-60 % av zombredden erfordrar förstärkning. För permanentförstärkningen är däremot skillnaden mellan de tre tektoniska zontyperna mindre och ca 70-80 % av totala zonlängden är inklädd. Vid jämförelse med avseende på tunnelarean visar överskjutningszonerna ingen större skillnad i förstärkningsbehov. Skjuv- och tensionszoner kräver däremot i småtunnlarna betydligt mindre insatser av såväl drifts- som permanentförstärkning.

För att undersöka eventuell inverkan av bergart och zonernas grad av uppkrossning (K1-K4) på förstärkningsbehovet har materialet uppdelats inom de tektoniska huvudtyperna skjuv-, tensions- och överskjutningszonerna. Med hänsyn till det begränsade materialet har härvid uppdelning efter tunnelarea ej gjorts.

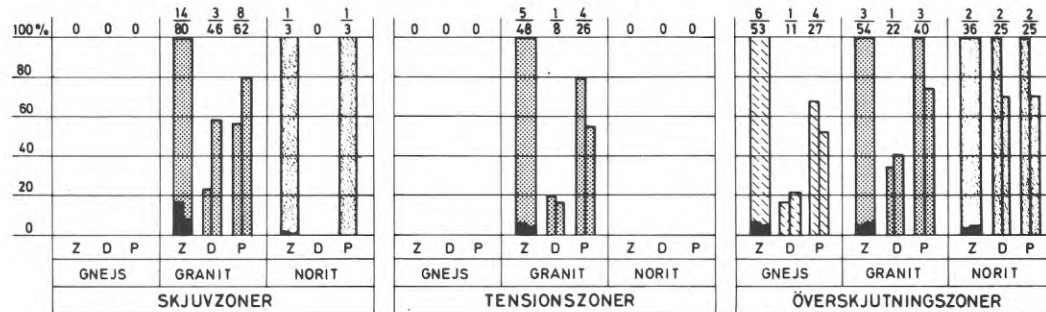
ZONTYP K 1 — "SKIVIGT BERG", PLANPARALLELLA SPRICKOR MED INBÖRDES AVSTÅND ≥ 10 CM



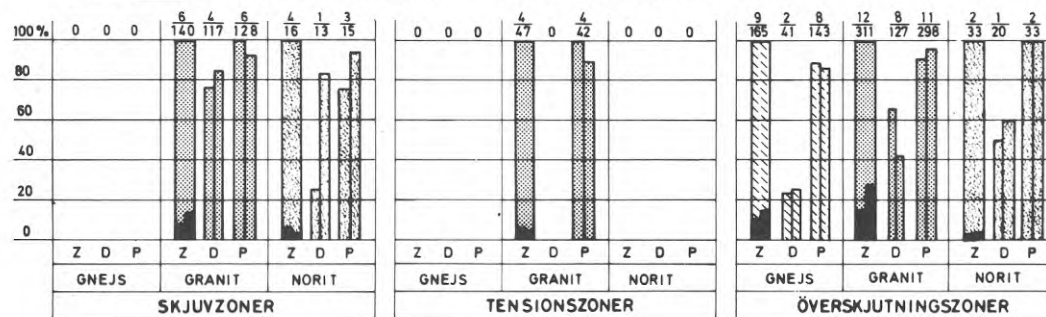
ZONTYP K 2 — "SKIFFRIGT BERG", PLANPARALLELLA SPRICKOR MED INBÖRDES AVSTÅND < 10 CM



ZONTYP K 3 — "BLOCKIGT BERG", BLOCK MED KANTLÄNGD ≥ 20 CM



ZONTYP K 4 — "DELVIS SÖNDERKROSSAT BERG", BLOCK MED KANTLÄNGD < 20 CM



BETECKNINGAR

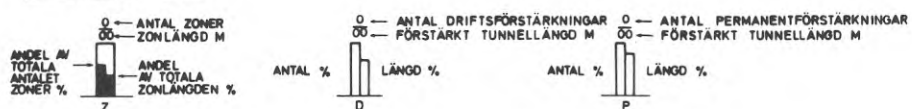


Fig. 22 Zoner förstärkta med sprutbetong - Uppkrossningsgrad.

Krosszoner med "skivigt berg" (K1) utbildas normalt i samtliga tektoniska huvudtyper och förekommande bergarter. K1-zonerna har endast i undantagsfall (överskjutningszon i spetsig vinkel med tunneln) krävt förstärkning.

"Skiffrigt berg" (K2) återfinnes ej i tensionszoner och endast i mindre omfattning i skjuv- och överskjutningszoner. De i gnejs och granit uppträdande K2-zonerna är huvudsakligen knutna till avsnitt med amfiboliter. K2-zonerna har normalt ej föranlett driftförstärkning, däremot har zonerna permanentförstärkts med hänsyn till risken för blockutfall i samband med vittring av leror i framför allt amfibolit-avsnitt. Inom K2-klassen har i många fall överskjutningszoner fordrat fullständig inklädnad i driftskedet, varför kartering av zonklass ej kunnat göras och denna grupp är således underrepresenterad i diagrammet.

Krosszoner med "blockigt berg" (K3) är i överskjutningszoner representerade i alla bergartstyperna, medan skjuv- och tensionszoner huvudsakligen förekommer i granit. I genomsnitt har ca en tredjedel av antalet zoner och ca 40 % av zonlängden fordrat driftförstärkning. Ca 70 % av zonerna har permanentförstärkts.

"Delvis sönderkrossat berg" (K4) förekommer mest markant såsom överskjutningszoner i gnejs och granit. I genomsnitt har ca 40 % av zonerna krävt driftförstärkning och i sin helhet permanentförstärkning.

5.3 Slutsatser

Med beaktande av att materialet bergartsmässigt domineras av granit (70 % av tunnelsträckan) kan man konstatera att i fråga om driftförstärkning ingen markant skillnad föreligger för de tre huvudbergarterna. Permanentförstärkning ligger däremot i gnejsavsnitten ca 50 % högre än i granit och ca 100 % högre än i norit. Inklädda och därigenom ej karterbara avsnitt är huvudsakligen belägna inom gnejspartierna, vilket ytterligare förstärker den ovan angivna tendensen.

Driftförstärkning har krävts för halva sträckan av skjuv- och överskjutningszoner. Tensionszoner har ej föranlett driftförstärkning.

Med hänsyn till graden av uppkrossning (K1-K4) har driftförstärkning förekommit huvudsakligen inom klasserna K3 och K4.

Med avseende på tunnelareans storlek har skjuv- och tensionszoner krävt betydligt mindre såväl drift- som permanentförstärkning i de små tunnarna än i de större. För överskjutningszonerna föreligger ingen sådan skillnad.

Permanentförstärkning har fordrats på ca 70-80 % av totala zonlängden. Någon markant skillnad mellan tektoniska zon typer framgår ej.

Såsom överberg betecknas berg som utfallit utanför den så kallade frizonen, vilken sträcker sig 30 cm utanför teoretisk sektion. Totalt har överberget (inkl av entreprenören utsprängda nischer för mötesplatser, omlastningsstationer etc) uppgått till ca 6340 m³ eller 9 % av total teoretisk bergkvantitet.

Överberget har ersättningsreglerats i enlighet med Fortifikationsförvaltningens bestämmelser. Ersättningsberättigat överberg uppgick till totalt 1090 m³. Kostnaden motsvarar för småtunnlarna 1,5 % och för de större tunnlarne 0,9 % av sprängningskostnaden.

7 GRUNDVATTENOBSERVATIONER OCH SÄTTNINGSMÄTNINGAR
SAMT LÄCKVATTENMÄTNINGAR

I samband med utförandet av tunnelsystemet har ett omfattande kontrollprogram för uppföljning av tunnelarbetenas inverkan på bland annat grundvattenförhållandena genomförts.

Observationsnät för kontroll av grundvattennivån i jord och berg samt för sättningkontroll av byggnader och mark har utlagts och följts upp med början ca ett år före tunnelarbetenas igångsättning.

Totalt omfattar grundvattenobservationerna 60 observationsrör i jord och 6 observationsbrunnar i berg. Uppföljningsmätningar har genomförts månadsvis och pågår fortfarande fortlöpande. Funktionskontroll av rören genomföres halvårsvis genom infiltrationsprov. Befintliga vattentäkter inom undersökningsområdet inventerades. I området finns ca 360 grävda och 90 bergborrade brunnar. Av brunnarna har uppföljningsmätningar utförts i ett 40-tal.

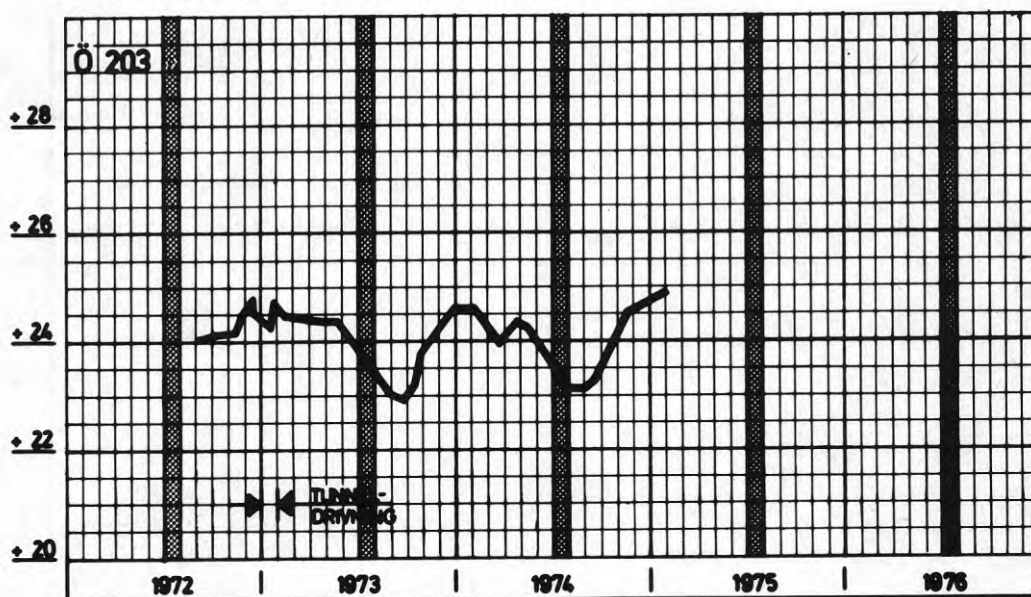


Fig. 23 Grundvattennivå i observationsrör i jord.

Sättningsobservationerna omfattar totalt 120 byggnader och 30 markobjekt, vilka samtliga mättes vid första avvägningstillfället. För representativa objekt inom varje delområde, ca 20 % av mätpunkterna, fanns tre avvägningresultat och därmed eventuellt pågående sättningstrend dokumenterad innan tunnelfronten nått området i fråga. Uppföljningsmätningar har därefter gjorts med halvårsintervall och efter tunnelarbetenas avslutande avvägdes samtliga mätpunkter. Uppföljningen har begränsats till ett 30-tal objekt, som mäts en gång årligen.

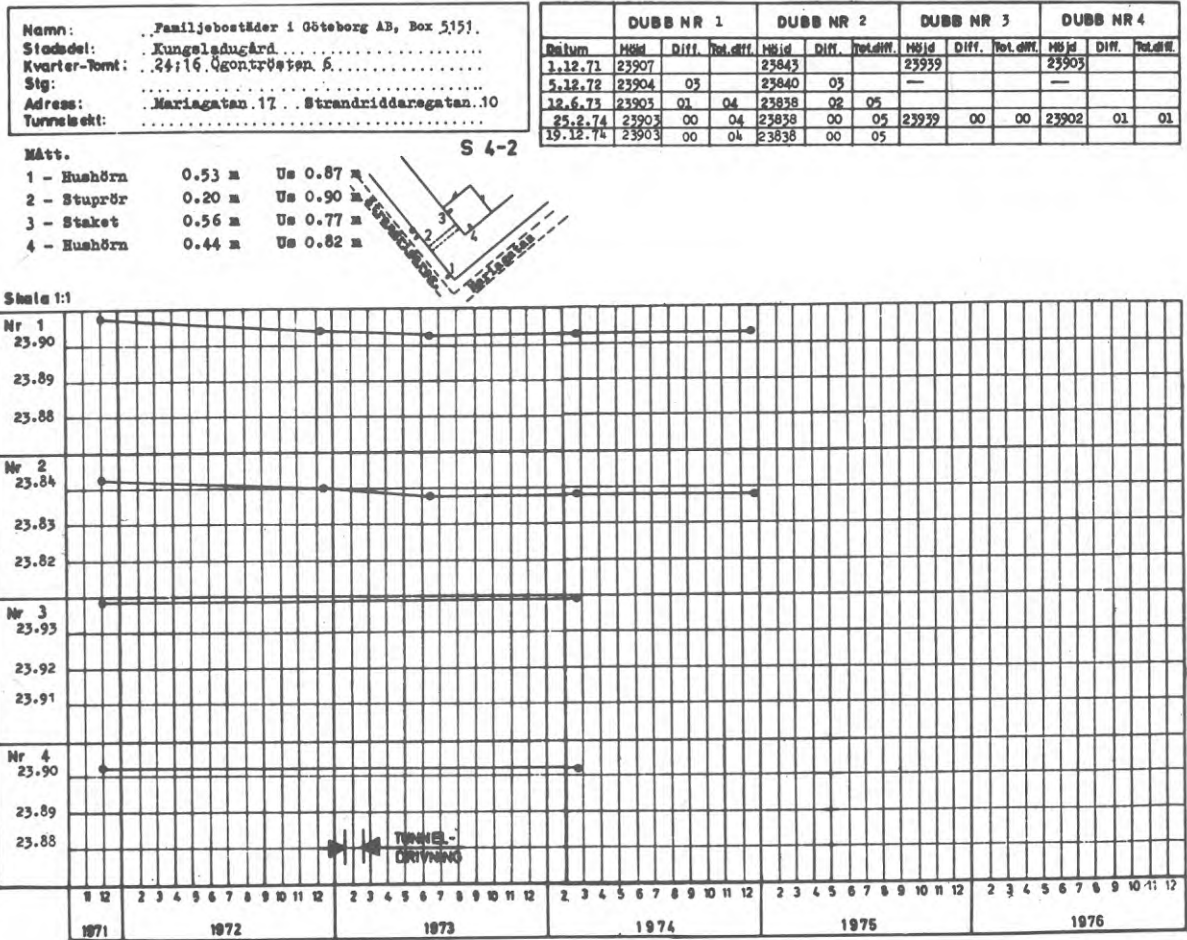


Fig. 24 Sättningsmätning på byggnad.

Under byggskedet kompletterades grundvattenkontrollen med utförande av mätvallar i tunnelsystemet med kontinuerlig registrering av inläckande grundvatten.

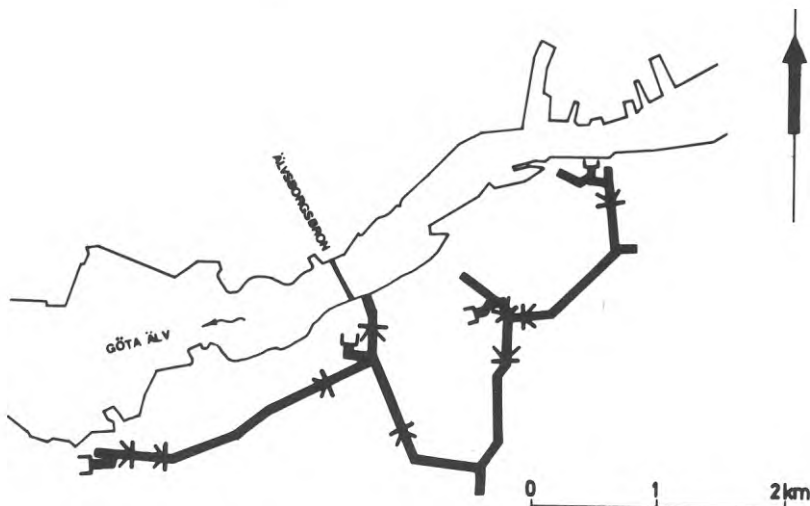


Fig. 25 Mätvallar för läckvatten.

Mätvallarna är normalt utformade som avskärande betongtrösklar i tunneln, vilka sektionerar tunnelsträckorna. Vattnet avrinner med självfall eller pumpas till mätgrop där vattenmängden mäts med 60^o-Thomson-skibord och registrerande nivåskrivare. Från mätgropen utpumpas vattnet ur tunnelsystemet. Vid utvärdering har mätresultaten under veckoslut använts, då normalt produktionen legat nere och läckvattnet ej påverkats av borrhvatten etc. Resultaten har bearbetats veckovis och redovisats dels såsom total inläckning, dels såsom inläckning per till mätstationen ansluten tunnellängd i km.

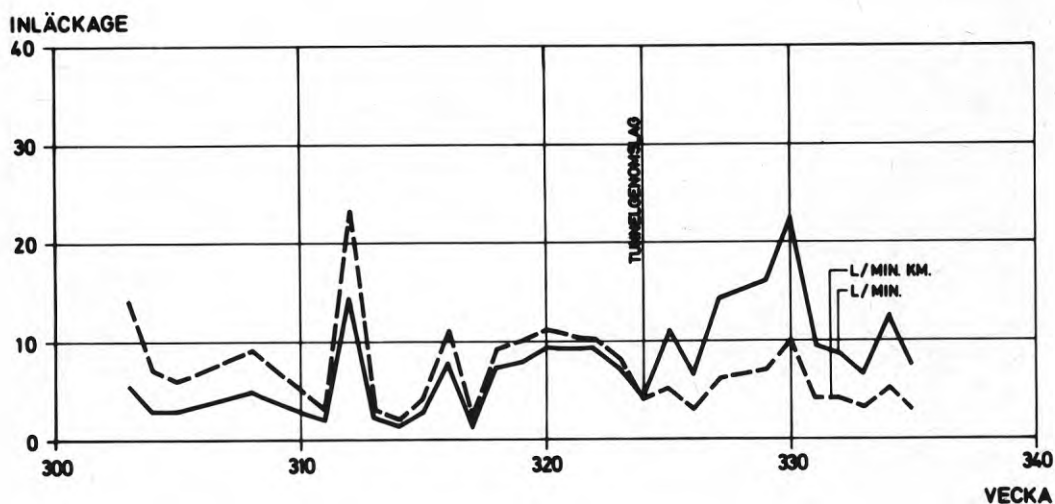


Fig. 26 Uppmätt inläckage vid mätvall.

Mätresultaten har använts dels för att ge underlag för bedömning av erforderlig efterinjektering, dels för kontroll om utförd efterinjektering gett avsedd effekt.

Vid de utförda läckvattenmätningarna har momentant vid vissa mätvallar läckvattenmängder upp till 100 l/min·km registrerats. De höga värdena har genom kompletterande efterinjekteringar snabbt reducerats till maximalt 20-30 l/min·km. I slutskedet, då efter noggrann genomgång av uppträdande läckage ytterligare efterinjekteringar utförts, uppmättes för hela tunnelsystemet ett specifikt grundvattenläckage av 13 l/min·km.

Bortsett från de nederbördsberoende grundvattenfluktuationerna har någon förändring i grundvattennivån till följd av tunneldrivningen ej kunnat spåras. Ej heller har någon av de inventerade brunnarna påverkats av tunneldrivningen.

Enligt de utförda sättningmätningarna pågick inom vissa delområden sättningar upp till 10 mm/år innan tunnelarbetena påbörjades. Hittills utförda avvägningar visar ej i något fall tendens till ökad sättning i samband med tunneldrivningen.

Samtliga fastigheter inom 50 meters avstånd från tunneln har för- och efterbesiktigats, totalt ca 140 villor, 140 hyresfastigheter med totalt 3500 lägenheter samt 30 industribyggnader och offentliga inrättningar.

Entreprenörens sprängningar har kontrollerats genom vibrationsmätningar i totalt ca 120 mätpunkter. Angivna tillåtna värden har i 10 mätpunkter överskridits vid enstaka tillfällen.

Antal klagomål i samband med sprängningarna från boende inom området har under hela byggnadstiden ej uppgått till mer än ca ett hundratal.

Vid efterbesiktningarna har av sprängningarna orsakade skador konstaterats i 79 fall. Skadorna består i huvudsak av sprickor i puts, lossade plattor i kakelbeklädnader och dylikt. Utbetald ersättning har uppgått till ca 0,4 % av anläggningskostnaden.

9. KOSTNADSBEDÖMNING

Kostnaderna för injekterings- och förstärkningsarbeten är på projekteringsstadiet oftast svåra att bedöma. Som framgår av undersökningsmaterialet föreligger ett tydligt samband mellan bergkvalitet samt injekterings- och förstärkningsinsatser. Kostnadsbedömningen bör därför baseras på en detaljerad geologisk-tektonisk undersökning. I nedanstående diagram skisseras hur inverkan av bergkvaliteten påverkar kostnaderna för injektering och förstärkning.

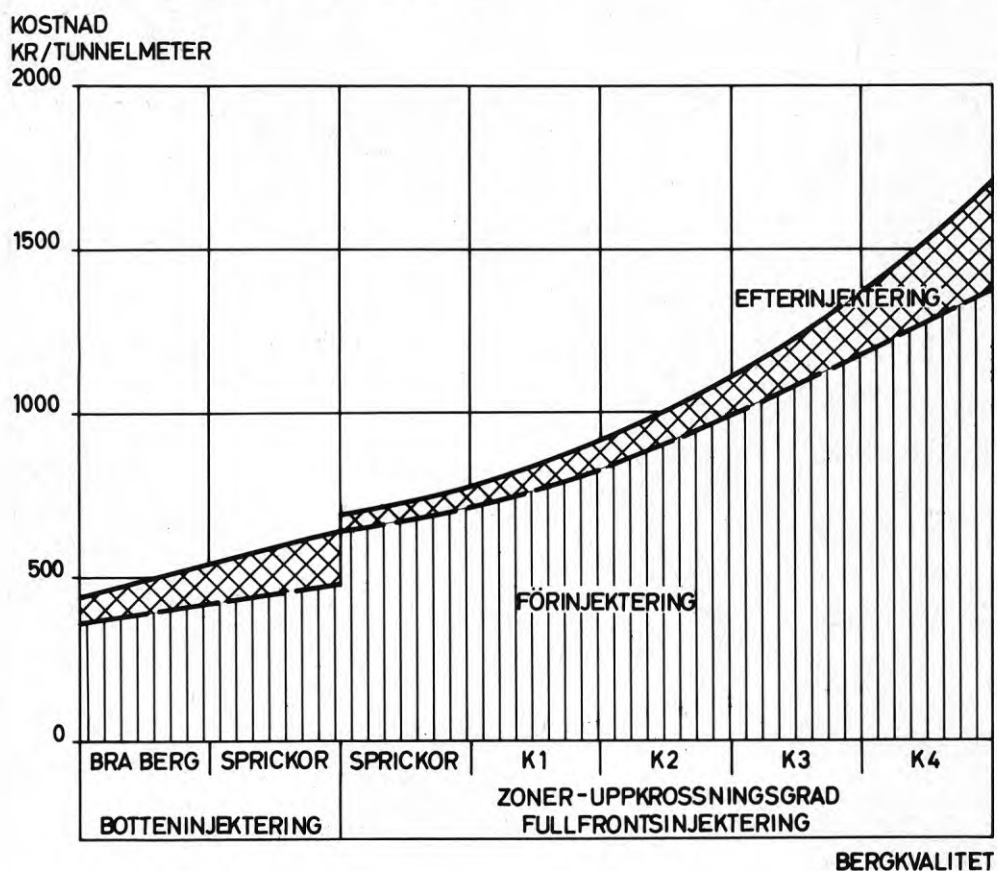


Fig. 27 Kostnad för cementinjektering av 12 m²-tunnel med hänsyn till bergkvalitet (1974 års prisläge).

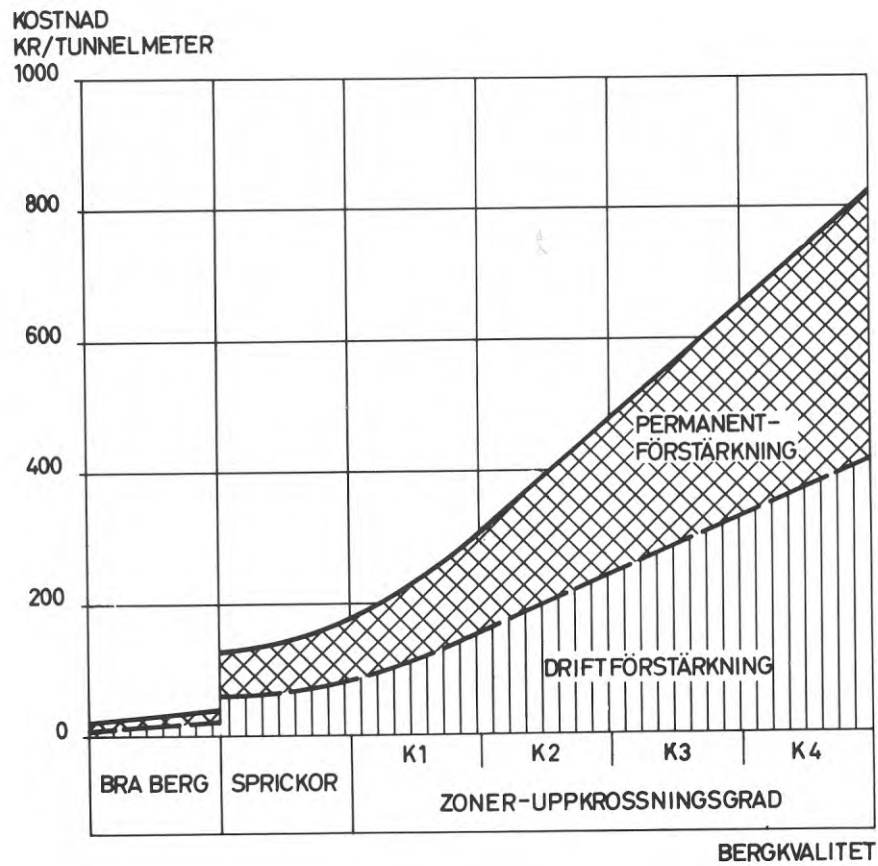


Fig. 28 Kostnad för sprutbetongförstärkning av 12 m^2 -tunnel med hänsyn till bergkvalitet (1974 års prisläge)

Ovan angivna trend mellan kostnad och bergkvalitet är baserad på ett begränsat underlag, men visar dock tydligt att en systematisk redovisning av de bergbyggnadstekniska förutsättningarna ger möjlighet till kvalificerad kostnadsbedömning.

Bergab-Berggeologiska Undersökningar AB, 1973, Geologisk kartering av utsprängda tunnlar inom centrala Göteborg, Majorna och Älvsborg. Göteborgsregionens Ryaverksaktiebolag, Göteborg (ritningar).

Larsson, I, 1954, Structure and landscape in western Blekinge, southeast Sweden. Studies in Geography, Serie A, Nr 7, Lund.

Larsson, I, 1963, Tectonic and morphologic studies in Precambrian rocks at groundwater prospecting in south Sweden. Geologiska föreningen, Förhandling 85, Stockholm.

Larsson, I, 1968, Groundwater in precambrian rocks in southern Sweden. Groundwater problems, Pergamon Press, New York.

Lundegårdh, P. H., 1958, Göteborgstraktens berggrund. Sveriges geologiska undersökning, Serie C Nr 4, Stockholm.

Palmqvist, K & Nilsson, L, 1971, Översiktlig geologisk-tektonisk undersökning för spillvattentunnlar inom centrala Göteborg, Majorna och Älvsborg. Göteborgsregionens Ryaverksaktiebolag, Göteborg (stencil).

Palmqvist, K & Nilsson, L, 1972, Detaljerad geologisk-tektonisk undersökning för spillvattentunnlar inom centrala Göteborg, Majorna och Älvsborg. Göteborgsregionens Ryaverksaktiebolag, Göteborg (stencil).

Price, N, 1966, Fault and joint development in brittle and semibrittle rock, Pergamon Press, Leeds.

Sandegren, R & Johansson, H. E, 1931, Beskrivning till geologiska kartbladet Göteborg. Sveriges geologiska undersökning, Serie Aa, Nr 173, Stockholm.

R4:1976

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740140-5 från Statens råd för byggnadsforskning till Göteborgs vatten- och avloppsverk.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm

Grupp: byggprojektering

Pris: 23 kronor + moms