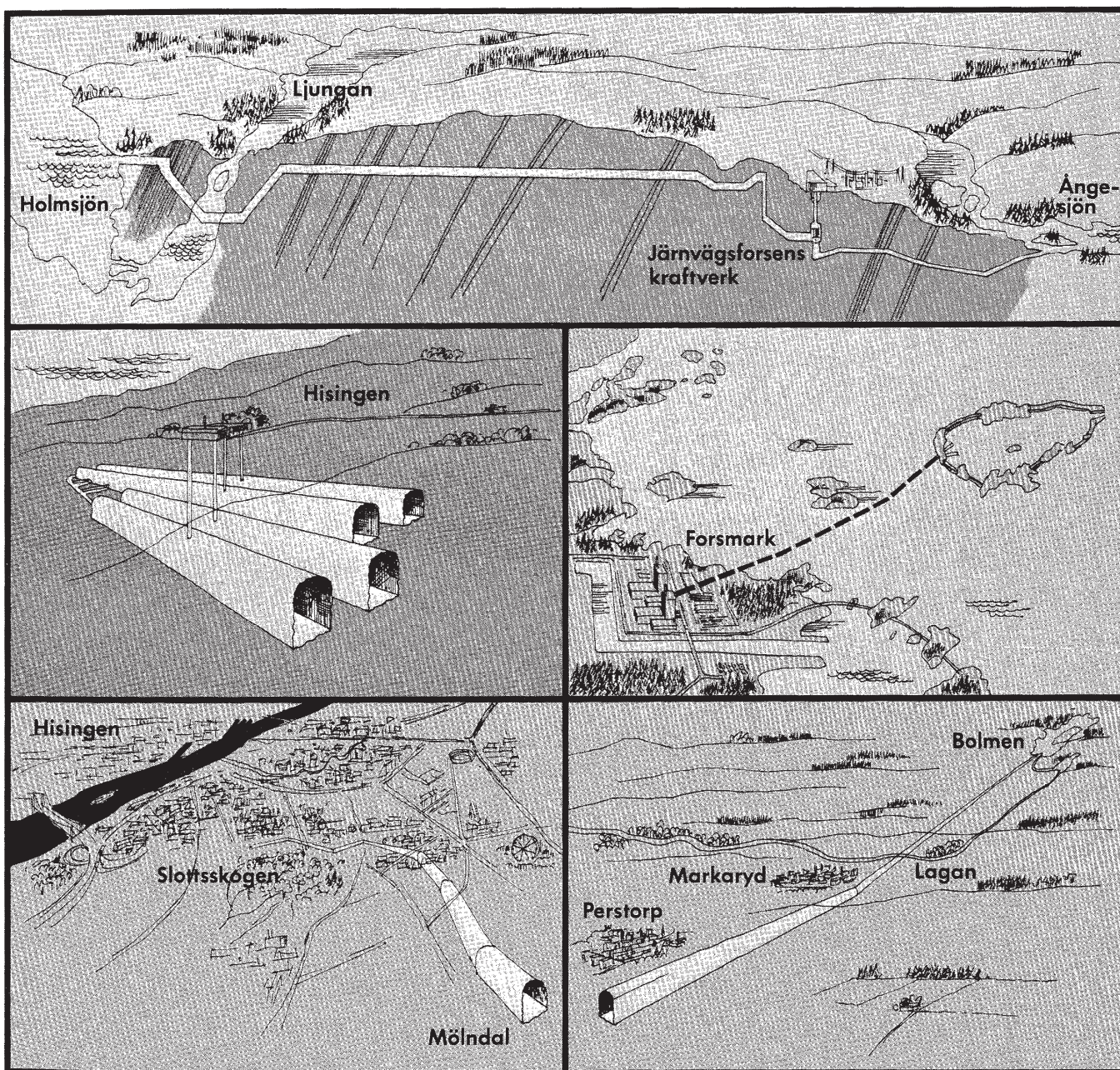


BeFo

Förundersökningars värde och omfattning



Förundersökningars värde och omfattning — BeFo 18

**Etapp II: Uppföljning och utvärdering av förundersökningar
och förstärkningsprognoser för sex berganläggningar**

Optimal Site Investigations

**Evaluation of site investigations by comparing support prognoses
with encountered conditions and actual support measures
for six Swedish underground projects**

Hans Helfrich

**Magnus Bergman, Anders Carlsson, Tomas Franzén
Nils Granlund, Gunnar Nord, Kai Palmqvist, Roy Stanfors**

Stiftelsen Bergteknisk Forskning — BeFo

Swedish Rock Mechanics Research Foundation

Statens Råd För Byggnadsforskning

Swedish Council for Building Research

Stockholm 1979

STIFTELSEN BERGTEKNISK FORSKNING
Statens Råd för Byggnadsforskning
Box 10714, 160 11 Stockholm

FÖRORD

SAMMANFATTNING

7

1 MOTIV OCH MÅL

15

2 SAMMANFATTNING AV ETAPP I

19

3 UPPLÄGGNING AV ETAPP II

23

4 OBJEKTREDOVISNING

4.11 Redogörelse för använd metodik

.11 Introduktion

27

.12 Ursprunglig förundersökning och prognos

27

.13 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

31

.14 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade

34

.15 Alternativa bearbetningssätt

35

.16 Prognosutfall. Förundersökningens omfattning och kostnader

35

.17 "A-prislista för BeFo 18"

36

4.2 Bolmen - Vattenförsörjningstunnel

.21 Sammanfattning

37

.22 Ursprunglig förundersökning och prognos

39

.23 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

44

.24 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade

46

.25 Alternativa bearbetningssätt

54

.26 Prognosutfall. Förundersökningens omfattning och kostnader

56

4.3 Forsmark - Utloppstunnel för kylvatten

.31 Sammanfattning

61

.32 Ursprunglig förundersökning och prognos

62

.33 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

68

.34 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade

69

.35 Alternativa bearbetningssätt

74

.36 Prognosutfall. Förundersökningens omfattning och kostnader

75

4.4	<u>Hisingen - oljelager</u>	
.41	Sammanfattning	79
.42	Ursprunglig förundersökning och prognos	80
.43	Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet	82
.44	Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade	84
.45	Alternativa bearbetningssätt	89
.46	Prognosutfall. Förundersökningens omfattning och kostnader	90
4.5	<u>Göteborg - VA-tunnlar I, "SAM"</u>	
.51	Sammanfattning	91
.52	Ursprunglig förundersökning och prognos	92
.53	Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet	98
.54	Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade	101
.55	Alternativa bearbetningssätt	110
.56	Prognosutfall. Förundersökningens omfattning och kostnader	112
4.6	<u>Göteborg - VA-tunnlar II, "VO"</u>	
.61	Sammanfattning	115
.62	Ursprunglig förundersökning och prognos	116
.63	Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet	120
.64	Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade	122
.65	Alternativa bearbetningssätt	128
.66	Prognosutfall. Förundersökningens omfattning och kostnader	129
4.7	<u>Järnvägsforsen - Vattenkrafttunnel</u>	
.71	Sammanfattning	131
.72	Ursprunglig förundersökning och prognos	132
.73	Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet	136
.74	Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade	136
.75	Alternativa bearbetningssätt	140
.76	Prognosutfall. Förundersökningens omfattning och kostnader	144

5	ANALYS OCH SLUTSATSER	
5.1	<u>Sammanställning av resultat från objektredovisning</u>	
.11	Förundersökningsinsats och bergklassificering	147
.12	Karaktärisering av zoner i samband med uppföljning	149
.13	Förstärkningsorsaker	151
.14	Förstärkningsklasser	154
.15	Förstärkningarnas ekonomiska betydelse	156
5.2	<u>Prognosutfall</u>	
.21	Allmänna bergtekniska förhållanden	159
.22	Utfall av förstärkningskostnader	160
.23	Samband mellan bergklassificering och zonklassindelning	166
.24	Prognosers säkerhet - allmänt	168
.25	Värdering av prognosutfall för de studerade anläggningarna	171
5.3	<u>Sammanfattande slutsatser</u>	177
6	SYSTEM FÖR REDOVISNING AV FÖRUNDERÖKNINGARS RÄCKVIDD OCH TÄCKNING	
6.1	<u>Systemets uppbyggnad</u>	
.11	Introduktion	181
.12	Grundbegrepp	181
6.2	<u>Systemets tillämpning i samband med olika undersökningsmetoder</u>	
.21	Hällkartering	185
.22	Geofysiska mätningar	186
.23	Kärnborrning	186
.24	Räckvidd i djupled	187
.25	Undersökningens informationsnivå	189
6.3	<u>Systemets tillämpning på de olika uppföljda objekten</u>	
.31	Inledning	191
.32	Bolmen	191
.33	Forsmark	193
.34	Hisingen	193
.35	VA-verket SAM	193
.36	VA-verket VO	194
.37	Järnvägsforsen	194
6.4	<u>Sammanfattande kommentar</u>	195

7	UTKAST TILL RIKTLINJER FÖR FÖRUNDERSÖKNINGAR	
7.1	Inledning	199
7.2	Disposition av "Riktlinjer för förundersökningen"	199
7.3	Utkast till "Förundersökningens olika faser"	200
8	FORTSATT VERKSAMHET	
8.1	Inledning	209
8.2	Utbildning	210
8.3	Riktlinjer, anvisningar, normer m m	211
8.4	Teknikutveckling	212
.41	Geohydrologi	212
.42	Seismik	212
.43	Bergmekaniska mätningar	213
.44	Bergklassificering	213
9	ORDLISTA	215
10	LITTERATURFÖRTECKNING	223
11	GRUNDMATERIAL (Arkivbilaga som endast biläggs ett fåtal exemplar av rapporten)	

FÖRORD

BeFos intressenter och dess programstyrelse förde i början av 70-talet ingående diskussioner om olika svårigheter i samband med utförande och tolkning av bergtekniska förundersökningar. Problembilden sammanfattades av överingenjör Sten Brännfors i ett föredrag vid 1974 års bergmekanikdag. I föredraget, som hade givits titeln "Undersökningsmetoder inom byggnadsindustrin - synpunkter på dagens och morgondagens teknik", presenterades starka motiv för och ett förslag till uppläggning av ett forskningsprojekt rörande förundersökningar. Enligt förslaget borde man genomföra en noggrann uppföljning av ett antal underjordsanläggningar under byggnad med syfte att jämföra förutsagda geologisk-bergtekniska förhållanden med den efter utsprängningen konstaterade verkligheten, som i sin tur skulle ställas i relation till vidtagna åtgärder för förstärkning och tätning.

Efter förhandlingar mellan BeFo och Statens råd för byggnadsforskning (BFR) kunde ett projekt i den anda som Brännfors m fl föreslagit påbörjas med stöd - i princip till lika delar - av BFR och olika intressenter inom berganläggningsindustrin. Stödet från byggherrar, konsulter och entreprenörer har huvudsakligen utgått i form av s k naturainsatser, dvs direkt utförda arbeten i olika anläggningar i samband med kartering och övrigt insamlande av data för forskningsuppgiften. Även direkta ekonomiska bidrag har lämnats.

Forskningsarbetet har genomförts av en inom BeFo organiserad forskargrupp med professor Hans Helfrich som projektledare och civilingenjör Tomas Franzén som huvudsekreterare och ansvarig för samordning och administration. I forskargruppen har i övrigt ingått civilingenjör Magnus Bergman, Hagconsult AB, geolog Anders Carlsson, Statens Vattenfallsverk, fil dr Nils Granlund, Hagconsult, civilingenjör Gunnar Nord, AB Skånska Cementgjuteriet, fil lic Kai Palmqvist, BERGAB, och fil dr Roy Stanfors, Lunds Universitet. De olika forskarna har svarat för och tagit fram enskilda delar av projektet och medverkat i diskussioner och analyser under arbetets gång. För den slutliga bearbetningen och sammanfattande slutsatser står i huvudsak projektledaren.

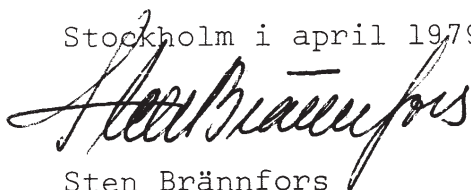
Ett särskilt arbetsutskott bestående av överingenjör Sten Brännfors, AB Skånska Cementgjuteriet, ordf, tekn dr Sten G A Bergman, tekn lic Sten Bjurström, BeFo, direktör Lars Lysén, Göteborgs VA-verk, direktör Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult AB, överingenjör Karl-Arthur Scherman, Statens Vattenfallsverk, har utsetts att följa, granska och stödja forskningsarbetet. Ledamöterna har genom aktiva och engagerade insatser på väsentliga punkter medverkat i uppläggning och strukturering av forskningsprojektet.

Berg är som byggnadsmaterial av naturliga skäl mycket heterogent till sin uppbyggnad och därigenom svårt att entydigt karaktärisera. Detta leder med hödvändighet till att analyser, tolkningar och slutsatser i ett projekt som detta ofta kommer att präglas av tolkarens egen erfarenhet och bakgrund. Det är därför naturligt att de många kvalificerade krafter, som på olika sätt engagerats i arbetet, inte alltid har formulerat sina slutsatser så att de till varje del kan anses representativa för hela gruppen. Det har dock ansetts fullt i sin ordning att även uppfattningar, där vissa meningsskiljaktigheter kan råda, framförs, då rapporten skall ses som ett led i en utveckling inom området och inte kan betraktas som något avslutat helt och för all framtid gällande.

Det är författarnas mening att man genom forskningsarbetet har påvisat betydelsen av ett antal tidigare icke nämnvärt beaktade förhållanden samt styrkt flera allmänt accepterade men tidigare ofullständigt belagda uppfattningar ifråga om möjligheten att med hjälp av förundersökningar förutsäga bergtekniska förhållanden. Man har också genom nya problemformuleringar och betraktelsesätt anvisat vägar att på ett enhetligt, kvantitativt specificerat och kontrollerbart sätt redovisa utförda förundersökningar och ställda prognoser.

En förutsättning för ett lyckat genomförande av det förhållandevis omfattande forskningsprojektet har varit det stöd som byggherrar, entreprenörer, BFR m fl lämnat inte bara i form av ekonomiska bidrag utan också genom visat stort intresse och helhjärtat engagemang i uppgiften. BeFo och forskargruppen vill härför framföra ett varmt tack.

Stockholm i april 1979



Sten Brännfors

Arbetsutskottets ordförande



Hans Helfrich

Projektledare

SAMMANFATTNING

Introduktion

Bergbyggandet har i Sverige nått en anseelig omfattning och Sverige är internationellt sett och per capita bland de främsta bergbyggarländerna i världen. För allt fler verksamhetsområden har man funnit skäl att utnyttja de fördelar som undermarksförläggning kan erbjuda. Som en följd härav har de speciella förhållanden, som är för-
enade med byggande i berg, kommit att uppmärksammas av allt vidare kretsar av tekniker och beställare. Byggandet är oundvikligen förenat med vissa osäkerheter när det gäller att i förväg bedöma de bergtekniska förhållandena och ställer därigenom särskilda krav på planerings- och byggprocessen.

För att med god ekonomi till fullo kunna utnyttja underjordsbyggandets fördelar är det nödvändigt att man i olika planeringsstadier, vid upprättande av bygghandlingar och under byggskedet har god kännedom om det berg man valt för anläggningen.

Lämpliga och riktigt utförda förundersökningar och bergtekniska analyser är sålunda en väsentlig grund för effektivt och ekonomiskt bergbyggande. Lång tids erfarenhet från en stor mängd anläggningar har lett till viss praxis och normala mönster för förundersökningar och prognosformulering.

Inte sällan förekommer i bergtekniskt undersökningsmaterial redovisningar, som tycks vara mera baserade på vaga indikationer eller enbart intuition än på ett systematiskt insamlat och bearbetat material.

Detta - i och för sig ofta värdefulla och riktiga material - kan ge sken av exakthet, vilket mången gång leder till att uppdragsgivaren har svårt att göra en korrekt och rättvis bedömning av tillförlitligheten i lämnade uppgifter. Många beslut om byggande av berganläggningar vilar därför på ekonomiska bedömningar, där beslutsfattaren ej varit medveten om den verkliga osäkerheten i delar av beslutsunderlaget.

Ovanstående utgör i korthet bakgrunden till att forskningsprojektet "Förundersökningars värde och omfattning" har genomförts. Projektet skall ses som ett försök att nå ett samlat och fastare grepp om vilka bergtekniska faktorer, som är mest betydelsefulla, och hur väl dessa beaktas i dagens praxis vid förundersökningar.

Syfte

Uppgiften har varit att utvärdera i vilken omfattning gängse förundersökningsmetoder förmedlar reell information om för byggandet betydelsefulla data. Intresset har i första hand inriktats på möjligheterna att med rimliga krav på precision förutsäga kostnader för förstärknings- och tätningsåtgärder. Avsikten är att resultaten skall ligga till grund för framtida riktlinjer när det gäller uppläggning och genomförande av förundersökningar.

Genomförande

Forskningsarbetet har genomförts i två etapper. I en första etapp har material från ett trettiotal anläggningar studerats. Resultaten från detta arbete har sedan legat till grund för tillämpad undersökningsmetodik och val av anläggningar i projektets andra etapp. I denna har genomförts en detaljerad ingenjörgeologisk-bergteknisk uppföljning av sex olika anläggningar under byggnad, nämligen:

Objekt	Ändamål	Längd(km)	Area (m ²)
Bolmen	Vattenförsörjning	5 (av 80)	8
Forsmark	Kylvattentunnel	2	80
Hisingen	Oljelager	2	600
Göteborg I	Va-tunnel	4	6-14
Göteborg II	Va-tunnel	6	12-18
Järnvägs- forsen	Vattenkrafttunnel	11	100

Studerade anläggningar är alla belägna i prekambrisk berggrund och är typiska "hård-berg"-anläggningar med i strukturförhållande varierande uppbyggnad.

I utredningen har respektive anläggnings befintliga förundersökning och däri uppställd prognos redovisats objekt för objekt efter viss bearbetning enligt ett gemensamt mönster. Systematiken har bl a bestått i en indelning av varje objekt i zoner med skilda förväntade berggeskaper. Under utbyggnaden har därefter såväl berget som förstärknings- och tätningsinsatser noga karterats. Även i detta skede har en zonindelning gjorts, baserad på observerade parametrar såsom bergarter, spricksystem, vatteninläckning m m. Läge, utsträckning och övriga karaktäristika för dessa zoner jämförs med motsvarande enligt förundersökningen. Denna jämförelse bildar grunden för värdering av det verkliga utfallet i förhållande till ställd prognos.

Utfallet har i undersökningen utvärderats som förhållandet mellan mängd (kostnad) verkligt utförd förstärkning eller tätning och vad som förväntats i förundersökningens prognos. Den ekonomiska betydelsen hos olika faktorer har uppskattats med hjälp av tämligen enkla och schablonartade å-prislistor. Då något olika listpris använts för de olika objekten kan framräknade kostnader ej användas för direkta jämförelser dem emellan. Angivna prisrelationer gäller sålunda strikt sett endast för aktuellt objekt. Tillvägagångssättet är främst motiverat av behovet att få en upp-

fattning om storleksordningen för kostnader och kostnadsavvikelser så att man därigenom kan bedöma deras betydelse i relation exempelvis till anläggningens totalkostnad. Som en följd därav kan man alltså bedöma huruvida det skulle ha varit meningsfullt att lägga ned kostnader på att förfina undersökningen för att förbättra prognosnivån, dvs tillförlitligheten i förutsägelsen.

En allmän insikt, som vuxit fram under forskningsarbetet, har varit att man inte skulle nå så entydiga fakta, som man väntade sig vid projektets start. Grundförutsättningarna för berganläggningar är av naturliga skäl mycket varierande och det är svårt att dra långtgående generella slutsatser även ur ett stort material. Genom den systematiskt genomförda objektuppföljningen och en ingående analys har man emellertid kunnat påvisa betydelsen av ett antal tidigare icke nämnvärt beaktade förhållanden samt kunnat styrka flera allmänt accepterade men ofullständigt belagda uppfattningar i fråga om möjligheten att med hjälp av förundersökningar förutsäga de bergtekniska förhållandena.

Med tillgång till "facit" har man i utredningen kunnat utvärdera olika faktorer med en för geologiska sammanhang ovanlig, matematisk behandling som grund för diskussioner och slutledningar. Trots att utredningen i stort styrker nyttan av ökad kvantifiering i förundersökningsresultaten, måste man beakta att den skenbara precisionen i det tillämpade analysförfarandet kan vara missledande och att en sådan metod i andra sammanhang måste tillämpas med stor försiktighet.

Mot denna bakgrund är det på sin plats att betona att forskningsarbetet måste betraktas som en helhet och att man inte kan citera enstaka diagram eller kostnadsjämförelser ur rapporten utan stor risk för misstolkningar.

Huvudresultat

Viktiga slutsatser som dragits ur det stora material som insamlats och bearbetats:

- o I dag tillgängliga förundersökningsmetoder kan med lämplig avvägning av metodval och omfattning ge en tillfredsställande prognos rörande drivningsförhållanden och erforderlig förstärkning under förutsättning att den strukturgeologiska *förväntningsmodellen* är i huvudsak korrekt - och endast under denna förutsättning ¹⁾. För detta krävs en kvalificerad ingenjörgeologisk insats i ett tidigt planeringsskede. En bergtekniskt realistisk förväntningsmodell är en av förutsättningarna för en optimal fördelning av de följande förundersökningsinsatserna.
- o Forskningsarbetet har visat att man har en rimlig och kvantifierbar uppfattning om de bergtekniska parametrar, som styr förstärkningsbehovet i en anläggning. Däremot är det normalt mycket svårt att på förundersökningsstadiet utvärdera dessa parametrar och särskilt deras sammanvägda betydelse för stabiliteten.
- o Dagens analys- och förundersökningsmetoder är föga utvecklade när det gäller möjligheter att utvärdera olika geohydrologiska förhållanden, inläckning och behov av tätning. I många av de studerade anläggningarna har dessa svårigheter och kostnader för tätning helt överskuggat de osäkerheter som gällt förutsägelse av övriga förstärkningskostnader.

1) Förväntningsmodell är ett begrepp, som används i utredningen för den kunskap och föreställning om den aktuella platsens geologi, som erhålles genom regionalgeologiska studier och tidigare erfarenheter från området. Modellen bildar utgångspunkt för det fortsatta undersökningsarbetet.

Övriga erfarenheter från bearbetningen

Utredningen har givit en klar uppfattning om att man bör - mer än vad som är normalt i dagens förundersökningar - lägga ned kostnader på att systematiskt och stringent värdera förundersökningsdata och annan information beträffande räckvidd och betydelse för aktuella problem. En förbättring av redovisning och analys härvidlag kan ge väsentliga fördelar vid bedömning av prognosers tillförlitlighet.

Under uppföljning och analys har ett särskilt system för zonindelning och klassificering tillämpats. Med erfarenhet från forskningsarbetet kan man starkt rekommendera användning av ett sådant system efter viss ytterligare utveckling och med en klassindelning starkt anknuten till kostnaderna för förväntade förstärknings- och tätningsarbeten.

I rapporten beskrivs en försöksvis prövad metod att systematiskt redovisa hur stor del av ett aktuellt undersökningsområde, som kan anses intäckt genom olika använda undersökningsmetoder. Därigenom kan undersökningens omfattning och representativitet värderas och ligga till grund för en bedömning av prognosens "nivå", dvs säkerheten i gjorda förutsägelser. Metoden kräver utveckling för att kunna få en vidare tillämpning men har redan i form av presenterad idé ett stort värde. Den ger en möjlighet till viss kvantifierad redovisning av en undersöknings informationsvärde och tvingar den för prognosen ansvarige att noga pröva representativiteten hos de data, på vilka utlåtandet grundas.

Förslag till fortsatt verksamhet

På forsknings- och utvecklingssidan har redan vissa initiativ tagits när det gäller den i projektet särskilt uppmärksammade frågan om förutsägelse av geohydrologiska förhål-

landen. Vad gäller övrig metodutveckling förordas insatser inom området geofysiska och särskilt seismiska mätningar och därvid framför allt utveckling av tolkningsmetoder.

I avvaktan på kommande forsknings- och utvecklingsinsatser bör dagens kunskaper och erfarenheter sammanställas och ges ut i form av "Riktlinjer för förundersökningar, prognoser och utlåtanden". Ett utkast till sådana lämnas i rapporten.

I rapporten diskuteras och föreslås även satsningar på grundläggande forskning och utbildning som vägar att nå bättre resultat i framtiden. Bland annat framhålls vikten av utvidgad kvalificerad ingenjörgeologisk undervisning vid våra högskolor och universitet.

KAPITEL 1

MOTIV OCH MÅL

Introduktion

Underjordsbyggandet har under de senaste 20 åren expanderat mycket kraftigt, allt fler verksamhetsområden förläggs under jord och anläggningarna tenderar att öka i storlek.

Vid sidan av traditionellt underjordsförlagd verksamhet finns flera förslag att utnyttja tunnlar och bergrum i samband med nya energiförsörjningssystem.

Redan nu är berggrunden under Stockholm och Göteborg och i flera andra städer starkt utnyttjad och perforerad av bergtunnlar och bergrum. Detta har under senare år medfört administrativa och teknisk-ekonomiska komplikationer såväl över som under jord. Inom gruvindustrin har sedan länge funnits regler för uppmätning och kartering av orter och brytningsrum. För annan verksamhet finns emellertid inte någon myndighet, som håller reda på vad som byggs under jord eller hur det görs. Därför har också underjordsbyggandet i planeringshänseende blivit något osäkert, där den ene ofta icke vet vad den andre gjort eller tänker göra. Sedan man i början av 1970-talet också började inse att grundvattenläckande håligheter i form av bergtunnlar och bergrum kan ha en förödande skadeinverkan på bebyggelse och natur ovan mark försöker man numera vidtaga olika åtgärder för att förhindra sådana effekter. JANSSON , WINQVIST, 1978.

För bergbyggande under mark finns idag inte något etablerat förundersöknings- och dokumentationsmönster i likhet med det som tillämpas för geotekniska undersökningar för byggande ovan mark. Dock förväntas bygglagutredningen komma att föreskriva normer för undermarksarbeten av samma art som man haft sedan mer än 100 år för byggande över mark. För att

möjliggöra en god undermarksplanering krävs geologiska förundersökningar och geologisk uppföljning och dokumentation av såväl gamla som kommande bergprojekt.

Forskningsprojektet syftar till utvärdering av nu gängse förundersökningsmetoder, huvudsakligen genom analys av deras möjlighet att förmedla reell information om de bergtekniskt betydelsefulla data, som är nödvändiga för en rationell undermarksplanering. Motiven för och ett preliminärt förslag till forskningsprojektet framfördes av BRÄNNFORS 1974 vid BeFos bergmekanikdag.

Problemställning

Vid underjordsbyggande utgör det omgivande berget byggnadstomme för anläggningen ifråga. När väl det slutliga läget för berganläggningen fastställts är möjligheterna att påverka de konstruktiva förutsättningarna ganska små. Bergets faktiska egenskaper sådana som de visar sig vid utsprängningen måste accepteras. I och med att projekten blir större och mer komplicerade till sin utformning ökar stabilitetsproblem och förstärkningsbehov. Förstärkningsåtgärder får en allt större ekonomisk betydelse och därmed växer kravet på goda förkunskaper om det omgivande berget. Oförutsedda större förstärknings- och tätningsarbeten är mycket kostsamma och kan i ogynnsamma fall dra med sig direkta och indirekta kostnader av sådan storleksordning att projektens ekonomi äventyras.

Vid val av bergområde för placering av bergrum eller sträckning av tunnlar är det således av stor ekonomisk betydelse att för ändamålet bästa tillgängliga bergpartier utnyttjas, så att förstärknings- och tätningskostnader kan hållas så låga som möjligt.

Beslut om byggnad av bergrumsanläggningar fattas idag ofta på alltför bristfälligt bergtekniskt underlag både när det gäller att välja rätt plats - när sådan valfrihet föreligger - och att med önskad säkerhet kunna bedöma kostnaderna. Åsik-

terna beträffande lämplig omfattning av förundersökningsinsatser är dessutom ofta delade under en underjordsanläggnings projekteringsstadium. Detta är naturligt då många byggherrar och projektörer har negativa erfarenheter från fall, då relativt omfattande förundersökningar inte förmått ge underlag för en tillfredsställande kostnadsuppskattning.

Bärande motiv för omfattande och kostsamma förundersökningar måste baseras på att man vet vilka bergegenskaper som är av primärt värde för bedömning av den totala kostnaden och framförallt om, och med vilken tillförlitlighet, dessa kan bestämmas med tillgängliga metoder.

Hittills har man i mycket ringa omfattning nyttjat den naturliga möjligheten att förbättra kunskaperna genom samordnad systematisk uppföljning av pågående projekt, bl a beroende på att man saknar utprovade enkla och ändamålsenliga system härför inom anläggnings- och byggnadsindustrin. Dagens brist på metoder för systematisk förundersökning och uppföljning av bergtekniska förhållanden är sålunda synnerligen besvärande.

Ett uppföljningssystem måste noggrant utprovas innan man kan bedöma dess allmänna användbarhet. Mycket väsentligt är bl a att de bergtekniska begrepp som används är enhetligt och överskådligt definierade och representativa för den aktuella problemställningen.

Mål och genomförande

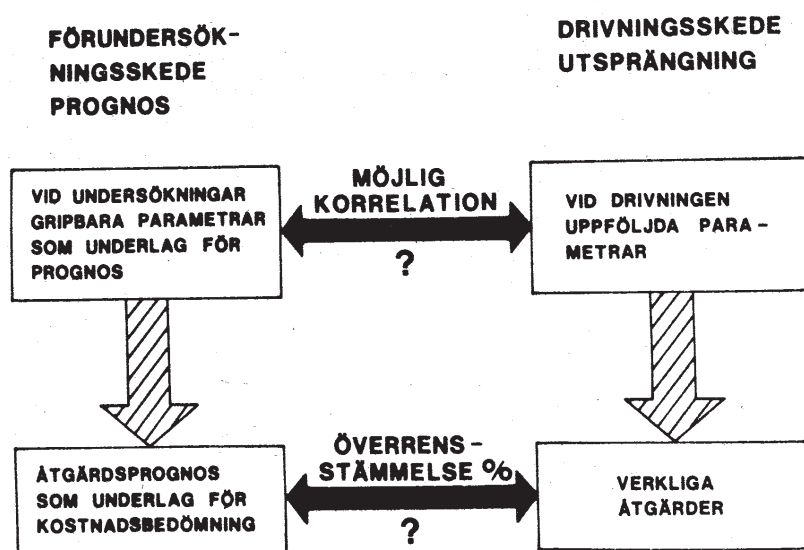
Uppgiften att utvärdera i vilken omfattning gängse förundersökningsmetoder förmedlar reell information om för bygandet betydelsefulla data har i första hand inriktats på möjligheterna att med rimliga krav på precision förutsäga kostnader för förstärknings- och tätningsåtgärder. Avsikten är att resultaten skall ligga till grund för framtida riktlinjer när det gäller uppläggning och genomförande av förundersökningar.

Uppföljningsdelen har utförts i två steg:

- I etapp I har problemen definierats och diskuterats utgående från inventering av befintligt material från ett trettiotal anläggningar. Dessa studier har lagts till grund för urval av anläggningar att detaljstudera i etapp II.
- I etapp II har några utvalda anläggningar under byggnad följts upp mycket ingående beträffande utförd förundersökning och ställd kostnadsprognos, vilka jämförts med det verkliga utfallet under byggandet (se kapitel 3).

Vad beträffar riktlinjer och metodanvisningar har uppgiften begränsats till att gälla ett utkast till sådana, medan utarbetande och utgivning av en ev "handbok" får administreras som ett särskilt projekt.

PROBLEMSTÄLLNINGEN I SCHEMATISK FORM



Figur 1.1

KAPITEL 2

SAMMANFATTNING AV ETAPP I

I den inledande etappen av forskningsuppgiften företogs en inventering av ett trettiotal underjordsanläggningar i berg, utförda eller under byggnad. Nio av dessa projekt, som med avseende på tillgängliga data bedömdes vara av särskilt intresse, detaljstuderades, nämligen:

Brofjorden	(Oljelager)	Scanraff
Händelö	(Oljelager)	Norrköpings Affärsverk
AMF	(Förrådslager)	Fortifikationsförvaltn.
Lossen Övre	(Vattenkrafttunnel)	Bergvik och Ala AB Gullspångs Kraft AB Voxnans Kraft AB
Suorva Vietas	(Vattenkrafttunnel)	Vattenfall
Järnvägsforsen	(Vattenkrafttunnel)	Skandinaviska Elverk
Forsmark	(Kylvattentunnel)	Vattenfall
VA-verket	(Avloppstunnlar)	Göteborgs VA-verk
Himmerfjärden	(Avloppstunnlar)	SYVAB

Inventeringen omfattade analys av berget och dess bergbyggnadstekniska egenskaper samt de åtgärder som har vidtagits för att bemästra uppträdande svårigheter. De studerade objekten gav tillräckligt underlag för att olika bearbetningsmetoder, indelningsgrunder och analysförfaranden skulle kunna utarbetas och testas. Arbetsgruppen valde här att koncentrera intresset till förhållanden av betydelse för driftförstärkningsinsatser, d v s förstärkningar som utförs i nära sammanhang med själva drivningen för att säkra hålrummens stabilitet och säkerhet.

Informationerna har sammanställts och jämförts med de prognoser som gjorts på basis av allmänna geologiska bedömningar och gängse undersökningsmetoder. Materialet finns samlat i ett arbetskoncept (arkivmaterial) med en särskild sammanfattning, HELFRICH et al., 1976. Rapporten presenterades vid ett

seminarium på KTH i januari 1976, varvid ett trettiotal personer med olika anknytningar till underjordsbyggande deltog och gavs tillfälle att diskutera och kritisera arbetsmetod och resultat. I rapporten noteras bl a att de särskilt studerade objekten utgjorde ett representativt tvärsnitt av den svenska berggrunden. Se figur 2.1.

Förundersökningsinsatsen varierade mellan 0,3 och 7,6 % av total drivningskostnad. Bland andra slutsatser betonas att en stark satsning på "hög ingenjörgeologisk kompetens" i en förundersöknings inledande skede synes vara en förutsättning för gott prognosutfall. Objekt med förundersökningskostnader såväl vid övre som undre variationsgränsen enligt ovan visade exempel på goda geologiska bedömningar och gott prognosutfall. Vid vissa anläggningar hade tillämpad metodik inte korresponderat med geologiens komplexitet varför begränsade upplysningar erhållits på anläggningens nivå och därmed stora avvikelser från uppställd prognos.

Studierna i etapp I resulterade i följande bedömningar, nämligen:

att man för en god uppläggning av förundersökningar är beroende av väl formulerade krav på anläggningens funktion och livslängd liksom förutsättningar för placering, utformning och konstruktion. Detta utgör en väsentlig grund för att man slutligen skall kunna ställa den önskade prognosen.

att god kännedom om den aktuella platsens geologi är en förutsättning för att förundersökningar skall kunna planeras och genomföras så att de ger mesta möjliga information

att isolerade svaghetszoner och andra "misstänkta" strukturer som inte indikeras vid den geologiska undersökningen är svåra att lokalisera och ange till karaktär och utbredning på djupet

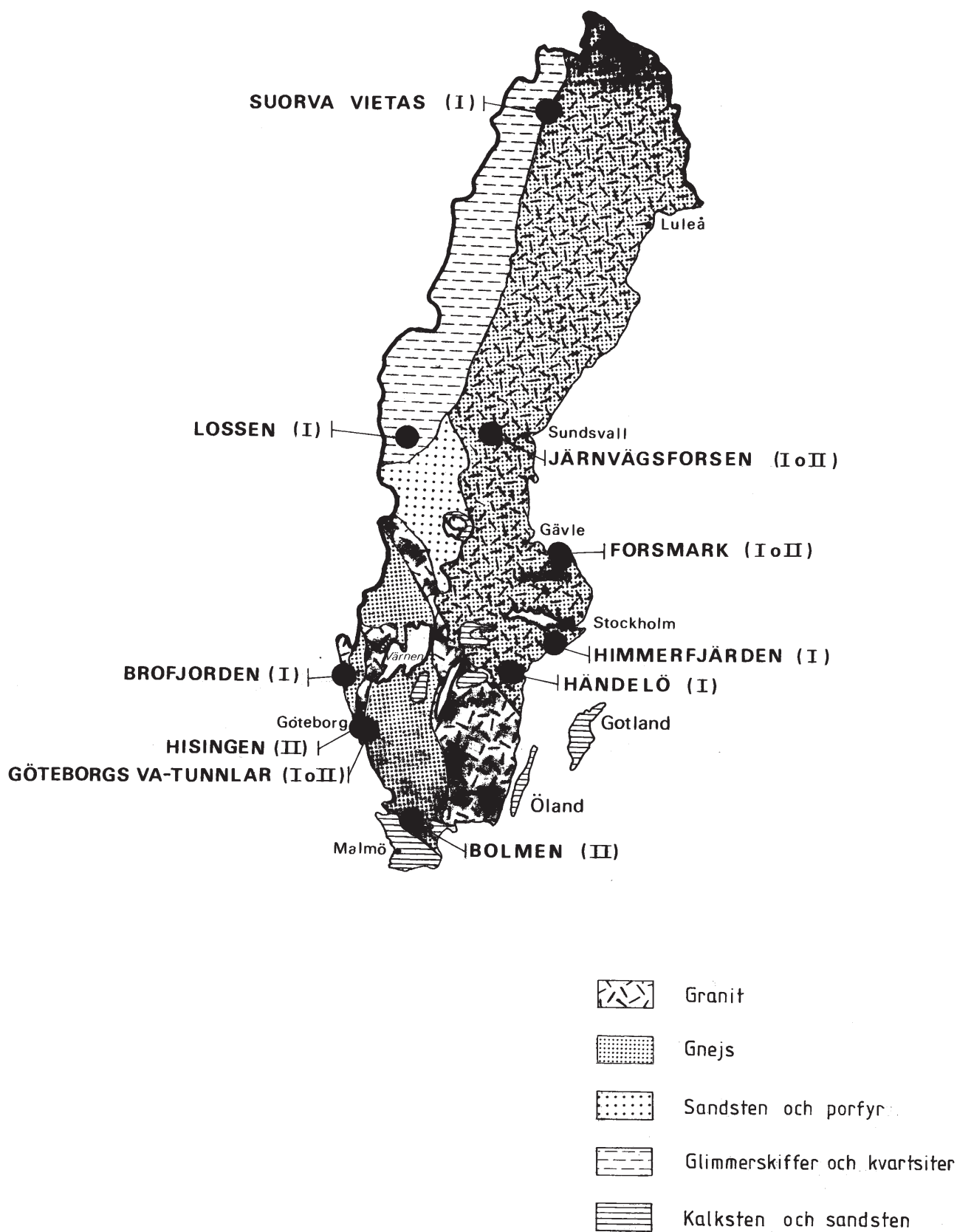
att man för att kunna göra praktiska och ändamålsenliga

bedömningar lämpligen bör dela in bergmassan i olika avsnitt med likartad karaktär. Dessa zoner kan avgränsas och karakteriseras med hjälp av olika klassificeringssystem

att det är nödvändigt att klargöra vilka geologiskt och bergmekaniskt betingade faktorer, som verkligen leder till förstärkningsbehov. De måste vara begränsade till antalet och kunna utväljas och preciseras redan vid förundersökningen

att en tillförlitlig bedömning av det slutliga (permanenta) förstärkningsbehovet för en underjordsanläggning som regel kräver uppföljning och en väldokumenterad byggnadsgeologisk kartering av väggar och tak. Med tanke på att underjorden och särskilt berget kan betraktas som en nytthet som väsentligen endast kan utnyttjas en gång borde sådan dokumentation vara obligatorisk.

De tre sistnämnda punkterna utgör huvudmotiven för att man beslöt att som planerat fullfölja forskningsuppgiften med etapp II. Här skulle, som nämnts, några utvalda objekt med goda förutsättningar för detaljstudier noggrant analyseras med avseende på de faktorer, som avgör förstärkningsinsatserna och således har stor ekonomisk inverkan. Samtidigt skulle man få erfarenheter av hur ett lämpligt dokumentationssystem borde konstrueras.



Figur 2.1

Studerade anläggningar i etapp I och II

KAPITEL 3

UPPLAGGNING AV ETAPP II

Förundersökningar utförs ofta i samband med och som underlag för olika successiva projekteringsskeden med växande krav på detaljerad information. I tidiga stadier avser man ibland endast att fastställa om ett underjordsalternativ överhuvudtaget är möjligt eller om det kan konkurrera med ovanjordsförläggning av verksamheten. I senare skeden har man en i stort sett fastställd lokalisering att utgå ifrån, varvid intresset mer inriktas på att pröva justeringar i läge och utformning, få underlag för val av lämplig byggnadsteknik (drivningsmetod, förstärkningstyper osv) samt för kostnadsberäkningar.

Som tidigare nämnts, fann man redan i forskningsuppgiftens etapp I, att man för att kunna hantera det omfattande faktamaterialet måste införa vissa begränsningar. Man har därför i etapp II i huvudsak endast studerat det skede då lokaliseringen av respektive anläggning redan är fastställd. Dessutom har intresset koncentrerats på möjligheten att förutse förstärkningar och kostnader för sådana.

Den detaljerade byggnadsgeologiska uppföljningen har genomförts för fem utvalda underjordsanläggningar under byggnad. Bestämmande för valet av objekt har med hänsyn till erfarenheterna från etapp I varit följande krav:

- att omfattande förundersökningar har utförts
- att en bergteknisk prognos har uppställts
- att fältuppföljning varit möjlig att genomföra
- att tillämpning av arbetsgruppens analyssystem skulle vara möjlig.

Vid följande objekt har dessa krav varit uppfyllda, även om redovisningen i några fall fått anpassas efter lokala för-

hållanden med hänsyn till objektens olika karaktär, som storlek, funktion, byggnadsorganisation m m.

OBJEKT	TYP	KVANTITET			BYGGHERRE
		längd km	area m ²	volym miljon m ³	
Bolmen	Vattentunnel	5	8	0,04	AB Sydvatten
Forsmark	Utloppstunnel f. kylvatten	2	80	0,18	Vattenfall
Hisingen	Oljelager	2	600	1,2	Överstyrelsen f ekonomiskt försvar
VA-verket I och II	Avloppstunnlar	10	5-14	0,10	Göteborgs VA- verk

Dessutom har data från vissa tidigare bearbetade objekt utnyttjats, där uppgifterna kunnat anses verifierade. Objekten representerar anläggningar i såväl glesbygd som tätbebyggda områden. Den geologiska miljön har i samtliga fall varit prekambrisk berggrund (sydsvenska gnejsområdet, västsvenska gnejs- och granitområden, ostsvenska gnejsområdet). Inget av dessa objekt ligger i berggrund med tektoniskt komplicerad uppbyggnad.

Utöver de fem nämnda anläggningarna som av projektgruppen följts upp under byggnadstiden har data från Skandinaviska Elverks vattenkrafttunnel vid Järnvägsforsen sammanställts. Här hade byggherren redan gjort omfattande uppföljningar, varför dessa endast har omarbetats för att underlätta jämförelser med de övriga objekten. Det bör också påpekas att tunneln vid Järnvägsforsen ligger i berggrund med relativt komplicerad tektonisk uppbyggnad. Tunneln är 11 km lång med arean 90 m² och följaktligen en volym omkring 1 miljon m³.

Bearbetning och redovisning har först gjorts objektvis enligt ett gemensamt mönster indelat i ett antal bestämda moment, nämligen:

- En beskrivning av utförd förundersökning inkl däri uppställd prognos.
- En av arbetsgruppen genomförd systematisering av förundersökningsresultaten resulterande i indelning av respektive objekt i zoner med olika förväntade bergegenskaper.

- En successiv kartering av bergförhållandena i samband med drivningen och en motsvarande zonindelning baserad på olika observerade parametrar som bergarter, spricksystem, vatteninläckning m m, se vidare kap 4. Val av parametrar och klassning av zoner har i enlighet med målsättningen styrts av inverkan på stabilitet och förstärkningsbehov.
- En kartering visande typ, mängd och läge av utförda förstärkningar och injekteringar.
- Redovisning av överensstämmelser och avvikelser mellan vad som förväntats enligt på förundersökningen baserade prognoser och vad det verkliga utfallet blivit.

Resultaten från de olika objektredovisningarna har därefter sammanfattats och diskuteras ur olika synvinklar i kap 5. I analysen har man bl a försökt avgöra, vilka faktorer som har styrt förstärkningsbehoven, och diskuterat huruvida dessa kan bestämmas utifrån en förundersökning med dagens metoder och med rimliga insatser. Ändamålsenligheten hos den använda zonindelningen granskas dels med avseende på lämplig detaljering för forskningsuppgiften, dels med tanke på användning i samband med allmän dokumentation av anläggningar. Grunder för och tillförlitlighet hos uppställda prognoser diskuteras och ett förslag till en systematisk och kvantitativ redovisning av förundersökningsinsatser och undersökningsresultatens representativitet presenteras i kap 6, där systemet också tillämpas på de uppföljda objekten. Resultaten jämförs med utfallet av de ursprungliga prognoserna.

KAPITEL 4

OBJEKTREDOVISNING

4.1 Redogörelse för använd metodik

4.11 Introduktion

Uppföljningen av de enskilda objekten har som tidigare nämnts följt ett bestämt mönster. Arbetet har bedrivits i åtta olika moment som redovisas i form av "blad 1-8", där varje "blad" kan omfatta såväl text som ritningar och tabeller. Hela materialet i den form det växt fram för respektive anläggning finns samlat i kap 11 ("arkivbilaga", som endast ingår i ett fåtal exemplar av rapporten). I kortare form presenteras senare i detta kapitel sammanfattningar av de olika uppföljningarna (4.2 - Bolmen, 4.3 - Forsmark, 4.4 - Hisingen, 4.5 och 4.6 - Göteborg VA-tunnlar och 4.7 - Järnvägsforsen).

4.12 Ursprunglig förundersökning och prognos

Varje objektredovisning har inletts med en noggrann genomgång av ursprungligen utförd förundersökning. För att underlätta analyser och jämförelser mellan olika objekt har förundersökningens olika skeden beskrivits på ett systematiskt och enhetligt sätt.

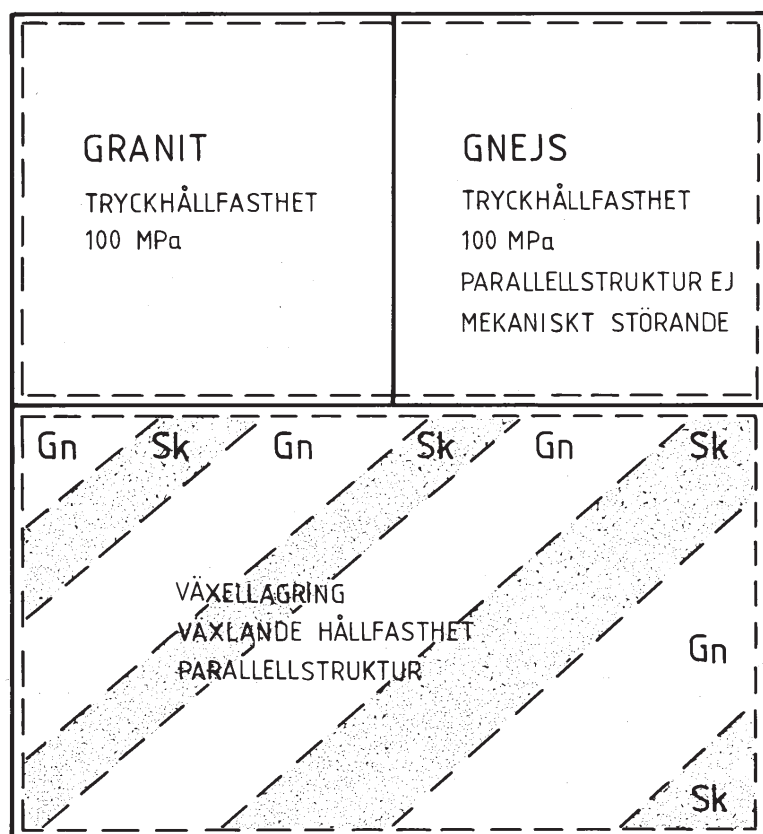
Inom forskningsprojektet har med undantag av Järnvägsforsen (etapp I) inga kompletterande undersökningar utförts, utan endast befintligt, tillgängligt material har legat till grund för arbetet. Däremot har arbetsgruppen måst formulera tolkningar och sammanfattningar på ett sätt som är anpassat till forskningsuppgiften. Slutsatserna kan därmed ibland avvika något från den ursprungliga undersökarens tolkning. Vissa speciella termer och begrepp har också använts i rapporten. De kommer att förklaras vartefter de förekommer i texten och finns dessutom samlade i en särskild ordlista, kap 9.1 (Begreppen markeras även genom understreckning första gången de uppträder.)

Resultaten av den förberedande undersökning, som normalt föregår detaljundersökningen, och som huvudsakligen grundar sig på översiktliga studier av terräng, geologiska och andra kartor, eventuella tidigare undersökningar i området samt ingenjörgeologisk kunskap och erfarenhet kan ställas upp i form av en tektonisk eller strukturgeologisk förväntningsmodell, d v s en beskrivning av den omgivande geologiska miljö som anläggningen kommer att byggas i. Då underlaget alltid är mer eller mindre ofullständigt ligger även en sannolikhetsvärdering i begreppet. "Modellen" beskriver alltså förväntade förhållanden ifråga om geologi och strukturer av bergbyggnadsteknisk betydelse.

Bergmassan beskrivs i förväntningsmodellen genom indelning i homogenitetsenheter, inom vilka "struktur- och materialegenskaper uppvisar en likartad fördelning och sammansättning". Begreppet är kopplat till det aktuella områdets regionalgeologiska uppbyggnad. En typisk storlek för en homogenitetsenhet kan ligga omkring en eller några kvadratkilometer. Från bergteknisk synpunkt består enheten som regel av homogent fördelade zoner, vilka inom sig uppvisar likartade geologiska och bergtekniska egenskaper. Jämför figur 4.12.1. Dessa egenskaper kan beskrivas systematiskt med hjälp av bergklassificering (se vidare nedan).

Den uppställda tektoniska förväntningsmodellen utgör dels grund för en initialprognos, som kan betraktas som ett första utkast till den bergtekniska prognos som senare skall utarbetas, dels har man här underlag för att välja metodik för detaljundersökningen. Begreppet förundersökningsmodell har använts för att beteckna "den kombination av metoder som väljs i syfte att få fram data som gör det möjligt att bestämma nödvändiga bergtekniska parametrar. Kvantitet, räckvidd och noggrannhet för de tillämpade metoderna anges". Den genomförda förundersökningen utgör i sin tur underlag för den slutliga bergtekniska prognosen.

Respektive förundersökning har lagts in i plan och profil på särskilda ritningar, i basmaterialet (kap 11) betecknade "blad 2 och 3". Utöver en direkt redovisning av lägen för t ex seismiska profiler och borrhälspunkter har arbetsgruppen



- ☐ ANGER BEGRÄNSNING FÖR GEOLOGISK HOMOGENITETSENHET
☐ ANGER BEGRÄNSNING FÖR BERGTEKNISK HOMOGENITETSENHET
- Gn = GNEJS
 Sk = SKIFFER

Figur 4.12.1

Schematiskt exempel på homogenitetsenheter

Till skillnad från en geologisk homogenitetsenhet som bestäms av det geologiska innehållet, menas med en bergteknisk homogenitetsenhet ett avgränsat område inom vilket undersökta struktur- och materialegenskaper uppvisar en med avseende på brytningsegenskaper likartad fördelning och sammansättning. Delar inom området kan byta plats utan att strukturmönstret eller materialfördelningen förändras.

gjort en bergklassificering, som speglar olika "kvalitet med avseende på sådana bergtekniska egenskaper som påverkar ett hålrumms stabilitet". Klassningen, graderad från 1 för "bra berg" till 5 för dåliga förhållanden, har gjorts generell i den meningen att man ej tagit hänsyn till det blivande rummets form eller dimension. Alltså kan exempelvis klass 3 betyda en gynnsam situation vid en mindre avloppstunnel men kräva stora förstärkningsåtgärder i ett oljelagringsrum med

stor spännvidd. Klassningen grundas på en värdering av bergmaterial och sprickstrukturer (antal sprickor, riktningar, sprickfyllnad), vilka också redovisas på ritning. På ritningen är även förstärkningsprognosen inlagd. (Jfr fig 4.12.2 samt punkt 2 i respektive objektuppföljning senare i detta kapitel.)

I text behandlas även de diskussioner som förts under förundersökningsskedet, hur olika undersökningsfaser utvecklats och huruvida ändrad geometri eller sträckning varit aktuell. Den "slutliga bergtekniska prognos", som ställts upp för varje objekt, omfattar uttalanden om:

Homogenitetsenheter

Bergartsfördelning. Bergartens och bergmassans strukturer
Egenskaper hos kontakter, sprickytor och andra geologiska störningar

Vatten

Zoner och bergklasser

Förstärkningsåtgärder, motiv och kalkylerade kostnader.

4.13 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

Vad som hittills behandlats har gällt inventering, studier och vissa tolkningar samt en systematisering av befintligt material. Den egentliga, aktiva uppföljningsinsatsen har emellertid bestått i ett omfattande fältarbete, där varje objekt successivt "geokarterats" under pågående byggnadsverksamhet. Uttrycket geokartering har introducerats av MORFELDT, 1976.

Karteringen har utförts enligt ett särskilt mönster som utarbetats av arbetsgruppen och omfattat uppritning av strukturer, sprickor och slag m m i tak och väggar. Man följer i stort sett gängse beteckningar men betonar särskilt faktorer av bergteknisk betydelse. Så har t ex geologiskt historiska data endast i vissa fall noterats och inga mineralogiska detaljstudier utförts. Bergartsbeteckningar har gjorts synnerligen förenklade.

Karteringen har kompletterats med uppmätning och värdering av en serie utvalda parametrar, som sammanvägda antas karaktärisera berget i tekniskt avseende. Följande faktorer har studerats:

Bergart, bergartsstruktur
 Bergstruktur
 Uppskattad RQD
 Sprickgrupper och orientering
 Sprickytor och jämnhet
 Sprickfyllnad
 Sprickvatten
 Bedömt vatteninflöde
 Bergtryck

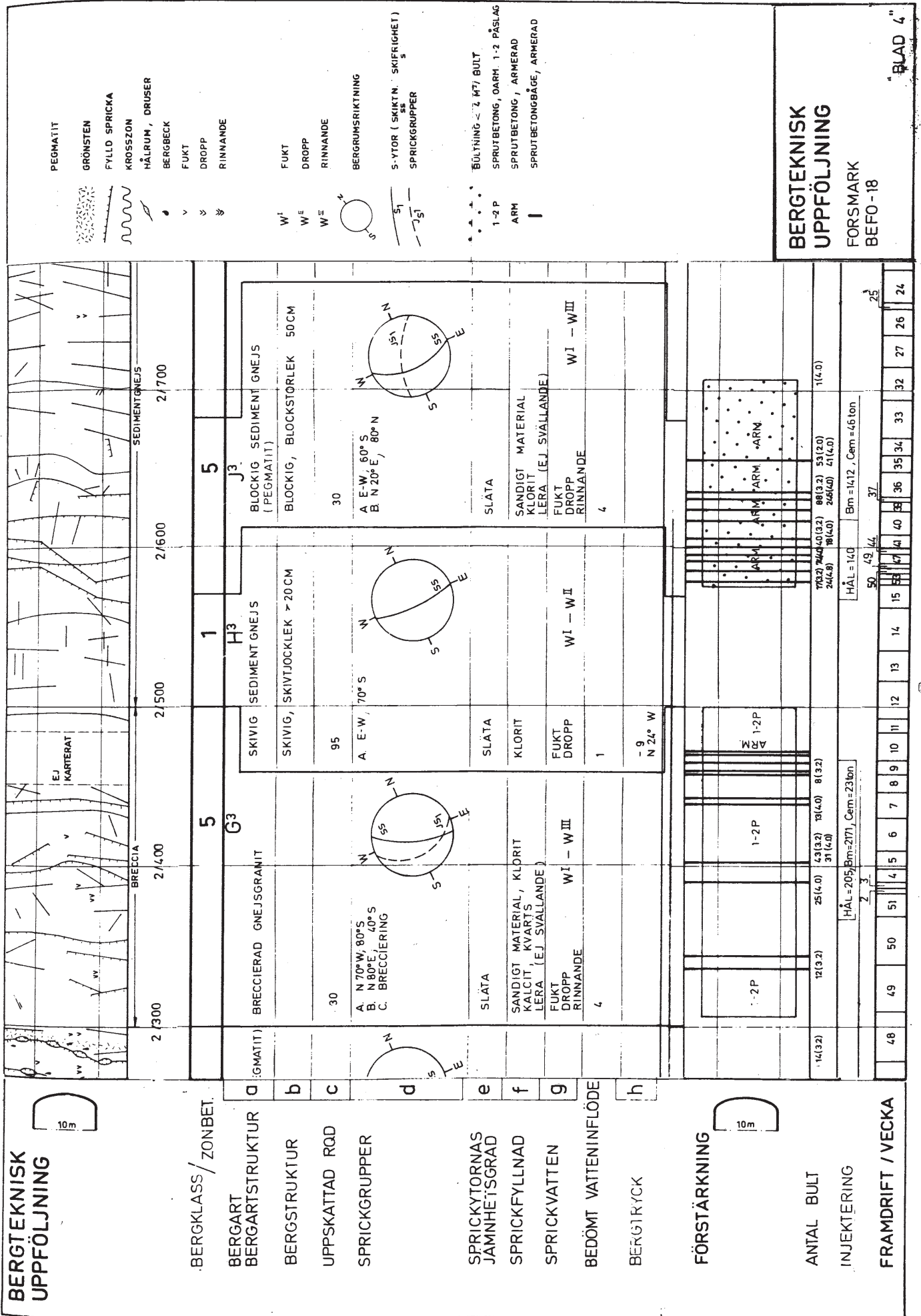
I princip har alltså parametrar enligt BARTON et al., 1974 och 1975 tillämpats, dock med mindre differentiering. En väsentlig vidgning har emellertid gjorts genom att även sprickorienteringen noterats. Däremot saknas en hållfasthetsparameter som ingår i "RMR-systemet", BIENAWSKI, 1976.

Exempel på utförd kartering visas i figur 4.13.1 från tunneln i Forsmark.

Den verkliga betydelsen av de olika faktorerna diskuteras vidare i kap. 5, Analys och slutsatser.

Bergpartier i tunneln eller bergrummet med likartad karaktär ifråga om stabilitetsförhållanden och vattensituation har liksom i samband med förundersökningen avgränsats som särskilda zoner. Varje zon har givits en zonklassbeteckning graderad från 1-5 där 1 står för bästa förhållanden. Här har, till skillnad från klassningen av berget i samband med förundersökningen, även rummets geometri och dimension ingått i bedömningen. Därmed kan zonklassen direkt relateras till nödvändig förstärkningsinsats.

Vartefter bergförstärkningar utförts har också de karterats ifråga om utsträckning och intensitet genom att t ex antal



Figur 4.13.1 Bergteknisk uppföljning
Exempel från Forsmark

bult per m² eller tjocklek på sprutbetong har noterats. Huvudorsaken till förstärkningen i varje avsnitt har angivits som anmärkning, exempelvis: "stort vattenläckage", "lerfyllda sprickor".

4.14 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekterings- åtgärder med förväntade

För att få en överskådlig och hanterlig bild av hur utförda förstärkningar har stämt överens med förutsagda har i första hand "förstärkningsintensiva" avsnitt betraktats. Dessa har ställts mot "prognoserade" sådana genom uppdelning i tre grupper, nämligen:

- a) avsnitt som förutsagts och påträffats
- b) avsnitt som ej förutsagts men påträffats
- c) avsnitt som förutsagts men ej påträffats.

Inom varje grupp diskuteras orsaker till avvikelser mellan prognos och utfall. Avvikelserna kan givetvis gälla såväl läge som omfattning av en förstärkning. Även graden av överensstämmelse mellan bergklassindelning och zonklassificering studeras. Här finns alltså möjligheter att spåra vilka parametrar, som är av störst värde att söka och registrera i undersökningsskedet.

Som andra led i jämförelsen har den ekonomiska betydelsen av de olika avsnitten värderats. För att underlätta arbetet har man i flertalet fall inte använt de faktiska kostnaderna från respektive anläggning utan istället upprättat en egen "åprislista" med typiska genomsnittskostnader för detta slags arbeten. (Se 4.17.) Dessa priser har därefter tillämpats på de uppmätta mängderna. På så sätt har man undvikit problem med varierande prisnivåer och gjort sig oberoende av de olika byggherrarnas system för ekonomisk redovisning. (De uppföljda objekten representerar såväl entreprenader som egenregibyggande.) De fel, som denna förenklade kostnadsredovisning medför är av sådan storleksordning att de helt saknar betydelse för jämförelser och slutsatser som senare dras.

Förstärkningskostnaderna har tabellerats avsnitt för avsnitt eller sammanförts i grupper med likartad karaktär. Kostnaderna har därefter relaterats dels till aktuell drivningskostnad och dels till förutsagd förstärkningskostnad. Jämförelser med drivningskostnaderna visar om det överhuvudtaget varit intressant att närmare precisera förstärkningsinsatsernas omfattning, under det att jämförelser med prognoserna bl a kan ge en uppfattning om tillförlitligheten hos förutsägelserna.

Redan här bör nämnas att förstärkningsinsatser som regel redovisas uppdelade i ren stabilitetsförstärkning av typ bultning, sprutbetong osv samt tätningsarbeten. Injekteringar har nämligen i flera fall visat sig dra mycket stora kostnader, som ofta varit svåra att förutse. Då kostnader för tätning och övrig bergförstärkning slås samman för att jämföras med en prognos måste man hålla i minnet att även injektering kan ha en viss förstärkande och stabiliserande effekt.

Det bör också påpekas att en klar distinktion mellan drift- och permanentförstärkning ofta inte kan göras vilket ibland försvårat jämförelserna.

4.15 Alternativa bearbetningssätt

Under ovanstående rubrik har i huvudsak alternativa sätt att tolka förundersökning, eller att karaktärisera zoner vid uppföljning, prövats. Följande värderingssätt har tillämpats Q-värde enligt BARTON, Z(RQD) enligt HELFRICH och RQD enligt DEERE.

4.16 Prognosutfall. Förundersökningens omfattning och kostnader

Redovisningen av de enskilda objekten avslutas med en diskussion kring förundersökningskostnader och prognosutfall. Bl a diskuteras huruvida en ändrad inriktning eller omfattning av förundersökningen skulle ha kunnat leda till ett bättre utfall och om en sådan förändring därmed vore ekonomiskt motiverad.

4.17 "A-prislista för BeFo 18"

Förundersökningar

à pris

Geologi	50 000 kr/objekt
Seismik	10 kr/m
Borrning: Hammar -	100 kr/borrmeter
Borrning: Kärn -	400 kr/borrmeter
Övrigt	+ 10 %

Brytning

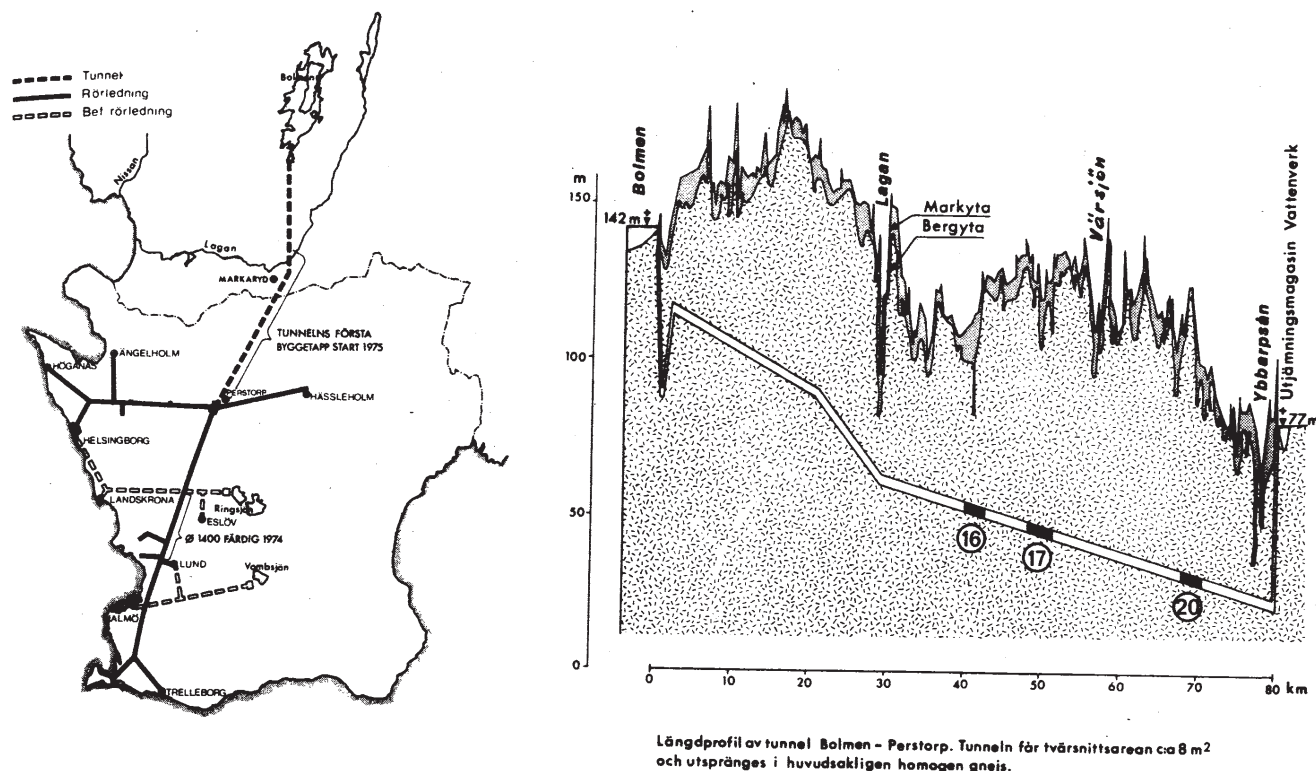
Area 5-10 m ²	200 kr/m ³
" 50 m ²	60 kr/m ³
" 80-100 m ²	50 kr/m ³
" 500 m ²	40 kr/m ³

Förstärkning

Bergbultning	70 kr/bultmeter
Sprutbetong	1 000 kr/m ³
Armering	50 kr/m ²
Platsgjuten betong	300 kr/m ³
Injektering (Forsmark)	3 000 kr/tunnelmeter

Dessa kostnader är uppskattade, typiska à-priser för arbeten av detta slag i 1974 års prisnivå och har konstruerats för att förenkla jämförelser. De avses ej representera verkliga priser för respektive objekt. (Jfr 4.14.) Där andra kostnader har använts har detta särskilt noterats. Vid Bolmen har exempelvis av byggherren uppgivna, på kontraktet grundade, schablonpriser tillämpats. För jämförelser mellan prognos och utfall för ett enskilt objekt saknar dessa variationer betydelse. Det bör dock påpekas att dessa variationer i ingångsvärden liksom flera andra olikheter, sammanhängande med objektens olika karaktär, måste tas i beaktande då prognos- och kostnadsutfall behandlas och objekten jämförs sinsemellan i analyserna i kapitel 5.

4.2 Bolmen - Vattenförsörjningstunnel (5 km)



Figur 4.2.1

4.2.1 Sammanfattning

Bolmentunneln ingår i ett vattenförsörjningsprojekt där råvatten, uttaget från sjön Bolmen, avses att transporteras i en oinklädd bergtunnel till trakten av Perstorp. Tunnelns totala längd kommer att bli 80 km, tvärsektionen är 8 m² och medeldjupet under markytan 50 m (max 100 m). Tunnelsträckningen är N-S respektive NNE-SSW.

Av denna tunnel har under projektets gång tre avsnitt om sammanlagt ca 5 km varit tillgängliga för studier av driftförstärkningsskedet.

Tunneln ligger inom den sydvästsvenska gnejsformationen som till övervägande del består av omväxlande grå och röda gnejser med inslag av amfibolit i den norra delen och diabas i den södra delen.

Förundersökningen inriktades dels på att finna optimal sträckning, dels på bedömning och klassificering av bergets kvalitet från bergbyggnadssynpunkt.

Av den geologiska förundersökningen kan inhämtas att 1 595 m sammanlagd zonlängd av den studerade sträckan om 4 775 m angavs kunna vara i behov av förstärkning. 390 m av förstärkningssträckan angavs vara i behov av injektering. Härtill kom en i mängdförteckningen icke lägesangiven förinjektering motsvarande i medeltal ca 125 m injekterad sträcka per kilometer tunnel, d v s för undersökta avsnitt drygt 600 m.

Prognoserad ren bergförstärkningskostnad var 2,6 milj kr, injekteringskostnad 1,4 milj kr enligt schablon för 77 års kostnads-läge lämnad av beställaren.

Utfallet blev att 920 m förstärktes med sprutbetong mot förutsagda 1 045 m och att 1 850 m tunnel förinjekterades mot antagna 990 m (390 + 600). Dessa åtgärder har företagits på en sammanlagd sträcka av 2 230 m tunnel. Förstärkningskostnaden blev 1,8 milj kr och injekteringskostnaden 3,1 milj kr enligt samma schablon som ovan och exklusive extraordinära stilleståndskostnader. Förstärkningen kostade med andra ord 33 % mindre och injekteringen 130 % mera än förutsagt.

Avvikelsen beträffande injektering måste tillskrivas inläckande vatten som icke kunde förutsägas med hjälp av framtaget geologiskt material. Detta avsåg i huvudsak att kartlägga svaghetszoner och därmed omfattningen av förstärkningsinsatser. Lägesangiven förinjektering har endast markerats inom särskilda störningszoner. Därutöver har, som ovan nämnts, en icke lägesangiven injektering bedömts nödvändig.

Erhållna seismiska hastigheter i bergytan behöver ej vara representativa för tunnelnivån. Även om man skulle ha registrerat lägre hastigheter - korresponderande med sprickigt berg - så skulle dessa ej ha förknippats med vattenförande berg.

Antalet sprickgrupper, sprickfyllnad, krossningsgrad och vattentillrinning har varit styrande för förstärkningsinsatserna. Dessa faktorer var dock ej kvantitativt redovisade i den ursprungliga förundersökningens bergklassificering.

Endast en mycket stor borrhingsinsats hade kunnat förhöja prognosnivån.

4.22 Ursprunglig förundersökning och prognos

Den förberedande undersökningen inom ett mer än milsbrett område mellan Bolmen och Söderåsen syftade till att en tektonisk förväntningsmodell skulle kunna ställas upp som underlag för detaljundersökningen.

Enligt den översiktliga ingenjörgeologiska analysen kunde två homogenitetsenheter urskiljas: En nordlig enhet med gnejs och inslag av amfibolit och en sydlig, med gnejs som är genomsatt av diabaser.

Således förekommer tre olika bergartstyper: Gnejs (huvudbergart), amfibolit och diabas. Gnejsernas skiffriighet stryker mellan E-W och WNW-ESE. Till den tektoniska bilden hör förekomsten av sprickighet, sprickzoner och förkastningar.

Enligt initialprognosen bedömdes berget i stort vara gynnsamt för tunneldrivning. Givetvis måste man räkna med passager genom dåligt berg.

Berggrunden är genomgående täckt av morän och omfattande moss- och myrmark, vilket var avgörande för den valda förundersökningsmodellen. Tunnelintag och utlopp var fastlagda men sträckningen i övrigt valfri. Den geologiska undersökningen hade således som mål att inom ett ca 1 600 km² stort område anvisa den från geologisk synpunkt lämpligaste huvudsträckningen för tunneln.

Undersökningsmodellen innehöll:

Regionala strukturstudier
Geologisk kartering
Geofysiska mätningar
Kärnborrning.

Val av lämpligaste huvudsträckning, precisering av tunnelsträckning i detalj samt bedömning av bergförstärkningsbehov krävde omfattande ingenjörgeologiska undersökningar både i regional och detaljstadiet. Den ringa blottningsgraden längs den slutliga tunnelsträckningen föranledde ett omfattande geofysiskt mätprogram (flyg- och markmagnetiska mätningar: lokalisering av diabaser, seismik: lokalisering av bergnivå och svaghetszoner). Karaktären av vissa komplicerade bergtekniska strukturer undersöktes medelst kärnborrning.

Förundersökningsmodellen omfattade tre etapper:

Översiktlig undersökning med flygbildanalys, studier av befintligt material, geofysiska mätningar och en tektonisk analys.

Detaljundersökning inom en två kilometer bred korridor med fortsatt geologisk kartering, geofysiska mätningar och kärnborrning. Geohydrologiundersökningar utfördes i närheten av Perstorp.

Kompletterande detaljundersökning främst inom påslagsområden och markanta störningszoner med geofysiska mätningar och kärnborrning.

Inom de redovisade tunnelavsnitten med en sammanlagd längd av 4 775 m utfördes:

- 4 775 m seismiska profiler (d v s en profil längs varje redovisad delsträcka)
- 1 500 m seismiska profiler inom påslagsområdena
- 4 775 m magnetiska mätningar
- 368 m kärnborrning, fördelad på 5 hål.

De olika undersökningsetapperna ledde via ett antal modifieringar slutligen till ett i detalj fastställt läge för tunneln.

Den slutliga bergtekniska prognosen skiljer mellan två homogenitetsenheter:

- Området Bolmen - Värsjön (Norra området)
- Området S om Värsjön (Södra området).

Båda områdena består övervägande av röda gnejser med inslag av gråa. Basiska bergarter, amfiboliter, förekommer som inlagringar, smala band, gångar och massiv i det norra området samt som diabasgångar i det södra området.

Gnejsens parallellstruktur visar en strykning i E-W till WNW-ESE. I det södra området ligger skiffriheten flack med en stänglighet i WNW-ESE.

Sprickigheten visar en låg frekvens i norra området. Främst är riktningen NNE-SSW representerad. Inom det sprickrikare södra området registrerades följande sprickriktningar:

NW-SE, NNE-SSW, E-W, WNW-ESE.

Kring Bolmåns dalgång skapar störningslinjer ett system av plintar, vars anläggningsytor mot varandra är störda, särskilt i amfibolit. Andra zoner är störningen längs Torpaåns dalgång och ett antal zoner omedelbart söder därom samt Lagans dalgång.

Skjuvzoner uppträder E om Markaryd (amfibolit med intensiva skölar och krosszoner längs tunnellinjen). Vidare noteras SE fortsättningen av Hallandsåsens randförkastningar, utbildade som sprickzoner (WNW-ESE) samt sprickzoner vid Perstorp (E-W).

Särskild uppmärksamhet bör riktas mot lervittringen längs Lagadal, mineralogiska omvandlingar i amfibolit, syenit och charnockitisk gnejs, kaoliniserat berg i anslutning till sprickzoner och leriga kontaktzoner längs diabasgångar.

Studium av borrhälar, hålobservationer och de pumpförsök, som i begränsad omfattning utförts norr och väster om Perstorp, visar att de flesta sprickor är täta. Här bör dock poängteras att cirka hälften av borrhälen har varit ansatta mot svaghetszoner med lerinnehåll vilket förklarar tätheten.

Berget bedöms i stort vara gynnsamt för tunneldrivning. Tunneln kommer i allmänhet att skära bergarternas strukturer, förekommande amfibolitstråk, diabasgångar och sprickgrupper under gynnsam vinkel.

Den sammanlagda sträckan av passager genom dåligt berg är mycket begränsad. Störningszoner, som bedöms kräva särskilda tätning- eller förstärkningsåtgärder, uppträder främst vid Torpaåns och Lagans dalgång, vid Misterhult öster om Markaryd, vid Hallandsåsens förlängning vid Slättsjö samt vid Perstorpsbäckens och Ybbarpsåns dalgångar.

Tät växellagring gnejs-amfibolit, särskilt i kombination med tektonisk deformation, ger sämre hållfasthetsegenskaper.

Vissa bergarter såsom diabas och rödaktig kvartsrikare gnejs torde vara svårborrade, amfiboliter (20 - 25 % av den totala berggrunden) mest lättborrade.

På basis av förundersökningen har berget klassificerats främst med hänsyn till sprickfrekvens och vittring och förstärkningsinsatser rekommenderats med hänsyn till tunnelns dimension enligt följande:

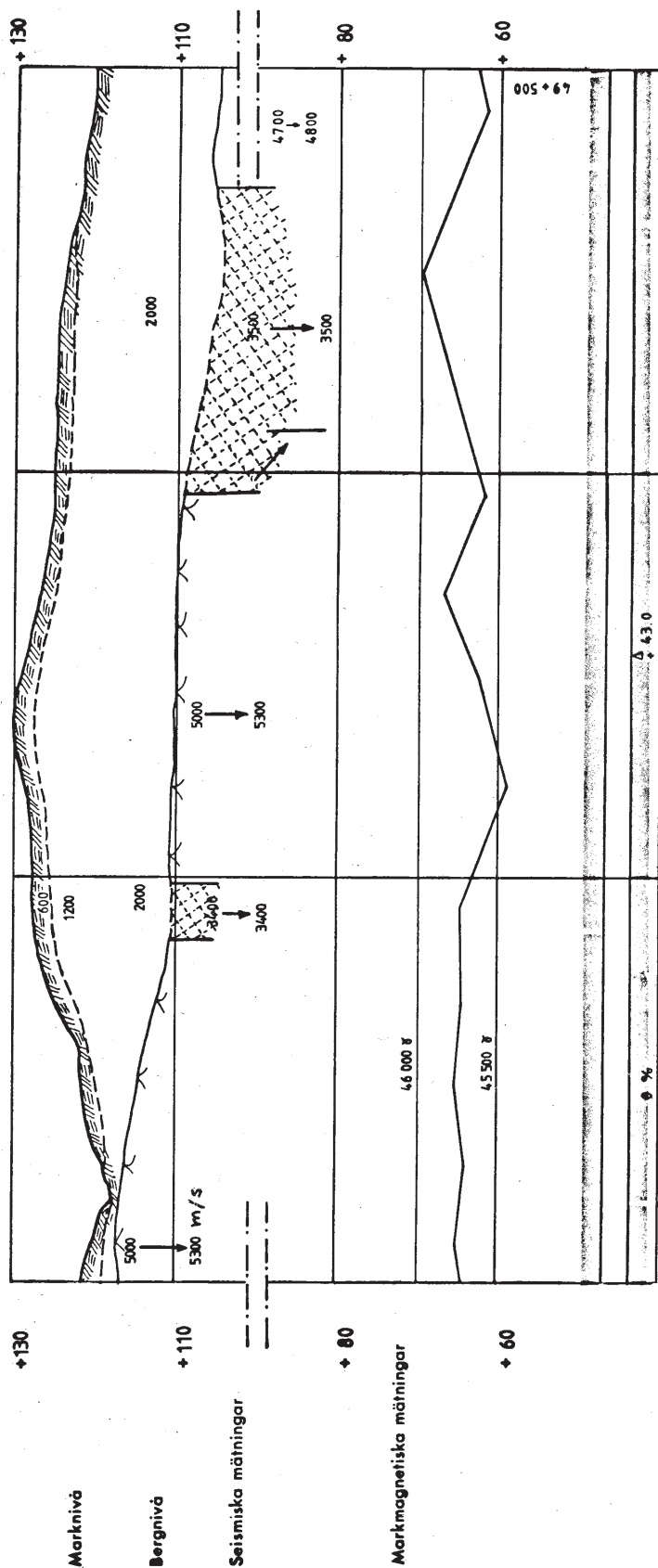
1. "Bra berg" - kräver i allmänhet ingen annan förstärkning än lokal bultning. (Seismisk berghastighet $> 4\,500$ m/s.)
2. "Mindre bra berg" - kräver oftast någon form av sprutbetongförstärkning (25 mm) samt ökad bulttäthet. (Seismisk berghastighet $4\,000 - 4\,500$ m/s.)
3. "Dåligt berg" - kräver i allmänhet mera avancerad sprutbetongförstärkning. Mer än 25 mm sprutbetong. Ofta armering. (Seismisk berghastighet $< 4\,000$ m/s.)

Eftersom undersökningsområdet så gott som helt är jordtäckt grundar sig klassningen i mycket stor utsträckning på geofysiska resultat - främst seismik. Hänsyn har givetvis tagits även till topografiska och tektoniska indikationer samt till resultat av utförd kärnborrning. Ett exempel på prognosredovisning presenteras i fig 4.22.1. Bergklassificeringen utgör grund för markering av sträckor med dålig bergkvalitet. Förväntade förstärkningar är inlagda på så sätt att sidoförskjutningar inom vissa gränser medges. Beträffande den fullständiga redovisningen hänvisas till kapitel 11 (arkivbilaga).

Prognosen har av arbetsgruppen sammanfattats på följande sätt:

1. "Bra berg":	3 180 m	65 %
2. "Mindre bra berg":	1 093 m	25 %
3. "Dåligt berg":	<u>502 m</u>	<u>10 %</u>
	4 775 m	100 %

Som redan tidigare noterats representerar fördelningen en prognos, som i främsta rummet bygger på indirekta data eller ytobservationer som måste extrapoleras till stort djup (max 90 m).



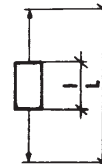
PROGNOS

[illegible]

FÖRKLARINGAR

	BERGKVALITÉ
	Bra berg
	Mindre bra berg, som kan tänkas erfordra sprutbetongförstärkning
	Dåligt berg som i allmänhet erfordrar sprutbetongförstärkning
	Förmodad diabasgång

FÖRSTÄRKNINGSBEOH. Bestämmas slutligt i samråd mellan byggherren och entreprenören



Någon form av sprutbetongförstärkning kan komma att behövas

I anger uppskattad förstärkningslängd

L anger inom vilket område förstärkningen kan komma att behövas

Anger område inom vilket förstärkning och förinjektering bedömts sannolikt. Bestämmer slutligt i samråd mellan byggherren och entreprenören

Av sträckan 1 595 m (d v s med berg klass 2 och 3) antogs 1 045 m vara i behov av förstärkning. Förinjektering i samband med förstärkning angavs till en längd av 390 m, vartill kom en i mängdförteckningen upptagen, fiktiv, ej lägesangiven injekteringslängd, motsvarande i medeltal ca 125 m injekterad sträcka per kilometer tunnel, d v s för aktuell sträcka 600 m.

4.23 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

Samtliga förundersökningsresultat, förutsagda förstärkningsavsnitt, av oss uppföljda bergtekniska parametrar och verkliga förstärkningar har lagts in på ritningar om 500 m tunnelavsnitt i skala 1:1000 (längd) och 1:500 (höjd). Arbetet har utförts av byggherren, AB Sydsvatten.

Berget har karterats och med ledning av den bergtekniska karaktären indelats i zoner, där

Zonklass 1	genomgående kommit att motsvara förundersökningens bergklass 1
" 2	genomgående kommit att motsvara förundersökningens bergklass 2
" 3-5	genomgående kommit att motsvara förundersökningens bergklass 3.

Uppföljningskarteringen omfattar i huvudsak faktorer som påverkat förstärkningsbehovet inklusive injektering. Förstärkningar redovisas med metod och kvantitet. Injekteringsinsatser är dock inte mängdangivna. Karteringen illustreras i figur 4.23.1 som är ett utdrag ur redovisningen.

Denna kartering och zonindelning bildar underlag för jämförelsen mellan prognos och utfall.

De förstärkningar som utfördes kan indelas enligt följande:

<u>Förstärkningsklass</u>	<u>Förstärkning</u>
1	Ingen eller sporadisk bultning
2	Sprutbetong 2,5 cm, någon armering + ev injektering
3	Sprutbetong 5,0 cm, någon armering + ev injektering
4	Sprutbetong 10,0 cm, delvis armering + ev injektering.

Förstärkningsåtgärder inklusive injektering har varit nödvändiga av följande orsaker (ofta i kombination med vatteninläckning):

Krosszoner	40 %
Sprickzoner	35 %
Lerzoner	23 %
Övriga	2 %

Injekteringsarbeten har utförts även i "bra berg".

4.24 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade

Jämförelserna har koncentrerats på "förstärkningsintensiva avsnitt", representerade genom bergklass 2 och 3. En fullständig sammanställning ges i tabell 4.24.1. I figur 4.24.2 har grafiskt åskådliggjorts hur bergklassindelningen har stämt överens med utförda förstärkningar.

Inom de tre studerade tunnelavsnitten (16:41 000-42 000 m, 17:47 500-49 420 och 20:68 145 - 70 000) om sammanlagt 4 775 m längd har samtliga 11 förutsagda zoner påträffats (betecknade A, exempelvis 17 A:1, 17 A:2 o s v). Förutsagd längd var 1 595 m eller 33 % av tunnelsträckan medan de verkliga zonerna varit delvis mer kostnadskrävande och utbredda samt omfattat 1 825 m eller 38 % av sträckan.

Dessutom påträffades 14 ej förutsagda zoner (betecknade B, 17 B:1, B:2 o s v) om totalt 685 m eller 14 % av hela sträckan. Dessa zoner, som endast i mindre omfattning krävt sprutbetongförstärkning, har i huvudsak karaktäriserats av vattenläckage. Längden av dessa zoner skall jämföras med i mängdförteckningen upptagna injekteringsinsatser över en tunnelsträcka om 600 m.

Totalt har alltså drygt 50 % av sträckan vid uppföljningen redovisats som injekterings- eller förstärkningskrävande zoner att jämföras med 33 %, som kunnat utläsas av den geologiska förundersökningen, där dock ej hänsyn hade tagits till de icke lägesangivna 600 m injektering. Avvikelserna varierar för de tre olika studerade avsnitten.

Översätts ovanstående zonlängder i åtgärdade tunnellängder erhålles följande utfall:

1. 920 m förstärktes med sprutbetong mot förutsagda 1 045 m
2. 1 850 m tunnel förinjekterades mot antagna 990 m (390 + 600).

Dessa åtgärder har företagits på en sammanlagd sträcka av 2 230 m tunnel.

I tabell 4.24.1 lämnas en sammanställning av samtliga förstärkningsavsnitt och de uppföljda kostnaderna (enligt schablonpriser lämnade av beställaren, jfr 4.17):

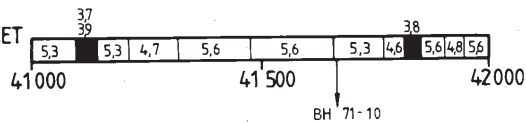
Zonbe- teckning	Zon- längd	Zon- klass	Förstärk- ning 1000 kr	Injek- tering 1000 kr	Totalt 1000 kr	% av drivn kostnad	total
16 A:1	80	3	23	73	96	75	6
:2	240	4	410	430	840	220	53
:3	320	3	83	350	433	85	27
:4	70	4	100	120	220	196	14
:5	290	3	310	450	760	164	48
17 A:1	35	2	17	-	17	30	0,3
:2	385	3	97	325	422	69	14
:3	235	3	50	560	610	162	20
B:1	30	2	10	-	10	21	0,3
:2	30	3	3	37	40	77	1,2
:3	20	3	40	-	40	125	1,2
:4	110	2	20	73	93	53	3,0
:5	40	3	16	87	103	161	3,3
:6	20	3	2	28	30	88	0,9
:7	50	3	5	56	61	70	1,8
20 A:1	25	3	40	-	40	100	1,35
:2	60	3	131	49	180	187	6,0
:3	85	2	40	28	68	50	2,3
B:1	25	3	2,5	35	37,5	93	1,2
:2	40	3	37	67	104	162	3,5
:3	25	3	31	36,5	67,5	167	2,2
:4	175	3	35	210	245	87	8,2
:5	20	3	2	36	38	119	1,3
:6	60	2	10	56	66	68	2,2
:7	40	2	28	-	28	44	0,9
2 510			1 542,5	3 106,5	4 649		

Tabell 4.24.1

(A anger förutsagda och påträffade zoner, B ej förutsagda men påträffade.)

SEISMISK
GÅNGHASTIGHET
I KM/S

LÄNGDSEKTION



FÖRDELNING EFTER SEISMISKA HASTIGHETER

> 5000 M/S	725 M	72%
4500 - 5000 M/S	190 M	19%
4000 - 4500 M/S	- M	- %
< 4000 M/S	85 M	9%

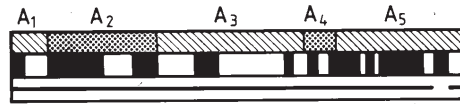
PROGNOS



FÖRSTÄRKNINGSINTENSIVA AVSNITT

940 M 94 %

UTFALL



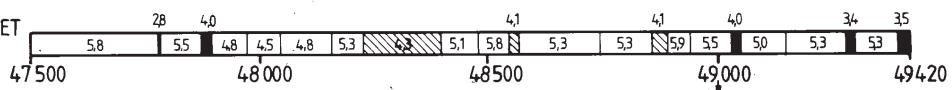
FÖRSTÄRKNINGSINTENSIVA AVSNITT

1000 M 100 %

UTFALL
PROGNOS = 106 %
"AVVIKELSE 6 %"

SEISMISK
GÅNGHASTIGHET
I KM/S

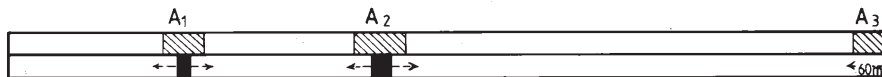
LÄNGDSEKTION



FÖRDELNING EFTER SEISMISKA HASTIGHETER

> 5000 M/S	1325 M	69%
4500 - 5000 M/S	215 M	11%
4000 - 4500 M/S	290 M	15%
< 4000 M/S	90 M	5%

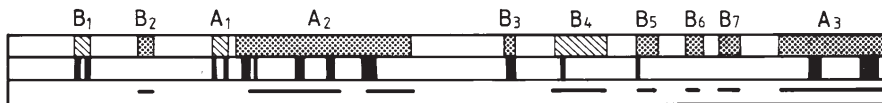
PROGNOS



FÖRSTÄRKNINGSINTENSIVA AVSNITT

270 M 14%

UTFALL



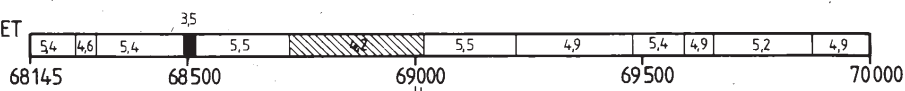
FÖRSTÄRKNINGSINTENSIVA AVSNITT

955 M 50%

UTFALL
PROGNOS = 354 %
"AVVIKELSE 254 %"

SEISMISK
GÅNGHASTIGHET
I KM/S

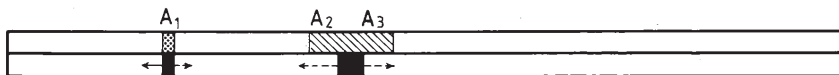
LÄNGDSEKTION



FÖRDELNING AV SEISMISKA HASTIGHETER

> 5000 M/S	1040 M	56%
4500 - 5000 M/S	495 M	27%
4000 - 4500 M/S	290 M	16%
< 4000	25 M	1%

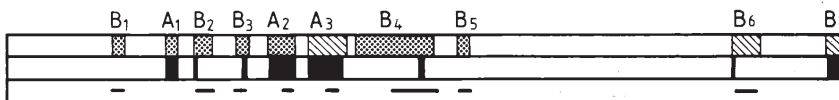
PROGNOS



FÖRSTÄRKNINGSINTENSIVA AVSNITT

170 M 9%

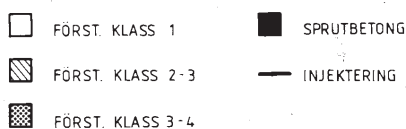
UTFALL



FÖRSTÄRKNINGSINTENSIVA AVSNITT

555 M 30%

UTFALL
PROGNOS = 326 %
"AVVIKELSE 226 %"



Figur 4.24.2

FÖRUNDERSÖKNING

BERGKLASSER

3	2	1
---	---	---

FÖRSTÄRKNINGSPROGNOS

BERG- FÖRSTÄRKNING	INJ.	FIKTIV INJ.	SPORADISK BULTNING
-----------------------	------	----------------	--------------------

UPPFÖLJNING

ZONKLASSER

4	3	2	1
---	---	---	---

FÖRSTÄRKNING

S	S+I	I	SPORADISK BULTNING
---	-----	---	--------------------

S = sprutbetong

I = injektering

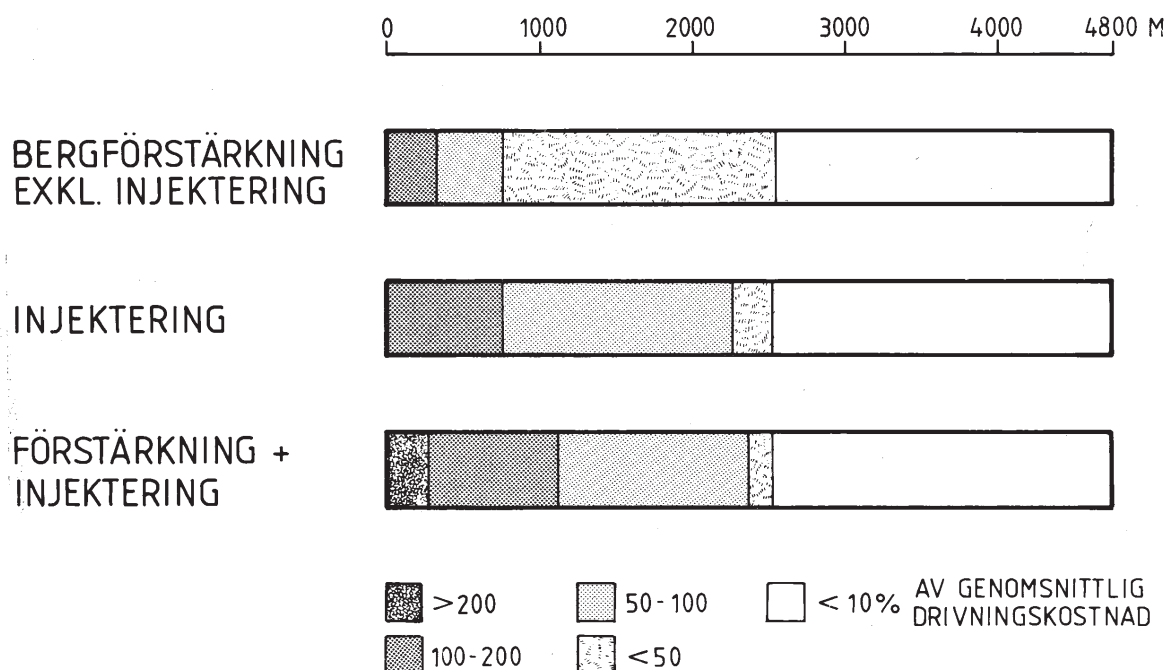
FÖRSTÄRKNINGSKOSTNADER I PROCENT AV GENOMSnittlig DRIVNINGSKOSTNAD

200 Λ	200-100	100-50	50-10	< 10
----------	---------	--------	-------	------

Figur 4.24.3

Sammanfattning av jämförelser mellan förundersökning och uppföljning för Bolmen, 5 km.

Ur den fullständiga sammanställningen kan man även utläsa följande fördelning med avseende på förstärkningskostnader i procent av drivningskostnad per tunnelmeter:



Figur 4.24.4

96 % av samtliga förstärkningsavsnitt förstärktes och injekterades med andra ord till mer än 50 % av drivningskostnaderna.

Utslagsgivande är som synes injekteringskostnaderna, som vida överstiger förstärkningskostnaderna.

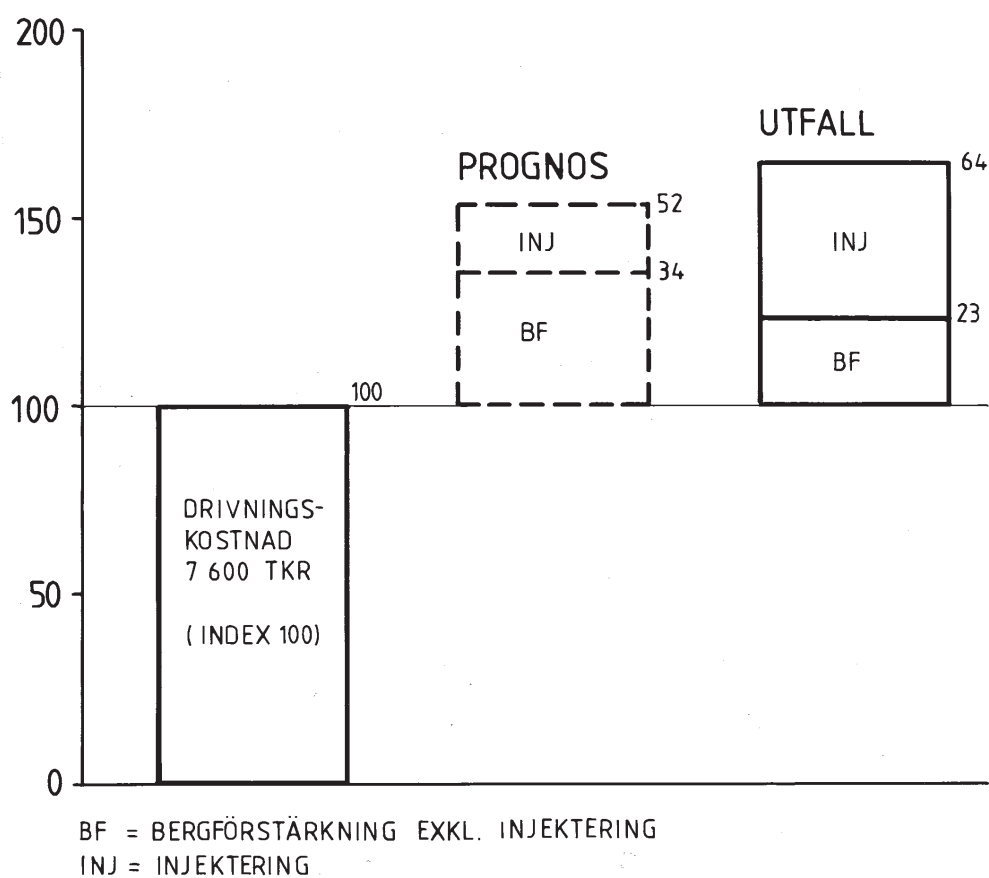
Inkluderas även bultningskostnader för 2 265 m bra berg (100 kr/m) uppgår de rena förstärkningskostnaderna till 1 800 tkr. Injekteringskostnaderna belöper sig till 3 100 tkr, båda tillsammans 4 900 tkr. Den prognoserade förstärkningskostnaden var 4 000 tkr. Detta avser endast driftförstärkning.

Slutligen bör förstärknings- och injekteringskostnaderna jämföras med drivningskostnaden (1 600 kr/m), se figur 4.24.5.

Betraktas enbart de rena förstärkningskostnaderna blir utfallet 67 % jämfört med prognosen.

Motsvarande utfall avseende injektering har blivit 230 %.

Slutsatsen blir att förstärknings- och injekteringsprognosen måste särskiljas. Vattenläckage har som synes medfört ökade kostnader.



Figur 4.24.5 Bolmen, 5 km

Man konstaterar alltså att vattenläckage är orsak till 64 % av samtliga driftförstärkningskostnader. Några orsaker till vattenläckagen har varit:

1. Sprickzoner och enstaka sprickgrupper som står i samband med diabasgångar. Har i allmänhet inte kunnat indikeras med hjälp av seismik.
2. Flacka kross- och sprickzoner som inte går att indikera seismiskt.
3. Läckage längs flacka smala amfibolitbankar.
4. Med tunneln parallellt löpande tensionszon med öppna sprickor. Zonen kunde indikeras genom seismiska tvärprofiler utanför de redovisade områdena, men dess stupning var svår att förutse.

Sammanlagda längden av samtliga injekteringsskärmar är 2 240 m på en tunnelsträcka av 1 850 m mot förutsagda 390 + 600 m. Observeras bör att vissa tunnelsträckor förinjekterats upp till 5 gånger. Längden av injekteringsskärmarna är därför betydligt större än injekterad tunnellängd. För den tunnelsträcka som injektering förutsagts i det geologiska materialet ingår i jämförelsen 390 tunnelmeter som skall jämföras med 800 m förinjekterad tunnelsträcka. (Avsnitt 16.) Sprutförstärkning i någon form har krävts längs 920 m av tunnelsträckan, av vilka 650 m sammanfaller med förinjekterade partier.

Av den förinjekterade sträckan har alltså endast ca 30 % även krävt sprutbetongförstärkning. Detta ger en klar antydning om att större delen av förekommande vattenläckage inte kan sättas i samband med egentliga krosszoner, utan oftast är bundet till öppna sprickgrupper som vid denna tunnelbredd inte har betydelse från hållfasthetssynpunkt.

Detta belyses även genom följande: 3 120 m, d v s 66 % av tunnelsträckan uppvisar seismiska berghastigheter större än 5 000 m/s, en hastighet, som normalt uppfattas som bra berg. Inom denna sträcka är sammanlagt ca 1 200 m förinjektering utförd.

Förinjektering har ofta erfordrats inom en zon som är avsevärt bredare än den seismiskt indikerade låghastighetssträckan, när bergshastigheten varit mindre än 4 000 m/s, dvs när en krosszon föreligger. Vidare har observerats att en seismisk låghastighetszon ($< 4\,000\text{ m/s}$ sek) har varit helt torr - i detta fall en lerzon. Att på basis av enbart seismiska indikationer bedöma om förinjektering med anledning av vattenläckage erfordras är alltså inte möjligt.

4.25 Alternativa bearbetningssätt

I den utförda förundersökningen har seismiska mätningar spelat en central roll. De seismiska bergshastigheterna tolkas normalt som direkt kopplade till bergets sprickighetsgrad. Nedan diskuteras några alternativ och kompletteringar till den ursprungliga tolkningen.

I Bolmen har som tidigare nämnts tre bergklasser (grundade på bl a seismiska hastigheter) ställts upp. Dessa fördelar sig över den studerade sträckan enligt följande:

Bra berg:	$>4\,500\text{ m/s}$	86 %	$\approx 85\%$
Mindre bra berg:	$4\,000 - 4\,500\text{ m/s}$	11 %	10 %
Dåligt berg:	$<4\,000\text{ m/s}$	3 %	5 %

Utbrytes ytterligare en klass, "mycket bra berg", ($>5\,000\text{ m/s}$), erhålls följande fördelning:

Mycket bra berg:	$>5\,000\text{ m/s}$	66 %	$\approx 65\%$
Bra berg:	$4\,500 - 5\,000\text{ m/s}$	20 %	20 %
Mindre bra berg:	$4\,000 - 4\,500\text{ m/s}$	11 %	10 %
Dåligt berg:	$<4\,000\text{ m/s}$	3 %	5 %

Längs den förstärkta sträckan (exkl enbart injekterade partier) fördelar sig olika förstärkningstyper på följande sätt:

Förstärkningsklass 1	Sporadisk bultning	51 $\approx$ 50 %
2	Enkel sprutbetong	24 $\approx$ 25 %
3	Flera lager sprutbetong	18 $\approx$ 20 %
4	Armerad sprutbetong	7 $\approx$ 5 %

Det finns ett visst samband mellan berghastighetsfördelningen och förstärkningsutfallet, dock har seismiken indikerat bättre förhållanden än vad utfallet givit. Förhållandena förskjuts ytterligare om man tar hänsyn till injekteringssträckorna (45 - 20 - 20 - 15).

Avvikelseernas betydelse framträder särskilt vad de mer kostnadskrävande förstärkningarna beträffar (förstärkningsklass 3 och 4). Enligt hastighetsfördelningen skulle dessa utgöra 15 %, det förstärktes dock 25 % (exkl sträckor med enbart injektering) och 35 % med enbart injektering. I det aktuella exemplet betydde procentförskjutningen en kostnadsökning för tätningsåtgärder med 130 % jämfört med vad som kunde utläsas enbart av det geologiska förundersökningsmaterialet.

Metoden att bergtekniskt tolka seismiska hastigheter rymmer flera begränsningar. Att tolka hastigheter som förorsakats av vattenförande sprickigt berg är inte möjligt. Vidare kan hastigheter, registrerade i bergytan, inte utan vidare extrapoleras mot djupet och slutligen är hastighetsnivåerna inte med säkerhet desamma vid olika mättillfällen. (Ett registrerat värde 5 000 kan t ex motsvara 4 800 eller 5 200 m/s.)

I många fall bör dock seismiken - vad berghastigheterna anbelangar - kunna ge anvisning om principiella skillnader eller generella karaktärsdrag hos bergmaterialet.

Ett försök att utföra en klassificering enbart med hjälp av i tunneln uppskattade RQD-värden gav inget positivt resultat. Följande RQD-värden erhöles inom respektive zonklass:

Zonklass	RQD
1	80-90
2	40-70
3	0-85
4	40

Inget direkt samband kan alltså utläsas. Metoden att uppskatta RQD-värden i bergväggar måste betraktas som alltför grov. I samband med

kärnborrning kommer nämligen även existerande mekaniska sprickplan, som ännu inte hunnit utbildas till synliga sprickor, att påverka kärnlängderna och därmed RQD-värdet.

En ytterligare bearbetningsmöjlighet kunde ha varit en RQD- resp. Z(RQD)-analys av borrhärlor. Samtliga borrhål har emellertid i detta fall placerats med en specifik målsättning och RQD-analysen skulle i första hand äga tillämpning på borrhålens omedelbara omgivning. Varje extrapolation skulle vara mycket löst grundad och inte nämnvärt bidra till en säkrare prognos för mellanliggande tunnelavsnitt. Dessutom hade en RQD-analys ej indikerat vatten.

Slutsatsen måste vara att utöver en RQD-värdering av borrhärlor (som visserligen ej praktiserats men enligt ovan bedömts ointressant) finns inget ytterligare sätt att bearbeta det befintliga materialet, som hade kunnat förbättra prognosnivån.

Endast en till bergets homogenitetsförhållanden anpassad borrhålsfördelning kan göra en RQD-analys till ett instrument för kvantitativ värdering i samband med bergklassificering.

4.26 Prognosutfall - Förundersökningens omfattning och kostnader

Som framgår av jämförelserna i 4.24 är det stor skillnad mellan å ena sidan prognosen för ren bergförstärkning och dess relativt goda utfall och å andra sidan injekteringskostnaderna som blivit 2,3 gånger större än vad som på geologiska grunder förutsetts.

Det kan ha visst intresse att studera relationer mellan förundersökningskostnader och förstärknings- respektive drivningskostnader för olika avsnitt av tunneln. Som underlag har nedanstående tabell sammanställts, där förundersökningskostnaderna enligt byggherrens priser i 1974 års nivå beräknats till (medeltal):

Geologi	8 kr/m tunnel
Seismik	7 kr/undersökningsmeter
Magnetometri	2 kr/ "
Kärnborrning	250 kr/borrmeter

Zon	Längd m	Förund. kr	Först. kr inkl inj.	Drivning kr (1600 kr/m enl byggherren)
16 A:1	80	4 160	96 000	128 000
:2	240	12 480	840 000	384 000
:3	320	16 640	433 000	512 000
:4	70	3 640	220 000	112 000
:5	290	15 080	760 000	464 000
17 A:1	35	595	17 000	56 000
:2	385	6 545	422 000	616 000
:3	235	17 995	610 000	376 000
B:1	30	510	10 000	48 000
:2	30	510	37 000	48 000
:3	20	340	40 000	32 000
:4	110	1 870	93 000	176 000
:5	40	680	103 000	64 000
:6	20	2 340	28 000	32 000
:7	50	6 850	56 000	80 000
20 A:1	25	425	40 000	40 000
:2	60	1 020	180 000	96 000
:3	85	16 445	68 000	136 000
B:1	25	425	37 500	40 000
:2	40	680	104 000	64 000
:3	25	425	67 500	40 000
:4	175	22 975	245 000	280 000
:5	20	340	38 000	32 000
:6	60	1 020	66 000	96 000
:7	40	680	28 000	64 000
25 2 510		134 670	4 639 000	4 016 000
Övriga				
av-	2 265	38 505	0	3 624 000
snitt				

För avsnitt 16 har förundersökningsinsatsen varit 52 kr/m, för avsnitt 17 mellan 76 och 137 kr/m och för avsnitt 20 från 17 upp till 193 kr/m. För zoner med relativt hög förstärkningskostnad har följande relationer noterats:

Förundersökning

Zon	i % av förstärkning,	i % av drivn.kostn.,	i % av total kostn.
16 A:2	1,5	3,3	1,0
:4	1,7	3,3	1,1
:5	2,0	3,3	1,2
17 A:3	3,0	4,8	1,8
B:3	0,9	1,1	0,6
:5	0,7	1,1	0,4
:7	12,2	<u>8,6</u>	5,0
20 A:2	0,6	1,1	0,4
:3	24,2	<u>12,1</u>	8,1
B:2	0,7	1,1	0,4
:3	0,6	1,1	0,4
:4	9,4	<u>8,2</u>	4,4
:5	0,9	1,1	0,5
Genomsnitt för			
A-zoner:	2,8	3,8	1,6
B-zoner:	3,0	2,9	1,5

Sammanställningen visar några zoner med markant hög förundersökningsinsats i förhållande till drivningskostnaden (17 B:7, 20 A:3 och B:4). Den höga kostnaden beror på att kärnbörning utförts på dessa platser. Trots detta har två av dem ej kunnat förutsägas.

I fallet 17 B:7 bedömdes låghastighetszonen mellan sektion 49 030 - 49 050 ha liten betydelse på grund av den ringa bredden och den snabba ökningen av hastigheten mot djupet (3 100 - 4 000 m/s). Zonen motsvaras på tunnelnivån av en injekterad sträcka om 50 m. Det aktuella borrhålet ligger 50 m söder om zonen och i bra berg.

För zonen 20 B:4 som förstärkts för 1 400 kr/m (90 % av genomsnittlig drivningskostnad) gäller att den seismiska hastigheten varit hög. Övriga zoner har låga förundersökningskostnader men höga förstärkningsinsatser, upp till 3 500 kr/m eller 220 % av drivningskostnaden.

Ytterligare kärnbörning anpassad till bergets homogenitetsförhållanden, hade kunnat förbättra prognosen under förutsättning att vattenproblem hade förväntats och pumptester genomförts. Det skulle dock ha varit svårt att utan geofysiska indikationer välja lämpliga borrhålspunkter, representativa för anläggningsnivån.

Förundersökningskostnaderna har för prognoserade och påträffade zoner (betecknade A i tabellen) varit i genomsnitt 50 kr/m medan för de icke prognoserade (B) kostnaden legat på 60 kr/m. Trots en genomsnittligt 20 % större insats har man alltså inte kunnat förutsäga dessa.

Prognoserad sträcka för sprutbetongförstärkning har varit 1 045 m, dvs ca 30 % längre än vad som indikerats genom låg seismisk hastighet (715 m). Utfallet har blivit 920 m förstärkning men av mindre omfattning per meter tunnel, varför kostnaden blivit ca 30 % lägre än vad som förutsagts och alltså snarast direkt relaterad till låghastighetszonens utsträckning.

Sammanfattningsvis kan konstateras att de icke indikerbara vattenläckagen lett till höga förstärkningskostnader längs 55 % av tunnelsträckan. (Fig 4.24.4) Den tillämpade metodiken gav en delvis pessimistisk prognos i fråga om stabilitetsförhållanden och en ofullständig bild av bergets täthet.

Om man i förväntningsmodellen hade haft anledning att förvänta otätt berg med samtidig risk för vatteninläckning skulle detta varit motiv för en stor borrhålsinsats med möjlighet till pumptester vilket är enda vägen att indikera en eventuell hög tillrinningskapacitet. En sådan insats kan ej betraktas som praktiskt-ekonomiskt möjlig för en tunnel av 80 km längd.

En förväntan om tätt eller otätt berg med risk för vattenläckage kan endast grundas på regionalgeologiska erfarenheter om sådana förhållanden. Olika berggrundsområden har olika vattenpotential. (Till exempel sörmålandsgnejs liten, kritkalken i Skåne hög specifik tillrinning.) Högt specifik tillrinning kan även förväntas i områden med utpräglad tensionstektonik.

Slutligen sammanställes följande kostnadsöversikt:

Förundersökningskostnad	280 tkr ¹⁾
Förstärkning	1 800 tkr
Injektering	3 100 tkr
Drivning	7 600 tkr

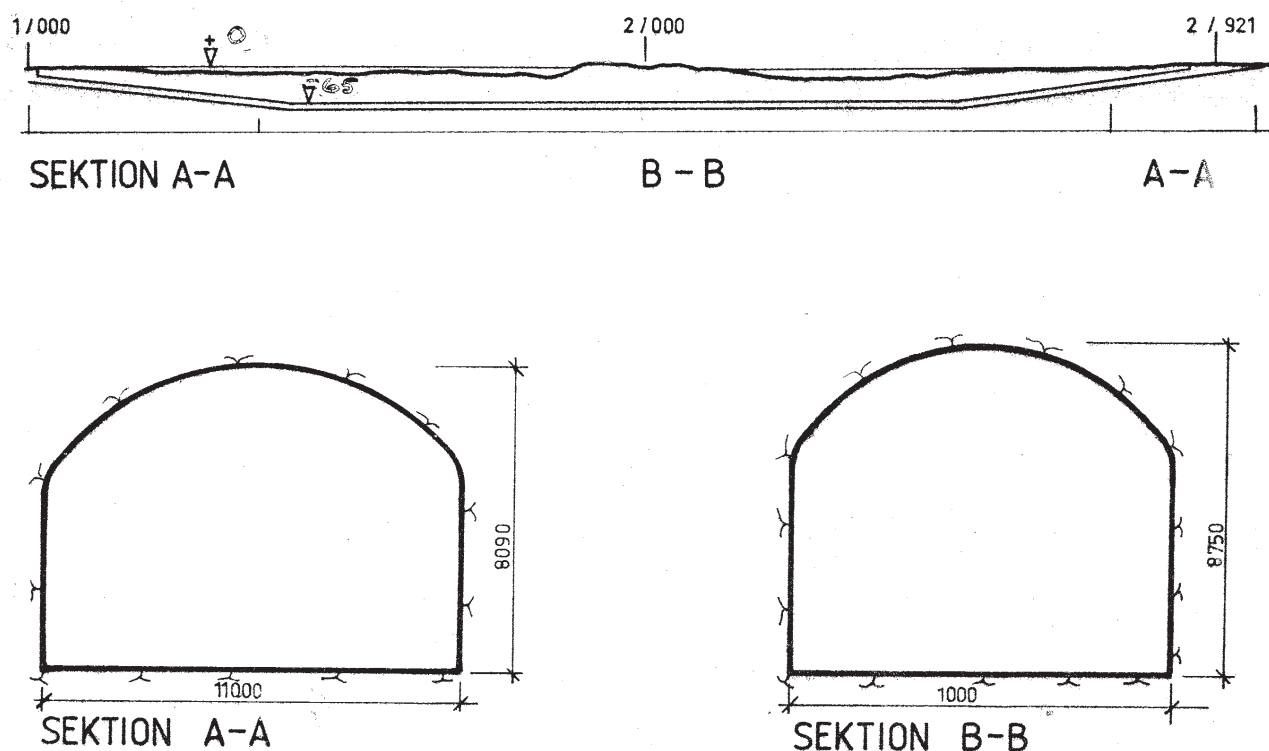
Detta ger nedanstående jämförelse:

Förundersökningskostnad			
i % av förstärkning - injektering - drivning - total kostnad			
15,5	9,0	3,7	2,2

¹⁾ Enligt BeFo 18s beräkningsmodell som här jämförs med beställarens uppgifter.

Geologi	50 tkr (enl. Sydkraft	38 tkr)
Seismik	48 " " "	33 tkr
Magnetometri	10 " " "	10 tkr
Kärnborrning	147 " " "	92 tkr
Övrigt + 10 %	25 "	-
Total undersökning	280 tkr	173 tkr

4.3 Forsmark - Utloppstunnel för kylvatten



Figur 4.3.1
Längdprofil och tvärsektioner

4.3.1 Sammanfattning

Forsmarkstunneln är en utloppstunnel för kylvatten (d v s uppvärmt havsvatten) från kärnkraftverket. Tunnelns livslängd är något svårbedömd men man kan räkna med krav på klanderfri funktion under trettio år.

Tunnelns längd är ca 2 km, arean 80 m^2 , djupet under havsytan ca 65 m och bergtäckningen 55-60 m.

Tunneln, som ligger i gnejsgranit och sedimentgnejs kommer att utsättas för varierande vattentryck, temperatur och genomströmningshastighet.

Förundersökningen inriktades dels på att man skulle finna en i bergtekniskt avseende lämplig sträckning och nivå och dels på bedömning och klassificering av bergets kvalitet från bergbyggnadssynpunkt.

Resultatet av förundersökningen blev att sammanlagt 216 m av hela tunneln förutsades vara i behov av förstärkning varav 15 m i behov av injektering. Prognoserad ren bergförstärkningskostnad var 1,6 milj kr medan injekteringskostnaden bedömdes till 0,3 milj kr.

Utfallet blev 450 m, förstärkningskostnaden 2,5 milj kr, injekteringskostnaden 0,7 milj kr. Förstärkningen kostade med andra ord en halv gång mer och injekteringen drygt dubbelt så mycket som förutsagt. (Beräknat enligt BeFo 18s å-prislista. Jfr 4.17.)

Den stora avvikelser i fråga om injekteringen måste tillskrivas förekomsten av vattenförande berg som ej prognoserats. En omfattande zon har påträffats som ej hade indikerats i förundersökningen ("slumpvist uppträdande struktur" som ej förväntats). Särskilt korsande och flacka strukturer medverkade till att zoner med sämre bergkvalitet blev flera än väntat.

Antalet sprickgrupper, sprickfyllnad och vattentillrinning har varit styrande faktorer för förstärkningsinsatsen. De har inte ingått i den ursprungliga bergklassificeringen.

4.32 Ursprunglig förundersökning och prognos

Förundersökningen inleddes med studier av geologiska kartblad och blottade hållar. Härigenom fick man underlag för att ställa upp en "tektonisk förväntningsmodell" med följande huvuddrag:

Homogenitetsområden och bergartsfördelning:

Berggrunden består av svekofenniska gnejsgraniter och sedimentgnejser. Två sinsemellan olika homogenitetsområden knutna till de två huvudbergarterna kan förväntas, det ena inom gnejsgraniten i väster, det andra inom sedimentgnejsen åt utloppssidan med en kontaktzon någonstans mellan Öarna Vattörarna och Loven. Förutom

huvudbergarterna förekommer som underordnade berggrundselement även pegmatit och grönsten.

Strukturer och kontaktförhållanden:

De strukturella iakttagelserna begränsar sig till observationer från de sparsamt förekommande hållarna. Av dessa framgår att såväl strykning som stupning i de båda huvudbergarterna bör vara gynnsamma med hänsyn till den tänkta tunnellen.

Ingen information fanns i detta skede om den bergtekniska karaktären hos kontaktzonen mellan gnejsgraniten och sedimentgnejsen.

Vattensituation:

Hela den vattentäckta delen av tunneln bedömdes, trots bottenlager av jordmaterial på bergytan, stå under relativt högt vattentryck, upp till ca 7 atö och med en obegränsad vattentillgång vid ett eventuellt genombrott. Horisontella eller andra läckvägar är sannolika med hänsyn till den markerade flacka sprickgruppen i gnejsgraniten vid kraftverksområdet jämsides med mer brantstående sprickor.

Målet för detaljundersökningen var att bestämma bergytans läge, djupet på ytbergets uppsprickning, att finna svaghetszoner av betydelse och kontrollera den tidigare gjorda strukturtolkningen. Med avsikt att nå en hög tillförlitlighet hos prognosen användes seismik kompletterad med kärnborrning med korsande hål i lokaliserade svaghetszoner.

Undersökningen bedrevs i fyra olika faser. Varje fas innefattade såväl planering som fältarbete och utvärdering av resultat. Uppläggning och resultat framgår kortfattat av följande tabell:

Fas	Förutsättning	Uppläggning	Fältarbete	Resultat
Förberedande undersökning	Rätlinjig tunnel ut i Öregrundsgrenen, passera under Loven	En seismisk profil läggs ut	En seismisk profil + 2 st parallella seismiska profiler	Några få zoner med låg seismisk hastighet. Ytterligare seismiska profiler skall utläggas.
Detaljundersökning	Flyttning i sidled av inloppet 60 m, tunneln kortas och slutar vid Loven	Selektiv undersökning	Seismik + kärnboring, båda från is	En svaghet klarlagd, en annan svaghet kräver ytterligare undersökning, huvudstrukturer klarlagda
Kompletterande undersökning	Eliminera osäkerheter från fas 1 och 2	Seismik ger inget nytt	Kärnboring från plattform	Bergartskontakt och stor svaghetszon bestämd till karaktär och utbredning
Kontroll	Kontrollera några mindre låghastighetszoner	Enkla gradhållanses tillfyllest	2 kärnborrade gradhåll	Inga svagheter indikerade

Totala undersökningskvantiteter har varit: Seismik 5 910 m
Kärnboring 775 m

Slutlig bergteknisk prognos

Med hjälp av seismik, kärnboring och ytkartering har berget längs tunnelns hela sträckning kartlagts. Två markerade zoner med dåligt berg har bestämts till läge, mäktighet och karaktär. (Se vidare zonindelning i prognos, kapitel 11, arkivbilaga.)

De två huvudbergarterna är gnejsgranit och sedimentgnejs. Båda bergarterna är brantstående. Gnejsgraniten är huvudbergart längs största delen av tunneln. I huvudbergarterna förekommer underordnat såväl pegmatit som grönsten.

En zon med dåligt berg mellan Vattörarna och Loven sammanfaller i tunnellinjen med kontakten mellan huvudbergarterna men bildar 10-15° vinkel med tunneln. Zonen är komplex och utgörs till stor del av breccia.

Vattenförlustmätningar har utförts i de flesta av borrhålen. Resultaten visar att man möjligen kan få vattenproblem i den stora rörelsezonens nedströmsände samt i ett ca 30 m långt parti av gnejsgraniten, men för övrigt kan berget betecknas som tätt eller relativt tätt.

I förstärkningsprognosen har man delat in tunneln i 10 zoner. Varje zon representerar ett avsnitt med enhetlig bergmekanisk karaktär och däremot svarande förstärkning.

För att underlätta beskrivningen har berget i de olika zonerna klassificerats enligt en femgradig skala. Bergklasserna är beroende av sprickfrekvensen i borrhärdar från de olika zonerna.

	Klass 1	Mkt sprickfattigt berg	2	spr/m
Gott berg	"	2 Sprickfattigt berg	2-3	" "
	"	3 Måttligt sprickigt berg	3-5	" "
Mindre gott berg	"	4 Tämmligen riksprickigt berg	5-10	" "
Dåligt berg	"	5 Riksprickigt berg	> 10	" "

Förstärkningsprognos:

Klass 1 Inga förstärkningar

" 2 Ringa förstärkningar, punktvis bultning

" 3 Betongsprutning (lokal)

" 4 Betongsprutning (kontinuerlig)

" 5 Stödjande gjutna betongbågar. Ev injektering.

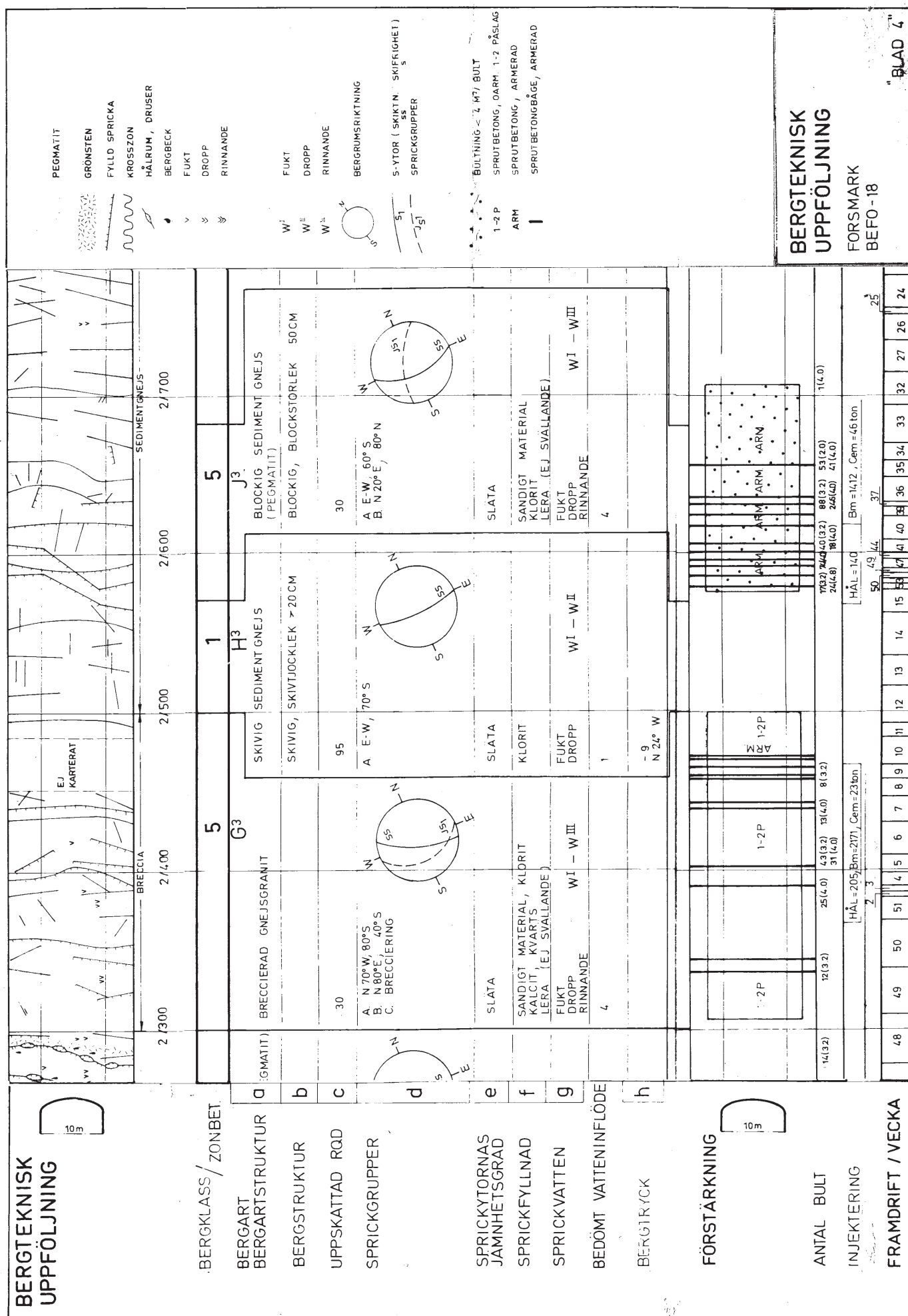
Eftersom undersökningsområdet så gott som helt är vattentäckt grundar sig klassningen i mycket stor utsträckning på seismiska resultat och utförd kärnborrhning. Hänsyn har givetvis tagits även till topografiska och tektoniska indikationer. Ett exempel på prognosredovisning presenteras i fig. 4.32. Bergklassificeringen utgör grund för markering av sträckor med dålig bergkvalitet. Beträffande den fullständiga redovisningen hänvisas till kapitel 11 (arkivbilaga).

Prognosen har av arbetsgruppen sammanfattats på följande sätt:

"Gott berg"	1 705 m	90 %
"Mindre gott berg"	120 m	5 %
"Dåligt berg"	96 m	5 %
	1 921 m	100 %

FÖRUNDERSÖKNING		2/200	2/300	2/400	2/500	2/600	2/700
BERGKLASS / ZONBET.		1	4	5	4 5 4		1
		D1	E1	F1	G1 H1 J1		K1
BERGMATERIAL	SE ZON I KVARTSBRECCIA PARTI MED GENOMDRING AV KVARTS, FALLSPAT EPIDOT		SE ZON I		GNEJS GRANIT I SEDIMENT GNEJS ETT 10M KVARTSBRECCIA PARTI	SEDIMENT GNEJS, SMÅKÖRNIG TYDLIG // STRUKTUR AMFIBOLITISKA GRÖNSTENAR KONFORMA	SE ZON VIII
	BRECCIAN GENOMSATTS AV FLERA NGT MERA GODARTAT PARTI AV SVAGHETZONEN ~ 6 SPR/M(II)		DELAR AV STÖRRE SVAGHETZON, LERZONER MAX 3 M SAMRE PARTI 11 6 SPR/M (V)	SE ZON V	N 50° - 55° V	FÅ LERZONER SAMRE PARTI 135 SPR/M (V)	SE ZON V
	PARTIELL BETONGSPRUTNING		FULLSTÄNDIG BTG - SPRUTNING PARTIELLT PÅ VÄGGARNA, VID LERBRECCIOR MOTGJUTEN BETONG, SONDERINGS BORRNING	SE ZON V		SE ZON VI	SE ZON V
	SAKER		SAKER	SAKER		SAKER	SAKER
ANMÄRKNING							
MODIFIERAD TOLKNING		1	4	5	4 5 4	1	2
BERGKLASS / ZONBET.		H2	J2	K2	L2 M2 N2	O2	P2
BERGMATERIAL							
BERGSTUKTUR	75 (0,2,3,10)	D66 RQD ~15 (12,5,0,0)	D65 RQD ~20 (20,8,4,0)			D65 RQD ~40 (11,9,9,0)	D65 RQD ~10 (18,0,1,0)
							D67 RQD ~35 (13,11,6,3)
FÖRSTÄRKNINGS- PROGNOS	SPRUT BTG 6 CM + 1/2 ARM 4 CM VAGGAR PARTIELLT 3 CM		SPRUT BTG 10 CM ARM VAGGAR 5 CM 1/3 AV LÅNGDEN BÅGAR INJEKTERING	SE ZON 9			SE ZON 10
ANMÄRKNING							
		FÖRUNDERSÖKNING MODIFIERAD TOLKNING FORSMARK BEFO-18					"BLAD 3"

Figur 4.32.1



Figur 4.33.1

Som redan tidigare noterats representerar fördelningen en prognos, som bygger på indirekta data och borrhålsresultat, vilka måste extrapoleras till större djup (max 60 m). Av 216 m mindre gott och dåligt berg antogs hela sträckan vara i behov av förstärkning och 15 m i behov av injektering.

4.33 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

Samtliga förundersökningsresultat, förutsagda förstärkningsavsnitt, av oss uppföljda bergtekniska parametrar och verkliga förstärkningar har lagts in på en ritning i skala 1:2000. Arbetet har utförts i samarbete med Vattenfall.

Berget har karterats och med ledning av den bergtekniska karaktären indelats i zoner där

zonklass 1 genomgående kommit att motsvara förundersökningens bergklass					1-3
"	4	"	"	"	4
"	5	"	"	"	5

Uppföljningskarteringen omfattar i huvudsak faktorer som påverkat förstärkningsbehovet. Förstärkningar och injekteringsinsatser är mängdangivna. Karteringen illustreras i figur 4.33.1, som är ett utdrag ur redovisningen.

Denna kartering och zonindelning bildar underlag för jämförelsen mellan prognos och utfall i avsnitt 4.34.

De förstärkningar som utfördes kan indelas enligt följande:

Förstärkningsklass	Förstärkning
1	Ingen eller sporadisk bultning
3	Sprutbetong
5	Armerad sprutbetong, bågar, injektering.

Nedanstående förstärkningsorsaker har varit avgörande i angiven omfattning (uttryckt som längdandel av förstärkta partier):

Vattenläckage i kombination med sprickzoner	39 %
" " " " krosszoner	36 %
" " " " bergets all-	20 %
Sprickintensiva avsnitt	männas sprick- kighet 5 %

Förstärkningsorsaker förenade med vattenläckage har som synes varit helt dominerande.

4.34 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekterings- åtgärder med förväntade

Jämförelse av prognos och utfall har utförts i fråga om förstärkningsintensiva avsnitt. Se figur 4.34.1. Nedan kommenteras kort de väsentligaste iakttagelserna:

A. Svagheter som prognoserats och påträffats

	<u>Prognos</u>	<u>Utfall</u>
Zon D ₃	Sprickintensiv, korsande sprickgrupper Vatteninläckning med problem L = 35 m	Sprickintensiv, korsande sprickor Inga nämndvärda vattenproblem L = 30 m
Zon G ₃	Brecciazon med lerpartier Vatteninläckning med problem L = 181 m	Brecciazon med lerpartier <u>Vatteninläckning med problem</u> L = 200 m

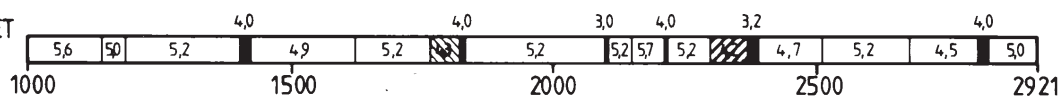
B. Svagheter som ej har prognoserats men påträffats

	<u>Prognos</u>	<u>Utfall</u>
Zon B ₃	Mkt svaga antydningar i seismik	Sprickzon flack orientering <u>Vatteninläckning med problem</u> L = 110 m
Zon J ₃	Ingen indikering i seismiska profiler. Svaga indikationer vid kärnbörning i gräns.	Sprickzon med endast två sprickgrupper både sandigt och lerigt material som sprickfyllnad. <u>Vatteninläckning med problem.</u> L = 110 m

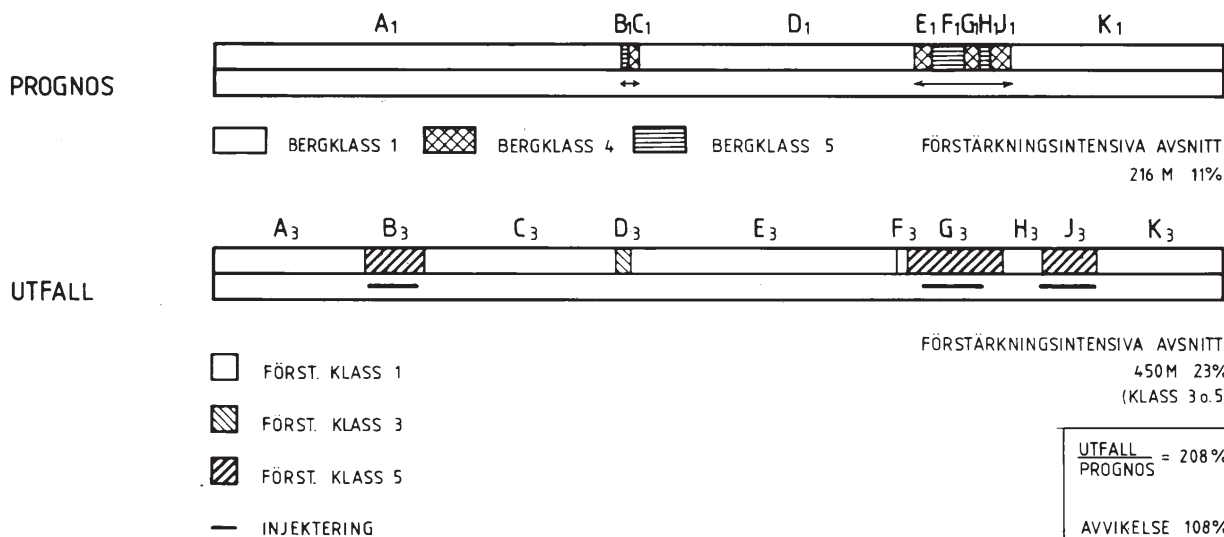
C. Svagheter som har prognoserats men ej påträffats

Inga

SEISMISK
GÅNGHASTIGHET
I KM/S
LÄNGDSEKTION



FÖRDELNING AV SEISMISKA HASTIGHETER
> 4500 M/S 1633 M 85 %
< 4500 M/S 288 M 15 %



Figur 4.34.1

Zonindelning enligt prognos och utfall

FÖRUNDERSÖKNING

BERGKLASSER

5	4	1
---	---	---

FÖRSTÄRKNINGSPROGNOS

B	S	SPORADISK BULTNING
---	---	--------------------

UPPFÖLJNING

ZONKLASSER

5	3	1
---	---	---

FÖRSTÄRKNING

A	S	SPORADISK BULTNING
---	---	--------------------

FÖRSTÄRKNINGSKOSTNADER I PROCENT AV
GENOMSNTTLIG DRIVNINGSKOSTNAD

>200	100-200	< 20
------	---------	------

Figur 4.34.2

Sammanfattning av jämförelser mellan förundersökning
och uppföljning för Forsmark

Enligt denna sammanställning har zonerna D_3 och G_3 (i prognosen motsvarande av B_1-C_1 resp. E_1-J_1) sammanlagt omfattat 230 m (prognoserat 216 m). Därutöver har svaghetszonerna B_3 och J_3 med en sammanlagd längd 220 m påträffats.

Förutsagd längd var 216 m eller 11 % av tunnelsträckan medan det verkliga utfallet genom två tillkommande, ej förutsagda zoner blev 450 m eller 23 % av sträckan. I båda fallen har den icke prognoserade vatteninläckningen med åtföljande bergtekniska problem varit orsaken till avvikelser. (Avvikelsens storlek är 108 %.)

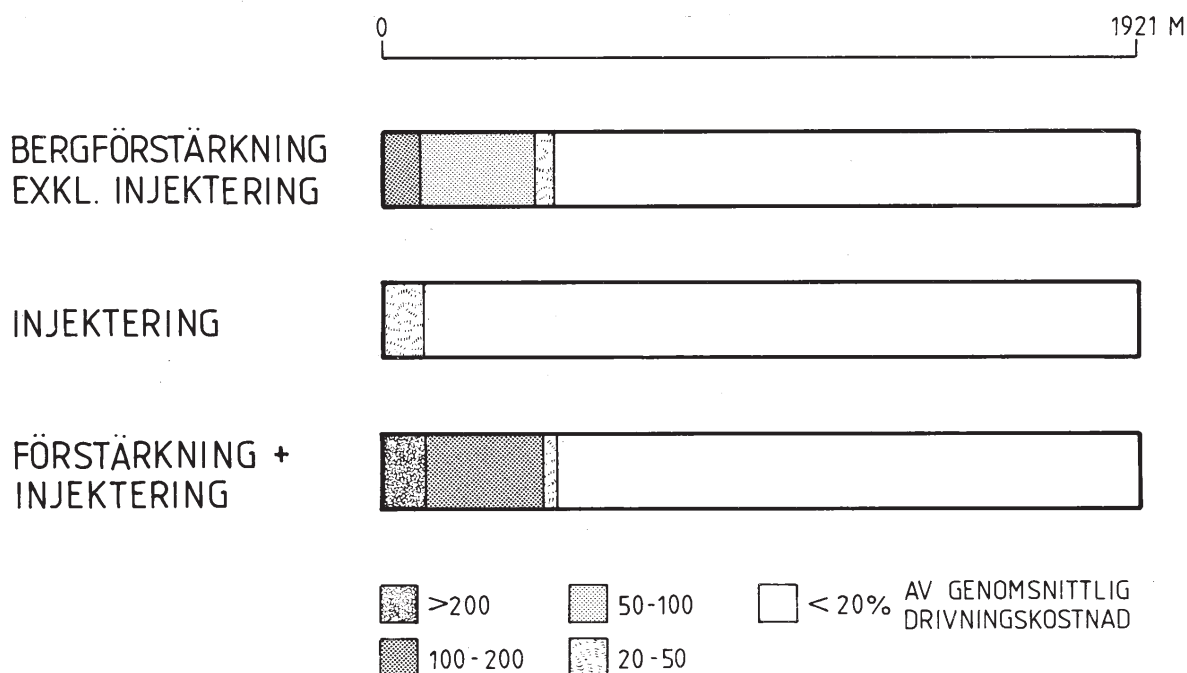
För att belysa den ekonomiska betydelsen av de olika zonerna redovisas i tabellform förstärknings- och injekteringskostnaderna för de enskilda zonerna (sammanlagd längd av förstärkningsintensiva avsnitt är 420 m):

Zon	Längd	Klass	Först.- kostnad 1 000 kr	Kostnad i % av drivnings- kostnad/m tunnel	Kostnad i % av total drivnings- kostnad	Kostnad i % av total förstärknings- kostnad
A_3	280	1	-	0	0	0
→ B_3	110	5	615	140	8,0	19,1
C_3	370	1	29	2	0,3	0,9
D_3	30	3	46	38	0,6	1,4
E_3	360	1	5	0	0,1	0,1
F_3	150	1	5	1	0,1	0,1
→ G_3	200	5	1 186	149	15,4	36,8
H_3	70	1	0	0	0	0
→ J_3	110	5	1 293	294	16,9	40,1
K_3	241	1	48	5	0,6	1,5
	1 921		3 227		42,0	100,0
Prognos			1 857		24,2	

Man kan konstatera att endast de förstärkningsintensiva avsnitten (B_3 , G_3 , J_3) har någon ekonomisk betydelse. De svarar för 96 % av förstärkningskostnaden och motsvarar 40 % av drivningskostnaden.

Vad beträffar graden av överensstämmelse kan man konstatera att för zonerna $E_1 - J_1$, som i uppföljningen motsvaras av G_3 , utgör faktisk kostnad 86 % av prognoserad. J_3 har ej prognoserats varför "avvikelsen" alltså är oändlig. B_3 är en slumpvistuppträdande och ej förväntad struktur.

Ur nedanstående figur kan man även utläsa fördelningen av förstärkningskostnaderna, ställda i relation till den genomsnittliga drivningskostnaden per tunnelmeter.

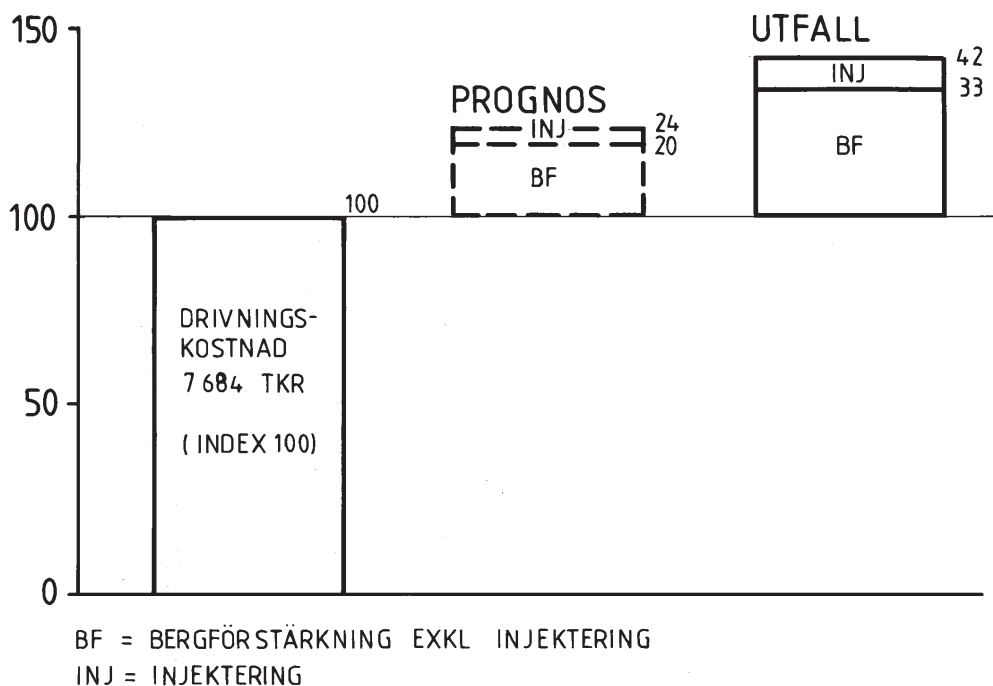


Figur 4.34.3

93 % av samtliga förstärkningsavsnitt förstärktes och injekterades m a o till mer än 50 % av drivningskostnaderna. Injekteringskostnaderna har i praktiken bara utgjort 22 % av den sammanlagda förstärknings- och injekteringskostnaden.

Sammanlagt uppgår de rena förstärkningskostnaderna inkl stil-
lestånd till 2 516 tkr. Injekteringskostnaderna belöper sig
till 711 tkr, båda tillsammans 3 227 tkr. Den prognoserade
förstärkningskostnaden var 1 857 tkr.

Slutligen kan förstärknings- och injekteringskostnaderna jämföras med drivningskostnaden (4 000 kr/m):



Figur 4.34.2

Forsmark

Betraktas endast de rena förstärkningskostnaderna blir utfallet 160 % jämfört med prognosen. Motsvarande utfall avseende injektering har blivit 247 %. Å andra sidan utgör injektering en endast 22 % av den sammanlagda förstärknings- och injekteringskostnaden. Sprick- och brecciazoner har varit orsak till injekteringskrävande vattenläckage längs en tunnelsträcka på 420 m, vilket betyder att 93 % av de förstärkta tunnelavsnitten har varit vattenförande. Tätningsinsatsen stannade vid en relativt blygsam nivå.

I det aktuella fallet framgår tydligt sambandet mellan sprick- och krosszoner och vattentillrinning.

4.35 Alternativa bearbetningssätt

En RQD-analys av borrhälsförändringar visar följande fördelning

RQD	50 - 100	55 %
	25 - 50	20 %
	0 - 25	25 %

Enligt detta resultat skulle 45 % av tunnelsträckan vara i behov av intensivare bergförstärkning. Verkligt utfall har varit 23 % (nära motsvarande klass 0-25).

Avvikelsen hos RQD-fördelningen från utfallet beror främst på att borrhålsfördelningen har varit selektiv (målinriktad), varför bättre berg utanför svaghetsområdena är underrepresenterat.

Beträffande seismiken kan nämnas att 85 % av den totala profilsträckan visade en hastighet större än 4 500 m/s. Återstående 15 % skulle motsvara "sämre" berg. Utfallet blev som nämnt 23 %. Avvikelsen beror inte minst på förekommande flacka strukturer som ej indikeras med denna metod.

Ett försök att tillämpa Q-värdering enligt BARTON et al. har gjorts, men resultatet måste bedömas med stor försiktighet eftersom ingångsvärdena ursprungligen inte har insamlats med tanke på en sådan värdering. Vissa värden har endast kunnat uppskattas.

Zon	Förstärkningskostnad per meter tunnel				
	Verklig	Enligt urspr. bearbetning		Enligt Barton	
		Prognos	Mod tolkn.	Prognos	Uppföljda parametrar
B ₃	3.200	100	100	0	2.500
D ₃	1.000	4.900	1.400	2.900	1.700
G ₃	2.700	4.200	3.600	3.000	4.500
J ₃	6.300	100	100	0	1.800

Tabell 4.35.1

För de fyra intressanta zonerna B_3 , D_3 , G_3 och J_3 kan man, som synes i tabell 4.35.1, varken betrakta Barton-värderingen som signifikant bättre eller sämre jämfört med vad de tidigare prognosmetoderna givit. Det är dock anmärkningsvärt att tillämpningen av Bartonsystemet på uppföljda parametrar inte givit bättre överensstämmelse med verkligt utfall än vad som framgår i tabellen, framför allt i fråga om zon J_3 . Orsaken till detta kan ligga i en för liten hänsyn till vatten i Bartonsystemet samt att där inte heller sprickornas orientering ingår. Den rikliga förekomsten av glimmermineral kan ha haft en betydande inverkan.

4.36 Prognosutfall - Förundersökningens omfattning och kostnader

Hög sprickfrekvens och krossningsgrad, koncentrerad till vissa zoner, har medfört en höjning av den prognoserade kostnaden för ren bergförstärkning med 60 %. Vattentillrinning har lett till att injekteringskostnaden blivit 2,5 gånger större än förutsagt. Summan förstärknings- och injekteringskostnad ökade därigenom med 74 %.

20 % av denna kostnad kan hänföras till slumpvist uppträdande (d v s "ej förväntade") strukturer. 40 % faller i stort sett inom ett område som i ytan kännetecknas av låg seismisk hastighet.

Mot bakgrund av den låga blottningsgraden kan noteras att flera borrhål eller en annan fördelning givetvis hade kunnat ge bättre upplysningar om bergets inhomogenitet.

Jämförelser av förundersökningens kostnaden med motsvarande förstärkningsinsats inom olika avsnitt ges i tabell 4.36.1.

I tabellen har zoner med likartad relation mellan förundersökning och förstärkning sammanförts.

Zon	Längd m	Kostnad kr totalt		
		Förunders.	Förstärkn. ¹⁾	Drivning
A ₃ +C ₃ +F ₃	800	17 000	34 000	3 200 000
B ₃ +J ₃	220	6 000	1 908 000	880 000
D ₃	30	65 000	46 000	120 000
E ₃ +K ₃	601	91 000	53 000	2 404 000
G ₃	200	147 000	1 186 000	800 000
H ₃	70	34 000	0	280 000
	1 921	360 000 ²⁾	3 227 000	7 684 000

1) Inkluderar injektering och stilleståndskostnad

2) Exkl "geologi" och "övrigt", jfr 4.17.

Tabell 4.36.1

Man kan konstatera att något direkt samband mellan förundersökningskostnad och förstärkningskostnad för olika avsnitt inte står att finna. Man kan däremot studera slutsummorna och utifrån dessa diskutera hur en större eller mindre insats hade kunnat påverka resultatet. Ett par överslagsberäkningar exemplifierar:

En 20 m sänkning av tunneln motiverades av vissa förundersökningsresultat. Antag att beslutsunderlaget var tre kärnborrhål som tillsammans kostade 146 000 kr. Merkostnaden för djupare läge blev 20 000 kr. Ett enkelt överslag har givit att förstärkningskostnaden enbart vid zon D₃ på grund av det djupare läget minskat med ca 160 000 kr, d v s samma storleksordning som tillkommande kostnader. Minskande förstärkningar på andra avsnitt kan alltså tillgodoräknas som "vinst".

På en stor del av tunnelsträckan har tvärsnittet förändrats så att bredden blivit 10 m i stället för 11. Därmed kan förstärkningskostnaden beräknas ha minskat med 650 000 kr, medan ökade kostnader för drivning av denna tvärsnittsform uppskattas till 150 000 kr. "Vinsten" kan här sägas väga upp mer än hela förundersökningskostnaden för tunneln.

Slutligen sammanställs följande kostnadsöversikt:

Förundersökningskostnad	450 tkr ¹⁾
Förstärkning	2 516 tkr
Injektering	711 tkr
Drivning	7 684 tkr

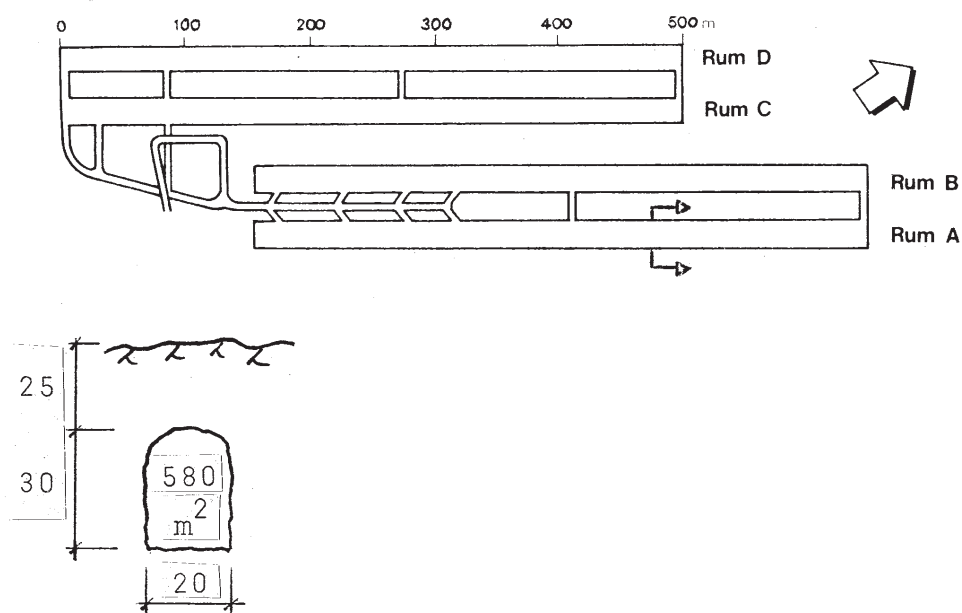
Detta ger nedanstående jämförelse:

Förundersökningskostnad i % av förstärkning - injektering - drivning - totalkostnad			
17,9	63,3	5,9	4,1

1) Kostnader enligt 4.17:

Geologi	50 tkr
Seismik	52 tkr
Kärnborrhning	307 tkr
Övrigt + 10 %	41 tkr
Total undersökning	450 tkr

4.4 Hisingen - Oljelager



Figur 4.41.1

Plan och tvärsektion över anläggningen

4.41 Sammanfattning

Bergrumslagret på Hisingen består av fyra cisterner för råolja om tillsammans 1,3 milj m^3 . Övriga dimensioner och bergtäckning framgår av figuren ovan. Lagret har i sin helhet varit tillgängligt för studier.

Anläggningen ligger i den västsvenska gnejsformationen med sedimentådergnejs och inslag av pegmatit och gnejsgranit. Förundersökningen inriktades på att klarlägga om anläggningen kunde utföras med föreslagen utformning och att utröna bergets kvalitet.

Resultatet av förundersökningen blev att den utförda bergklassfördelningen indikerade att 13 % av bergmassan kunde kräva en intensifierad förstärkningsinsats. De kalkylerade förstärkningskostnaderna (inkl. kostnaden för viss "obligatorisk" förstärkning) angavs av entreprenören till 3,5 milj kr.

Utfallet, beräknat enligt 4.17, blev 11 % med en total förstärkningskostnad på 4,0 milj kr. (ren förstärkningskostnad 3,8 milj kr, injekteringskostnad 0,2 milj kr.). Den totala förstärkningskostnaden låg 14 % över prognosen.

Utmärkande för objektet har varit en extremt hög blottningsgrad.

4.42 Ursprunglig förundersökning och prognos

En inledande översiktlig ingenjörgeologisk analys ledde till en tektonisk förväntningsmodell enligt följande:

Området utgör en homogenitetsenhet bestående av sedimentådergnejs med inslag av pegmatit och gnejsgranit. Gnejsen är en strukturdistinkt bergart och huvudinriktningen närmar sig bergrummens längdaxel. Havet skär av strukturerna utanför anläggningen, varför man skulle få obegränsad vattentillrinning vid ett eventuell genombrott.

Enligt initialprognosen fanns inga avgörande hinder för föreslagen utformning och placering, varför en förundersökningsmodell valdes som skulle kunna bekräfta detta förhållande och klarlägga bergets kvalitet.

I stort är den väl blottade berggrunden tidigare väl känd inom området och endast en kort rekognoscering genomfördes i fält. De jordtäckta svackorna i terrängen kan dölja kross- eller rörelsezonerna varför dessa kontrollerades med seismik. Vid bedömning av det seismiska resultatet framkom vissa oklara zoner i vilka kärnborrhål utfördes. I kärnborrhålen kontrollerades även berggrundens permeabilitet.

Förberedande undersökning och detaljundersökning:

Den första inledande rekognosceringen gav till resultat att området som sådant bedömdes som lämpligt. Detaljundersökningen inriktades på kontroll av om det tänkta läget var lämpligt med avseende på bergkvalitet. En översiktlig seismisk refraktionsundersökning påvisade vissa sämre partier av berggrunden. Denna bedömning låg till grund för placering av fem kärnborrhål som avsågs ge en kontroll av bergkvaliteten i stort och vissa indikerade svaghetszoner. Hela detaljundersökningens resultat blev att berget är av god eller mycket god kvalitet och att eventuella svaghetszoner är lätta att bemästra samt att förekommande strukturer skärs under gynnsam vinkel (bortsett från gnejsens parallellstruktur).

Totala undersökningskvantiteter: seismik 3 840 m, kärnbör-
ning 287 m.

Kompletterande undersökning:

Kort efter den nämnda undersökningen genomförde VA-verket i Göteborg en geologisk förundersökning för en dagvattentunnel som projekterades genom samma område över de blivande berg-
rummen. Denna undersökning genomfördes av BERGAB enligt det system som har utvecklats i samarbete med VA-verket. Man gjorde en detaljerad geologisk kartering och potentiella zoner av dåligt berg projicerades ned till tunnelnivå. Inga borrhningar genomfördes. Undersökningen resulterade i en geologisk rapport och området runt tunneln lades in och utvärderades geologiskt och bergtekniskt. Praktiskt taget hela bergrumsområdet är inkluderat i denna kartering.

Detaljundersökningens resultat föranledde ej någon ytterligare kontroll av de geologiska och bergtekniska förutsättningarna för byggandet. Man hade befarat att de bergtekniska förhållandena skulle ha kunnat leda till en ändring av det från början givna läget. Dessa farhågor kunde emellertid skingras genom detaljundersökningen varefter den föreslagna layouten fastställdes.

Slutlig bergteknisk prognos:

Den enligt initialprognosen förväntade bilden av bergets kvalitet och lämplighet ansågs bekräftad eller till och med överträffad. Anläggningsarbetet bedömdes såsom genomförbart utan störande komplikationer.

En klassindelning av berget gjordes på basis av sprickkartering av kärnor från borrhålen. Denna bergklassindelning indikerade att 13 % av bergmassan kunde kräva en intensifierad förstärkningsinsats, men angav ej specifika lägen. De svaghetszoner som kunde komma att beröra anläggningen angavs som få och lätta att bemästra.

Klassificeringen efter sprickfrekvens gjordes enligt följande

mönster:

Mycket gott berg	0-1 spr/m borrhål
Gott berg	1-3 " "
Medelgott berg	3-5 " "
Mindre gott berg	5-10 " "
Dåligt berg	> 10 " "

Ingen fördelning av direkt till klassificeringen kopplade förstärkningsåtgärder meddelades. Inte heller har några direkt kalkylerade förstärkningskostnader angivits, men 3,5 milj kr uppgavs av entreprenören som ett riktvärde.

Enligt en inom forskargruppen konstruerad prognos skulle följande bergklassfördelning föreligga:

Mycket gott berg	}	1 740 m	87 %
Gott berg			
Medelgott berg	}	260 m	13 %
Mindre gott berg			
Dåligt berg			

Prognosen bygger på ytobservationer, seismik och borrhålsresultat.

260 m antogs vara i behov av förstärkning.

4.43 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

Samtliga förundersökningsresultat och av oss uppföljda bergtekniska parametrar och verkliga förstärkningar har lagts in på ritningar i skala 1:1000.

Berget har karterats och med ledning av den bergtekniska karaktären indelats enligt en skala om fem zonklasser med annan parameterkaraktistik än vad som låg till grund för den tidigare utförda bergklassificeringen. Uppföljningskarteringen omfattar i huvudsak faktorer som påverkat förstärkningsbehovet.

83

Förstärkningar redovisas med metod och kvantitet, även vad injekteringsinsatsen beträffar. Karteringen illustreras i figur 4.43.1 som är ett utdrag ur redovisningen. Kartering och zonindelning bildar underlag för jämförelsen mellan prognos och utfall.

De förstärkningar som utfördes kan indelas enligt följande:

<u>Förstärkningsklass</u>	<u>Förstärkning</u>
1	Endast "psykologisk" förstärkning (1 lager sprutbetong, 4,2-5,6 m ² /bult)
2	2 lager sprutbetong, 4,2 m ² /bult
3	1 lager sprutbetong, 5,4 m ² /bult samt injektering
4	3 lager sprutbetong 5,6-10,3 m ² /bult, armering.

Nedanstående förstärkningsorsaker har varit avgörande (uttryckt som längdandel av förstärkta partier):

Vattenläckage och/eller sprickintensiva avsnitt	80 %
Vattenläckage och/eller sprickor med lera	20 %

4.44 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekterings- åtgärder med förväntade

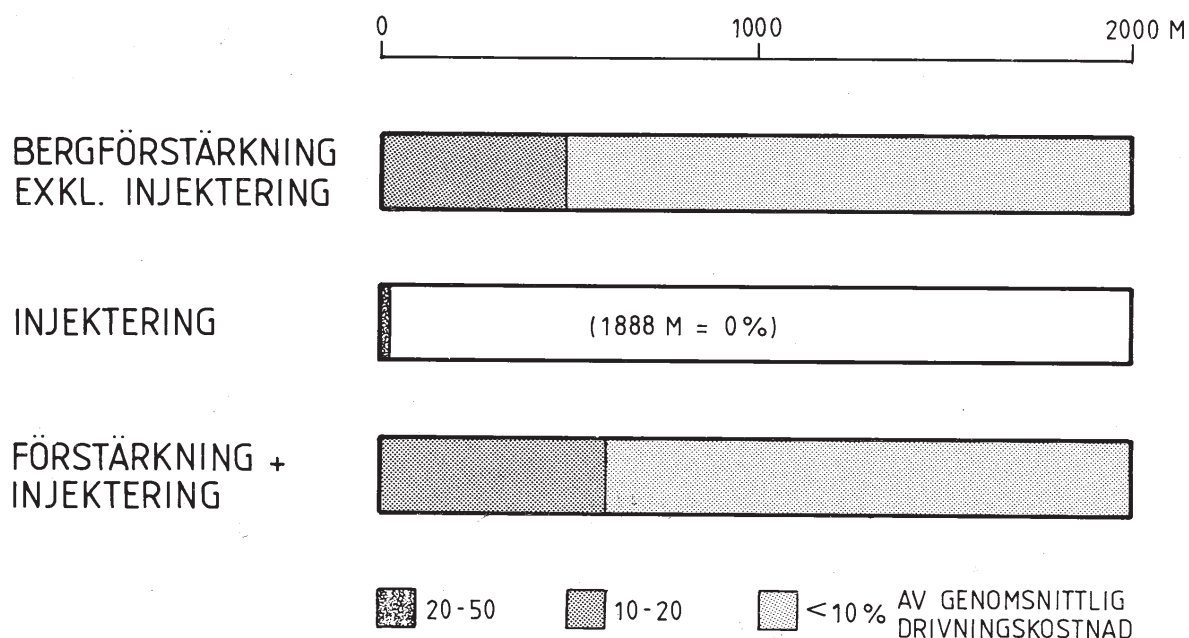
Jämförelse av prognos och utfall har utförts såsom en under projektets gång kontinuerlig uppföljning i fält av de framkomna bergtekniska parametrarna samt jämförande bearbetning i efterhand. Jämför blad 4 i arkivbilagan, kapitel 11, där detaljkartering och uppföljning av förstärkning finns redovisade.

Förundersökningen preciserade ej förstärkningsavsnittens läge, men angav sprickigare = "sämre" berg till 13 %. Uppföljningen har visat att 11 % av anläggningen krävde en mer intensiv förstärkningsinsats (d v s 220 m mot prognoserade 260 m). Prognosen gav således en korrekt vägledning. En modifierad prognos indikerade även de förstärkningsintensiva avsnittens läge inklusive ett injekteringskrävande parti.

Förundersökningens uppgift om bergartsfördelning var helt i överensstämmelse med utfall.

Prognosens uppgift att förstärkningskrävande strukturer icke är att vänta stämde till 85 %. Vissa korsande strukturer orsakade utfall och lokalt intensiv bultning. Bergrum A försköts 20 m med anledning av vattenproblem i början av bergrummet.

Ur nedanstående sammanställning kan man utläsa fördelningen av förstärkningskostnaderna ställda i relation till drivningskostnad per tunnelmeter:

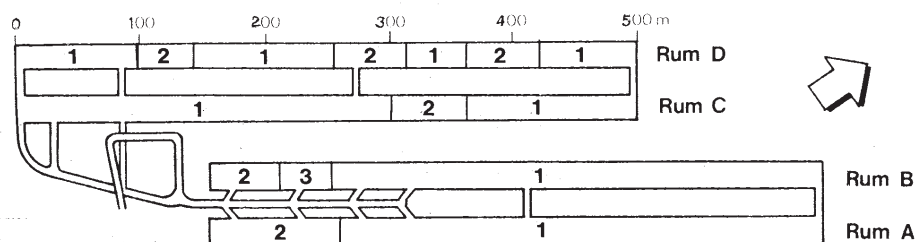


Figur 4.44.1

Förstärkningsinsatsen inkl injektering låg med andra ord på förstärkta avsnitt genomgående under 20 % av den genomsnittliga drivningskostnaden.

Fördelningen av förstärkningskostnaderna på 3,8 milj kr för den rena förstärkningen och 0,2 milj kr för injekteringen visar den ringa betydelsen av vattenläckage jämfört med andra förstärkningsorsaker. Den sammanlagda prognoserade förstärkningskostnaden var som nämnts 3,5 milj kr.

I skalan om fem zonklasser har endast de tre lägre varit aktuella och de fördelar sig enligt nedanstående figur:



Figur 4.44.2

Med hjälp av projektets à-prislista (se 4.17) och verklig injekteringskostnad kan följande kostnadsfördelning göras:

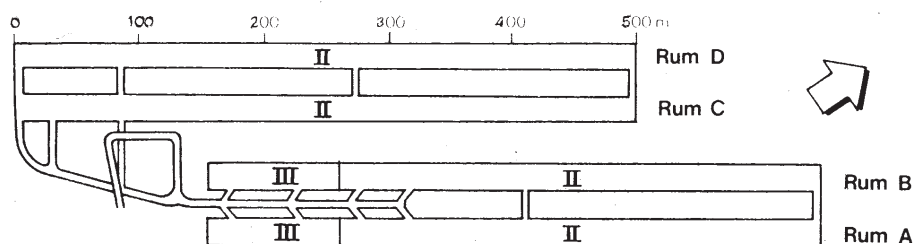
Zoner betecknade som klass 1, totalt 2,91 milj kr (73 %)	
" " " 2, " 0,97 " (24 %)	
" " " 3, " 0,13 " (3 %)	

Totalt för hela anläggningen blir den genomsnittliga förstärkningskostnaden 9 % av brytningskostnaderna (= 3,50 kr/m³).

Detta är i sammanhanget låga värden speciellt med beaktande av att en väsentlig del av den utförda förstärkningen är att betrakta som "marginell driftsförstärkning" (tillämpningen av ett generellt lager sprutbetong och ett stort antal bultar).

Läggs den tidigare redovisade jämförelsen mellan förstärkningskostnader och drivningskostnader till grund för en ny zonklassindelning erhålls följande (jfr figur 4.44.3):

Zonklass	Längd	Längdandel %	Kostnad tkr	% av drivningskostn.
(II) 1+2 (utan injekt.)	1 754 m	89	3 363	8,3
(III) 2(inkl.inj)	208 m	11	657	13,6



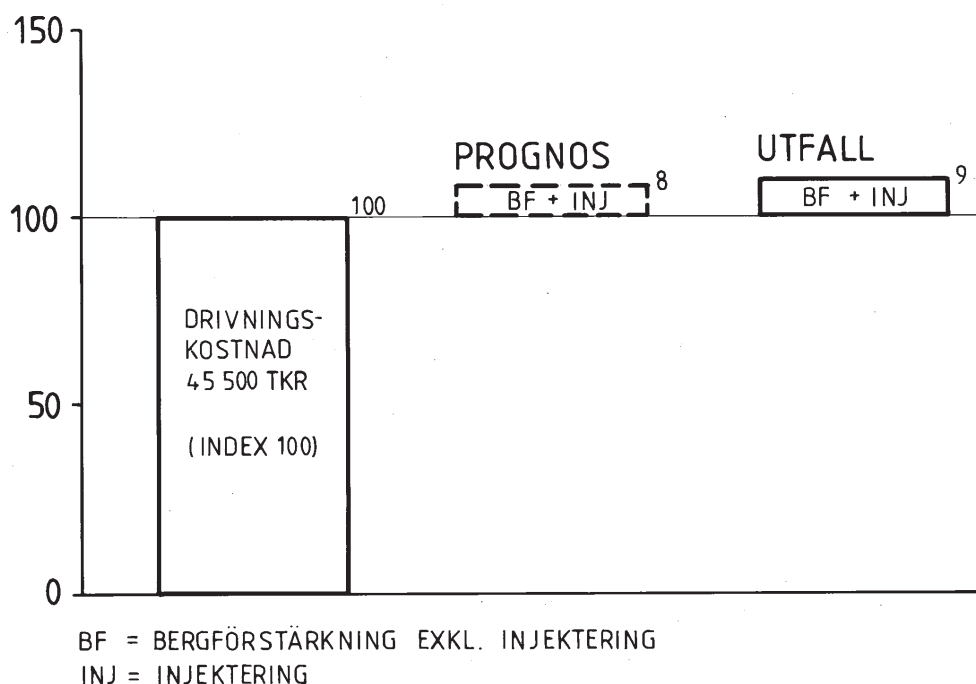
Figur 4.44.3

Förstärkningsavsnitt med lägre kostnader än 10 % av drivningskostnaden har här räknats till zonklass II, sådana med kostnader strax över 10 % till zonklass III.

Denna bedömning svarar bättre mot uppföljningsresultatet och leder till frågeställningen om en sådan differentiering kan prognoseras.

Sannolikt är detta en riktigare bedömning eftersom zonklass 1 motsvarar sådant berg som ej behöver stabiliserande förstärkningsinsatser. Zonklassfördelningen har sannolikt ej kunnat prognoseras med större tillförlitlighet än vad som gjorts.

Slutligen jämförs i figur 4.44.4 förstärknings- och injektionskostnaderna med drivningskostnaden (40 kr/m³).



Figur 4.44.4

Hisingen

Betraktas den totala förstärkningskostnaden blir utfallet 115 % jämfört med prognosen (= 100 %).

En stor del av förstärkningskostnaderna ligger i det lager av "obligatorisk" sprutbetong, som utförts i anläggningens samtliga tak. Denna kostnad har varit 1,2 milj kr eller 30 % av förstärkningskostnaden. Tillsammans med viss bultning som driftsförstärkning faller ca 50 % av den totala förstärkningskostnaden på marginella åtgärder.

FÖRUNDERSÖKNING

BERGKLASSER

3-5	1-2
-----	-----

FÖRSTÄRKNINGSPROGNOS

EJ SPECIFICERAD, JFR 4.42

UPPFÖLJNING

ZONKLASSER

3	2
---	---

FÖRSTÄRKNING

S I	S	S + B
--------	---	-------

FÖRSTÄRKNINGSKOSTNADER I PROCENT AV GENOMSNIITTLIG DRIVNINGSKOSTNAD

< 20

S + I Sprutbetong + injektering

S Sprutbetong

S + B Ett lager "obligatorisk" sprutbetong
+ bultning

Figur 4.44.5

Sammanfattning av jämförelser mellan förundersökning och uppföljning.

4.45 Alternativa bearbetningssätt

Med hänsyn till förundersökningsunderlagets karaktär har inte någon alternativ utvärderingsmetodik tillämpats på detta projekt. Då någon zon av signifikant ekonomisk betydelse ej har påträffats varken i förstadium eller under utförande finns ej heller skäl att omarbета förundersökningsmaterialet i detta syfte.

Följande reflexioner kan dock vara befogade. Den sammanlagda längden av seismiska profiler med en högre seismisk hastighet än 4 500 m/s är 3 200 m eller 85 % av hela mätnätet. Motsvarande sträcka med lägre hastighet än 4 500 m/s är 560 m eller 15 %, en siffra som kan jämföras med 11 % förstärkt tunnellängd.

En Z(RQD)-fördelning över borrhörnmaterialet visar att 90 % faller på värden större än 50 och 10 % på lägre värden. Resultatet överensstämmer väl med den ursprungligt utförda sprickkarteringen.

Den enda faktor som relativt sett har ställt till problem förefaller vara vatteninläckningen i bergrum A och B. Totalt sett är dock vatteninläckningen av liten ekonomisk betydelse. Då hydrogeologin är av avgörande betydelse för funktion och drift av oljelagringsbergrum och då speciellt för råoljeberg-rum, kunde möjligen detta område ägnats något större omsorg i förundersökningsstadiet. Någon geologisk ytkartering i egentlig mening har ej förekommit men informationen om bergarter och strukturer är god till följd av ca 95 % blottningsgrad. Det besök av en geoexpert, som gjordes på platsen, har därför givit jämförelsevis stort utbyte. Slutsatsen måste bli att den utförda undersökningen har varit ändamålsenlig.

4.46 Prognosutfall - Förundersökningens omfattning och kostnader

Med hjälp av å-prislista för BeFo 18 (se 4.17) har följande kostnader beräknats:

Förundersökning	225 000 kr ¹⁾
Förstärkningar inkl injektering	4 020 000 kr
Drivningskostnad	45 520 000 kr

Detta ger följande jämförelse:

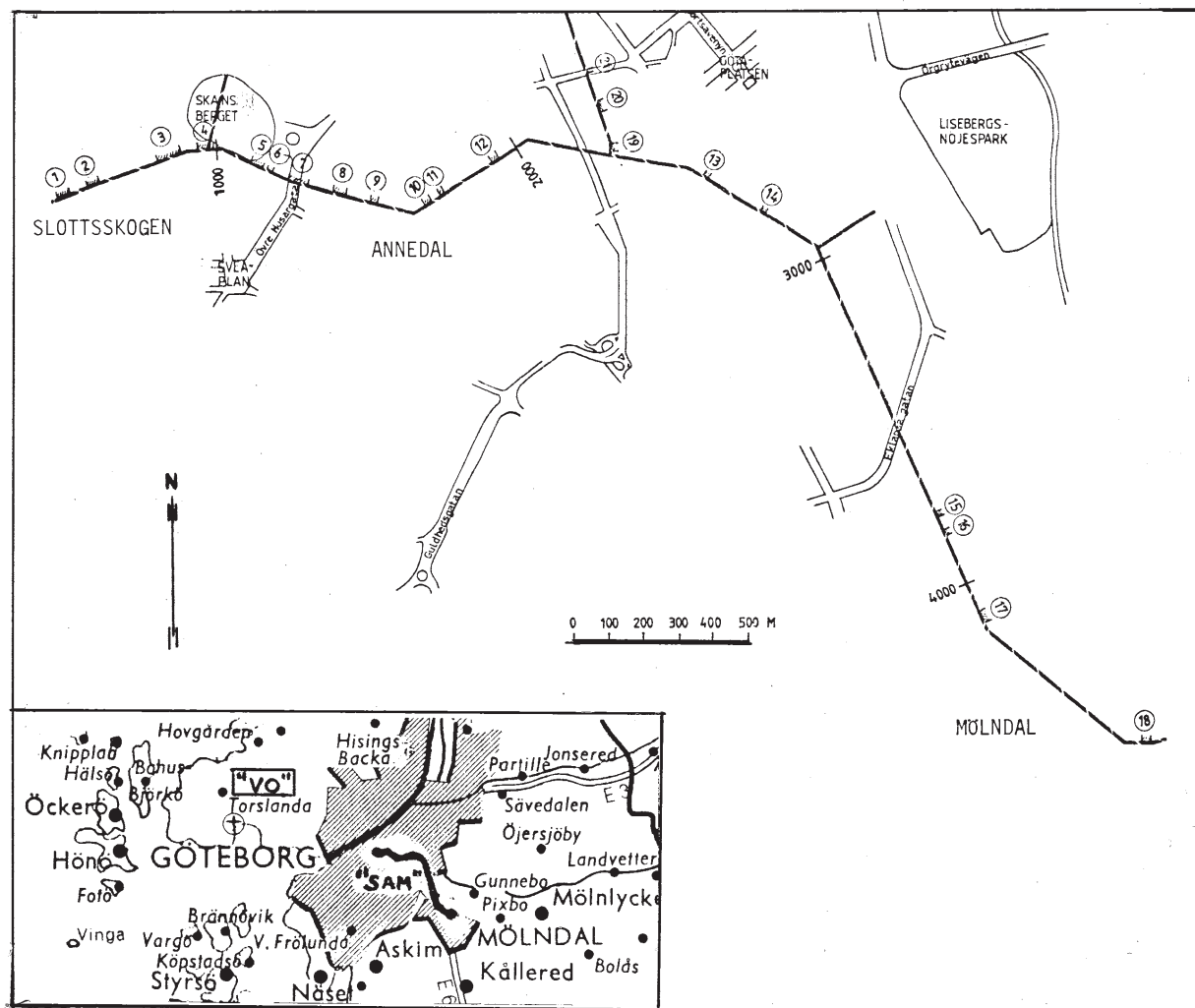
Förundersökningskostnad i % av förstärkning - injektering - drivning - total kostnad			
5,9	108,2	0,5	0,5

Förutsättningarna har varit sådana att man med ytobservationer kunnat konstatera att inga omfattande störningar i bergmassan varit att vänta. Därför har undersökningen inriktats mot att allmänt karaktärisera den aktuella bergmassan med avseende på strukturdrag och ej mot förväntade speciella fenomen. Uppföljningen visade också att inga sådana störningar fanns och att prognosen alltså var riktig i detta avseende. Hade sådana fenomen påträffats torde förundersökningsinsatsen ha blivit betydligt större.

En liten förundersökningsinsats har följts av en begränsad förstärkningsinsats och det torde ha varit helt omöjligt att i någon större omfattning göra förstärkningsinsatsen mindre eller drivningsmetodiken effektivare genom att ändra tunnelsträckning, hålrumsgeometri eller förstärkningsmetodik. Den begränsade förundersökningsinsatsen synes ha varit rimlig i detta projekt. En klar fördel har varit att blottningsgraden varit så hög, vilket till låg kostnad har givit omfattande ingångsvärden för projektutvärderingen.

1) Geologi	50 tkr
Seismik	39 "
Kärnbörning	115 "
Övrigt (10 %)	<u>21 "</u>
Totalt	225 tkr

4.5 Göteborg - VA-tunnlar I, "SAM"



Figur 4.51.1

Översikt Göteborgs VA-verks tunnlar Slotsskogen - Annedal - Mölndal ("SAM")

4.51 Sammanfattning

Tunnlarna Slotsskogen - Annedal - Mölndal ingår i ett transportsystem för spillvatten. Tunnlarnas totala längd är 5 988 m, tunnelarean varierar mellan 5,8 och 14 m², max djup under markytan är ca 80 m.

Tunnelsystemet ligger inom Göteborgsområdets gnejsformation med gnejs, granit, diorit, amfibolit och mylonit.

Förundersökningen inriktades dels på en finjustering av tunnelsträckningen, dels på bedömning och klassificering av bergets

kvalitet från bergbyggnadssynpunkt, särskilt med hänsyn till risken för grundvattensänkning. Detta medförde beslut om kontinuerlig förinjektering längs hela tunnelsträckningen.

Av den geologiska förundersökningen kan inhämtas att sammanlagt 1 484 m av den undersökta sträckan på 5 988 m kunde vara i behov av förstärkning och att hela tunneln skulle injekteras.

Prognoserad bergförstärkningskostnad var 0,99 milj kr och injekteringskostnad 4,6 milj kr grundat på riktvärden för förstärkningsbehov och kostnader vid olika bergklasser enligt BFR-rapport R4:1976.

Utfallet blev att 1 370 m av tunnelsträckan måste förstärkas mot antagna 1 484 m. Förstärkningskostnaden (enligt av entreprenören uppgivna å-priser) blev 1,1 milj kr och injekteringskostnaden 8,3 milj kr. Förstärkningen kostade med andra ord 11 % och injekteringen 80 % mera än förutsagt.

Den stora avvikelser i fråga om injekteringsinsatsen torde bero på en optimistisk bedömning vad gäller bergets vattenföring eller injekterings tättningseffekt i relation till uppställda täthetsbehov.

4.52 Ursprunglig förundersökning och prognos

Den förberedande undersökningen inom området styrdes av allmänna förutsättningar. Genom av VA-verket och GRYAAB önskade anslutningspunkter var tunnelsystemets utformning i stort bestämd.

Syftet med den förberedande undersökningen har varit att kunna ställa upp en tektonisk förväntningsmodell som underlag för undersökningsplaneringen.

Enligt den översiktliga ingenjörgeologiska analysen erhöles följande förväntningsmodell:

Homogenitetsområden

Fem homogenitetsområden föreligger. Dessa överensstämmer i stort med utbredningen av bergarterna norit, alkalisk gnejs, mylonit, slirig gnejs och diorit.

Bergartsfördelning

Huvudbergarter är alkalingnejs, slirig gnejs, norit, diorit och mylonit. Som inlagringar uppträder pegmatit/aplit, amfibolit och gnejsgranit.

Principiell strukturtolkning

Blottningsgraden varierar kraftigt inom området. Eftersom förskiffringen i stort stryker omkring nord-syd kommer tunnlarna att ställvis skära förskiffringen under rätt vinkel, ställvis löpa parallellt med densamma. Större tektoniska zoner är dels utbildade längs förskiffringen, dels längs brantstående sprickplan.

Kontaktförhållanden

Med undantag för inlagrade amfiboliter förväntas inte bergartskontaktarna ge upphov till några större problem vid tunneldrivningen.

Störningar

Flera markanta svaghetszoner föreligger.

Vatten

Större vattenföring bedömdes förekomma endast i samband med vissa störningszoner. Mellan dessa ansågs berggrunden uppvisa varierande permeabilitet.

Enligt initialprognosen bedömdes berget längs stora avsnitt ha starkt nedsatt kvalitet. I områdets östra del förutsågs berget med undantag av vissa störningszoner uppvisa god kvalitet.

Mot bakgrund av fastställda tekniska förutsättningar ansågs det lämpligt att dela upp undersökningarna i två etapper.

I första etappen utfördes en översiktlig geologisk undersökning av området för att i stort fastställa nödvändiga justeringar av tunnelsträckningar och anslutningspunkter. Andra etappen inleddes med en detaljerad kartering av bergarter och tektoniska element längs preliminära tunnelsträckningar.

Förmodad sämre bergkvalitet kontrollerades med jord-bergborrning och kärnborrning.

Målsättningen har varit att ge tunnelsystemet så hög bergteknisk standard som möjligt för att förhindra grundvattensänkning, då en sådan skulle kunna leda till sättningar i känsligt belägna byggheter.

Förundersökningsmodellen innehöll således två olika faser. Uppläggning och resultat framgår kortfattat av följande tabell:

Fas	Förutsättning	Uppläggning	Fältarbete	Resultat
Förberedande undersökning	Självfäll på vattnet och framkomlighet med bergtäckning	Koncentration till tunnlarnas korsning med tektoniskt betingade sänkor i berggrunden. Insamling av uppgifter från tidigare borrhningar.	Översiktlig kartering. Blottningsgrad ca 20%	Fastställande av den preliminära tunnelsträckningen med optimalt läge från geologisk-bergteknisk och VA-teknisk synpunkt
Detaljundersökning	Tunnlarnas preliminära sträckningar var givna	Noggrann hållkartering. Borrning	Kartering i skala 1:1000. Stick- och jord-bergsonderingar 4 kärnborrhål 189 m	Klassificering av svaghetszoner. Justeringar av tunnellägena.

Den slutliga bergtekniska prognosen har gett följande resultat:

HOMOGENITETSENHETER

Uppfattningen om homogenitetsområden har verifierats av detaljundersökningen. Följande homogenitetsenheter har erhållits:

0 - 200 m	norit + amfibolit
200 - 870 m	alkalin gnejs
870 - 1500 m	mylonit
1500 - 2700 m	slirig gnejs med gynnsam strukturorientering
2700 - 3060 m	diorit
3060 - 4811 m	slirig gnejs med ogynnsam strukturorientering

BERGARTSFÖRDELNING

Inga större förändringar i förhållande till den tektoniska förväntningsmodellen.

STRUKTURTOLKNING

Vid detaljundersökningen framkomna data analyserades med avseende på bergarter och tektoniska element, varefter en tektonisk modell konstruerades. Modellen möjliggjorde en schematisering varigenom berggrunden längs tunnelsträckorna delades upp i relativt ostörda partier med god bergkvalitet och störda partier med försämrad bergkvalitet.

Resultaten infördes på plan- och profilritningar. Dessa kompletterades med utförliga kommentarer i en separat textdel.

SPRICKKARAKTERISTIK

Dominerande sprickor och sprickzoner ligger parallellt med skiffriheten och i följande riktningar: N30-50°E och omkring E-W, stupningen är för det mesta brant W.

KONTAKTFÖRHÅLLANDEN

Med undantag för amfiboliter bedömdes kontakter mellan huvudbergarter och inlagringar av andra bergarter som godartade.

STÖRNINGAR

Berggrunden bedömdes ha starkt nedsatt kvalitet längs stora avsnitt. I områdets östra del förutsågs endast ett mindre antal störningszoner.

VATTEN

Större vattenföring bedömdes förekomma endast i samband med vissa störningszoner. Mellan dessa bedömdes berggrunden uppvisa låg till måttlig permeabilitet.

BERGTEKNISK STABILITETSBEDÖMNING

FÖRSTÄRKNINGSPROGNOS

Bergklasser och zoner

Förstärkningsprognosen har upprättats på basis av den utförda bergklassificeringen. Bergkvaliteten i krosszoner karakteriseras i VA-verkets tunnlar enligt följande:

Uppkrossningsgrad

K 1	Skivigt berg	// Sprickavstånd	≥ 10 cm
K 2	Tunnskivigt berg	"-"	< 10 cm
K 3	Blockigt berg	Kantlängd	≥ 20 cm
K 4	Delvis sönderkrossat berg	Kantlängd	< 20 cm
K 5	Helt sönderkrossat berg		

Leromvandling

L 1	Lerslag	Bredd 0,5 - 10 cm
L 2	Lergång	"-" > 10 cm
L 3	Zon med leromvandling i alla slag	
L 4	Allmän leromvandling	

Gruppindelning avseende injektering

1.	Bra berg	-	Botteninjektering
2.	Sprickor	-	Botteninjektering
3.	Sprickor	-	Fullfrontsinjektering
4.	Zoner	-	Botteninjektering
5.	Zoner	-	Fullfrontsinjektering

Av VA-verket upprättad mängdförteckning utgör ingen fullständig bergteknisk prognos utan har till uppgift att tjäna som underlag vid anbudsberäkning och utvärdering av anbudet. Därför har den s k 25 %-regeln i AB 72 borttagits i kontraktet mellan beställare och entreprenör. Detta innebär att angivna à-priser gäller oberoende av avvikelser från i mängdförteckningen angiven kvantitet. Genom

detta förfaringsätt erhålls prisuppgifter för de olika typer av arbetsmoment som förväntas erforderliga för anläggningens utförande. VA-verket har inte ansett kostnaden för att upprätta en detaljerad bergteknisk prognos motiverad, en sådan inte skulle påverka den totala slutkostnaden.

Riktvärden för förstärkningsbehovet vid olika bergklasser har därför hämtats från tidigare utvärdering av sambandet bergklass och förstärkning (BFR-rapport R4:1976). Av hela tunnelsträckan på 5 988 m prognoserades 2 109 m som "bra berg, 2 395 m som "berg med sprickor" och 1 484 m som "krosszoner". (Krosszoner är kvantifierade med hjälp av ritningar och tillhörande textkommentarer. "Berg med sprickor" har i % bestämts med hjälp av R4:1976.)

Förstärkningsåtgärder

Beräknade förstärkningsåtgärder utgjordes av selektiv bultning, oarmerad och armerad sprutbetong samt plåtkulvert med tillhörande betongutfyllning. För tätning planerades olika typer av förinjektering vid behov kompletterad med efterinjektering.

Förstärkningsmotiv

Motiv för förstärkningarna var dels att säkra tunnlarna under byggnadstiden, dels att utföra tillräckliga förstärkningar med hänsyn till tunnlarnas bestånd.

Förstärkningskostnader

Förstärkningskostnader har med hjälp av diagram (fig 27 och 28) i R4:1976 beräknats till följande:

Förinjektering	}	4 635 700:-
Efterinjektering		
Sprutbetong (delvis armerad)		991 318:-
		5 627 018:-

4.53 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

Samtliga förundersökningsresultat, förutsagda förstärkningsavsnitt, av oss uppföljda bergtekniska parametrar och verkliga förstärkningar har lagts in på ritningar enligt ett system som utarbetats av BERGAB och VA-verket. Arbetet har utförts av byggherren, VA-verket, med BERGAB som geologisk konsult.

Berget har karterats och med ledning av den bergtekniska karaktären indelats i zoner. Uppföljningskarteringen omfattar i huvudsak faktorer som påverkat förstärkningsbehovet inklusive injektering. Förstärkningar redovisas med metod och kvantitet. Detta gäller även injekteringsinsatsen. Karteringen illustreras i figur 4.53.1 som är ett utdrag ur originalredovisningen.

Denna kartering och zonindelning bildar underlag för jämförelsen mellan prognos och utfall.

Förstärkningar som utfördes kan indelas enligt följande:

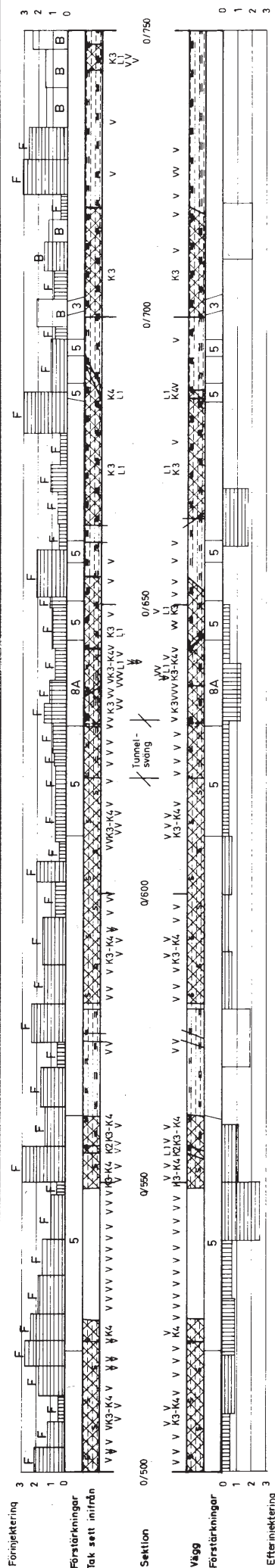
<u>Förstärkningsklass</u>	<u>Förstärkning</u>
1	Ingen förstärkning
2	Max 5 cm sprutbetong
3	5-11 cm sprutbetong
4	Armerad sprutbetong
5	Armerade sprutbetongbågar
<u>Injekteringsklass</u>	<u>Injekteringsmängd</u>
1	0 kg cement/tunnelmeter
2	10 - 100 kg -"-
3	100 -1000 kg -"-
4	> 1 000 kg -"-

B = Bottenförinjektering

F = Fullfrontsförinjektering

Förstärkningsåtgärder inklusive injektering har varit nödvändiga av följande orsaker:

100:16-134



SLOTSSKOGEN-ANNEDAL-MÖLNDAL
GEOLOGISK KARTERING
FÖRSTÄRKNINGAR
DELEN A6-A7
SEKTION 0/500 - 1/000
SKALA 1:500

Göteborg 1976-02-09

Bergab - Berggeologiska Undersökningar AB

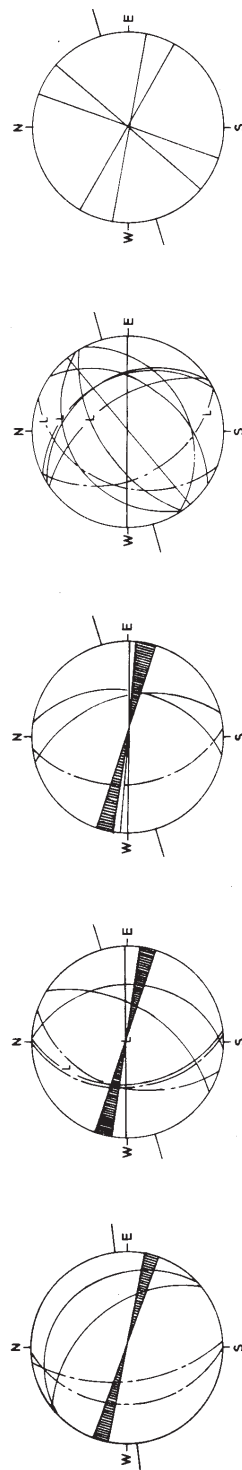
Sektion 0 / 900 - 1/000

Section 0 / 800 - 0 / 900

Section 0/700 - 0/800

Section 0/600 - 0/700

Section 0/500 - 0/600



Figur 4.53.1

Vatten/blockighet/lera	45 %
Vatten/krossberg/lera	29 %
Vatten /sprickor	6 %
Blockighet/sprickzoner/lera	20 %

Vatten i berget har i 80 % av fallen varit en bidragande orsak till bergtekniska åtgärder.

4.54 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade

Jämförelse av prognos och utfall har utförts i fråga om förstärknings-intensiva avsnitt. Nedan kommenteras kort de väsentligaste iakttagelserna:

A. Svagheter som prognoserats och påträffats (Förstärkning minst 5 cm oarmerad sprutbetong)

	Prognos	Utfall
Zon 1	Blockigt - delvis sönderkrossat avsnitt. Lermineralisering och måttligt läckage L = 44	Blockigt - småblockigt delv. sönderkrossat Lerslag Måttligt läckage L = 40
Zon 2	Blockigt - delv. sönderkrossat berg. Leromvandling i alla slag. Måttligt läckage L = 75	Blockigt - småblockigt Lerslag Måttligt - kraftigt läckage L = 41
Zon 3	Småblockigt - helt sönderkrossat, leromv. i de flesta slag. Måttligt - kraftigt läckage L = 55 m + 55 m	Småblockigt - helt sönderkrossat, lerslag ringa läckage L = 68 m
Zon 4	Blockigt - småblockigt berg, lermineralisering viss vattenförling L = 40 m	Blockigt, små läckage L = 40 m

Zon 5	Sprickrikt med lermineralisering och viss vattenföring L = 41 m	Blockigt och lera i flera sprickgrupper L = 41 m
Zon 6	Delvis - helt sönderkrossat samt lerslag i flera riktningar. Måttlig grundvattenföring L = 10 m	Blockigt, småblockigt med lerslag och liten vattenföring L = 16 m
Zon 7	Delvis - helt sönderkrossat berg, kraftig lermineralisering, mycket vattengenomsläppligt. L = 35 m + 40 m	Blockigt-småblockigt ofta helt sönderkrossat, bitvis helt leromvandlat. Lokalt relativt stora läckage L = 75 m (Dålig bergtäckning, minskning av tunnelaeran)
Zon 8	Brantstående störningszon omgiven av sprickrikt berg med lermineralisering. Småblockigt med lera och vatten i slagen L = 8 m	Småblockigt, helt sönderkrossat, bitvis helt leromvandlat, kraftigt läckage. L = 35 m
Zon 9	Småblockigt, - helt sönderkrossat, leromvandling. Måttligt läckage L = 13 m	Blockigt-småblockigt delvis helt sönderkrossat, lera i flera riktningar, kraftigt läckage L = 24 m
Zon 10	Blockigt berg, enstaka lerslag, måttligt läckage L = 13 m	Blockigt-småblockigt, tunnskivigt, lerslag i flera riktningar, stora läckage L = 20 m
Zon 11	Blockigt berg, enstaka lerslag, måttlig vattenföring L = 7 m + 5 m	Blockigt, tunnskivigt, enstaka lerslag, små läckage L = 7 m

Zon 12 Blockigt - delvis sönderkrossat berg, lerslag, måttlig vattenföring L = 25 m + 20 m	Blockigt - delvis sönderkrossat småblockigt leromvandling i alla slag, växlande läckage L = 20 m
Zon 13 Bitvis blockigt, utan exakt längdangivelse L = 0	Blockigt, små läckage, enstaka lerslag L = 12 m
Zon 14 Blockigt berg, lerslag, liten vattenföring L = 2 m + 10 m	Blockigt, lerslag obetydlig vattenföring L = 12 m
Zon 15 Blockigt berg, enstaka lerslag, ringa vattenföring L = 5 m + 8 m	Blockigt-småblockigt leromvandling, obetydliga läckage L = 13 m
Zon 16 Blockigt berg, enstaka lerslag, ringa vattenföring L = 5 m + 7 m	Blockigt-småblockigt med lera i flera slag, flera små läckage L = 12 m
Zon 17 Smal zon blockigt berg, lerslag, måttlig vattenföring L = 3 m + 10 m	Skivigt-tunnskivigt blockigt-småblockigt, lerslag, läckage av varierande storlek L = 30 m
Zon 18 Skivigt-blockigt, enstaka lerslag, ringa vattenföring L = 10 m	Skivigt-tunnskivigt, lerslag och lergångar, små läckage L = 22 m
Zon 19 Bitvis blockigt, utan exakt längdangivelse L = 0	Blockigt, ett lerslag, flera små vattenläckage L = 20 m
Zon 20 Blockigt, ringa vattenföring L = 5 m	Inklätt med sprutbetong, små läckage L = 35 m

Zon 21 Blockigt-småblockigt - delvis sönderkrossat, lerslag, ringa vattenföring L = 15 m	Blockigt-småblockigt, lerslag vittring, smärre läckage L = 5 m
---	--

Inom hela tunnelsystemet har 21 sådana "förstärkningsintensiva" förutsagda svaghetszoner påträffats. Förutsagd längd för dessa var 550 m eller 9 % av tunnelsträckan medan det verkliga utfallet har varit 588 m eller ~10 %.

Av sammanlagt 64 prognoserade zoner (längd 658 m) har 55 st (86 %) kunnat sättas i samband med iakttagen nedsatt bergkvalitet. Utöver egentliga zoner har i textkommentaren till ritningarna påtalats avsnitt med något nedsatt bergkvalitet till en uppskattad längd av 826 m. Utom i de redovisade 21 avsnitten har dock inga andra fordrat mera omfattande förstärkningar än selektiv bultning och 3 eller 5 cm sprutbetong.

Nio prognoserade zoner har ej kunnat förbindas med motsvarande i tunneln. Åtta av dessa ligger i helt jordtäckta områden. Den sammanlagda längden av dessa zoner uppgår till 45 m eller <1 % av tunnelsystemets längd.

Genomsnittsbredden hos de förstärkningsintensiva zonerna är 28 m.

Av sammanlagt 21 förstärkningsintensiva avsnitt har 12 zoner (57 %) med en total längd av 411 m (70 %) påträffats i mylonit. Intressant är sträckjämförelsen. Dessa 411 m utgör 43 % av "mylonitsträckan" på 956 m. Resterande 9 zoner med en totallängd av 177 m utgör endast 3,5 % av "gnejssträckan" på 5 032 m.

57 % av de förstärkningsintensiva avsnitten visar således dessutom ett tydligt bergartsberoende.

Det bör dock observeras att bergsträckningen inom detta område är mindre än i gnejsen, nämligen mellan 0 och 35 m, medan gnejsområdets bergtäckning varierar mellan 10 och 80 m.

Nedan lämnas i tabellform en sammanställning av samtliga 21 specificerade förstärkningsavsnitt med kostnader enligt av entreprenören lämnade à-priser.

Zon	Längd	Klass	Förstärkn.kostn. sprutb. + arm. Drift Perm.		Bult	Injektering		Σ		Σ
						Före	Efter	Bf	Inj	
1	40	K ₃ ,K ₄	4,8	7,7	2,4	42	103	14,9	145	159,9
2	41	K ₃ ,K ₄	0	14	2,5	59	131	16,5	190	206,5
3	68	K ₃ ,K ₄	18,6	103	4,2	90	0	125,8	90	215,8
4	40	K ₃ ,K ₄	11	8	2,4	34	0	21,4	34	55,4
5	41	K ₃	10	8	2,5	29	0	20,5	29	49,5
6	16	K ₃ ,K ₄	4,5	9	1,0	17,3	15,2	14,5	32,5	47,0
7	75	K ₄ ,K ₅	31	74,6	4,6	159	86	110,2	245	355,2
8	35	K ₃ -K ₅	8,5	15,3	2,1	71	0	25,9	71	96,9
9	24	K ₃ -K ₅	1,3	4	1,5	36,6	34	6,8	70,6	77,4
10	20	K ₃ ,K ₄	0	8,4	1,2	43,8	57	9,6	100,8	110,4
11	7	K ₃	0	2,7	0,4	10,4	12,6	3,1	23	26,1
12	20	K ₃ ,K ₄	4,3	6,9	1,2	39,4	16,7	12,4	56,1	68,5
13	12	K ₃	2,8	2,1	0,7	19,5	00	5,6	19,5	25,1
14	12	K ₃	2,8	2,1	0,7	8,5	0	5,6	8,5	14,1
15	13	K ₃ ,K ₄	3	2,2	0,7	13,7	0	5,9	13,7	19,6
16	12	K ₄	2,3	2,1	0,7	27,1	15,6	5,1	42,7	47,8
17	30	K ₄	8,5	23,7	1,8	43,7	91,7	34,0	135,4	169,4
18	22	K ₃ ,K ₄	5,9	3,5	1,3	32,3	0	10,7	32,3	43
19	20	K ₃	0	7,7	1,2	35,4	18,6	8,9	54	62,9
20	35	K ₃	9,8	11,1	2,1	32,1	31,3	23,0	63,4	86,4
21	5	K ₄	1,2	1,9	0,3	7,6	0	3,4	7,6	11
S:a	588		130,3	318	35,5	851,4	612,7	483,8	1464,1	1947,9

Tabell 4.54.1

Zon	Längd	Klass	Total först. kostn. inkl inj.	Bergförst. exkl inj. i % av drivn.kostn.	Inj. i % av drivn. kostn.	Summa B + I	% av hela drivn kostn.
1	40	K ₃ ,K ₄	159,9	20	191	211	1,6
2	41	K ₃ ,K ₄	206,5	21	244	265	2,1
3	68	K ₃ ,K ₄	216	97	70	167	2,2
4	40	K ₃ ,K ₄	55,4	28	45	73	0,6
5	41	K ₃	49,5	26	37	63	0,5
6	16(18)	K ₃ ,K ₄	47	47	107	154	0,5
7	75	K ₄ ,K ₅	355,2	77	172	249	3,6
8	35	K ₃ -K ₅	96,9	39	107	146	1,0
9	24	K ₃ -K ₅	77,4	15	155	170	0,8
10	20	K ₃ ,K ₄	110,4	25	265	290	1,1
11	7	K ₃	26,1	23	173	196	0,3
12	20	K ₃ ,K ₄	68,5	33	148	181	0,7
13	12	K ₃	225,1	25	86	111	0,3
14	12	K ₃	14,1	25	37	62	0,1
15	13	K ₃ ,K ₄	19,6	24	55	79	0,2
16	12	K ₄	47,8	23	187	210	0,5
17	30	K ₄	169,4	60	238	298	1,7
18	22	K ₃ ,K ₄	43	26	94	120	0,4
19	20	K ₃	62,9	23	142	165	0,6
20	35	K ₃	86,4	35	95	130	0,9
21	5	K ₄	11	36	80	116	0,1
588		1	117,2			174	17,1

Tabell 4.54.2

Genomsnittlig drivningskostnad 1 900 kr/m. Totalt ca 11,4 milj kr

FÖRUNDERSÖKNING

BERGKLASSER

4	3	2	1
---	---	---	---

FÖRSTÄRKNINGSPROGNOS

F	F _t	OFÖRSTÄRKT ELLER SPORADISK BULTNING OCH / ELLER SPRUTBETONG
---	----------------	--

UPPFÖLJNING

ZONKLASSER

E	D	C	B	A
---	---	---	---	---

FÖRSTÄRKNING + INJEKTERING

F	S 3-5	OFÖRSTÄRKT
>1000 KG	100 - 1000 KG	10 - 100 KG

(CEMENTÄTGÅNG PER M TUNNEL)

FÖRSTÄRKNINGSKOSTNADER I PROCENT AV GENOMSnittlig DRIVNINGSKOSTNAD

b	a	10 - 20	0 - 10
>100		50 - 100	20 - 50

(a = 20 - 50, b = 50 - 100)

- Bergklass 1: "Bra berg" och "Berg med sprickor"
 2: K1-K3 utan lera och med lite vatten
 3: K1-K3, L1-L3, vattenförande
 4: K4-K5, L1-L3, "

F = >5 cm sprutbetong

F_t = ≤ 5 cm sprutbetong

S = Sprutbetong i cm

Figur 4.54.3

Sammanfattning av jämförelser mellan förundersökning
och uppföljning för Göteborg VA-SAM

Nedanstående zonklassindelning baseras på en karakteristik med ledning av en mycket differentierad kartering som avviker något från övriga objekt, varför klasserna här betecknats med A-E.

Zonklass	%	Antal sprick- grupper	Ler- fyllning	Krossn. grad	RQD	Vatten
A	75	1-3 2-4	Lera L 1 Lera	Bra berg och K 1 - 4	50-90 0-40	Fukt Torrt
B	17	3	Lera L 1-3	K 3 - 4	50-100	Torrt Fukt Dropp
C	1	2-4	Lera L 1-3 Svällera	K 2-4	0-50	Fukt Dropp Rinnande
D	6	1-4	Svällera L 1-4	K 3-5	0-50	Fukt Dropp Rinnande
E	1	3	Svällera L 1-4	K 3-5	0-10	Fukt Dropp Rinnande

Av tabellerna kan följande fördelning utläsas avseende de totala förstärkningskostnaderna (inklusive injektering) i procent av drivningskostnaden per tunnelmeter hos de 21 zonerna:

< 50 %	0 m	0 %
50 - 100 %	106 m	18 %
100 - 200 %	264 m	45 %
> 200 %	218 m	37 %

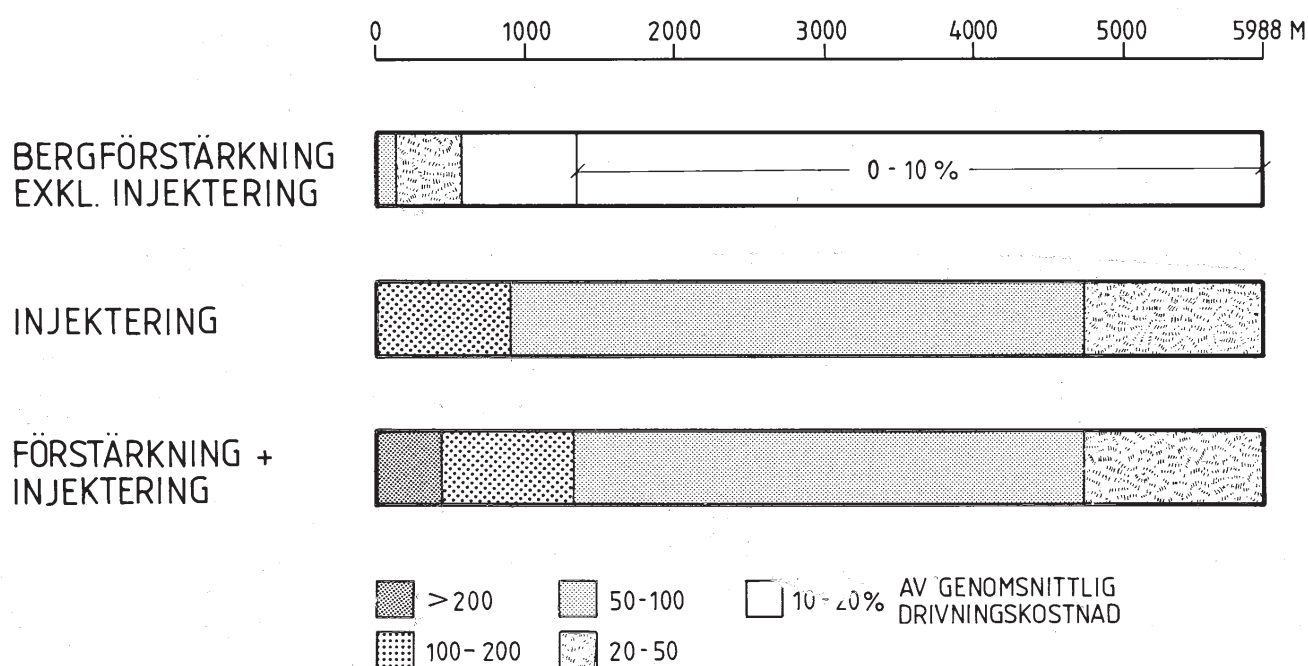
Samtliga förstärkningsintensiva avsnitt förstärktes och injekterades till mer än 50 % av drivningskostnaderna.

För hela tunnelsystemet kan följande fördelning göras:

Förstärkning	Längd	Kostnader i % av drivn.kostn.
Oförstärkt	4619 m	0 - 10
3-5 cm sprutbetong	781 m	10 - 20
> 5 cm sprutbetong	588 m	>20

Injektering	Längd	Kostnader i % av drivn.kostn.
110 - 100 kg/m tunnel	1175 m	20 - 50
100 - 1000 "-	3845 m	50 - 100
>1000 "-	926 m	>100

Av den fullständiga sammanställningen kan man utläsa följande fördelning med avseende på förstärkningskostnader i procent av drivningskostnad per tunnelmeter:



Figur 4.54.4

Av denna översikt framgår att den bergförstärkningen enbart omfattar en mycket begränsad del av tunnelsystemet. Endast ~10 % förstärktes till mer än 20 % av drivningskostnaderna.

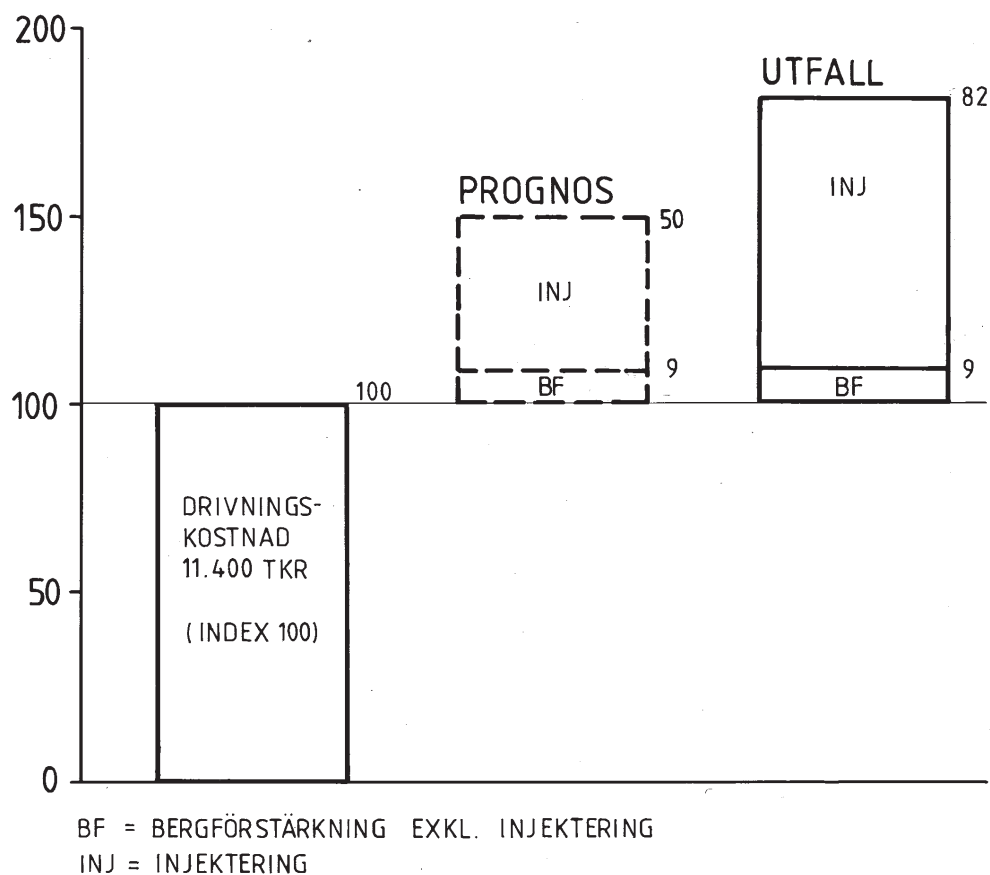
Helt annorlunda är förhållandena vad injekteringen beträffar, där 100 % av tunneln åtgärdades till mer än 20 % av drivningskostnaderna. Utslagsgivande är som synes helt och hållet injekteringskostnaderna.

Kostnaden för sprutbetong och armering uppgår till 1 076 tkr (enligt prognos med hjälp av rapport R4:1976 angavs 991 tkr).

Motsvarande kostnader för för- och efterinjektering har varit 8 268 tkr (prognoserad 4 636 tkr). Den totala förstärkningskostnaden inklusive injektering blev 9 344 tkr mot prognoserade 5 627 tkr.

Injekteringskostnaden utgör således 88 % av denna summa. Det höga täthetskravet (generell förinjektering!) har varit orsak till denna kostnad. Åtgärderna har varit mera kostnadskrävande än väntat./

Slutligen kan förstärknings- och injekteringskostnaderna jämföras med drivningskostnaden enligt figur 4.54.5.



Figur 4.54.5
Göteborgs VA-tunnlar, "SAM"

Hela injekteringen uppgick till 73 % av drivningskostnaden mot prognoserade 41 %. Den blev således 80 % dyrare än väntat. Orsaken till ökningen kan t ex vara svårtätat berg och en mer omfattande sprickighet än förväntat vilken lett till en högre permeabilitet.

Vad bergförstärkningar (bortsett från injektering) beträffar har dessa med få undantag varit begränsade till relativt smala zoner med sämre bergkvalitet. Sammanlagt prognoserades en sträcka på 1484 m med sämre bergkvalitet (25 %), medan utfallet för förstärkta sträckor blev 1370 m (23 %), jfr 4.52. Kostnadsavvikelsen har varit liten.

4.55 Alternativt bearbetningssätt

En bergkvalitetsbedömning med hjälp av Bartons Q-värde har provats. Nedan ges en sammanställning av vissa beräknade zoner. (ASP = armerad sprutbetong, 5 sp = 5 cm oarmerad sprutbetong osv.)

Zon	Q-prognos	Q-utfall	Förstärknings- klass	Avvikelse
1	0,5	0,5	5 sp 2	=
2	0,44	1,0	A sp 4	+
6	0,11	2,0	A sp 4	+
8	0,3	0,04	A sp 4	-
9	0,15	0,5	3-5 sp 2	+
10	2,75	0,3	A sp 4	-
11	2,75	0,5	5 sp 3	-
12	1,0	0,3	A sp 4	-
14	3,0	2,3	5 sp 3	-

Tre av dessa zoner faller i klass "poor", fem i klass "very poor" och ett fall kan betraktas som gränsfall.

Enligt Barton går gränsen för en 8 m² ej förstärkt tunnel vid Q = 10 (good/fair), respektive för en 5 m²-tunnel vid Q = 3, motsvarande "poor" berg.

Arean som växlar mellan 8, 14 och 5 m² (huvudsaklig tvärsnittsarea) tycks ej påverka förstärkningsinsatsen i nämnvärd grad.

Jämförs zonkarakteristiken med sammanställningen enligt ovan, erhålls följande resultat:

Zonklass	Karakteristik	Q-klass	Förstärkning
A	RQD 50-90 Lera + lite vatten	Good	-
B	RQD 50-100 Lera, delvis vatten	Fair	Max 5 cm SP
C	RQD 0-50 Svällera + vatten	Poor	> 5 cm SP
D + E	RQD 0-50 Svällera + vatten	Very poor	Armerad sprutbetong + extra insatser

Skillnaden mellan C och D+E ligger i förstärkningsintensiteten, som sannolikt beror på vattenläckagets storlek.

Vidare måste poängteras att det inte finns något direkt samband mellan Q-värdets utfall och förstärkningsklasserna:

<u>Förstärkningsklass</u>	<u>Q-värde</u>
2	0,5
3	0,5 - 2,3
4	0,04 - 2,0

4.56 Prognosutfall - Förundersökningens omfattning och kostnader

Som framgår av jämförelserna i 4.54 är det en liten skillnad mellan prognoserade förstärkningsintensiva avsnitt (550 m) och utfall (588m). Avvikelsen är 7 %. Förstärkningar (exklusive injektering) i någon form har krävts längs en sträcka på 1370 m mot en prognoserad sammanlagd längd av svaghetszoner och avsnitt med blockigt berg på 1 484 m. Avvikelsen är 8 %.

Det bör framhållas att förstärkningskostnaderna (exklusive injektering) utgör endast 9 % av drivningskostnaderna, en relativt låg siffra.

Däremot framträder en tydlig skillnad mellan prognoserad injekteringskostnad (4 636 tkr eller 41 % av drivningskostnaden) och verkligt utfall (8 268 tkr eller 73 % av drivningskostnaden). Avvikelsen är således 78 %. Injekteringskostnaderna influerar de totala drivningskostnaderna i mycket stor omfattning. Totalt sett ligger de olika bergtekniska åtgärderna på 82 % av drivningskostnaderna således nära nog en fördubbling av tunnelkostnaderna gentemot oförstärkta ej tätade tunnlar.

Intressant förefaller relationen mellan förundersökningskostnader, förstärknings-, injekterings- och drivningskostnader.

Följande uppgifter föreligger (uppgifter från BERGAB):

Geologisk förundersökning	110 tkr
Geoteknik och hydrogeologiska undersökningar (inkl stick-, jord- och bergsondering, grundvattenrör m m)	361 tkr
Förstärkning	1076 tkr
Injektering	8268 tkr
Drivning	11400 tkr

Detta ger nedanstående jämförelse:

Förundersökningskostnad i % av förstärkning - injektering - drivning - total kostnad			
44	5,6	4,1	2,2

En uppdelning i olika tunnelavsnitt kan inte genomföras. Vidare bör framhållas, att kärnborrningen (4 borrhål om sammanlagt 189 m) endast utfördes för speciella ändamål (undersökning av svaghetszoner), varför dessa ej gav ett generellt bidrag till den bergtekniska analysen.

Förundersökningens omfattning och typ tycks ha varit optimal med tanke på omständigheterna.

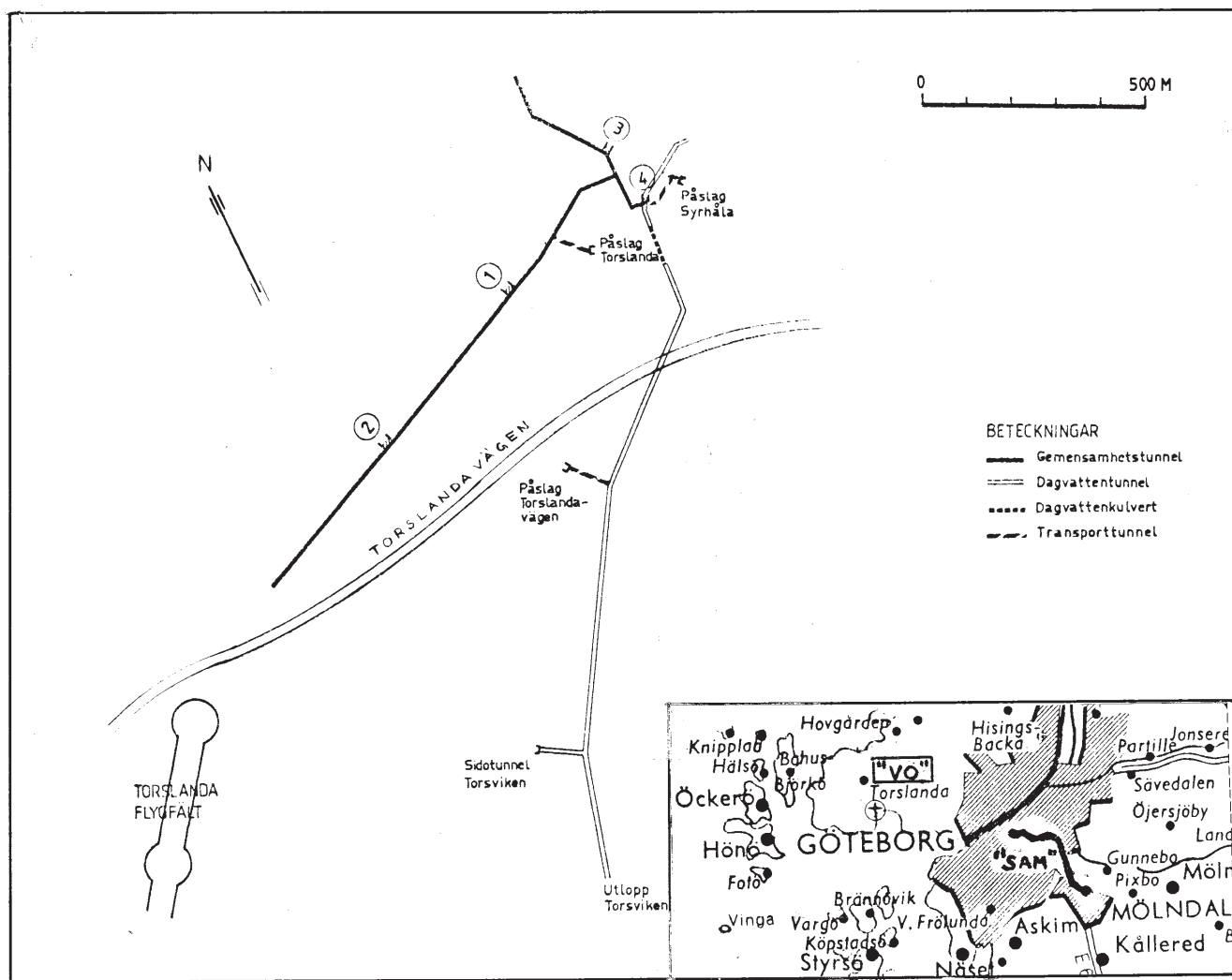
På grund av tunnelsystemets sträckning genom tätbebyggt område har det ej varit möjligt att utföra vanlig sprängseismik. Hammarseismik har inte heller använts eftersom det varit svårt att få korrekta värden på grund av att marken varit asfalterad eller belagd med gatsten. Den mycket ringa bergtäckningen vid en del avsnitt har krävt den exakthet som jord- och bergsonderingar kan ge. Borrhålen har också ofta använts för grundvattenobservationer under och efter tunneldrivningen. Ofta har endast sticksondering varit möjlig att utföra då bebyggelse eller intensiv trafik förhindrat uppställningen av vanliga bormaskiner.

Då tunnelsträckningen gått parallellt med, eller i spetsig vinkel mot förskiffringsplanen skulle eventuellt kompletterande borrhål ha kunnat utföras, dessa skulle i så fall placeras öster om tunneln för att bestämma västligt lutande störningszoner (jfr. zon 17). Eventuellt skulle bergbrunnar ha kunnat placeras i generellt blockigt utbildad alkalin gnejs, för att ge underlag för en bättre bedömning av bergets vattenföring.

De två exemplen ovan är egentligen kompletteringar snarare än alternativa undersökningsmetoder.

Att höja informationsnivån skulle leda till oproportionerligt höga kostnader, åtminstone vad gäller möjligheten att ännu exaktare förutsäga förstärkningsinsatsen. Däremot tycks relationen mellan förundersöknings- och tätningskostnader allmänt sett lämna utrymme för förhöjda insatser med tanke på tätningskostnadernas stora betydelse. I det aktuella fallet har dock en ökning härvidlag varit av mindre intresse med hänsyn till upphandlingsformen.

4.6 Göteborg - VA-tunnlar II, "VO"



Figur 4.61.1

Översikt Göteborgs VA-tunnlar Volvo-Torslanda ("VO")

4.61 Sammanfattning

Tunnlarna Volvo-Torslanda, Syrahåla-Bulycke (gemensamhetstunnlar) och Torsviken-Bulycke (dagvattentunnel) ingår i ett vattenavloppssystem. Tunnlarnas totala karterade längd är 3 818 m, tunnelarean 12 resp 18 m², max djupet under markytan är ca 40 m.

Tunnelsystemet ligger inom Göteborgsområdets gnejsformation, den s k Stora Le-Marstrandsserien, bestående av ådergnejsomvandlade sediment och vulkaniter.

Förundersökningen inriktades dels på en finjustering av tunnelsträckningen, dels på bedömning och klassificering av bergets

kvalitet från bergbyggnadssynpunkt, särskilt med hänsyn till risken för grundvattensänkning.

Av den geologiska förundersökningen kan inhämtas att sammanlagt 260 m av den undersökta sträckan på 3 818 m kunde vara i behov av förstärkning och att tunneln delvis skulle injekteras.

Prognoserad bergförstärkningskostnad var 0,42 milj kr och injekteringskostnad 1,4 milj kr grundat på riktvärden för förstärkningsbehov och kostnader vid olika bergklasser enligt BFR-rapport R4:1976.

Utfallet blev att 647 m av tunnelsträckan måste förstärkas mot antagna 260 m. Förstärkningskostnaden blev 0,37 milj kr och injekteringskostnaden 1,8 milj kr. Förstärkningen kostade med andra ord 12 % mindre och injekteringen 32 % mera än förutsagt.

Dessa avvikelser kan till viss del bero på en optimistisk bedömning av vattenföringen i berget. Det kan noteras att injekteringen kan ha haft en stabiliserande effekt och så påverkat övriga förstärkningar i gynnsam riktning.

4.62 Ursprunglig förundersökning och prognos

Den förberedande undersökningen inom området styrdes av generella förutsättningar. Genom av VA-verket önskade anslutningspunkter var tunnelsystemets utformning i stort bestämd.

Syftet med den förberedande undersökningen har varit att kunna ställa upp en tektonisk förväntningsmodell som underlag för undersökningsplaneringen.

Enligt den översiktliga ingenjörgeologiska analysen erhöles följande förväntningsmodell:

Homogenitetsområden

Berggrunden inom området tillhör den s k stora Le - Marstrandsserien och bildar ett enda homogenitetsområde. Kala uppstickande bergpartier omges av mer eller mindre kraftigt nedskurna jordfyllda sänkor.

Bergartsfördelning

Huvudbergarten utgörs av en medelkornig sedimentådergnejs med inlagringar av pegmatit/aplit, amfibolit och gnejsgranit.

Principiell strukturtolkning

Blottningsgraden är mestadels god inom området. Vanligtvis varierar förskiffringsplanens strykningssriktning kraftigt, vilket innebär att tunnlarna ställvis skär förskiffringsplanen under ogynnsam vinkel. De större tektoniska zonerna är utbildade dels längs förskiffringsplanen, dels längs brantstående sprickplan.

Kontaktförhållanden

Kontakterna mellan huvudbergarten och de inlagringar av andra bergarter som finns förväntas ej ge upphov till några större problem vid tunneldrivningen.

Störningar

Flera störningszoner av varierande intensitet har konstaterats.

Vatten

Större läckage förmodades förekomma endast i samband med vissa störningszoner. I övrigt bedöms berggrunden ha låg permeabilitet.

Enligt initialprognosen bedömdes berget vara av god kvalitet för tunnelbyggnaden.

Mot bakgrund av fastställda tekniska förutsättningar ansågs det lämpligt att dela upp undersökningarna i två etapper.

I första etappen utfördes en översiktlig geologisk undersökning av området för att i stort fastställa nödvändiga justeringar av tunnelsträckningar och anslutningspunkter. Andra etappen inleddes med en detaljerad kartering av bergarter och tektoniska element längs preliminära tunnelsträckningar. Målsättningen har varit att bestämma bergläget, omfattning av ev. svaghetszoner och ge en bergförstärkningsprognos.

Förundersökningsmodellen innehöll således två olika faser.

Uppläggning och resultat framgår kortfattat av följande tabell.

Fas	Förutsättning	Uppläggning	Fältarbete	Resultat
Förberedande undersökning	Utöver önskade anslutningspunkter bestämdes tunnelsträckningarna även av krav på bergtäckning.	Koncentration till tunnlarnas korsning med tektoniskt betingade sänkor i berggrunden.	Översiktlig kartering längs tunnelsträckorna. Blottningsgrad ca 67 %.	Fastställandet av den preliminära tunnelsträckningen med optimalt läge från geologisk, bergteknisk o. VA-teknisk synpunkt
Detaljundersökning	Tunnlarnas preliminära sträckningar var givna	Noggrann hållkartering. Förslag till seismik och borrhning	Kartering i skala 1:1000. Stick-, jord-, bergsondering	Klassificering av svaghetszoner, otillräcklig bergtäckning i dagvattnet i kulvert (100m) Förflyttning av gemensamhetstunneln VA 100 ca 100 m SW.

Den slutliga bergtekniska prognosen har givit följande resultat:

HOMOGENITETSENHETER

Den geologisk-tektioniska undersökningen föranledde ingen förändring av uppfattningen enligt förväntningsmodellen.

BERGARTSFÖRDELNING

Vid kartering av området har endast bergarter enligt den tektoniska förväntningsmodellen påträffats. I söder vid Torsviken anstår ett större område med rödgrå medelkornig gnejsgranit.

STRUKTURTOLKNING

Vid detaljundersökningen framkomna data analyserades med avseende på bergarter och tektoniska element varefter en tektonisk modell konstruerades. Modellen möjliggjorde en schematisering varigenom

berggrunden längs tunnelsträckorna delades upp i relativt ostörda partier med god bergkvalitet och störda partier med försämrade bergkvalitet. Resultaten infördes på plan- och profilritningar. Dessa kompletterades med utförliga kommentarer i en separat textdel.

Berget kännetecknas av en kraftigt vindlande skiffrihet med mellan N-S och E-W pendlande strykning och medelbrant till brant huvudsakligen västlig stupning.

KONTAKTFÖRHÅLLANDEN

Kontakterna mellan huvudbergart och inlagringar av andra bergarter bedömdes godartade.

STÖRNINGAR

Flera störningszoner av varierande intensitet konstaterades.

VATTEN

Med undantag för vissa störningszoner och avsnitt med hög sprickfrekvens bedömdes berggrunden ha låg permeabilitet.

BERGTEKNISK STABILITETSBEDÖMNING

FÖRSTÄRKNINGSPROGNOS

Bergklasser och zoner

Förstärkningsprognoserna har upprättats på basis av den utförda bergklassificeringen och riktvärden för förstärkningsbehovet vid olika bergklasser har hämtats från tidigare utvärdering av sambandet bergklass och förstärkning (BFR-rapport R4:1976). Underlaget inklusive kommentarer till förfaringssättet har redovisats under avsnitt 4.52.

Av hela tunnelsträckan på 3 818 m prognoserades "bra berg" längs 2 027 m, "berg med sprickor" för 1 527 m och krosszoner för 264 m. (Krosszoner är kvantifierade med hjälp av ritningar och tillhörande textkommentarer. "Berg med sprickor" har i % bedömts med hjälp av rapport R4:1976.)

Förstärkningsåtgärder

Beräknade förstärkningsåtgärder utgjordes av selektiv bultning samt oarmerad och armerad sprutbetong av olika tjocklek. För tätning planerades olika typer av förinjektering vid behov kompletterad med efterinjektering.

Förstärkningsmotiv

Motiv för förstärkningarna var dels att säkra tunnlarna under byggnadstiden, dels att utföra tillräckliga förstärkningar med hänsyn till tunnlarnas bestånd.

Förstärkningskostnader

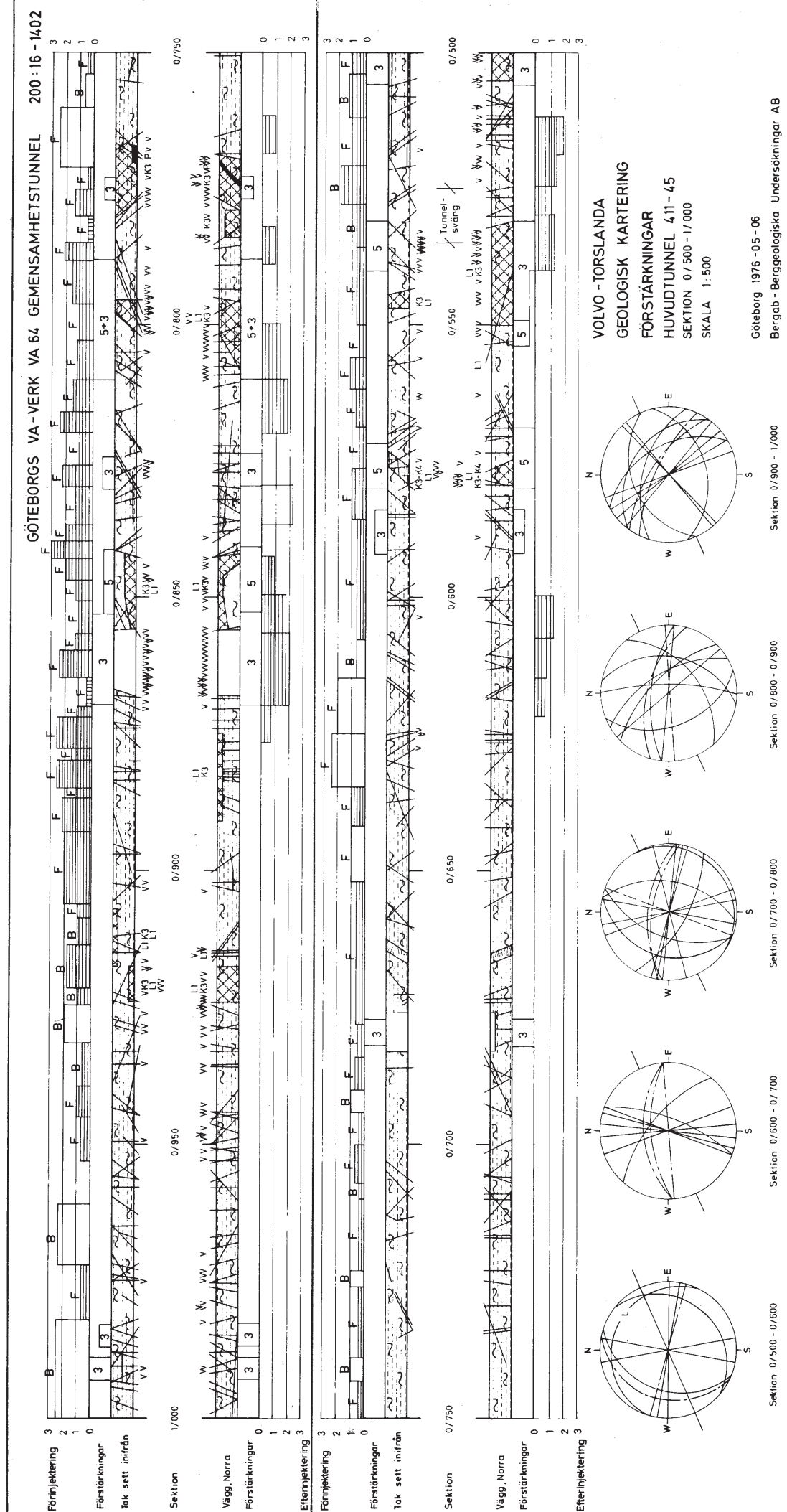
Förstärkningskostnader har med hjälp av diagram (fig 27 och 28) i R4:1976 beräknats till följande:

Förinjektering	}	1 364 000:-
Efterinjektering		
Sprutbetongförstärkning		<u>417 525:-</u>
		1 781 525:-

4.63 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

Samtliga förundersökningsresultat, förutsagda förstärkningsavsnitt, av oss uppföljda bergtekniska parametrar och verkliga förstärkningar har lagts in på ritningar enligt ett system som utarbetats av BERGAB och VA-verket. Arbetet har utförts av byggherren, VA-verket, med BERGAB som geologisk konsult.

Berget har karterats och med ledning av den bergtekniska karaktären indelats i zoner. Uppföljningskarteringen omfattar i huvudsak faktorer som påverkat förstärkningsbehovet inklusive injektering. Förstärkningar redovisas med metod och kvantitet. Detta gäller även



Figur 4.63.1

injekteringsinsatsen. Karteringen illustreras i figur 4.63.1 som är ett utdrag ur originalredovisningen.

Denna kartering och zonindelning bildar underlag för jämförelsen mellan prognos och utfall.

Utförda förstärkningar kan indelas enligt följande:

Förstärkningsklass

1

2

3

4

5

Förstärkning

Ingen förstärkning

Max 5 cm sprutbetong

5-11 cm sprutbetong

Armerad sprutbetong

Armerade sprutbetongbågar

Injekteringsklass

1

2

3

4

Injekteringsmängd

0 kg cement/tunnelmeter

10 - 100 kg "-"

100 - 1000 kg "-"

>1000 kg "-"

B = Bottenförinjektering

F = Fullfrontsförinjektering

Förstärkningsåtgärder inklusive injektering har varit nödvändiga av följande orsaker:

Vatten i kombination med blockighet och lera 51 %

Blockighet i kombination med lera 43 %

I mer än hälften av fallen har vatten varit en bidragande orsak till bergtekniska åtgärder.

4.64 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade

Jämförelse av prognos och utfall har utförts ifråga om förstärkningsintensiva avsnitt. Nedan kommenteras kort de väsentligaste iakttagelserna:

A. PROGNOSERADE SVAGHETSZONER SOM PÅTRÄFFATS

	Prognos	Utfall
Zon 1	Mindre storblockig krosszon, lermineralisering, ringa-måttliga vattenläckage L = 5 m	Storblockigt berg, enstaka lerslag, ringa-måttliga vattenläckage L = 22 m
Zon 2	Överskjutningszon sönderkrossad, lermineralisering, vattenförande L = 10 m	Skivigt-tunnskivigt till blockigt berg, enstaka lerslag, kraftig lergång. Ringa-måttliga vattenläckage L = 15 m

B. EJ PROGNOSERADE SVAGHETER SOM PÅTRÄFFADES

Zon 1	Blockigt, fukt och dropp L = 15 m
Zon 2	Blockigt, enstaka lerslag, fukt, dropp L = 13 m

Inom hela tunnelsystemet har två sådana "förstärkningsintensiva", förutsagda svaghetszoner påträffats. Förutsagd längd var 15 m eller 0,4 % av tunnelsträckan medan det verkliga utfallet har varit 37 m eller ~ 1 %. Dessutom har påträffats två ej prognoserade svaghetszoner med en längd på 28 m. Den sammanlagda längden är således 65 m eller ~ 2 % av tunnelsträckan. Detta värde ligger långt under gränsen (5 %) som med någon rimlig sannolikhet kan prognoseras.

Av sammanlagt 51 prognoserade zoner (längd 220 m) har 46 kunnat konnekteras med nedsatt bergkvalitet. Utom de fyra redovisade avsnitten har dock inga andra fordrat mera omfattande förstärkningar än selektiv bultning och 3 eller 5 cm sprutbetong i endera tak eller vägg.

Fem prognoserade zoner har ej kunnat konnekteras. Två av dessa ligger i helt jordtäckta områden, två har karterats i berg i dagen.

Genomsnittsbredden hos de förstärkningsintensiva zonerna är 16 m.

Nedan lämnas i tabellform en sammanställning av de fyra förstärkningsavsnitten med kostnader enligt av entreprenören lämnade à-priser.

Zon	Längd	Klass	Förstärkn.kostn.		Bult	Injekt.		B	I	Σ
			Sprutbet. Drift	+ arm. Perm.		För	Eft			
1	15	K3	3,5	2,8	1,4	11,2	25,4	7,7	36,6	44,3
2	22	K3	0	9,7	2,0	13,1	10,3	11,7	23,4	35,1
3	15	K1-K2	6,7	8,2	1,4	30,0	25,2	16,3	55,2	71,5
4	13	K3-K4	4,7	5,1	1,2	8,7	0	11	8,7	19,7
S:a	65		14,9	25,8	6	63	60,9	46,7	123,9	170,6

Zon	Längd	Klass	Förstärkn. kostn.	% av drivn.kostn.	% av total drivn.kostn.
1	15	K3	44,3	180	0,7
2	22	K3	35,1	97	0,6
3	15	K1-K2	71,5	291	1,1
4	13	K3-K4	19,7	93	0,3
S:a	65		170,6	160	2,7

Drivningskostnad 6 250 tkr.

Zon	Längd	Bergförstärkn. (B) i % av drivn.kostnad	Injekt. (I) i % av drivn.kostn.	% av B + I
1	15	31	149	180
2	22	32	65	97
3	15	66	225	291
4	13	52	41	93

Tabell 4.64.1: a,b,c

FÖRUNDERSÖKNING

BERGKLASSER

4	3	2	1
---	---	---	---

FÖRSTÄRKNINGSPROGNOS

F	OFÖRSTÄRKT ELLER SPORADISK BULTNING OCH/ELLER SPRUTBETONG
---	--

Ft

UPPFÖLJNING

ZONKLASSER

B - C	A
-------	---

FÖRSTÄRKNING INJEKTERING

F	S3-5	OFÖRSTÄRKT
I	100 - 1000 KG	10 - 100KG 0

↳ >1000 KG CEMENTÅTGÅNG PER M TUNNEL

FÖRSTÄRKNINGSKOSTNADER I PROCENT AV GENOMSNITTLIG DRIVNINGSKOSTNAD

a	10 - 20	0 - 10
b	50 - 100	20 - 50 0

(a = 20 - 50, b = 50 - 100, c = > 100)

- Bergklass 1: "Bra berg" och "Berg med sprickor"
 2: K1-K3 utan lera och med lite vatten
 3: K1-K3, L1-L3, vattenförande
 4: K4-K5, L1-L3, "

F = > 5 cm sprutbetong, $F_t = \leq 5$ cm sprutbetong, S = Sprutbetong i cm

Figur 4.64.2

Zonklassfördelningen i ovanstående figur baseras på samma zonkaraktistik som har presenterats i avsnitt 4.54.

Av tabellerna 4.64.1:a, b, c framgår följande fördelning avseende de totala förstärkningskostnaderna (inklusive injektering) i procent av drivningskostnaden per tunnelmeter hos de fyra förstärkningsintensivare zonerna.

< 50 %	0 m	0 %
50 - 100 %	35 m	54 %
100 - 200 %	15 m	23 %
> 200 %	15 m	23 %

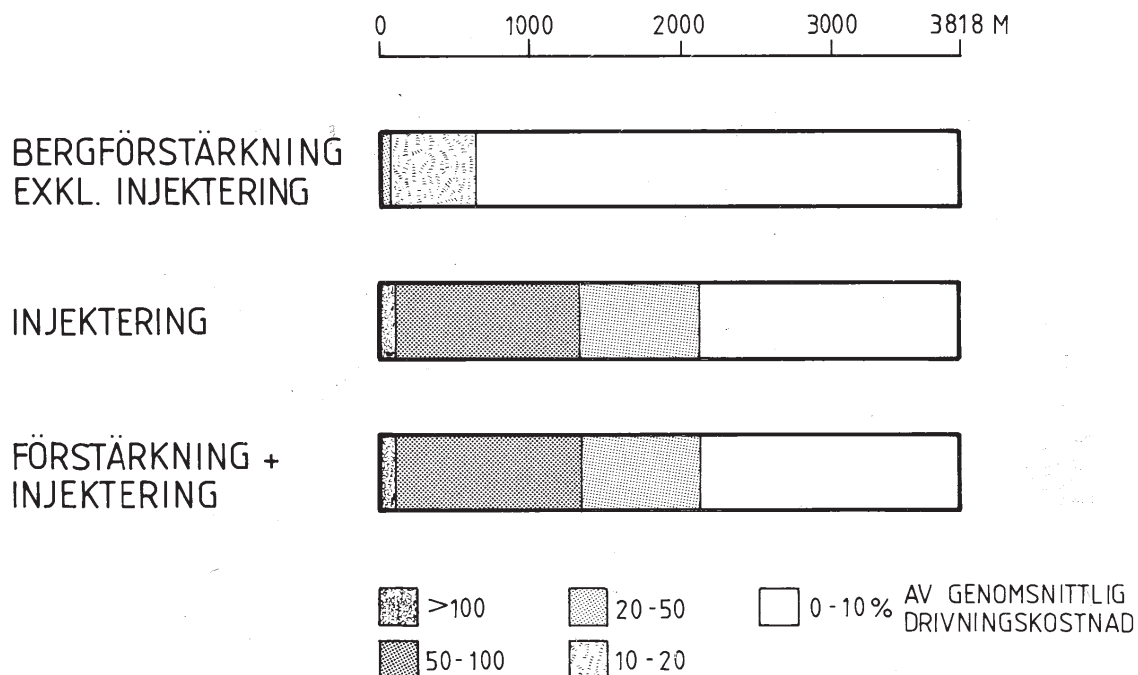
100 % av samtliga förstärkningsintensiva avsnitt förstärktes och injekterades till mer än 50 % av drivningskostnaderna.

För hela tunnelsystemet får man följande förstärknings- eller injekteringsfördelning och kostnader:

Förstärkning	Längd	Kostnader i % av drivn.kostn.
Oförstärkt	3171	0 - 10
3-5 cm sprutbetong	582	10 - 20
> 5 cm sprutbetong	65	> 20

Injektering	Längd	Kostnader i % av drivn.kostn.
0	1733	0
10 - 100 kg/m tunnel	772	20 - 50
100 - 1000 kg/m tunnel	1228	50 - 100
> 1000 -"-	85	>100

Av den fullständiga sammanställningen kan man utläsa följande fördelning med avseende på förstärkningskostnader i procent av drivningskostnad per tunnelmeter:



Figur 4.64.3

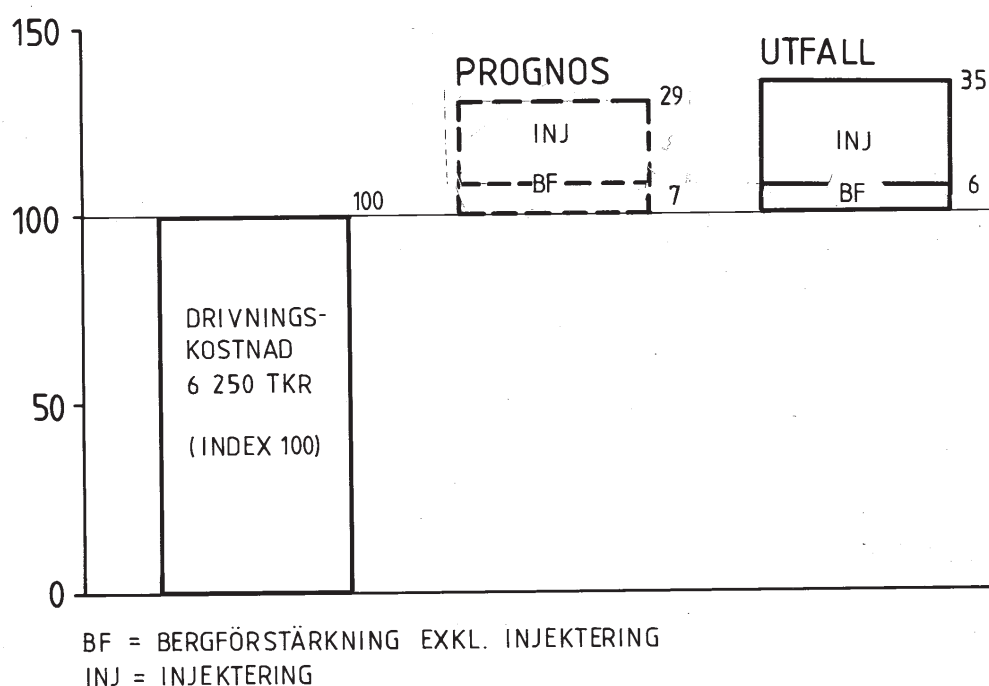
Av denna översikt framgår att den "rena bergförstärkningen" endast omfattar en mycket begränsad del av tunnelsystemet. Endast knappa 2 % förstärktes till mer än 20 % av drivningskostnaderna.

Annorlunda är förhållandena vad injekteringen beträffar, där 54 % av tunneln åtgärdades till mer än 20 % av drivningskostnaderna. Utslagsgivande är injekteringskostnaderna.

Kostnaderna för sprutbetong och armering uppgår till 368 tkr (prognoserad 418 tkr).

Motsvarande kostnader för för- och efterinjektering har varit 1 795 tkr (prognoserad 1 364 tkr). Den totala kostnaden blev 2 163 tkr mot prognoserade 1 782 tkr.

I figur 4.64.4 jämförs slutligen förstärknings- och injekteringskostnaderna med drivningskostnaden.



Figur 4.64.4
Göteborgs VA-tunnlar, "V0"

Slutsatsen blir att utfallet för förstärkningskostnaden blev något lägre än väntat medan injekteringskostnaderna översteg prognosen med 32 %. Man konstaterar att vatten är orsak till 83 % av förstärknings- och injekteringskostnaderna.

I jämförelse med VA-SAM hade ingen generell injektering föreskrivits. Således har 45 % av tunneln ej föranlett några tätningssåtgärder, vilket kan ha varit en bidragande orsak till en betydligt mindre utfallsavvikelse jämfört med VA-SAM.

Av den injekterade sträckan har endast 23 % även krävt någon form av sprutbetongförstärkning. Tätningen omfattade således inte endast krosszoner eller liknande utan även enbart sprickigt berg, där även mindre läckage tätades.

Vad bergförstärkningen beträffar har denna med få undantag varit begränsad till smala zoner med sämre bergkvalitet. Sammanlagt prognoserades en sträcka på 260 m med sämre bergkvalitet (7 %), medan utfallet för förstärkta sträckor blev 647 m (17 %).

Förstärkningskostnaderna blev trots en längre förstärkt sträcka lägre än förväntat, kanske delvis beroende på att injekteringen haft en stabiliserande effekt.

4.65 Alternativa bearbetningssätt

Inget annat bearbetningssätt tillämpades på föreliggande undersökningsmaterial.

4.66 Prognosutfall - Förundersökningens omfattning och kostnader

Som framgår av jämförelserna i 4.64 är det en skillnad mellan prognoserade förstärkningsintensiva avsnitt (15 m) och utfall (65 m). Avvikelsen är 333 %. Förstärkningar (exklusive injektering) i någon form har krävts längs en sträcka på 647 m mot en prognoserad sammanlagd längd av svaghetszoner och avsnitt med blockigt berg på 260 m. Avvikelsen är 149 %, således mer än en fördubbling.

Det bör framhållas, att förstärkningskostnaderna (exkl injektering) utgör endast 6 % av drivningskostnaderna, en mycket låg siffra.

Prognoserad injekteringskostnad är 1 364 tkr eller 22 % av drivningskostnaden och verkligt utfall 1 795 tkr eller 29 % av drivningskostnaden. Avvikelsen är således 32 %. Injekteringskostnaderna influerar de totala drivningskostnaderna i betydligt större utsträckning än förstärkningskostnaderna. Totalt sett ligger de olika bergtekniska åtgärderna på 35 % av drivningskostnaderna.

Intressant förefaller relationen mellan förundersökningskostnader, förstärknings-, injekterings- och drivningskostnader.

Följande uppgifter föreligger (uppgifter från BERGAB):

Geologiska förundersökningar	68 tkr
Geoteknik och hydrogeologiska under-	
sökningar	132 tkr
Förstärkning	368 tkr
Injektering	1795 tkr
Drivning	6250 tkr.

Detta ger nedanstående jämförelse:

Förundersökning i % av förstärkning - injektering - drivning - totalkostn.			
54	11	3,2	2,3

En uppdelning i olika tunnelavsnitt kan inte genomföras. Vidare bör påpekas att inga kärnborrhningar utfördes.

Förundersökningens omfattning har varit stor i förhållande till förstärkningskostnaderna. Typen tycks ha varit optimal med tanke på omständigheterna.

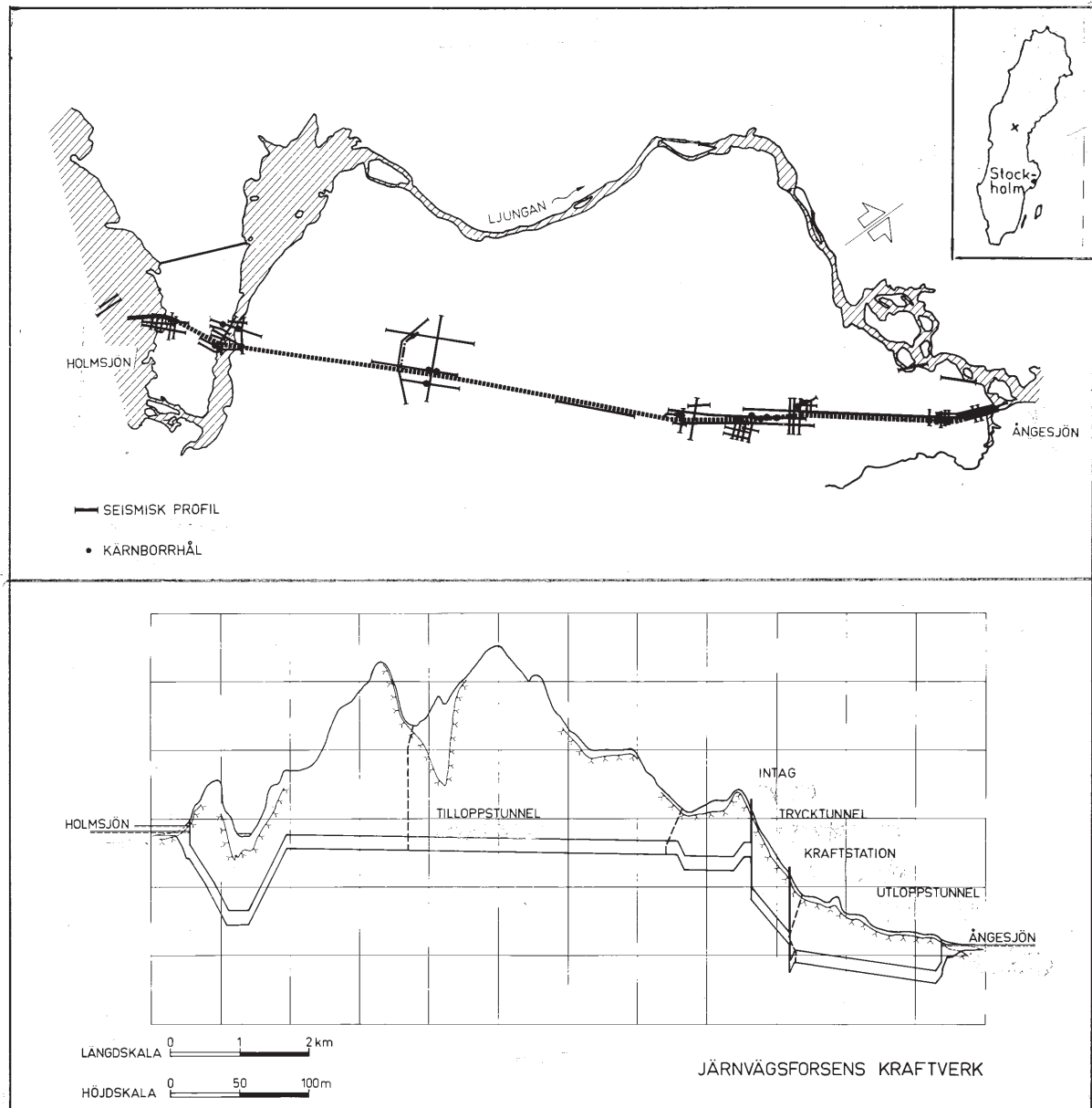
Sammanlagda längden av alla jordtäckta avsnitt som är längre än 25 m och som inte undersökts med borrhningar är omkring 425 m. Med hjälp av seismik skulle eventuellt en 15 m bred krosszon, som ej finns i prognosen, ha kunnat upptäckas. Denna zon har medfört förstärkning i form av 5 cm oarmerad sprutbetong, delvis utförd som driftförstärkning.

Bergkvaliteten bedömdes i stort vara så god att detaljerade prognoser med hjälp av geofysik och borrhningar ej ansågs motiverade i förhållande till de kostnader dessa undersökningar skulle ha krävt. Överhuvudtaget har förstärkningskostnaderna för tunnelsystemet Volvo-Torslanda varit mycket låga.

Den höga blottningsgraden i området gör att kartering, med viss komplettering av borrhning i jordtäckta avsnitt, måste anses som den bästa undersökningsmetoden.

Jämförs förundersökningskostnaden med förstärknings- respektive injekteringskostnaderna bör fastställas att den i den senare jämförelsen är nära dubbel t så hög som för VA-SAM, vilket kan vara en bidragande orsak till den mindre avvikelsen.

4.7 Järnvägsforsens tunnelsystem



Figur 4.71.1

Plan och profil över Järnvägsforsens kraftverkstunnlar

4.71 Sammanfattning

Järnvägsforsens tunnlar ingår i ett kraftverksprojekt och utgör en transportled för älvvatten. Järnvägsforsens kraftverk ligger vid Järnvägsforsen, nära Ånge.

Tillops- och utloppstunnlarna har tillsammans en längd av nära 11 km. Tunnelarean är ca 95 m². Fallhöjden totalt ca 87 m.

Förundersökningen inriktades dels på att utreda alternativa utföranden, dels på att fastställa bergnivån och bergtekniska faktorer som påverkar kostnadsnivån.

Ingen specificerad prognos föreligger, men förstärkningskostnaderna prognoserades till 25 % av drivningskostnaderna. Enligt arbetsgruppens konstruerade beräkningssätt i 1974 års priser skulle drivningskostnaden uppgå till ca 49 milj kr och förstärkningskostnaden till ca 12 milj kr.

Utfallet blev 27 milj kr eller 55 % av drivningskostnaden. Förstärkningen kostade med andra ord 120 % mer än vad som hade förväntats.

Den stora avvikelserna beror på att den geologisk-tektoniska förväntningsmodellen inte inkluderade en förväntan om bergtekniskt ogynnsamt diabas samt att vittringen kunde vara djupgående.

En bergtekniskt fullständig borrhålsanalys och djupseismik kunde ha indikerat att bergtekniska problem var att förvänta. Berggrundens inhomogena karaktär hade bättre kunnat prognoseras om borrhålsinsatsen hade varit större.

4.72 Ursprunglig förundersökning och prognos

Den förberedande undersökningen inom området skulle ge underlag för ett preliminärt anläggningsförslag. Begränsade medel stod till förfogande.

Syftet med undersökningen har varit att kunna ställa upp en tectonisk förväntningsmodell som underlag för alternativval och undersökningsplanering.

Enligt den översiktliga ingenjörgeologiska analysen erhöles följande förväntningsmodell:

HOMOGENITETSOMRÅDEN, BERGARTSFÖRDELNING

Någon ansats till bergartsfördelning och indelning i homogenitetsområden har ej kunnat utföras då hållförekkomsten är synnerligen sparsam. De väsentligaste bergarter som man kommer att påträffa är dock gråvacka, sedimentgnejs, gnejsgranit, granit och lokalt diabas.

PRINCIPIELL STRUKTURTOLKNING

De få iakttagelser som kan göras av bergstrukturen ger ingen kvantitativ indikation av bergteknisk betydelse.

KONTAKTFÖRHÅLLANDEN

Generellt vet man från andra undermarksbyggen i liknande geologiska miljöer att diabaskontakterna kan ge stabilitetsproblem.

STÖRNINGAR

En regional tektonisk zon med sträckning Hälsingland-Jämtland berör anläggningen. Diabasen följer svaghetszoner i berggrunden och kan representera störningar av bergteknisk betydelse.

VATTEN

Besvärande vattenproblem förväntas framförallt vid undergången av Ljungan. Älvfåran går i en tektonisk störningszon, men flera zoner med vattenproblem förväntas då delar av berggrunden har utsatts för tension som givit dragsprickor.

Enligt initialprognosen förväntades endast lokala störningar främst vid passagen av Ljungans dalgång NW Östavall. Diabasen bedömdes som godartad. Denna uppfattning baserades på erfarenheter från Partebodatunneln, som ligger några kilometer längre nedströms i Ljungan.

Den tillämpade förundersökningsstrategin styrdes av följande faktorer:

MÅLSÄTTNING

Att bestämma bergläge och ytbergsutsträckning vid de passager, som ur stabilitetshänseende har bedömts som kritiska samt att bestämma bergets hållfasthet.

METODIK

Seismik valdes för bestämning av bergläge och ytbergs utsträckning samt lokalisering av förmodade svagheter, provgropar och Lindöborrning för att kontrollera seismiken, kärnborrning för bergkvalitetsbestämning.

MOTIV TILL METODIK

Endast få blottningar förekommer. Därför valdes seismik, dock selektivt, dvs inte längs hela tunneln. Ambitionen var inte att lokalisera samtliga större svagheter, ej heller att få en god prognos på bergartsfördelningen, då viss förändring av anläggningen under byggskedet ansågs möjlig.

Mot denna bakgrund uppställdes en förundersökningsmodell som anpassades till projektets utveckling i tre faser. Faserna 1 och 2 inträffar före byggstart medan fas 3 löper under byggnadstiden.

Faserna har betecknats enligt följande:

1. Preliminärt förslag (Förberedande undersökning)
2. Huvudförslag (Detaljundersökning)
3. Byggskede (Kompletterande detaljundersökning och uppföljning)

I tabellform beskrivs här i korthet utvecklingen.

FAS FÖRUTSÄTTNING	UPPLÄGGNING	FÄLTARBETE	RESULTAT
1 Tunnel Holmsjön-Ångesjön	Sparsamt med arbete; söka lämpliga ut- och inlopp av tunneln	Översiktliga geologiska studier och sparsamt med seismik	Alternativa tunnelsträckningar skissas, beslut om fortsatt undersökning
2 Som ovan	Kompletterande geologiska studier. Ytterligare seismik samt kärn- och Lindöborrning	27 seismiska profiler och 8 kärnborrhål	Huvudförslag på anläggningen upprättas
3 Mindre ändringar kan genomföras om bergförhållandena motiverar	En expertkommitté tillsätts för att följa arbetet och besluta om ev. ändringar och kompletteringar	Totalt 60 st seismiska profiler 13 kärnborrhål 25 Lindöborrhål	Sänkning av tunnel på två avsnitt och förflyttning i sidled på ett avsnitt

Undersökningsmängd	Fas 1	2	3	S:a
Seismik	3 600 m	12 000 m	11 000 m	26 600 m
Kärnborrning	-	508 m	225 m	733 m

Resultatet av varje undersökningsfas ledde till nya ställningstaganden:

Diskussionen under fas 1 och 2 har ej utretts av arbetsgruppen. Under fas 3 samlades en expertkommitté varannan månad och studerade bergförhållanden och utförda förstärkningar. Man sammanträdde med berörda personer på arbetsplatsen och beslutade om eventuella åtgärder. Några av de beslutade åtgärderna finns redovisade under fas 3.

I fallet Järnvägsforsen kan man inte tala om en slutlig bergteknisk prognos, eftersom någon sådan för hela projektet egentligen aldrig utfördes. Förundersökningsresultatet består av en faktaredovisning från seismik och borrning samt utvärdering av berget i borrhålen. Vidare ges en beskrivning av uppträdande bergarter.

Med ledning av den bergtekniska bedömningen av undersökningsresultaten förväntades en förstärkningsinsats motsvarande 25 % av drivningskostnaderna.

4.73 Bergteknisk uppföljning under byggnadsskedet

Järnvägsforsens tunnlar har varit föremål för en bergteknisk uppföljning under BeFo-projekt 18, etapp I, och har redovisats i etapprapporten, varför ingen särskild redovisning följer här.

I samband med denna uppföljning har berget med ledning av den bergtekniska karaktären indelats i zoner. Uppföljningskarteringen omfattar i huvudsak faktorer som påverkat förstärkningsbehovet. Förstärkningar redovisas med metod och kvantitet.

Förstärkningar som utfördes kan indelas enligt följande:

Förstärkningsklass	Längdandel	Förstärkning
	%	
1	33	Ingen eller sporadisk bultning/sprutning
2	15	1 lager sprutbetong + bultning
3	27	2 lager sprutbetong + bultning
4	17	> 2 lager sprutbetong + armering + bultning
5	8	Bågar, betong m m
	100	

Förstärkningsåtgärder inklusive lokal injektering har varit nödvändiga av följande orsaker:

Vattenläckage i kombination med krossade partier	12 %
Vattenläckage i kombination med lerzoner eller sprickor (även klorit och serpentinfyllda)	3 %
Sprickigt berg eller sprickzoner	30 %
Krossat berg eller krosszoner	31 %
Lerzoner (även med klorit och serpentin)	19 %
Smällberg	5 %

Endast 15 % av samtliga fall har varit förenade med vattenläckage.

4.74 Jämförelse av verkliga förstärknings- och injekteringsåtgärder med förväntade

Inom Järnvägsforsens tunnelsystem har följande förstärkningsintensiva

avsnitt registrerats:

Tilloppstunnel 525 - 8620 m

615 - 680 m	65 m
1060 - 1240 m	180 m
2170 - 2750 m	580 m
2775 - 2825 m	50 m
3790 - 4220 m	430 m
4535 - 5000 m	465 m
5490 - 5725 m	235 m
5830 - 5880 m	50 m
6345 - 6555 m	210 m
6705 - 6770 m	65 m
7110 - 7230 m	120 m
7330 - 7355 m	25 m
7460 - 7500 m	40 m
7520 - 7555 m	35 m
7585 - 8620 m	1035 m

Trycktunnel 0 - 570 m

325 - 570 m	245 m
-------------	-------

Avloppstunnel 0 - 2195 m

0 - 1250 m	1250 m
1585 - 2195 m	610 m

Av hela tunnelsträckan på 10 860 m uppvisade 5 690 m (52 %) svaghetsfenomen som krävde intensivare förstärkning.

Anmärkningsvärt är bergartsberoendet. 1 270 m (28 %) av de förstärkningsintensiva avsnitten är förknippade med diabas. Diabassträckorna är intensivt förstärkta till 85 %. Vid övriga bergarter (granit, gnejs, gråvacka) är endast 41 % av sträckan intensivt förstärkt.

Av den sammanlagda längden förstärkningsintensiva avsnitt om 5 690 m ligger 4 485 m (79 %) inom avsnitt med en bergtäckning mindre än 60 m. Återigen spelar diabasen en intressant roll. 635 m (42 %) av diabasavsnitten ligger inom detta område och är till 100 % intensivt förstärkta. Resten av diabasen ligger inom områden med mer än 60 m bergtäckning, men är fortfarande till 73 % intensivt förstärkt.

Att döma av tolkningen av förundersökningsresultatet kunde man ingalunda förvänta sig den redovisade omfattningen av förstärkningsintensiva avsnitt (mer än hälften av tunnelsträckan).

Orsaker till det oväntat stora utfallet av intensiva förstärkningar har varit:

Diabas med dåliga stabilitetsegenskaper på grund av genomgående omvandling och uppsprickning.

Djupgående vittringsfenomen som är sällsynta i svenskt urberg.

Ogynnsam sprickighet med sprickfyllnad av friktionsnedsättande material.

Vattenläckage har inte spelat någon större roll. Däremot har tydligt framkommit ett samband mellan bergtäckning och frekvens av förstärkningsintensiva avsnitt.

En uppföljning av förstärkningskostnaderna för de förstärkningsintensiva avsnitten och mellanliggande avsnitt utan förstärkning eller endast sporadiskt förstärkta framgår av följande uppställning:

Sammanlagd tunnelsträcka %	Förstärkningskostn. i % av drivningskostn.	
3 545	33	< 10
1 625	15	10 - 20
2 975	27	20 - 50
1 850	17	50 - 100
865	8	100 - 200

Samtliga förstärkningsintensiva avsnitt (5 690 m eller 52 % av det totala tunnelsystemet) förstärktes till mer än 20 % av drivningskostnaden, varav 2 715 m (25 %) till mer än 50 %.

Figur 4.74.1 visar situationen prognoserad i förundersökningsstadiet och verkligt utfall. Tyvärr är denna ej fullständig, då en zonrelaterad prognos ej föreligger.

FÖRUNDERSÖKNING

BERGKLASSER

(EJ PROGNOSEERAD)

FÖRSTÄRKNINGSPROGNOS

25 % AV DRIVNINGSKOSTNADEN

UPPFÖLJNING

ZONKLASSER

(EJ UTFÖRT)

FÖRSTÄRKNING + INJEKTERING

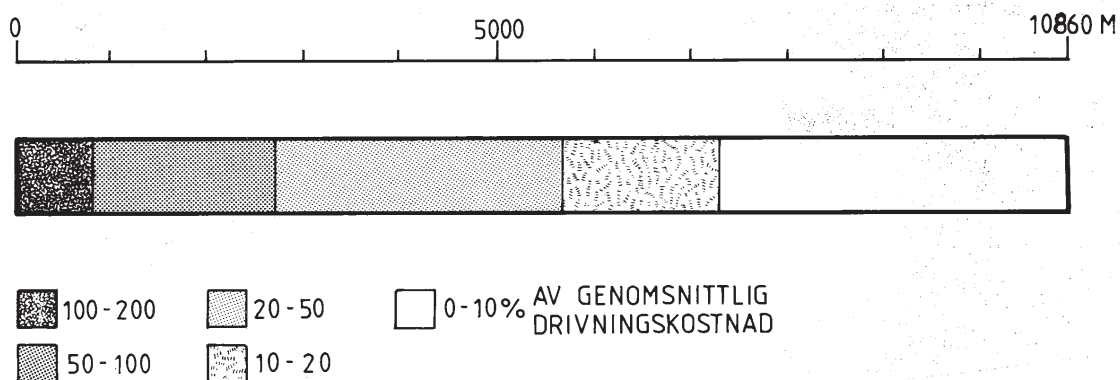
5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

FÖRSTÄRKNINGSKOSTNADER I PROCENT AV GENOMSNITTLIG DRIVNINGSKOSTNAD

100-200	50-100	20-50	10-20	0-10
---------	--------	-------	-------	------

Figur 4.74.1

Omsätts denna fördelning i tunnellängder erhålls följande schema:

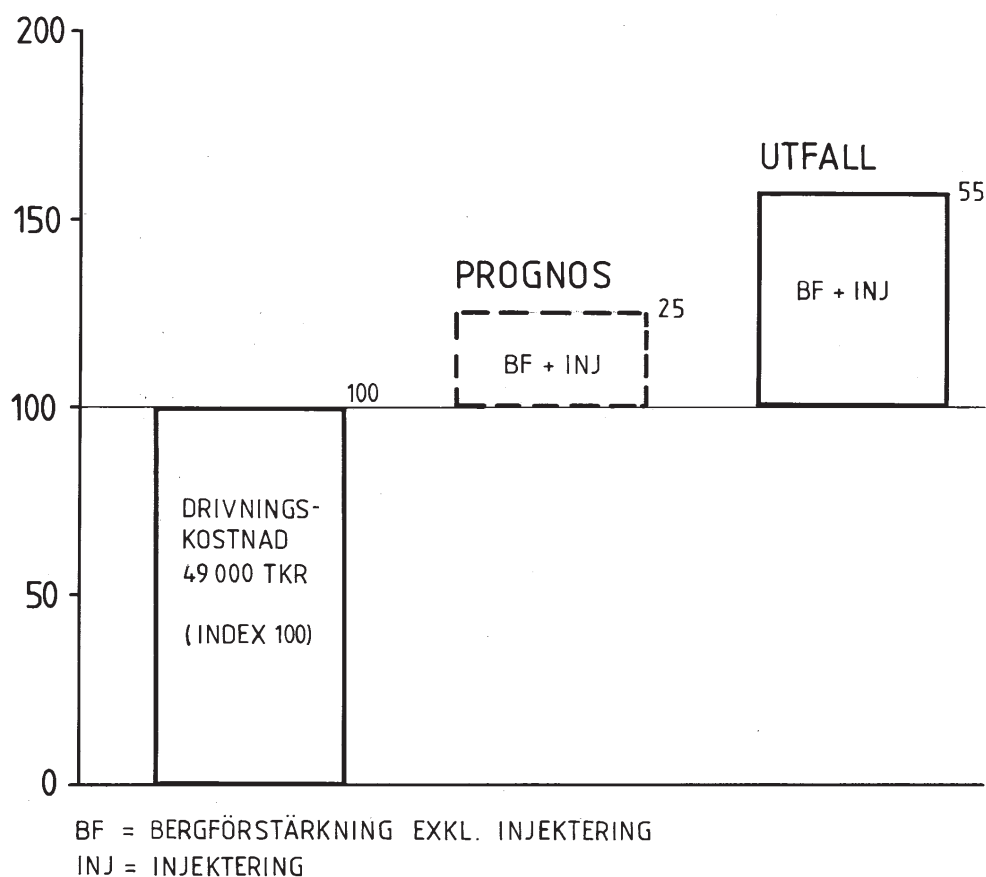


Figur 4.74.2

(Gäller både bergförstärkning och injektering, vilken senare är obetydlig.)

Tunneln krävde således omfattande förstärkningsåtgärder, injekteringen begränsade sig till lokala åtgärder (mindre än 1 % av förstärkningskostnaden).

Enligt uppgifter från VBB uppgick förstärknings- och injekteringskostnaden till 55 % av drivningskostnaden. Jämförelsen visar att denna kostnad översteg prognosens med 120 %, se figur 4.73.2.



Figur 4.74.3
Järnvägsforsen

4.75 Alternativa bearbetningssätt

Med annat bearbetningssätt avses här dels en uppskattning av RQD-värden in situ för olika zonavsnitt samt en Q-värdering av bergkvaliteten.

Resultaten har sammanställs i följande tabell:

Sektion	Längd	RQD	Q
0525 - 0615	90	90	68
- 0635	20	0-10	0,044
- 0685	50	70	6-12
- 1060	375	90	68
- 1084	24	15-30	1,2-2,4
- 1107	23	0	0,02
- 1132	25	0	0,06
- 1820	688	90	15 (varav 10 m 30 resp 0,24)
- 2170	350	90	11
- 2396	226	80	2,2 (varav 10 m 20 resp 0,15)
- 3835	1439	80	4,4 (varav 30 m 15 resp 0,01)
- 4068	233	90	0,66 (varav 30 m 20 resp 0,044)
- 4148	80	40	4,4
- 4168	20	0	0,05
- 4220	52	90	0,66 (varav 10 m 20 resp 0,044)
- 4600	380	50	25
- 5040	440	90	7,5
- 5285	245	50	12,5
- 5750	465	90	3,8
- 7145	1395	90	22,5
- 7230	85	80	4,4
- 7550	320	90	33,8
- 7950	400	50	4,2 (varav 10 m 0 resp 0,7)
- 8620	670	60	4,4
0 - 0330	330	90	22,5
- 0570	240	30	0,14
0 - 0370	370	30	0,14
- 0830	460	90	3,3
- 1900	1070	90	15
- 2195	295	70	3,8

Sammanställda erhållna uppskattade RQD-värden ger detta följande klassfördelning:

RQD-klass	Procent
100 - 90 } 90 - 75	73
75 - 50	9
50 - 25	16
25 - 0	2

Ingen överensstämmelse föreligger mellan denna fördelning och utförd förstärkning (se avsnitt 4.73):

<u>Förstärkningsklass</u>	<u>Procent</u>
1 + 2	48
3	27
4	17
5	8

För att kunna jämföra Bartons nio Q-klasser med det femdelade RQD-systemet och Bieniawskis femdelade RMR-system har Q-klasserna reducerats till fem enligt följande fördelning:

<u>Q-klass</u>	<u>Q-intervall</u>	<u>% av hela sträckan</u>
1	1000 - 100	-
2	100 - 10	48
3	10 - 1	42
4	1 - 0,1	8
5	0,1 - 0,001	(2)

Reduceras förstärkningsklasserna till tre erhålls en med Q-fördelningen jämförbar relation:

<u>Förstärkningsklass</u>	<u>Procent</u>	<u>Q-klass %</u>	<u>(Motsvarande prognos-värde)</u>
1 + 2	48	48	(50)
3 + 4	44	42	(40)
5	8	10	(10)

Jämförelserna enligt ovan visar att ett uppskattat RQD-värde som enda värderingsgrund av allt att döma ej förefaller lämpligt som klassificeringsunderlag. Vidare är en Q-värdering i en niogradig skala inte heller brukbar som klassificeringsunderlag, särskilt inte i samband med en bergteknisk prognos. För sistnämnda syfte förefaller en tre - femgradig indelning mera lämplig.

I föreliggande fall skulle en prognos kunna ha haft följande hypotetiska utseende:

Förstärkning		Q-intervall	Procent	Kostnad i % av drivn. kostn.
Klass	Typ			
1	Ingen	1000 - 100	-	-
2	Sporadisk	100 - 10	50	0 - 20
3	Systematisk sprutbetong utan armering	10 - 1	25	20 - 50
4	D:o med "	1 - 0,1	15	50 - 100
5	Intensiv, bågar m m	0,1 - 0,001	10	100 - 200

Ett alternativt bearbetningssätt presenteras i form av en Z(RQD)-analys på 8 kärnborrhål som ligger inom anläggningsområdet.

Följande samband mellan Z(RQD)-klasser, deras procentandel och kostnadsintervaller har erhållits:

Kostnadsintervall i % av drivn.kostn.	Z(RQD)-klass	Procentandel
< 20	100 - 70	45
20 - 50	70 - 40	25
50 - 100	40 - 10	20
>100	10 - 0	10

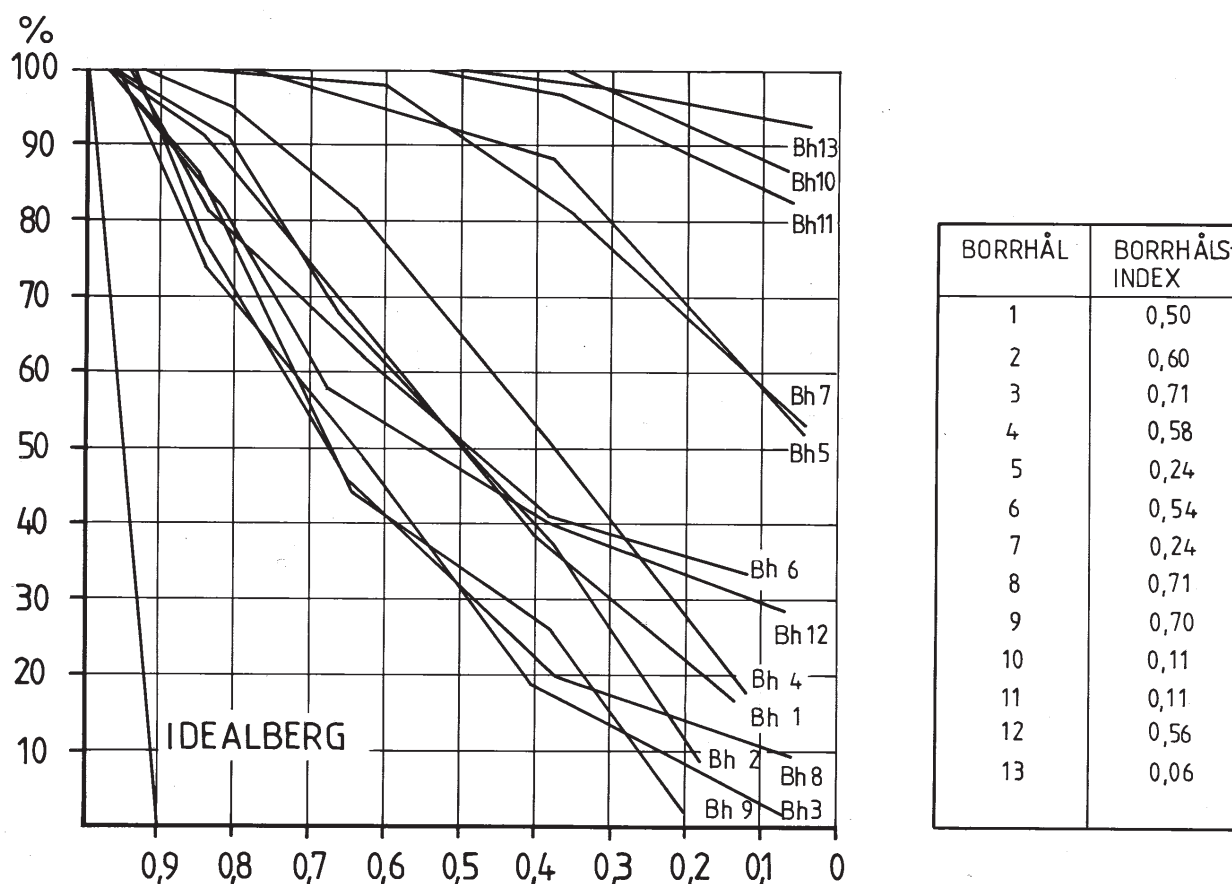
Denna fördelning har en bättre relation till det verkliga utfallet än ett uppskattat RQD-värde.

Man bör dock beakta att borrhålen ej är systematiskt fördelade med hänsyn till antalet homogenitetsenheter i bergmassan.

En grafisk presentation av samtliga borrhål med ackumulerad RQD-kurva visar tre olika grupper: 3 borrhål: RQD-genomsnitt $\geq 0,70$, 5 borrhål 0,50-0,60 och 5 borrhål med RQD $\leq 0,25$. Avvikelsen från ideallinjen visar bergets sönderdelningskaraktär (figur 4.75.1).

Denna fördelning indikerar att det inte finns "mycket bra berg", borrhålsindex $\geq 0,9$. Däremot visar fem borrhål att det finns "mycket dåligt berg" (index $< 0,25$). Utan tvekan skulle ett sådant bearbetningssätt ha indikerat förekomst av berg med delvis mycket nedsatta stabilitetsegenskaper.

Slutsatsen tycks vara att i detta fall både Z(RQD) och borrhålsindex kan anses som medel att kvantitativt klassificera och därmed prognosera bergets kvalitetsfördelning.



Figur 4.75.1

Järnvägsforsen. Ackumulerade RQD-kurvor.

(Borrhålsindex utgöres av RQD-medelvärdet för respektive borrhål.)

4.76 Prognosutfall - Förundersökningens omfattning och kostnader

Som framgår av kostnadsanalysen blev den verkliga förstärkningskostnaden 120 % större än vad som hade förväntats. Orsaken till merkostnaden har diskuterats och resultatet presenterats i avsnitt 4.74.

Sammanfattningsvis kan konstateras att två faktorer framstår som oförväntade:

- Diabasens karaktär
- Djupgående vittring.

Även om procentandelen diabas hade prognoserats, hade karaktären med tanke på jämförelsen med Parteboda-diabasen ej förväntats. Djupgående vittring är ovanlig i prekambrisk berggrund under glaciala avlagringar.

En modern borrhålsanalys samt djupseismik hade givit förutsättningar för en mera adekvat prognos.

Intressant förefaller relationen mellan förundersökningskostnader, förstärknings- och drivningskostnader.

Följande av arbetsgruppen konstruerade kostnader anges (jfr. 4.17):

Geologisk kartering	50 tkr
Seismik	266 tkr
Kärnborrning	293 tkr
Övrigt + 10 %	<u>61 tkr</u>
Total undersökning	670 tkr
Drivningskostnad (4 500 kr/m)	49 000 tkr
Förstärkningskostnad (55 %)	27 000 tkr

Detta ger nedanstående jämförelse:

Förundersökning		
i % av förstärkning	- drivning	- total kostnad
2,5	1,4	0,9

En uppdelning i olika projektavsnitt kan ej genomföras och skulle inte heller vara ändamålsenlig med tanke på den ringa kostnadsandelen.

Av denna jämförelse framgår att förundersökningens omfattning måste anses som mycket begränsad med tanke på berggrundens komplexa uppbyggnad. Vad typen beträffar har redan tidigare hävdats att den knappast svarar mot tunnelsystemets djupläge och diabasernas svårbedömda bergtekniska karaktär.

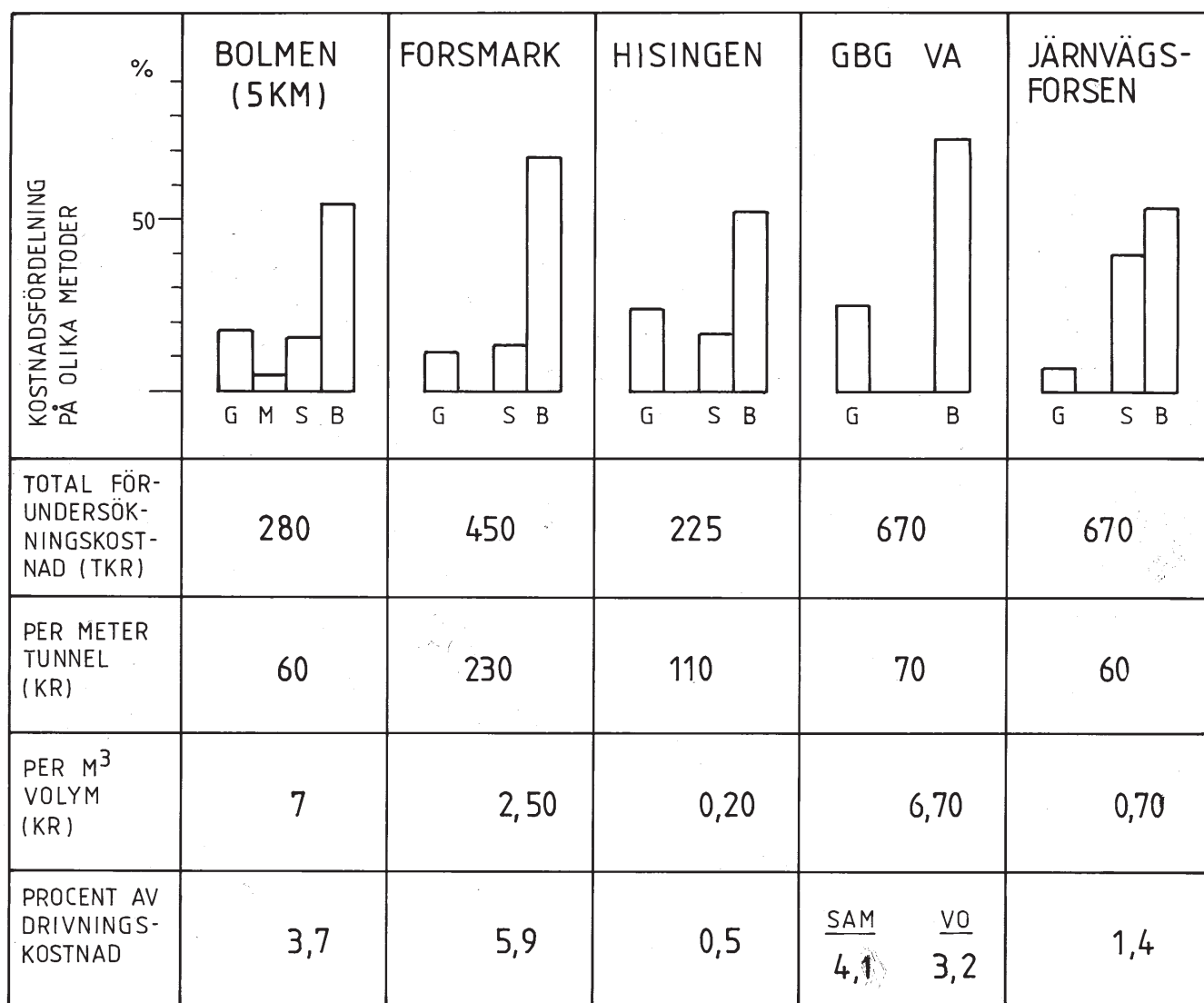
Som ytterligare försvårande omständighet bör nämnas den mycket låga blottningsgraden ($\leq 1\%$ av berggrunden framträder som hållar), en faktor som senare behandlas i kapitel 5 och 6.

KAPITEL 5

ANALYS OCH SLUTSATSER

5.1 Sammanställning av resultat från objektuppföljningarna5.11 Förundersökningsinsats och bergklassificering

Nedan illustreras inledningsvis kostnaderna för respektive förundersökning liksom fördelningen mellan olika metoder:



G = GEOLOGISK KARTERING MM ¹⁾
M = MAGNETOMETRI

S = SEISMIK
B = BORRNING

1) GENERELLT BERÄKNAD TILL 50 TKR / OBJEKT (JMF. KAP. 4.17), FÖR GBG "SAM" OCH "VO"
DOCK 110 RESP 68 TKR

Figur 5.11.1 Förundersökningskostnader

Av denna illustration framgår att högst specifik förundersökningskostnad har Forsmark, varefter följer VA-verket, Bolmen och med betydligt lägre kostnader Järnvägsforsen samt Hisingen.

Borrningskostnaden ligger i samtliga fall över 50 % av totala undersökningskostnaden.

Indelningen i bergklasser har baserats på observationer i samband med respektive förundersökning. De kriterier som dominerat bedömningen är sammanställda i tabell 5.11.2.

Värderingen har i Bolmen huvudsakligen grundats på resultat från seismiska mätningar. I övriga fall har framförallt sprickighet och uppkrossning värderats genom borrkärnekartering (Forsmark och Hisingen) och markobservationer (VA-verket).

Objekt					
Bolmen	1	2		3	
	Bra berg > 4 500 m/s Lokal bultning	Mindre bra berg 4 000 - 4 500 m/s Sprutbetong, ökad bulttäthet		Dåligt berg <4 000 m/s Avancerad sprut- betong ofta ar- mering	
Forsmark	1	2	3	4	5
	Mycket gott berg Mycket sprickfat- tigt 2 spr/m Ingen förstärkn.	Gott berg Sprickfattigt 2-3 spr/m Ringa, punkt- vis bultning	Medelgott berg Måttligt sprickigt 3-5 spr/m Lokal betongsprut- ning	Mindre gott berg Tämligen sprick- rikt 5-10 spr/m Allm.betongspr.	Dåligt berg Sprickrikt >10 spr/m Betongbågar ev. injektering
Hisingen	Mycket gott berg 0-1 spr/m	Gott berg 1-3 spr/m	Medelgott berg 3-5 spr/m	Mindre gott berg 5-10 spr/m	Dåligt berg 10 spr/m
VA-verket	1	2	3	4	
	Bra berg Berg med sprickor	K 1 - 3 utan lera lite vatten	K 1 - 3, L 1 - 3 Vattenförande	K 4 - 5, L 1 - 3 Vattenförande	
Järnvägsforsen	Föreligger ej				

Tabell 5.11.2

Bedömningsunderlag för berg- och förstärkningsklasser

Ifråga om Bolmen och Forsmark har bergklasserna dessutom direkt associerats med (förväntade) förstärkningsbehov.

5.12 Karaktärisering av zoner i samband med uppföljning

Tabell 5.12.1 visar i koncentrat grunderna för den klassindelning som ingått i den bergtekniska uppföljningen och som baserats på studium och värdering av en serie utvalda faktorer, se 4.13.

Det bör påpekas att det i många fall är svårt att göra en objektiv och distinkt värdering av vissa av de ingående parametrarna. Ibland har också till synes motsägande värden noterats men fått lov att accepteras. Det har sålunda visat sig vanskligt att göra en allmängiltig klassificering.

Objekt	Klass	Sprickgrupp	Fyllning	Krossn. grad	RQD	Vatten	Seism.hast.
Bolmen	1	1-2	Calc.lim.lera	-	80-90	-	-
Forsmark	1	Högst 2	-	-	75-100	-	(3000)-5600
Hisingen	1	2	Lera (enstaka)	-	70-100	Max dropp	4100 -5500
VA-verket	A	1-4	Lera Ll	Bra berg o. K1-4	0-90	T-F	-
Järnvägsforsen	1	< 2	Ingen	-	90-100	-	3800 -5800
Bolmen	2	2	Calc.lim.lera	Mindre	40-70	Mindre	4000 -5800
Forsmark	2	-	-	-	-	-	-
Hisingen	2	3	Lera (korsande)	-	60-70	Min.dropp	4100 -5500
VA-verket	B	3	Lera Ll-3	K 3-4	50-100	T+F+D	-
Järnvägsforsen	2	2	Kalcit	Storblockig	50-90	F+D	4400 -5500
Bolmen	3	2	Calc.lim.lera	Flacka str.kross	0-85	Mycket	4100 -5600
Forsmark	3	3	Lera	Flackzoner	25	F+D+R	3500 -4300
Hisingen	3	3 eller fler	Svällera	-	40-50	Rinnande	4100 -5500
VA-verket	C	2-4	Lera,sväll Ll-3	K 2-4	0-50	F+D+R	-
Järnvägsforsen	3	2-3	Klorit, Serp.lera	Små-storblockig	30-90	F+R	3300 -5000
Bolmen	4	2-3	Calc.lim.lera	Ogynns.orient.	40	Mycket	5300
Forsmark	4	-	-	Krosszoner	-	-	-
Hisingen	4	Fler än 3	Svällera	-	0-40	Rinnande	4100 -5500
VA-verket	D	1-4	Svällera Ll-4	K 3-5	0-50	F+D+R	-
Järnvägsforsen	4	3-4	Klorit-svällera	Småblockig	30-90	F+D+R	3200 -5500
Bolmen	5	-	-	-	-	-	-
Forsmark	5	Minst 2	Lera,klorit	Blockbildning dålig friktion	30-45	Besvärande Vatten	3000 -5400
Hisingen	5	-	-	-	-	-	-
VA-verket	E	3	Svällera Ll-4	Ej definierbara	Enskilda parametrar	-	-
Järnvägsforsen	5	> 4	Svällera	K-5 Krossad	0-10 0-20	F+D+R F+D+R	3000 -5800

Tabell 5.12.1

Karaktäristik för zonklasser

De registrerade parametrarna varierar för varje zonklass inom vida gränser. Särskilt påfallande är detta för de i bergytan registrerade seismiska hastigheterna. Kolumnen över seismiska hastigheter, som ej ingår i underlaget för zonklassningen, åskådliggör därmed att inget direkt samband finns mellan registrerad hastighet och zonklass. Trots detta kan man (om man bortser från en direkt lägeskorrelation) skönja ett samband

mellan den registrerade hastighetsfördelningen och zonklassfördelningen. Detta tycks indikera ett samband mellan den ytligt registrerade seismiska hastighetsfördelningen och bergmassan vilket ytterligare skulle accentueras vid tillämpning av djupseismik.

Nedanstående tabell visar hur de bergtekniskt mest betydelsefulla faktorerna kan uppskattas eller bestämmas i samband med zonklassificeringen:

	Bedömning genom allmän (subjektiv) värdering.		Bestämning genom uppmätning eller beräkning av
	Bättre	Sämre	
Vatten	Torrt fukt dropp rinnande		Tillrinning i l/min
Blockighet Krossningsgrad	Storblockigt Högt RQD Låg	Småblockigt Lågt RQD Hög	RQD, sprickfrekvens, blockstorlek
Sprickgrupper	Lågt antal Gynnsam orientering	Stort antal Ogynnsam orien- tering (sär- skilt flacka strukturer)	Antal grupper Orientering i förhållande till varandra och rummet
Sprickfyllnad	Friktions- material	Lera	Mineralogisk samman- sättning
Bergartskaraktär	Omvandlingsgrad		Omvandlingsgrad

Tabell 5.12.2

Bergtekniskt viktiga parametrar

En schematisk värdering av de olika faktorernas betydelse för de enskilda objekten har gjorts i tabell 5.12.3.

	BOLMEN (5 KM)	FORSMARK	HISINGEN	VA-VERKET	JÄRNVÄGS- FORSÉN
VATTEN	• • •	• •	•	• • •	•
BLOCKIGHET KROSSNINGSGRAD	•	• •		• • •	• • •
ANTAL SPRICKGRUPPER	• •	• •	• •	• •	• •
SPRICKFYLLNAD	• •		•	• • •	• • •
BERGARTS- KARAKTÄR	• •	• •	•	• •	• • •

Tabell 5.12.3

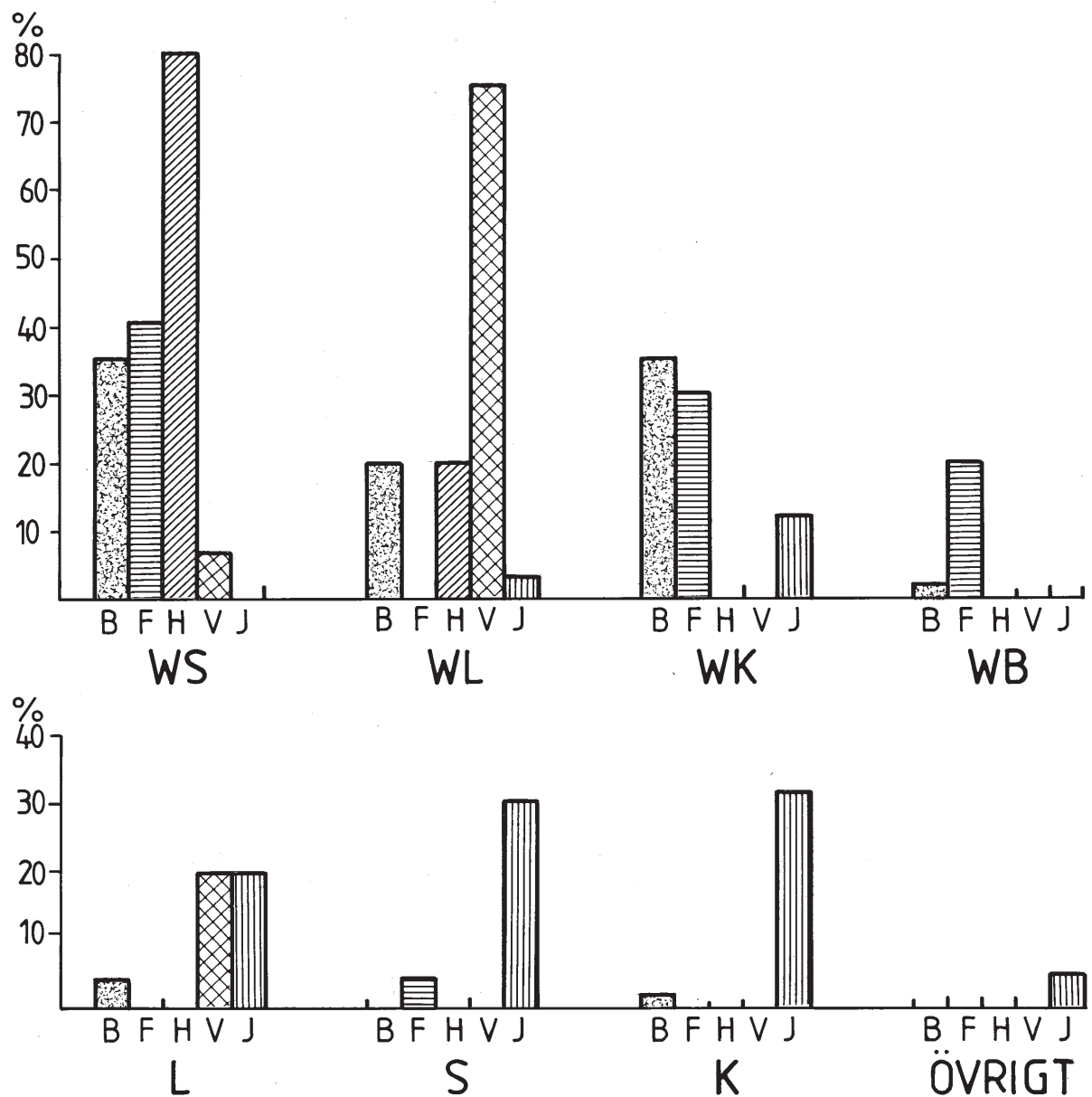
Schematisk värdering av olika parametrars betydelse vid olika objekt. (Fler punkter anger ökande betydelse.)

5.13 Förstärkningsorsaker

I samband med uppföljningen har särskilt antecknats den dominerande orsaken till respektive förstärkning (jfr kap 4).

En sammanställning av dessa uppgifter har gjorts i tabell 5.13.1. Två grupper av orsaker kan urskiljas, nämligen faktorer som verkar i kombination med respektive utan vatten. Man kan sålunda utläsa hur stor andel av totalt förstärkt sträcka, som främst orsakats av "sprickor och sprickzoner" (S), "vatten i kombination med lera", (WL) osv. Här är att märka att den ekonomiska betydelsen av de olika faktorerna inte utan vidare kan utläsas, eftersom "förstärkning" ibland endast avser ett lager sprutbetong medan det på andra avsnitt kan betyda flera lager, inklusive armering och stundtals även injektering. Tabellen demonstrerar dock, med undantag för Järnvägsforsen, en tydlig dominans för orsaker i kombination med vatten.

Studier av hela materialet visar dessutom att vattensituationen påverkar förstärkningsintensiteten. I partier med för övrigt liknande stabilitetsegenskaper har nämligen avsnitt som fört vatten förstärkts kraftigare än motsvarande torra sträckor. Man har här tydligt styrkt den allmänna uppfattningen att vatten som sådant nedsätter bergets totala stabilitet.



B		BOLMEN (5 KM)	W	VATTEN
F		FORSMARK	L	LERA
H		HISINGEN	S	SPRICKOR o. SPRICKZONER
V		VA-VERKET	K	KROSSNINGSGRAD
J		JÄRNVÄGS- FORSÉN	B	BERGART

Tabell 5.13.1

Fördelning av förstärkningsorsaker

Systematiska hållfasthetsbestämningar har visat att bergmaterial i torrt tillstånd har högre hållfasthet än i vått tillstånd. Dessutom åstadkommer porvattentryck i bergmassan en ofta underskattad tilläggsbelastning. Nedsättning av friktion och kohesion är ytterligare stabilitetsnedsättande faktorer.

Det är emellertid svårt att avgöra om det vattenflöde, som har uppstått genom utsprängningen, har lett till urspolning av fogmaterial ur sprickorna och därigenom nedsatt bergets stabilitet eller om fogarna ursprungligen varit öppna och vattenförande. I det senare fallet stör vattnet ofta drivningsarbetet, försvårar förstärkningsarbeten och måste dessutom ofta hejdas för att inte orsaka grundvattensänkningar i omgivningen. Vattenflödet som sådant har dock inte påverkat stabilitetssituationen. Iakttagelser att vattenförande partier förstärkts kraftigare är alltså inte något generellt bevis för att detta verkligen var behövt av stabilitetsskäl.

Utöver observationerna kring vattnets inverkan finns det anledning att notera att vissa bergarter förefaller särskilt känsliga både vad vittring och störningsintensitet beträffar (t ex diabas, mylonit). Sådana bergarter visar materialförändringar djupare under markytan än deras gnejsgranitiska omgivning. Detta nedsätter bergets stabilitet och kräver därmed intensivare förstärkning. Sådana bergarter är ofta knutna till svackor i terrängen.

I de flesta fall saknas deformationsmätningar, som kunde ha indikerat att bergrörelser förekommit där förstärkningsinsatsen har varit betydande. Bergrörelser kan vara en förklaring till stora avvikelser mellan förväntad förstärkning och utfall. Förstärkningsinsatsen blir avsevärt större vid ogynnsamt tidsberoende deformation.

5.14 Förstärkningsklasser

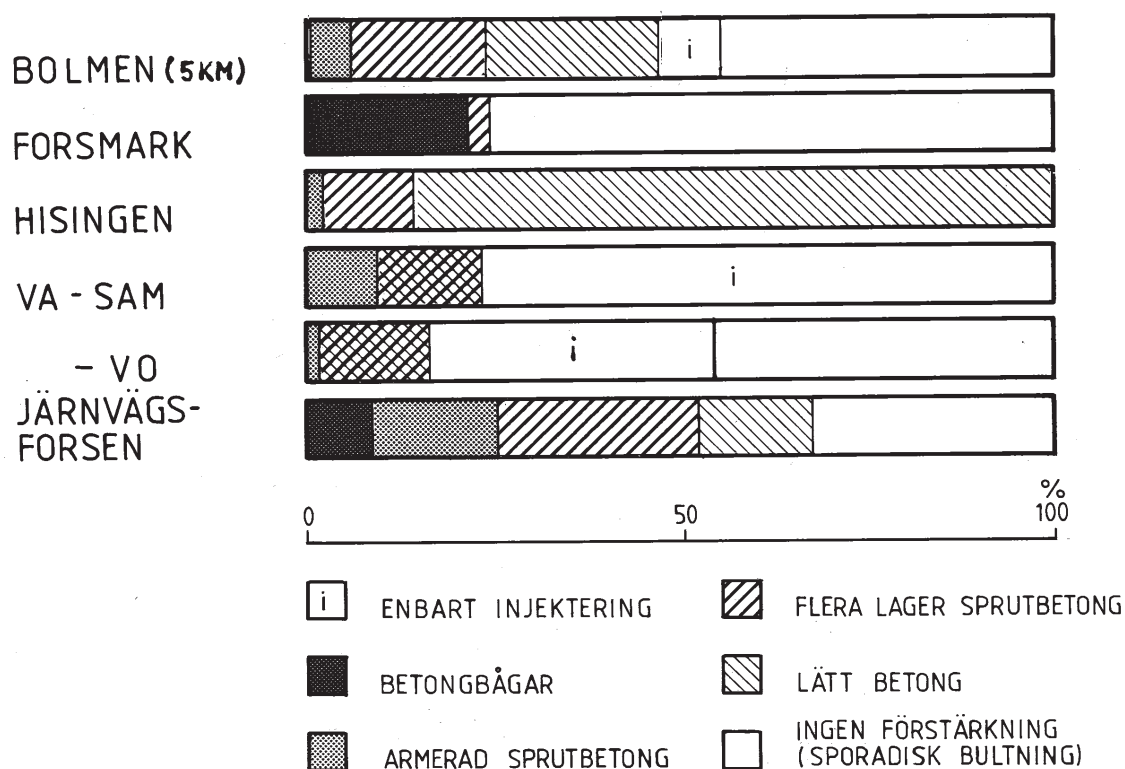
Förstärkningsinsatserna för respektive objekt har klassindelats enligt tabell 5.14.1 och fördelningen av de olika klasserna i förhållande till respektive tunnels längd illustreras i tabell 5.14.2.

Mycket tung bergförstärkning har utförts endast i Forsmark och Järnvägsforsen. I båda fallen har ogynnsamma materialegenskaper varit huvudorsaken, delvis i samband med ogynnsam strukturorientering.

Injektering erfordrades i Bolmen, där speciella täthetskrav för färdig tunnel ställts och i VA-verkets tunnlar, där tätning skall förhindra grundvattensänkning.

Klass	Objekt				
	Bolmen	Forsmark	Hisingen	VA-verket	Järnvägsforsen
1	Ingen eller sporadisk bultning	Ingen	Sprutbetong 1 lager psykologisk 4,2-5,6 b/m bergrum	Ingen	Ingen
2	Sprutbetong 2,5 cm ngn. armering + injektering	-	Sprutbetong 2 lager 4,2 b/m bergrum	Sprutbetong max 5,0 cm	Osystem. sprutn. + bultning
3	Sprutbetong 5,0 cm ngn. armering + injektering	Sprutbetong	Sprutbetong 1 lager psykologisk 5,4 b/m bergrum + injektering	Sprutbetong 5-11 cm	System.sprutning + bultning ingen armering
4	Sprutbetong 10,0 cm Delvis armering + injektering	-	Sprutbetong 3 lager 5,6-10,3 bult/m bergrum Armering	Armerad sprutbetong	System.sprutning + bultning armering
5	-	Armerad sprutbetong, bågar + injektering	-	Betong	Tung förstärkning bågar, betong m.m.

Tabell 5.14.1



Tabell 5.14.2

Förstärkningstypers andel av resp. tunnelsträcka. (Injekteringskvantiteter har ej beaktats vid klassfördelningen, dock har en särskild klass för avsnitt med enbart injektering redovisats för Bolmen och Göteborgs VA-tunnlar.)

5.15 Förstärkningarnas ekonomiska betydelse

Som nämnts i kapitel 4 ägnades under uppföljningsskedet huvudintresset åt "förstärkningsintensiva avsnitt". På så sätt kunde man begränsa studien till de fall där avvikelserna från prognosen haft någon större ekonomisk betydelse. Då förstärknings- och injekteringskostnaderna överstiger 20 % av drivningskostnaden betecknas avsnittet som förstärkningsintensivt.

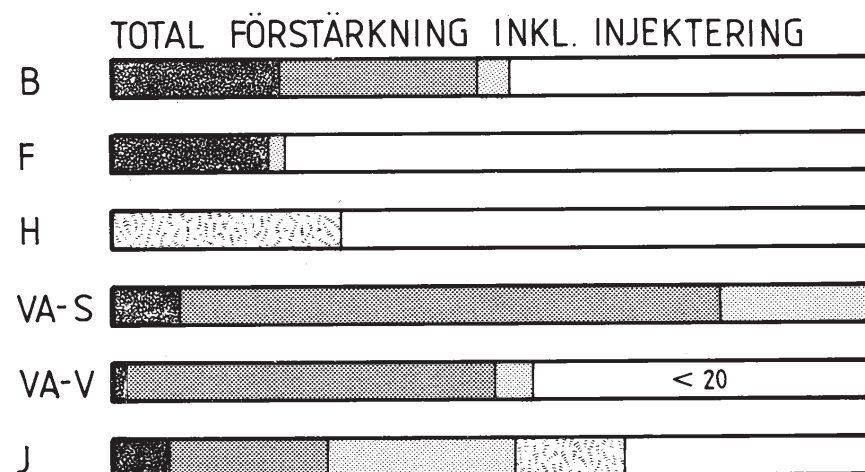
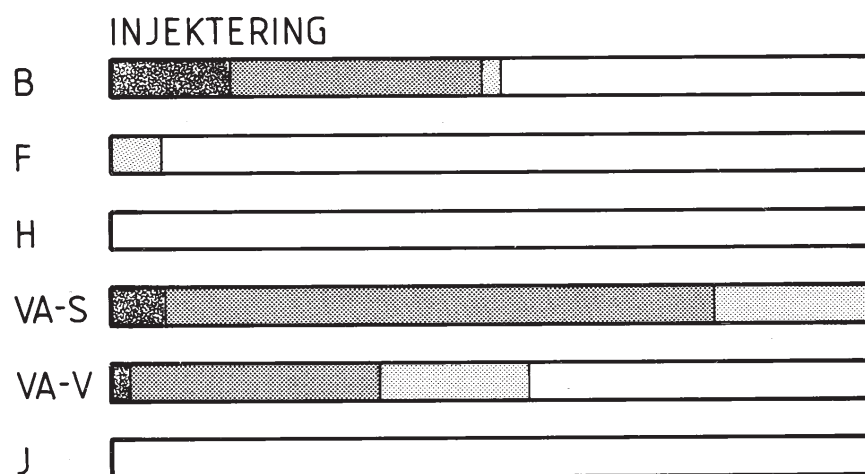
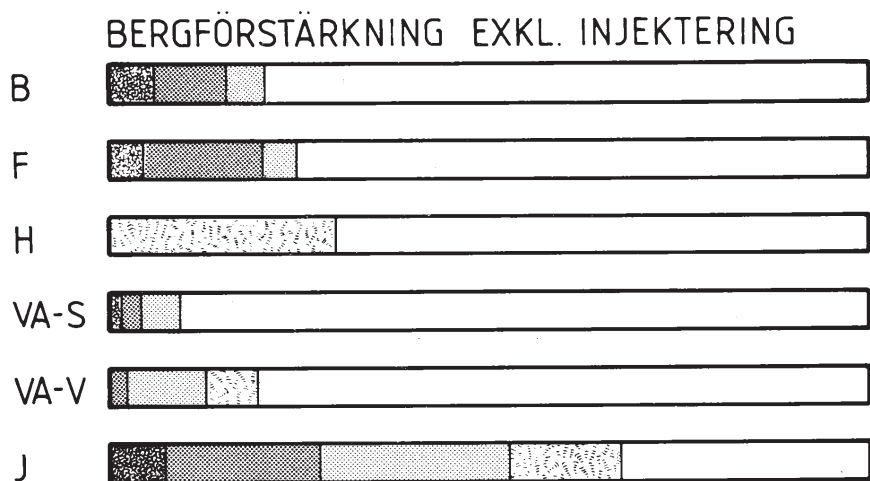
Inför sammanställningen av resultat från de olika objekten har förstärkningskostnaderna satts i relation till motsvarande drivningskostnad, d v s kostnaden för att "ta ut" en meter av tunneln eller bergrummet. De olika erhållna kostnaderna har därefter grupperats enligt följande:

Förstärkningen utgör	<10 % av drivningskostnaden
	10-20 %
	20-50 %
	50-100%
	>100%

Intervallet <10 % innefattar även oförstärkta partier.

Kostnadsgrupperingen följer i princip olika förstärkningskategoriers kostnader. För vissa objekt med mycket tung förstärkning och/eller injektering har även indelningen <20, 20-50, 50-100, 100-200, >200 % tillämpats. Vid de aktuella objekten var gruppen >200 % endast mycket lite representerad.

I tab 5.15.1 har grafiskt åskådliggjorts hur de olika "förstärkningsnivåerna" fördelar sig inom respektive objekt. Tabellen visar såväl totala förstärkningar som "ren bergförstärkning" och injektering var för sig.



Tabell 5.15.1

Förstärkningsinsatsers fördelning vid resp. anläggning, räknat i procent på drivningskostnaden.

För de enstaka objekten framgår omfattningen av måttligt förstärkta avsnitt även av följande uppställning (inkluderande injekteringskostnader):

Objekt	F ö r s t ä r k n i n g	
	< 10 % av drivn kostnad	10-20 % av drivn kostnad
Bolmen	48 % av tunnelns totala längd	0 %
Forsmark	77	0
Hisingen	70	30
VA-verket (SAM, VO)	0 - 45	0 - 0
Järnvägsforsen	33	15

Av uppställningen framgår att 100 % av Hisingen förstärkts med kostnader <20 % av drivningen, d v s att inga förstärkningsintensiva avsnitt förekommer.

Förstärkningskostnader överstigande 200 % av drivningen förekommer enligt följande:

Bolmen	5 % av sträckan
Forsmark	5 %
VA-verket (SAM)	3 %
Järnvägsforsen	1 %

Som framgår av tabell 5.15.1 påverkar för- och efterinjekteringarna i Bolmens och VA-verkets tunnlar i mycket hög grad kostnadsutfallet. Kostnaderna för enbart bergförstärkning utgör i båda fallen en betydligt mindre del än injekteringen. För exempelvis VA-verket (SAM) ligger den rena bergförstärkningskostnaden mellan 0 och 100 % av drivningskostnaden medan injekteringskostnaderna för 80 % av tunnelsträckan ligger i intervallet 50 - 265 %. I detta sammanhang bör åter betonas att viss del av injekteringen bidrar till att sänka kostnaderna för övrig bergförstärkning eftersom injekteringen normalt har viss stabiliserande effekt.

Den bergtekniska prognosen syftar till en bedömning av kostnader för stabiliserande åtgärder vilka i sin tur beror av olika parametrar och kombinationer av olika parametervärden. Det förefaller således närliggande att värdera kostnadspåverkan från fall till fall och anpassa klassificeringssystemet därefter, vilket sker i kapitel 5.2.

5.2 Prognosutfall

5.21 Allmänna bergtekniska förhållanden

De allmänna bergtekniska förutsättningar, som prognoserats för varje objekt, har stämt överens med eller avvikit från verkliga, uppföljda förhållanden enligt följande:

Objekt	God överensstämmelse	Dålig överensstämmelse
Bolmen (5 km)	Bergartsfördelningen Bergarternas tillstånd Struktur	Vatten
Forsmark	Bergartsfördelningen Bergarternas tillstånd Delvis struktur	Flacka strukturer Vatten
Hisingen	Bergartsfördelningen Bergarternas tillstånd Struktur	
VA-verket	Bergartsfördelningen Bergarternas tillstånd Strukturorientering Strukturernas utbredning Vatten (delvis)	Vatten (delvis)
Järnvägsforsen	Bergartsfördelningen Bergarternas tillstånd (exkl diabas) Struktur	Diabas Omvandlad diabas Vittringens djupgående Smällberg

Kommentarer

Bolmen

Trots mycket få hållar i dagen (blottningsgrad ~ 1 %) har man genom regionalgeologiska studier kunnat förutsäga bergartsfördelning, bergarternas tillstånd och strukturmönster (Diabaser bestämda med hjälp av geofysisk mätning). Anledningen till denna goda överensstämmelse ligger i berggrundens tämligen homogena gnejsuppbyggnad.

En del av de vattenförande zoner som påträffats var ej förväntade.

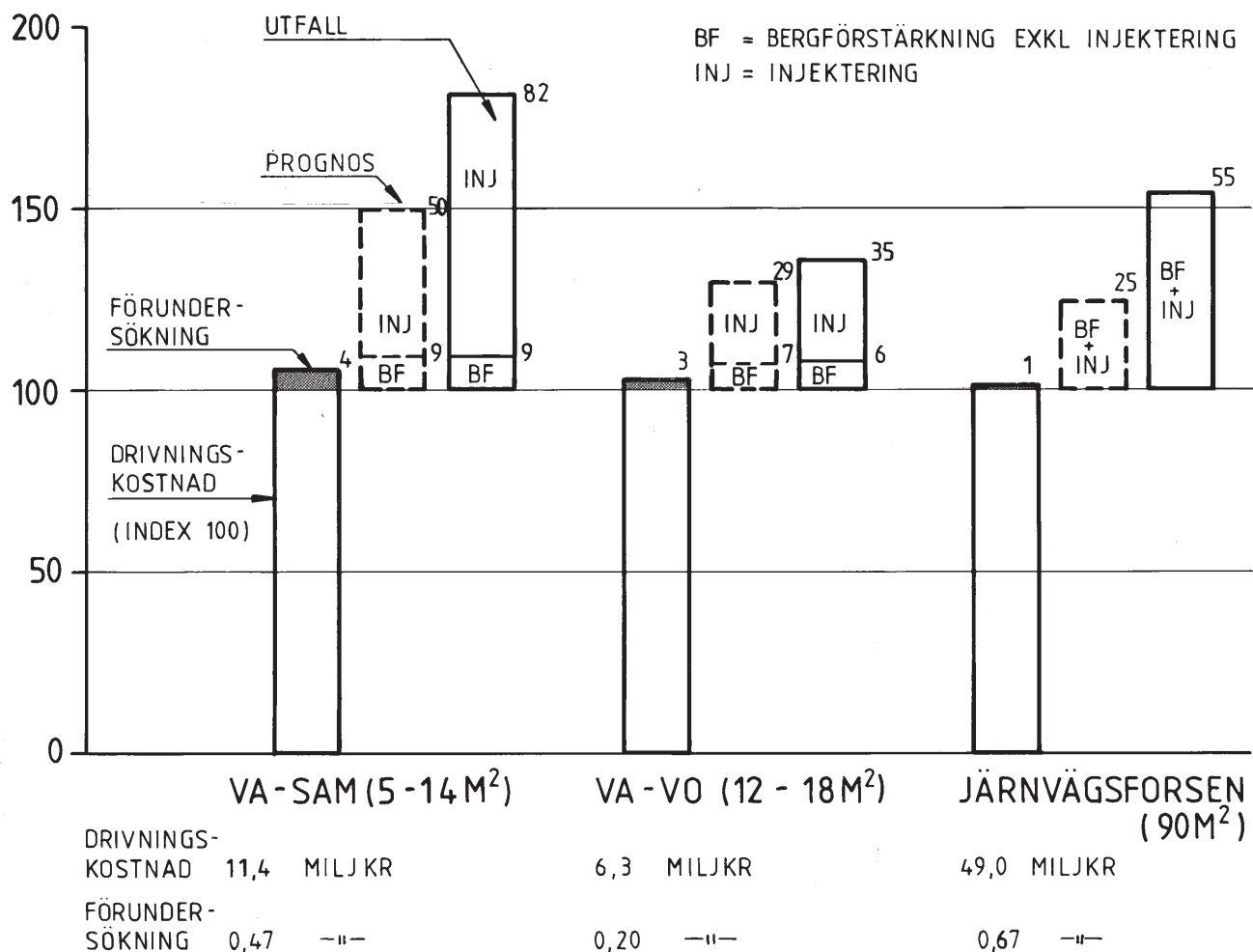
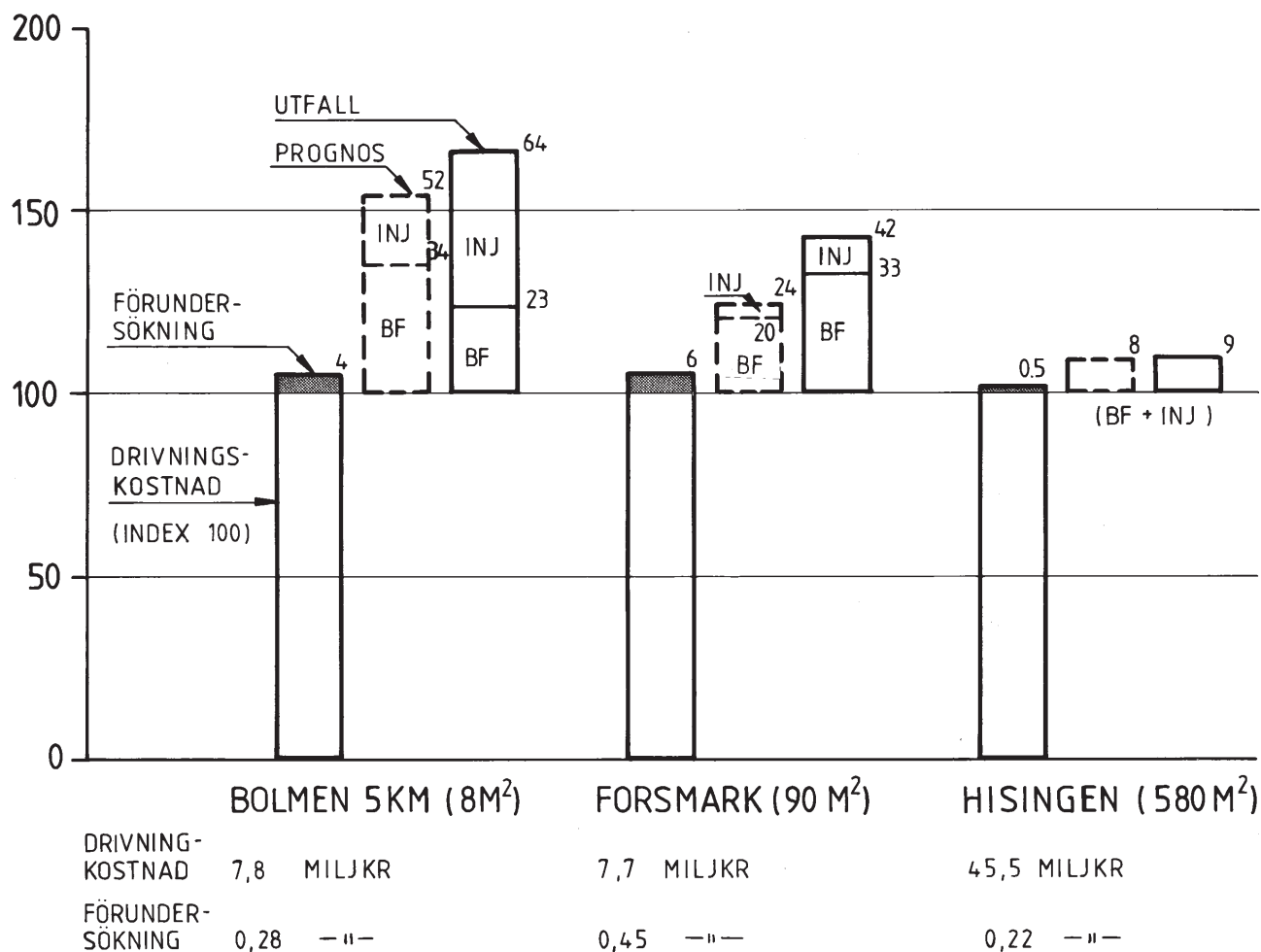
<u>Forsmark</u>	Blottningsgraden på 3 % möjliggjorde en mycket god prognos över bergartsfördelning och bergarternas tillstånd. Två olika homogenitetsenheter kunde därför utskiljas. Avvikelser berodde dels på en oväntad struktur, dels på vattenproblem i samband med lokal sprickighet, i båda fallen inom icke förutsagda zoner.
<u>Hisingen</u>	Den extremt höga blottningsgraden (> 90 %) är bakgrunden till den goda prognosen. Inga avvikelser av betydelse.
<u>VA-verket</u>	Blottningsgrad SAM 20 %, VO 67 %. Vissa blottade hållar samt det faktum att topografin ger goda upplysningar om strukturer har lett till en god prognos vad omfattningen av svaghetszoner beträffar. Avvikelser har orsakats av att vattenföring och därmed injekteringsbehov varit svåra att förutse (SAM).
<u>Järnvägsforsen</u>	Bristen på hållar (blottningsgrad < 1 %) har lett till stora avvikelser såväl beträffande bergartsfördelning som bergarternas tillstånd, främst i fråga om diabas. Anledningen är främst berggrundens inhomogena uppbyggnad.

5.22 Utfall av förstärkningskostnader

Överensstämmelsen mellan utfall och prognoserade kostnader för bergförstärkning och injektering åskådliggörs i figur 5.22.1. Som bas för jämförelsen har, delvis av praktiska skäl, respektive objekts drivningskostnad använts ("index 100"). Genom den grafiska framställningen är det emellertid lätt att göra flera andra jämförelser direkt ur samma figur.

Figur 5.22.1

Kostnadsutfall för de studerade anläggningarna (jfr resp. uppföljning i kapitel 4).



Ur denna sammanställning framgår tre anmärkningsvärda förhållanden:

- Kostnadsrelationen: förstärkning - driftskostnader.
- Injekteringskostnadernas stora andel av den totala förstärkningen.
- Varierande prognosavvikelser.

Vad gäller den första punkten visar de olika objekten följande karaktäristika (objekten ordnade efter tvärsnittsarea):

Objekt	Area m ²	Förstärkn. kostn. (i % av drivn. kostn.)	Injekt.kostn. (i % av drivn. kostnader)	Först- o. inj.- kostnader (i % av drivn.kostn.)
Hisingen	580 (125 ¹⁾)	8,5 (33 ¹⁾)	0,5	9
Järnvägsforsen	90	54,5	0,5	55
Forsmark	80	33	9	42
VA - VO	12(18)	5,9	29	35
Bolmen (5 km)	8	23	41	64
VA - SAM	5(8,14)	9,4	73	82

1) Endast takgalleri

De olika objekten kan inordnas i tre grupper med olika totalförstärknings- och injekteringskostnad i relation till drivningen:

- < 10 %
- 30 - 50 %
- > 50 %

Vidare visar de tre tunnlarna med liten area lägre förstärknings- än injekteringskostnader i relation till drivningskostnaderna. De båda större tunnlarna visar hög förstärknings- men låg injekteringsandel, medan den största (Hisingen) visar en mycket låg förstärkningskostnadsandel om man ser till hela bergrummet. Dessa förhållanden är givetvis även beroende av att olika täthetskrav gällt för de olika objekten. Om man i fallet Hisingen enbart räknar takgalleriet (125 m²), vilket syns motiverat då huvudförstärkningen faller på takavsnittet, kan förstärkningskostnaderna beräknas till 3,3 milj kr och drivningskostnaderna till 9,8 milj kr. Kostnadsrelationen skulle därmed bli 33 %,

vilket väl sammanfaller med Forsmark. En sådan förstärkningskostnad svarar dock ej mot konstaterad bra bergkvalitet, varför förstärkningen till en del torde ha psykologisk karaktär.

Järnvägsforsens betydligt högre kostnader förorsakades av delvis mycket dåliga bergförhållanden.

Där tätning varit påkallad (i vissa fall generellt föreskriven) utgör injekteringskostnaderna en stor andel av drivningskostnaden.

Slutsatsen ligger nära till hands att beakta kostnadsrelationerna i prognosen, där förstärknings- och injekteringsåtgärderna bör jämföras med driftskostnaden. Därmed accentueras zonklassernas dimensionsberoende och erhålls en direkt förankring av zonklassificeringen i kostnadsbilden.

Den tredje punkten gäller prognosavvikelseernas storlek, som varierar mycket i båda riktningar. Avvikelser i samband med tätningsarbeten är särskilt stora, utfall om mer än fyra gånger vad som prognoserats förekommer. Dessa iakttagelser understryker nödvändigheten av att injektering och övriga förstärkningar behandlas var för sig i prognossammanhang.

Förundersökningskostnaderna i procent av förstärkning (inklusive injektering) fördelar sig enligt följande:

	Prognos	Utfall
Järnvägsforsen	5,5 %	2,5 %
Hisingen	6,4 %	5,9 %
Bolmen	7,0 %	5,7 %
VA-SAM	8,4 %	5,0 %
VA-VO	11,0 %	9,2 %
Forsmark	23,7 %	13,9 %

De angivna värdena kan kommenteras på följande sätt:

Järnvägsforsen: Undersökningen lämnade inga upplysningar om
t ex diabasernas negativa inverkan på stabili-

teten. Omvandlade diabaser har ej förutsatts i förväntningsmodellen. Skulle man ha förväntat sådana, torde en magnetisk mätning kompletterad med något borrhål positivt kunnat inverka på en zonklassprognos. Sannolikt hade en mindre höjning av undersökningskostnaderna resulterat i en betydligt högre prognosnivå.

Vidare skulle djupseismik bättre ha registrerat bergets hastighetsfördelning på anläggningsdjupet. Djupgående vittring skulle därmed ha kunnat prognoseras.

Undersökningsinsatsen förefaller låg med tanke på berggrundens inhomogenitet.

Förväntningsmodell: Ofullständig.

Hisingen:

Exceptionellt utgångsläge, nästan hela bergytan är blottad. Även en lägre kostnadsinsats hade gett samma prognosnivå.

Förväntningsmodell: Fullständig.

Bolmen:

Vattenläckage gav en hög injekteringsinsats. Undersökningsinsatsen i fält med avseende på vatten har varit begränsad. Mer omfattande borrhning med pumpförsök skulle lika fullt knappast lett till en mera tillförlitlig prognos.

Förväntningsmodell: Ofullständig avseende vattnet.

VA-SAM:

Starkt förhöjd injektering.

Förväntningsmodell: Ej fullständig med avseende på vatten.

VA-VO:

Något förhöjd injekteringsinsats. Mindre stabilitetsproblem än förväntat trots längre förstärkt sträcka, totalt dock av liten omfattning.

Förväntningsmodell: Ej fullständig med avseende på vatten.

Beträffande VA-verkets två objekt noteras att förundersökningskostnaderna, relaterade till drivningskostnaden, varit ungefär lika stora, oberoende av de skillnader i berggrundsmiljö som de olika förstärkningsinsatserna tyder på.

Forsmark: Oväntade strukturer och vattenläckage, trots relativt höga förundersökningskostnader.

Förväntningsmodell: Fullständig, men strukturer som ej kunde förväntas nedsätter prognosen.

För att man skall nå en god överensstämmelse är uppenbarligen kostnadsinsatsen som sådan inte ensam avgörande. Resultatet påverkas av en serie faktorer såsom:

- o En realistisk förväntningsmodell.
- o Tolkningen av undersökningsmaterialet.
- o Att man beaktar sådana bergtekniska fenomen som påverkar kostnadsnivån.
- o Att bergklassfördelningen är inriktad på att spegla förstärkningskostnaderna.

En förutsättning för liten prognosavvikelse är inte nödvändigtvis höga undersökningskostnader utan en realistisk bedömning av bergets inhomogenitetsförhållanden och de förstärkningsåtgärder som beror på bergegenskaperna (en och samma parameter kan påverka olika kostnader!), vilket är likvärdigt med en realistisk förväntningsmodell.

Undersökningsinsatsen bestäms av

- o innehållet hos den tektoniska förväntningsmodellen
- o bergets inhomogenitetsgrad
- o önskad precision i kostnadsbedömningen.

5.23 Samband mellan bergklassificering vid förundersökning och zonklassindelning vid uppföljning

För varje objekt har i kapitel 4 upprättats en tabellsammanställning över bergklassificering och förstärkningsprognos i samband med förundersökningen samt utfall för zonklasser, förstärkning och förstärkningskostnader vid uppföljningen.

Tyvärr är det på grund av olika utgångsmaterial ej möjligt att jämföra de olika objekten direkt med varandra. Däremot kan varje objekt var för sig diskuteras.

Bolmen - (jfr även figur 4.24.3). Förundersökningen resulterade i en prognos för bergkvaliteten uppdelad på tre klasser huvudsakligen utgående från seismik och regionalgeologiska aspekter med tillordnade rekommendationer om förstärkningstyp. Klassificeringen beaktade ej eventuella injekteringsbehov.

Zonklassificeringen enligt BeFo 18:s femklassiga system visade att fyra klasser var representerade, där krossningsgraden, strukturorienteringen och vattentillrinningen var vägledande. Dessa parametrar bör alltså tillmätas stor betydelse vid klassning i samband med förundersökning.

Forsmark (jfr även figur 4.34.2). Bergklassificeringen i samband med förundersökningen baserades på W Larssons indelningsprincip, som bygger på antalet sprickor per meter borrhärna. Dessutom beaktades kärnförlust, förutsättning för vatteninläckning samt förekomst av lera och dess karaktär.

Varje bergklass koordinerades med en förstärkningstyp. Höga säkerhetskrav ställdes mot ras.

Zonklassificeringen enligt BeFo:s femklassiga system visade att tre klasser var representerade. Denna klassificering påverkades i hög grad av tillrinnande vattenmängd, antal sprickgrupper och deras rymdläge.

Hisingen (jfr även figur 4.44.5). Bergklassificeringen bygger på samma grund som för Forsmark. Däremot gavs ingen specifikation av förstärkningstyper.

Zonklassificeringen enligt BeFo:s system indikerade förekomst av tre olika klasser där vattentillrinning och lera är bestämmande faktorer.

VA-verket (jfr även figur 4.54.4 och 4.64.2). Bergkarakteriseringen utfördes enligt "BERGAB-systemet", där berggrunden indelas i "bra berg", "berg med sprickor" och krosszoner. Krosszonerna beskrivs efter grad och typ av krossning och leromvandling. Vattenföringen bedöms inom zonerna och inom "berg med sprickor", där hänsyn tas till krossningsgraden och lerzonernas storlek. Zonklassificeringen styrdes därutöver av vatteninläckningen och lerans karaktär.

Järnvägsforsen (jfr även figur 4.74.1). Ingen bergklassificering utfördes i samband med förundersökningen varför senare utförd zonklassificering är helt fristående.

Av sammanställningarna framgår att förundersökningarnas bergklassificering skiljer sig från zonklassificeringen. Antalet zonklasser varierar mellan tre och fem.

Dessutom är det helt uppenbart att samma klass inte alltid medför samma förstärkningskostnad, vilket ger ytterligare argument för att söka uppnå en god koppling av klass och kostnad.

Underlaget för zonklassificeringen är tillräckligt detaljrikt och innehåller de zonkritiska parametrar som erfordras för en kostnadsvärdering. Detta innebär att varje värderad parameter direkt konverteras till nödvändiga åtgärder och deras kostnad. Antalet klasser styrs av förväntade åtgärders kostnader.

Prognossvärigheter uppstår framförallt när det gäller bedömning av följande faktorer:

- o Vattenförande berg
- o Vattenläckagets storlek
- o Förekomsten av oväntade bergtekniskt betydelsefulla strukturer
- o Utsträckning och lägen av de bergtekniska zonerna.

I flera fall har de tre första faktorerna ej ingått i den uppställda tektoniska förväntningsmodellen. De två första hade kunnat indikeras genom pumpförsök i borrhål, om de ingått i förväntningsmodellen. Även geofysiska metoder (exempelvis motståndsmätning) kan användas. Den tredje förblir sannolikt oprog-noserad om den har karaktär av slumpvist uppträdande struktur, som ingen förväntningsmodell kan förutse.

Den fjärde faktorn styrs av karaktärförändringar såsom stryk-nings-, stupnings- och mäktighetsvariationer, vilka måste re-gistreras i flera punkter för att man skall kunna utläsa en tendens. Särskilt osäker är en extrapolation mot djupet.

5.24 Prognosers säkerhet - allmänt

I analysen av de olika objektens förundersökningar, prognoser och utfall framgår att det inte gått att finna något generellt samband mellan förundersökningsinsats, drivningskostnad, förstärknings- och injekteringskostnad utan hänsynstagande till den geologisk-bergtekniska bakgrunden och anläggningens djup.

Det är därför svårt att med hjälp av enkla regler kunna avgöra om en utförd förundersökning har lämplig omfattning med hänsyn till det aktuella objektets speciella förutsättningar.

Man ställer sig naturligtvis frågan hur säkra de förutsägelser är som gjorts i en levererad prognos. Svaret kommer ofta att innehålla formuleringar av typen att på den och den punkten finns vissa osäkerheter men i det stora hela kan man lita på prognosen. Innebörden i ett sådant uttalande är givetvis mycket diffus och det finns från exempelvis beställarhåll ett starkt behov av tydligare uttryckssätt.

En beställare med högt ställda krav skulle vara betjänt av att få veta hur säkra de prognoserade kostnaderna är. En typisk fråga är alltså: "Hur tillförlitliga är uppgifterna om omfattning - och därmed kostnaderna - för förutsagda förstärkningsåtgärder?"

Inom forskargruppen har föreslagits att man anger en prognosnivå, där tillförlitligheten beskrivs, uttrycks och associeras med avvikelseintervaller enligt följande:

Prognosnivå	Avvikelseintervall (utfall i procent av prognos)	
Säker	(1)	90 - 120 %
Sannolik	(2)	70 - 150 %
Osäker	(3)	50 - 200 %
Mycket osäker	(4)	< 50 el > 200 %

Den "osymmetriska formen" hos spridningsintervallen motiveras av att avvikelser i riktning mot sämre förhållanden än väntat torde vara vanligare än omvänt.

Med höga krav på matematisk pregnans skulle man behöva definiera respektive spridningsintervall såsom "det intervall inom vilket utfallet, med en viss angiven sannolikhet, kommer att falla". Enkelt exemplifierat: Chansen är t ex 85 % att avvikelsen ligger inom 90-120 % vid en "säker prognos". En så hög ambition finns emellertid knappast skäl att ha, eftersom en uppföljning av ett från statistisk synpunkt tillräckligt stort antal objekt aldrig torde komma att utföras. Vi har därför inom gruppen valt en mer allmänt hållen definition där prognosnivån skall ses som en bedömning av förväntad grad av överensstämmelse.

En ofullständig förväntningsmodell kan leda till en alltför summarisk eller missvisande prognos. I ett sådant fall kan prognosmakaren anses ansvarig för eventuell stor avvikelse i det verkliga utfallet. Fås däremot ett dåligt utfall p g a slumpvist uppträdande, "icke förväntade" fenomen, kan aldrig den prognosansvarige lastas för detta.

Ett ytterligare problem vid användning av olika prognosnivåer av typ procentangivelser illustreras av följande exempel: Antag att en förutsagd förstärkningsklass utgör 70 % av samtliga förstärkningsklasser. Med en "säker prognos" avses då ett utfall inom det

avrundade intervallet 65 - 85 %. Med femdelbara procenttal för en prognoserad förstärkningsklassandel skulle således 65, 70, 75, 80 och 85 % ge samma prognosnivå. Prognoseras däremot endast 5 % för en klass skulle ett utfall om 10 % utgöra en avvikelse på 100 %. Ändå utgör höjningen till 10 % endast en "ett stegs" höjning! Det är således mycket svårt att precisera små klassandelar i prognosen. Dessutom är det vanligt att andelen dåligt berg är låg inom ett anläggningsområde.

Det kan alltså diskuteras om det inte vore mer meningsfullt att ange den faktiska förstärkningskostnaden, om möjligt ställd i relation till drivningskostnaden, i stället för avvikelserna i form av procentandelar av en förutsagd förstärkning.

Det kommer uppenbarligen att medföra stora svårigheter att på ett riktigt sätt tolka och dra slutsatser utifrån en enda ("total") prognosnivå som angivits i ett utlåtande. Bedömningar och nivåangivelser bör därför göras och redovisas i form av delprognoser för varje enskild bergteknisk parameter, där man tydligt redogör för vilken eller vilka parametrar prognosen avser, varefter någon form av sammanvägning kan bli aktuell.

För att underlätta användningen av begreppet prognosnivå och för att göra jämförelser mellan olika objekt meningsfulla, har dessutom ett sätt att värdera prognosers säkerhet föreslagits. Metoden grundar sig på att man systematiskt redovisar de olika ingående undersökningarnas räckvidd, d v s hur långt informationen från exempelvis ett borrhål rimligen kan extrapoleras. Informationen är representativ endast för ett visst avgränsat område. Ställs summan av sådana områden i relation till hela undersökningsområdet erhålls ett uttryck, som kan betecknas som undersökningens täckningsgrad. Denna ger i sin tur en vägledning för bedömningen av prognosens tillförlitlighet eller säkerhet. Den föreslagna metoden presenteras i detalj i kapitel 6, där den också utvärderas genom tillämpning på de uppföljda objekten.

5.25 Värdering av prognosutfall för de studerade anläggningarna

Uppdelas prognosutfallet på så sätt att förstärkning och injektering betraktas var för sig erhålls för de enskilda objekten följande prognosnivåer:

Objekt	Prognosnivå			
	Säker 90-120 %	Sannolik 70-150 %	Osäker 50-200 %	Mycket osäker <50 el >200 %
	1	2	3	4
Bolmen	BL		F	I
Forsmark	BL		F	I
Hisingen	BLF			
VA-SAM	BLF		I	
VA-VO	BL	FI		
Järnvägsforsen	BL			F

B-bergartsfördelning i %, L-bergläge, F-förstärkningskostnad, I-injekteringskostnad

Tabell 5.25.1

Man kan konstatera att med undantag av Hisingen och VA-SAM avvikelser föreligger vad förstärkningsinsatsen beträffar, som dock är större vad gäller injekteringen. Däremot har i samtliga fall bergartsfördelningen och bergläget prognoserats med säkerhet.

Den fortsatta analysen bör inriktas på orsaken till varför förstärkningsutfallet starkt avviker från prognosen. Vattnet bör behandlas för sig.

I den tidigare diskussionen har vissa orsaker till avvikelser framkommit. Nedan görs ett försök att tolka dessa från bergteknisk synpunkt:

Bolmen	Seismiskt indikerade störningar avtar mot djupet, påverkar således i mindre utsträckning djupbelägna småtunnlar.
Forsmark	Seismiskt ej indikerbara flacka störningar som för övrigt inte förutsågs i förväntningsmodellen.

Hisingen -

VA-SAM -

VA-V0 -

Järnvägsforsen Djupgående vittring, omvandlad diabas, båda ej förutsedda i förväntningsmodellen.

Tolkningen hade underlättats betydligt om prognosen hade varit direkt anknuten till en kostnads kalkyl för förstärkningsåtgärder-na. Har geolog och ingenjör varit "på samma våglängd"?

Man kan då också fråga sig vad förundersökningsinsatsens storlek betyder. Objekten kan indelas i två grupper:

Förundersökn.kostn./prognoserad förstärknings- och injektionskostnad			
< 10 %		> 10 %	
nivå ¹⁾		nivå ¹⁾	
Järnvägsforsen	4	VA-V0	2
Hisingen	1	Forsmark	3
VA-SAM	1		
Bolmen	3		

Tabell 5.25.2

Tabellen ger ingen antydning om att en större förundersökningsinsats skulle ge ett bättre resultat.

Vid exempelvis Järnvägsforsen indikerar en kvantitativ analys av både seismik och kärnbörning en bättre anpassning till utfallet, vilket tycks visa en öppning för bättre prognoser.

1) Jfr tabell 5.25.1

Avgörande måste dock vara att kostnadsinsatsen relateras till anläggningssområdets inhomogenitet, särskilt vad strukturell uppbyggnad och sammanhängande materialegenskaper beträffar.

Det sistnämnda förefaller avgörande för förstärkningsinsatsen. Här har antingen förundersökningsresultaten tolkats så att strukturerna och materialegenskaperna har mindre betydelse från förstärkningssynpunkt eller har erforderlig förstärkningsintensitet underskattats.

En viktig faktor representerar eventuella av förundersökningen orsakade ändringar av planlösningen, t ex sänkning av tunnelnivån med minskad förstärkningsinsats som följd. Under sådana omständigheter erhålls en missvisande ogynnsam kostnadsrelation då vi i projektet inte har kunnat värdera denna typ av vinster.

Vattenprognosen har slagit fel eller varit ofullständig i nära nog samtliga fall. Detta kan stå i samband med vad som diskuterats ovan och indikerar att åtminstone delvis en alltför optimistisk strukturbedömning skulle kunna vara orsak till avvikelser i förstärkningsprognosen. Spricksystemen har varit mer öppna än väntat. Detta blir kännbart särskilt vid närvaro av vatten, som nedsätter hållfasthet och friktionsegenskaper hos de enskilda sprickorna, främst sådana som har glimmer- eller lerbeläggning. Här skulle ett modifierat klassificeringssystem kunnat leda till en bättre bedömning av bergtekniska konsekvenser. En skiss till ett sådant system illustreras i tabell 5.25.3. Man har i detta exempel utgått från att rinnande vatten skulle jämka bergkvaliteten med två bergklasser.

Tyvärr kan man ej helt utesluta överförstärkningar, dels i form av "psykologisk förstärkning", dels som fortsatt obehövlig förstärkning efter passage av avsnitt med nedsatt stabilitet. I båda fallen torde dock merkostnaderna utgöra mindre än 10 % av drivningskostnaderna.

Klass 1	2	3	4	5
Sprickfattigt Z(RQD) 70-100 < 2 sprickgrupper	D:o med vatten W ₁ (fukt)			
	Sprickrikt Z(RQD) 40-70 3 sprickgrupper	D:o med vatten W ₂ (dropp)	D:o med vatten W ₃ (rinnande)	
		Krossat lerigt Z(RQD) 0-40 > 3 sprick- grupper	D:o med vatten W ₂ (dropp)	D:o med vatten W ₃ (rinnande)

Tabell 5.25.3

Det är svårt att i en efterkalkyl värdera utfall av ursprungligen icke preciserade prognoser. Några av svårigheterna belyses genom följande diskussion av alternativa tolkningar.

- Bolmen - Om man antar att injekteringen delvis verkar som förstärkning genom att berget stabiliseras reduceras avvikelserna. Förstärkningskostnaden hade blivit större. Om detta hade motsvarat ett lager sprutbetong hade kostnaderna höjts med ca 10 % av drivningskostnaden. Prognosnivån skulle ha varit säker vad direkt bergförstärkning beträffar.
- Forsmark - Exkluderas de icke förväntade, slumpvist uppträdande svårigheterna, hade prognosnivån blivit sannolik.
- Hisingen - Oförändrad
- VA-SAM - Oförändrad

VA-V0 - Eventuellt kan injekteringen ha bidragit till reduktion av den prognoserade förstärkningskostnaden.

Järnvägsforsen- Om man frånräknar en antagen "psykologisk" förstärkning om ett lager sprutbetong över en takyta på 15 m^2 per tunnelmeter skulle avvikelser i fråga om förstärkningskostnaden reduceras till 84 %, motsvarande en osäker prognosnivå.

Med ovanstående betraktelsesätt skulle prognosnivån i fyra fall kunna anses som säker (Bolmen, Hisingen, VA-SAM, VA-V0), ett fall sannolik (Forsmark) och endast Järnvägsforsen skulle ha inneburit en osäker prognos.

För den fortsatta diskussionen förefaller följande frågor vara av betydelse:

- Vilken undre gräns finns för att förstärkningsarbeten skall kunna betraktas som prognoserbara (10 % av drivningskostnaden)?
- Bör förstärkningskostnaden eller dess andel av drivningskostnaden prognoseras?

Forskargruppen tolkar resultaten på så sätt att

- förstärkningskostnader som uppgår till mindre än 5 eller 10 % av drivningskostnaden bör särskiljas i prognosen
- för en enhetlig jämförelse mellan prognos och utfall är det lämpligt att använda fiktiva kostnader på liknande sätt som gjorts i avsnitt 4.17.

5.3 Sammanfattande slutsatser

Objektuppföljningen visar att de sammanlagda förstärknings- och injekteringskostnaderna vid förekomst av dåligt berg och vatten kan överskrida drivningskostnaderna med mer än 100 %.

Förundersökningarnas värde ligger främst i möjligheten att man antingen med tillräcklig noggrannhet kan förutsäga förväntade förstärkningskostnader eller reducera sådana genom eventuellt möjliga projektändringar. Förundersökningarnas omfattning styrs främst av den i initialprognosen förväntade stabilitetssituationen.

En förutsättning för att man skall kunna göra en kvantitativ förutsägelse av omfattning och typ av förstärkningar är att man gör en analys av de bergtekniskt viktiga parametrar, som möjliggör en objektanpassad zonklassificering av berget. En beräkning av zonernas andel inom anläggningsområdet är bestämmande för kostnadsbilden och viktigare än en exakt lägesbestämning. För att man skall få en med de faktiska förhållandena överensstämmande och därmed ändamålsenlig zonklassificering krävs en realistisk förväntningsmodell som underlag för undersökningen, där alla parametrar kan värderas och vägas mot varandra.

På basis av zonklassfördelningen och förväntade förstärkningsorsaker upprättas en förstärkningsprognos med en från början önskad eller senare modifierad prognosnivå.

Avgörande faktorer för om man skall kunna nå detta mål är en till objektet anpassad undersökningsmängd, undersökningens räckvidd, täckningsgrad och informationsnivå. Detta måste vara kärnan i en systematiskt uppbyggd och redovisad undersöknings- och prognosmodell, där varje prognosparameter värderas för sig.

Vissa förstärkningsorsaker är svåra att förutsäga. Svårast av alla synes förekomst av vatten vara och dess eventuella inverkan på bergstabiliteten. Prognosnivån för enskilda förstärkningsåtgärder kan således variera.

Förundersökningarnas omfattning styrs alltså dels av förutsägel-sens svårighetsgrad, dels av den önskade prognosnivån för varje enskild parameter men främst av bergets homogenitetsförhållanden.

Minimiomfattningen av en förundersökning inom homogena respektive heterogena områden måste variera oberoende av den vidare mål-sättningen.

Förundersökningarnas värde påverkas i mycket hög grad av icke förväntade geologiska fenomen, som ej förutsetts i förväntningsmodellen och som därför ej kunnat infångas av undersökningsmodellen. Högsta möjliga krav måste därför ställas på förväntningsmodellens verklighetsförankring och den därtill anpassade undersökningsmodellen.

Slumpvisa strukturer kan inte ingå i förväntningsmodellen och påverkar således inte värdet av en undersökning även om prognosnivån genom en därigenom ej förväntad avvikelse reduceras.

Vidare har framkommit att en differentierad prognos för enskilda parametrar eller olika förstärkningsåtgärder är att föredra framför en summarisk prognos.

Följande punkter tycks väsentliga för ett bättre prognosutfall:

1. En systematiskt genomförd ingenjörgeologisk arbetsmodell, baserad på en stringent bergteknisk frågeställning och en tektoniskt, bergtekniskt realistisk förväntningsmodell.
2. En undersökningskvantitet som är anpassad till områdets homogenitet, förväntade svårigheter och önskad prognosnivå. Erhållna data skall visa den kvantitativa spridningen hos respektive parameter vilket inte kan ersättas av enstaka värden eller genom redovisning endast av största och minsta värden.
3. Tillämpning av en zonklassificering som styrs av den förväntade förstärkningens kostnader.
4. En precisering av prognosnivån för varje enskild prognoserad parameter eller kostnad.

5. Ett gott samspel mellan ingenjörgeolog och projektansvarig tekniker. Därmed undviks onödiga undersökningar eller för projektet icke relevanta frågeställningar och möjliggörs en löpande anpassning av undersökningsmetodiken och resultatet till eventuella planändringar eller metodändringar, t ex övergång från sprängning till fullortsborrning.
6. En löpande uppföljning och dokumentation av bergtekniska förhållanden under byggtiden samt en prognoskontroll (utfall kontra prognos).

KAPITEL 6

SYSTEM FÖR REDOVISNING AV FÖRUNDERSTÖKNINGARS RÄCKVIDD OCH TÄCKNING

6.1 Systemets uppbyggnad

6.11 Introduktion

I tolkningen av en förundersökning ligger alltid ett visst mått av statistisk bearbetning, då man utifrån en viss begränsad "direkt information" från vissa punkter eller avsnitt vill uttala sig om hela undersökningsområdet. Värderingen kan ibland göras intuitivt och med gott resultat av en erfaren ingenjörgeolog med utgångspunkt i den "tektoniska förväntningsmodellen".

För objektiva jämförelser och för att bedöma "prognosens värde" eller chansen för att prognosen ska slå in med rimlig säkerhet, skulle det emellertid vara till stor hjälp om man kunde redovisa hur täckande underlag man haft för tolkningen. Detta skulle bl a ha stort värde då man inför uppdragsgivaren skall motivera sin prognos (eller motivera kompletterande undersökningar då man ansett underlaget för begränsat för önskad säkerhet hos prognosen!).

Som nämnts i 5.23 har arbetsgruppen byggt upp ett system, som är ett försök att på ett åskådligt sätt visa hur stor del av ett undersökningsområde som täcks av olika undersökningsmoment. I det följande introduceras och beskrivs systemet i korta drag och prövas därefter på de uppföljda objekten.

6.12 Grundbegrepp

Om man exempelvis borrar ett kärnborrhål, får man en tämligen objektiv och exakt information längs själva borrhålet, främst genom granskning av den upptagna borrhållskärnan, men även genom andra observationer, som kan erhållas från vattenförlustmätningar, TV-granskning av borrhållsväggen, seismisk undersökning längs borrhålet o s v. Alla dessa observationer lider emellertid av begränsningen att de strikt ger informa-

tion endast om förhållanden längs med det borrhålet i bergmassan. Detta begränsade område kallas här observationsområde (def. se ordlistan).

Avsikten med borrhålet är naturligtvis ändå att man skall kunna tillämpa informationen från det begränsade "observationsområdet" även på den omkringliggande bergmassan. Vi har därför föreslagit att man redovisar en viss räckvidd för den information, som i det nämnda exemplet erhållits i direkt anslutning till själva borrhålet. Begreppet tillämpningsområde har vi sålunda definierat som "Det område till vilket erhållna resultat på geologiska grunder, under förutsättning av kända strukturförhållanden, kan extrapoleras". Här bör anmärkas att ordet område inte används enbart som ytbegrepp utan även kan avse en rymd eller volym i bergmassan.

Vid i huvudsak plana strukturer med kända lutningar kan man geometriskt relativt enkelt åskådliggöra tillämpningsområdets utsträckning. Se vidare under 6.2.

Definitionen ovan är principiell och måste tillämpas med omsorg. Vissa ansatser till regler för extrapoleringen har gjorts. I fallet kärnborrhål har exempelvis angivits att utsträckningen ("tillämpningen") i sidled bör anses begränsad till 50 m i vardera riktningen vid normalt homogena förhållanden.

Självfallet är värdet 50 m en bedömning som från fall till fall måste modifieras. Exempelvis kan i ett skiktat berg med ett enhetligt lagersystem tillämpningsområdet vara avsevärt större. Detta måste alltså anges och motiveras från fall till fall. En fullständig redovisning är en central del i systemet.

Kärnborrning är en kostnadsintensiv undersökningsmetod, vilket betyder att man ofta måste begränsa antalet hål per undersökningsenhet. Det betyder i sin tur att även tillämpningsområden, enligt definitionen ovan, som regel endast täcker en begränsad del av undersökningsområdet. För övriga delar av området måste man göra mer eller mindre välgrundade gissningar eller spekulationer, vilket ger oss beteckningen spekulationsområde. Som ett mått på hur stor del av undersökningsområdet, som täcks av den utförda undersökningen, t ex ett antal kärnborrhål, före-

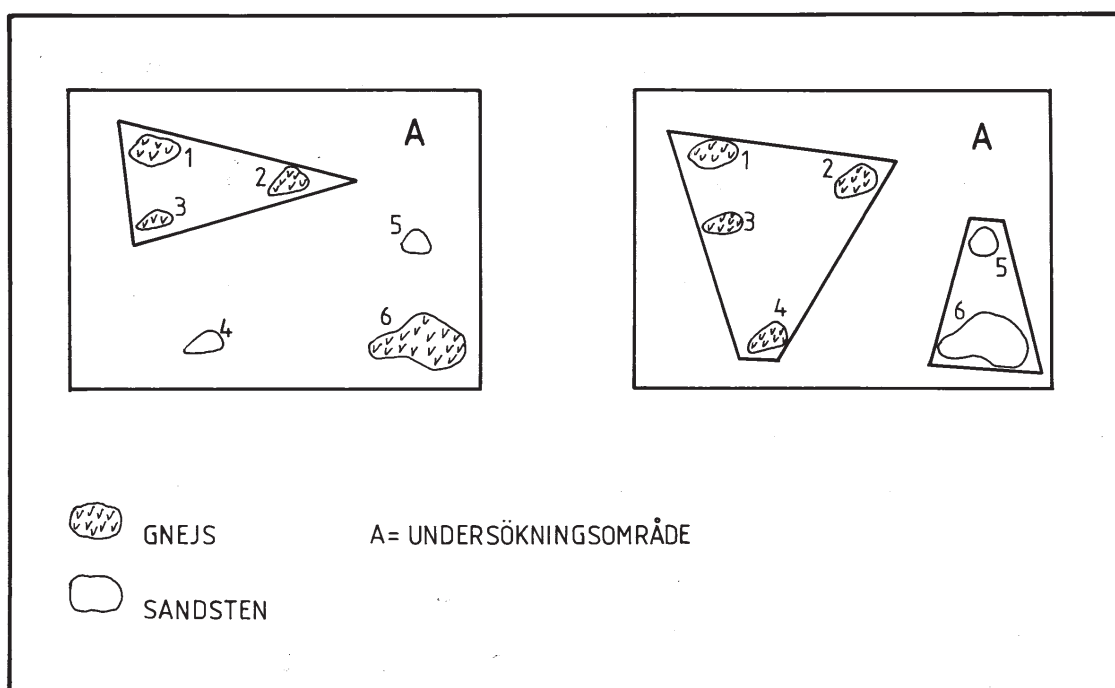
slås begreppet täckningsgrad. Detta är i princip ett rent geometriskt begrepp och anger förhållandet mellan sammanlagda tillämpningsområden och hela undersökningsområdet. Täckningsgraden är alltså avsedd att ge ett objektivet mått på hur tät undersökningen varit. En vidare bearbetning diskuteras senare i detta kapitel, där betydelsen av informationen, informationstyngden, för olika metoder värderas och sammanvägs med täckningsgraden för att slutligen ge ett mått på undersökningens informationsnivå.

Man skönjer omedelbart problem när det gäller att i praktiken göra den föreslagna beräkningen av täckningsgrader och informationsnivåer. I följande avsnitt behandlas dels enkla principer för att underlätta sådana beräkningar, dels kommenteras faktorer som försvårar användningen av systemet.

6.2 Systemets tillämpning i samband med olika undersökningsmetoder

6.21 Hällkartering

I samband med ytkartering utgör en enstaka blottad häll ett observationsområde. För bedömning av tillämpningsområdets storlek med hänsyn till räckvidd i sidled föreslås att intilliggande hållar av samma bergartstyp "inskrives" i en "geometriskt enkel figur", vilken utgör tillämpningsområdet, se figur 6.21.1. Vad som skall betraktas som "intilliggande hållar" blir alltid en fråga om personlig bedömning. Kännedomen om den regionala geologin blir avgörande för hur stora interpolationsavstånd man vågar utnyttja.



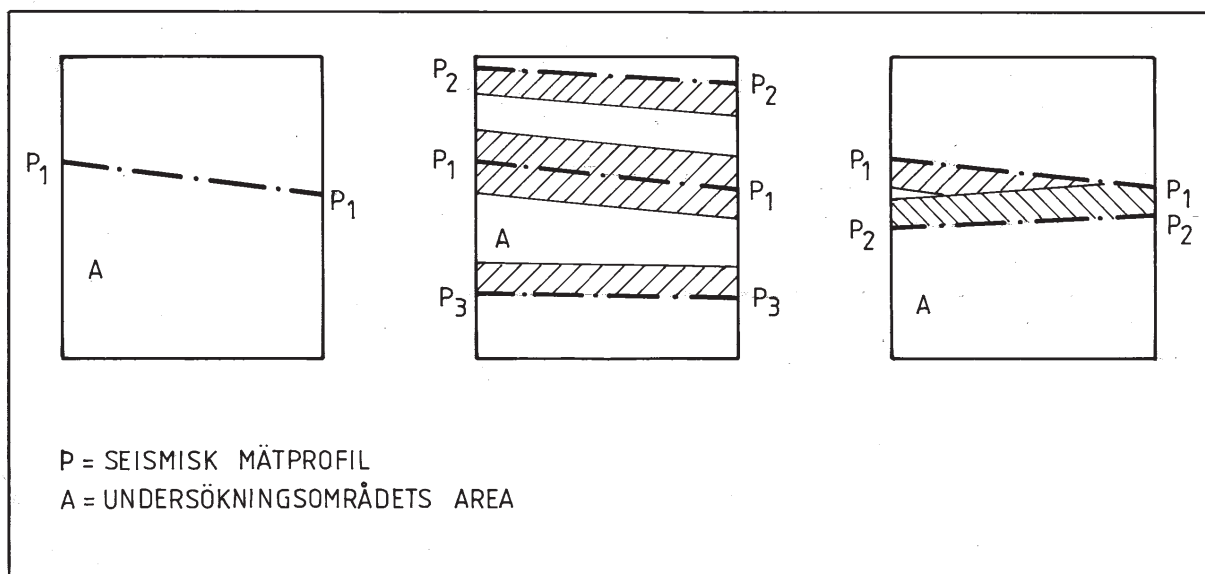
Figur 6.21.1

Exempel på tillämpningsområden och täckningsgrader vid hällkartering. I det vänstra exemplet utgör triangeln 1-2-3 samt ytan av hållarna 4,5 och 6 tillämpningsområdet, varför täckningsgraden blir ca 15 %.

I det högra exemplet kan även häll 4 sammanföras med 1-2-3 och 5 med 6, varför täckningsgraden blir ca 30 %.

6.22 Geofysiska mätningar

Som exempel anges i figur 6.22.1 ett förslag till hur tillämpningsområden kan byggas upp utifrån seismiska mätningar.



Figur 6.22.1

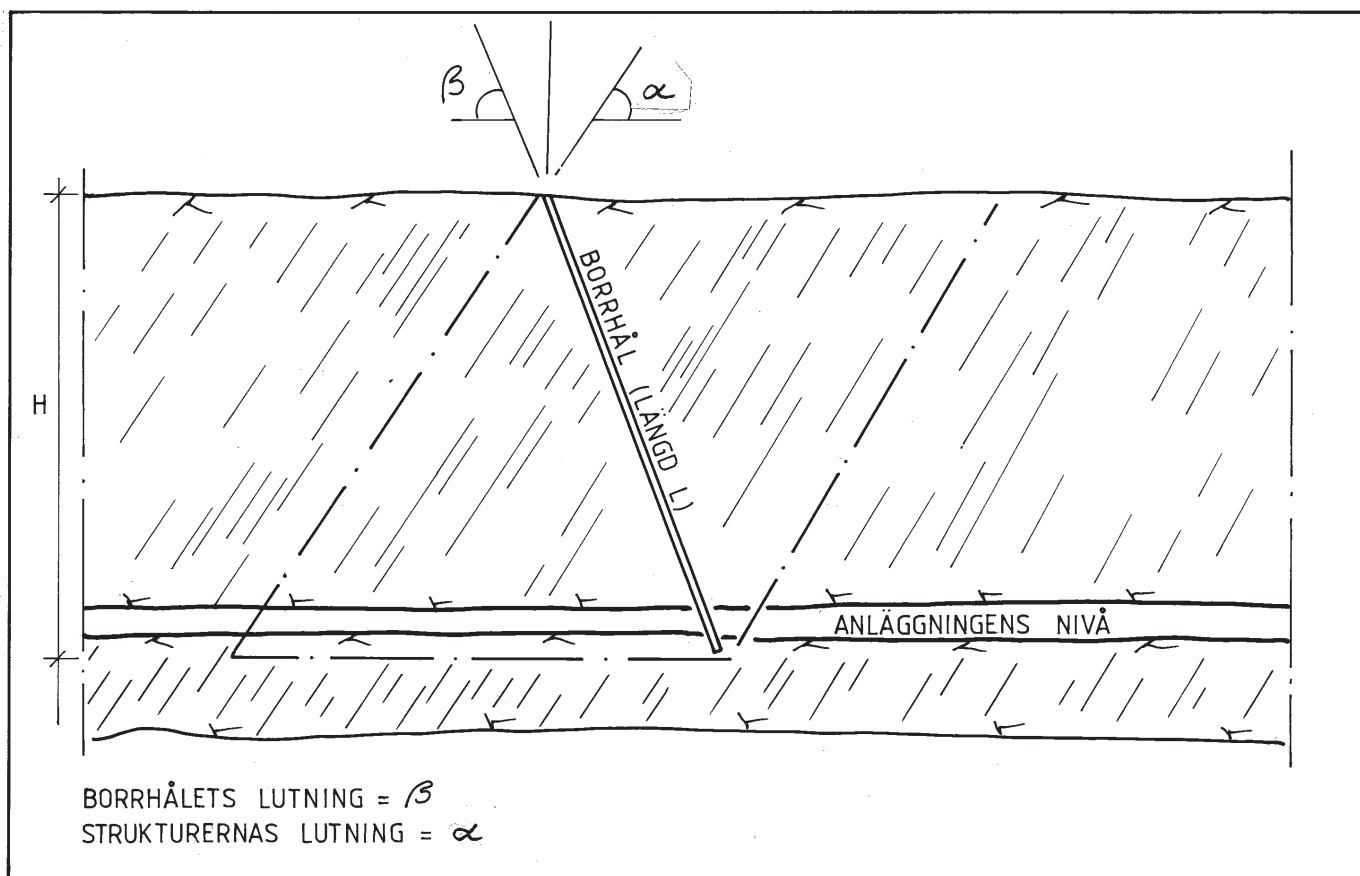
Seismiska profiler

- a) Endast en profil, ingen täckning i sidled ger tillämpningsområde (T0) och täckningsgrad (TG) noll.
- b) Täckning i sidled 50 m mot intilliggande profil ger

$$T0 = P_1 \times 100 + P_2 \times 50 + P_3 \times 50; TG = \frac{T0}{A} \approx 50 \%$$
- c) Överlapp ger $T0 \approx P_2 \times 50 + 0,5 P_1 \times 50; TG \approx 18 \%$.

6.23 Kärnbörning

I introduktionen i avsnitt 6.1 har kärnbörning använts som exempel. Figur 6.23.1 illustrerar föreslagen beräkningsmodell.



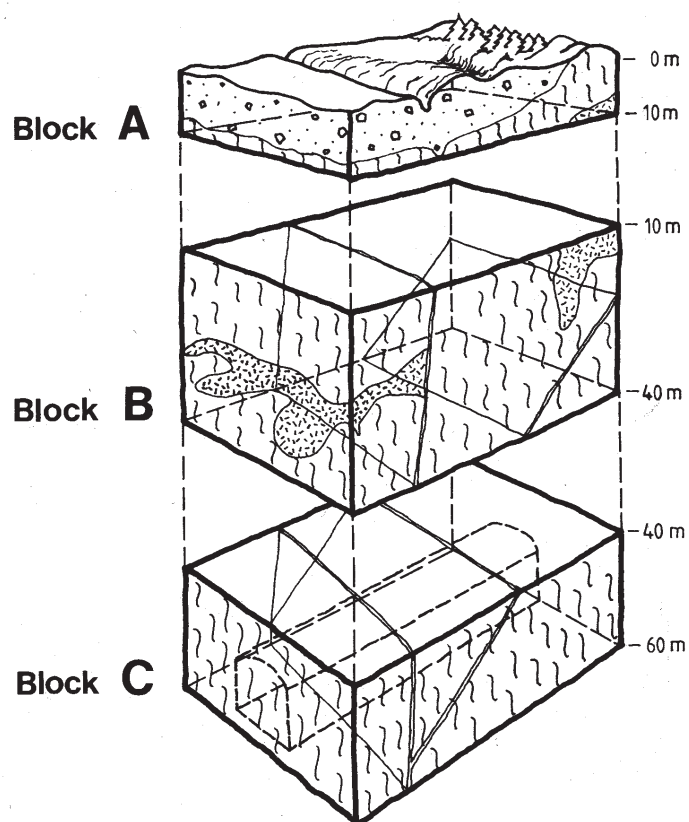
Figur 6.23.1

Kärnbörning vid lutande strukturer

$T_0 = \text{Tillämpningsområde} = \{H \tan(90 - \alpha) + H \tan(90 - \beta)\} \cdot H \cdot D$
 där D är den sidoräckvidd som anses motiverad.

6.24 Räckvidd i djupled

För att underlätta bedömningen av olika undersökningars räckvidd i djupled har en särskild "blockmodell" ställts upp. Man delar in den aktuella bergmassan i ett ytligt beläget block, ett mellanliggande och ett block på djupet, som innefattar själva anläggningen, se figur 6.24.1. För olika undersökningsmetoder kan man sedan ange till vilket eller vilka block observerade mätvärden normalt kan extrapoleras. I tabell 6.24.2 har med några exempel i mycket grova drag angivits hur viss information kan anses giltig endast i ytblocket, medan andra resultat med stor sannolikhet kan antas gälla även på anläggningsnivån.



Figur 6.24.1

Blockmodell enligt "BeFo 18"

Metod	Ytblock A	Mellanblock B	Djupblock C
<u>Geologisk kartering</u>			
Bergart	••••	••	•
Struktur	••••	•	
Vatten			
<u>Ytseismik</u>			
Bergyta	••••		
Grundvattenyta	••	•	
Svaghetszoner	••	•	
<u>Borrning</u>	••• till borrarad nivå		

Tabell 6.24.2

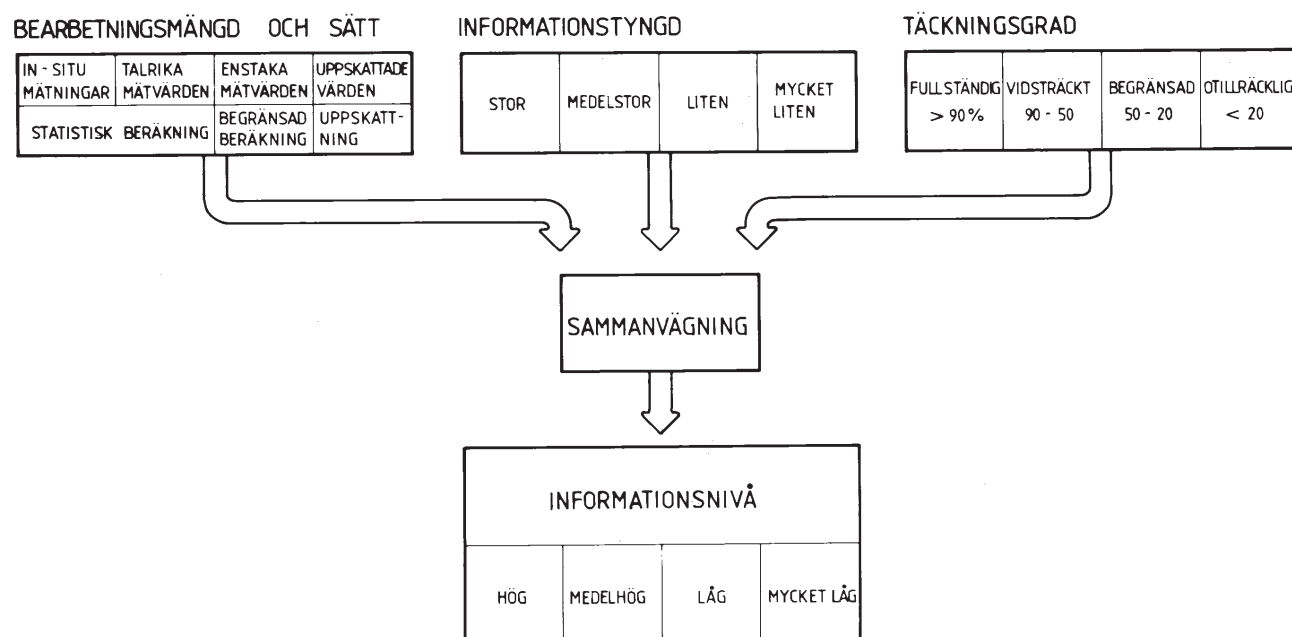
Räckvidd i djupled, se texten

6.25 Undersökningens informationsnivå

De föreslagna metoderna att beräkna täckningsgrader för olika undersökningar utgår från mycket enkla fall, som lätt låter sig beskrivas i geometrisk form. I praktiken krävs givetvis åtskilligt av subjektiva bedömningar för att en hel förundersökning skall kunna inordnas i systemet. Olika tillämpningsområden kommer exempelvis att överlappa varandra vilket försvårar beräkningen av täckningsgrader. Information från olika metoder kan också sägas ha olika stor tyngd, dels beroende på metoderna som sådana och dels som ett resultat av olika ingående bearbetning av de data som erhållits. Räckvidd i djupled är ytterligare exempel på en svårbedömd faktor.

För varje undersökningssteg, metod och parameter eller parametergrupp bestämmes alltså tillämpningsområden vilka summeras för att ge täckningsgrader. Dessa sammanvägs med respektive methods informationstyngd och sättet att bearbeta erhållna data för varje enskild parameter för att slutligen resultera i en informationsnivå vilket schematiskt illustreras i figur 6.25.1.

För att kunna presentera ett mått på förundersökningens informationsnivå har man alltså måst göra ett stort antal personliga värderingar och ställningstaganden. Om resultaten skall kunna användas till annat än egen vägledning, måste därför hela utvärderingen redovisas steg för steg och med välgrundade motiv för alla tolkningar och modifieringar så att olika ingenjörgeologer kan diskutera en fråga eller ett resultat från samma utgångspunkt.



Figur 6.25.1

6.3 Systemets tillämpning på de olika uppföljda objekten

6.31 Inledning

För vart och ett av de uppföljda objekten har det presenterade redovisningssystemet prövats. Vid tillämpningen har naturligtvis mycket mer detaljerade regler fått ställas upp och följas än vad som har tagits med i framställningen tidigare i detta kapitel. Det fullständiga materialet ingår i kapitel 11 (arkivmaterial).

I tabell 6.31.1 finns de viktigaste resultaten sammanställda. Nedan följer kommentarer objekt för objekt.

6.32 Bolmen

För Bolmen gäller att undersökningsområdet innehöll få hållar vilka för övrigt låg så glest att ingen samordning till tillämpningsområden verkar försvarbar. Täckningen i detta avseende har alltså varit låg. Den regionalgeologiska erfarenheten och områdets homogena geologiska uppbyggnad i fråga om gnejsernas representation ger dock tillräckligt underlag för en hög täckning för denna parameter. I strukturellt hänseende är dock täckningen fortfarande mycket begränsad.

I den seismiska undersökningen har endast en profil längs hela tunneln lagts ut vilket inte heller resulterar i någon täckning vad gäller strukturer i sidled som skulle kunna påverka tunnelsträckningen. Det horisontella tillämpningsområdet är noll (jfr fig. 6.22.1).

Däremot finns full täckning beträffande bergytans djupläge längs tunnelsträckan och den seismiska hastighetskaraktistiken i ytblocket (fig. 6.24.2). Motsvarande täckning på tunnelnivån är mycket låg.

Den magnetiska mätningen har däremot givit hundraprocentig täckning, självfallet dock endast för den information som metoden som sådan förmår att ge (förekomst av diabas). Kärnboringen, slutligen, har givit femprocentig täckning. Täckningen är mycket begränsad eftersom borrhålen har blivit ansatta

Metod	Objekt					
	B	F	H	SAM	VO	J
<u>Referensområden</u>						
Unders.omr. km ²	1	2,4	0,5	5,4	2,3	60,0
Anlägg.omr. 1000m ³	478	85	5500	360	100	600
<u>Hälltäthet %</u>	1	3	95	20	67	1
Tillämp.omr.km ²	0	0,4	0,5	5,4	2,3	0
Täckningsgrad %	0	17	100	100	100	0
<u>Ytseismik</u>						
Antal profiler	1	8	10	-	-	60
Profilkilometer	4,8	5,9	3,9	-	-	26,6
Obj.rel.mängd Pm/Tm	1	3,1	1,9	-	-	0,6
Tillämp.omr. 1000m ³	0	1,9	110			2,8
Täckningsgrad %	0	25	20			60
<u>Mag. mätning</u>						
Antal profiler	1	-	-	-	-	-
Profilkilometer	4,8	-	-	-	-	-
Obj.rel.mängd Pm/Tm	1	-	-	-	-	-
Tillämp.omr. 1000m ³	478	-	-	-	-	-
Täckningsgrad %	100	-	-	-	-	-
<u>Kärnbörning</u>						
Antal borrhål	4	8	5	4	-	13
Borrmeter	368	775	287	189	-	733
Obj.rel.mängd Bm/Tm	0,08	0,40	0,15	0,03	-	0,07
Tillämp.omr. 1000m ³	24	23	5500	11	-	24
Täckningsgrad %	5	27	100	3	-	4

B - Bolmen

SAM - VA-verket

F - Forsmark

VO - VA-verket

H - Hisingen

J - Järnvägsforsen

Pm/Tm = Profilmeter/Tunnelmeter

Bm/Tm = Borrmeter/Tunnelmeter

Tabell 6.31.1

Sammanställning av tillämpningsdata och täckningsgrader för de analyserade objekten

för att lösa specifika frågeställningar. För en vertikalsektion längs tunnellinjen erhöles ett genomsnitt på $700 \text{ m}^2/\text{m}$ borrhål eller 13 tunnelmeter/m borrhål.

6.33 Forsmark

Blottningsgraden på 3 % har lett till en beräknad täckningsgrad om 17 % vad bergartsfördelning och strykningsriktning beträffar.

Seismikens täckningsgrad i ytan har beräknats till 67 % resp. 100 % inom själva tunnelkorridoren. På grund av tunnelns djupläge avtar dock täckningsgraden avsevärt.

Kärnborrningens täckningsgrad har beräknats till 27 %. För tunnelavsnittet är undersökningstätheten $150 \text{ m}^2/\text{m}$ borrhål eller 3 tunnelmeter/m borrhål.

6.34 Hisingen

Blottningsgraden på över 90 % ger en hundra procentig täckningsgrad som även omfattar bergets strukturmönster.

Mindre är täckningsgraden från den seismiska mätningen som anges till 40 %. På grund av det ringa anläggningsdjupet är djupreduktionen liten.

Kärnborrningens täckningsgrad har beräknats till 100 %. Anledningen är områdets homogena uppbyggnad vilket ger en stor räckvidd för varje enskilt borrhål. För tunnellängden på 2 000 m (A+B+C+D) är undersökningstätheten $175 \text{ m}^2/\text{m}$ borrhål eller 7 tunnelmeter/m borrhål.

6.35 VA-verket SAM

Blottningsgraden har angivits till 20 % och täckningsgraden med avseende på bergartsfördelning torde ligga nära 100 %.

Jord- och bergsonderingen kompletterar direkta bergobservationer och ger därmed en mycket hög täckningsgrad med avseende på bergläget.

Kärnborrningens täckningsgrad är mycket låg. Anledningen är att kärnborrhålen har ansatts för att klara specifika frågeställningar varför erhållna data inte lämnar något bidrag till en generell bergteknisk bedömning av de geologiska förhållandena. Detta framgår även av jämförelsen tunnellängd, djup under markytan och antalet kärnbormeter: undersökningstätheten blir då ca $1\,600\text{ m}^2/\text{m}$ borrhål, eller 32 tunnelmeter/m borrhål.

6.36 VA-verket VO

Blottningsgraden har angivits till 67 % varför täckningsgraden med avseende på bergartsfördelningen torde vara 100 %.

Hällobservationer tillsammans med jord- och bergsondering ger en mycket hög täckning vad bergläget beträffar.

Inga geofysiska arbeten eller kärnborrningar utfördes.

6.37 Järnvägsforsen

Blottningsgraden är < 1 %. Baserat på regionalgeologiska studier föreligger en viss täckning vad bergartsfördelningen beträffar. Detta inkluderar även diabasen. Däremot föreligger ingen täckning avseende bergarternas struktur och tillstånd.

Seismikens täckningsgrad varierar från 0 - 100 % beroende på olika undersökningstäthet. Dryga 40 % av tilloppstunneln är överhuvudtaget ej täckt med någon seismisk profil. För stora delar av tunnelsystemet är täckningsgraden på tunnelnivån mycket låg.

Kärnborrningens täckningsgrad är hög vid passagen av Ljungans dalgång medan den vid kraftstationsläget och luftschaktet längs övriga tunnelsträckor är 0.

Undersökningstätheten för borrhningen är $900\text{ m}^2/\text{m}$ borrhål eller 15 tunnelmeter/m borrhål.

6.4 Sammanfattande kommentar

Diskussionen i detta avsnitt måste utgå från vissa förutsättningar:

- Ingen förundersökning innehöll någon precisering av en prognosnivå.
- Täckningsgraden hänför sig till använd metod.
- Informationstyngden varierar för olika parametrar.

Objektanalysen pekar mot följande entydiga resultat: Bergartsfördelningen har med undantag av diabasen vid Järnvägsforsen prognoserats rätt. Informationsnivån har i fem fall varit tillräckligt stor trots mycket varierande täckningsgrad.

Vad berglägesbestämningen beträffar erhöles för samtliga fall en mycket hög informationsnivå. För berglägesbestämning ger således även en enstaka seismisk profil full täckning. Med andra ord: olika täckningsgrader kan i detta avseende associeras med en och samma prognosnivå. Samtliga prognosavvikelser gäller förstärknings- och injekteringsinsatser orsakade av bergarternas tillstånd, struktur och vattenföring, förutsatt att inga psykologiska förstärkningsåtgärder eller kalkylmässiga faktorer har påverkat det redovisade utfallet.

Av den tidigare diskussionen framgår följande principiella orsaker till avvikelserna:

Bolmen	Sprickornas och störningarnas mindre betydelse vid små tunnlar.
Forsmark	Flacka strukturer.
Hisingen	-
VA-SAM	Bergets grad av vattenföring.
VA-V0	D:o.

Järnvägsforsen Vittring och diabasstrukturer.

Bergtäckningens inverkan är oklar. Både informationsnivån och svaghetszonernas intensitet avtar mot djupet, vilket kunde ha en utjämnande effekt. Ändock förefaller informationsnivåns avtagande mot djupet vara tungt vägande när vi jämför VA-V0 (0-40 m djup) och VA-SAM (10-80) där det senare tunnelsystemet ligger dubbelt så djupt som det förra. En liknande jämförelse kan göras mellan Forsmark (50-60 m) och Järnvägsforsen (40-160 m).

Säkerligen kan denna faktor behöva bedömas från fall till fall.

Vad gäller strukturer kan de olika objektens täckning och informationsnivå sammanfattas enligt följande:

Objekt	Täckning	Informationsnivå	Prognosnivå (utfall)
Bolmen	låg	låg	osäker
Forsmark	låg	låg	osäker
Hisingen	hög	hög	säker
VA-SAM	låg	låg	säker
VA-V0	hög	hög	sannolik
Järnvägsforsen	låg	låg	mycket osäker

Resultatet indikerar med avseende på bergets struktur en låg täckning och informationsnivå. Intressant är en jämförelse med den specifika undersökningskostnaden för respektive förstärkningsutfall: Där visar Bolmen (5,7 %), Hisingen (5,9 %) och VA-SAM (5,0 %) nära nog samma procentsiffra men varierande utfall (säker - osäker). Men även en hög andel (Forsmarks 13,9 %) eller låg sådan (Järnvägsforsens 2,5 %) visar varken bättre eller sämre.

Det ligger nära till hands att dra följande slutsats: Det är inte bara den specifika undersökningsinsatsen som är avgörande för att man skall nå önskad prognosnivå utan även dess möjlighet att ge en tillräcklig täckningsgrad och informationsnivå. Detta kan uppnås med hjälp av en realistisk förväntningsmodell som tillåter en optimal fördelning av undersökningsinsatsen. Särskilt stor vikt måste läggas vid modellens strukturella innehåll.

Forskargruppen har därmed kommit till slutsatsen att bergets strukturella tillstånd och beteende måste vara den centrala frågeställningen i prognosdiskussionen.

Den tillämpade undersökningsmetodiken måste lämna svar på frågeställningen ovan. Tillägget "beteende" kan vara lösningen på problemet varför en viss bergkvalitet visar växlande beteende från stabilitetssynpunkt. Därmed är frågeställningen inte längre ett statiskt utan även ett dynamiskt problem.

Detta leder vidare till slutsatsen att förundersökningens räckvidd och därmed täckning inte bara beror av bergets tillstånd utan även dess beteende.

Sammanfattas diskussionen ovan kan konstateras att den tillämpade undersökningsmetodiken i inget fall inkluderat analys av bergets beteende eller deformationsmekanism.

Enbart detta tycks vara tillräckligt skäl för att motivera en generell tillämpning av det presenterade redovisningssystemet. Systemet tvingar den prognosansvarige att definiera förutsättningar, de studerade parametrarna, resultatets räckvidd i tid och rymd samt täckningen.

Självfallet är inte endast förundersökningens omfattning i sig styrande för prognosnivån. Den prognosansvariges regionalgeologiska erfarenhet och bergmekaniska kunnighet liksom förmågan att överföra erhållna statiska data till ett beteendemönster från stabilitetssynpunkt är av största betydelse.

KAPITEL 7

RIKTLINJER FÖR FÖRUNDERSÖKNINGAR

7.1 Inledning

En utgångspunkt för projektet BeFo 18 har varit att forskargruppens slutsatser skulle kunna utgöra underlag för utarbetande av riktlinjer för förundersökningar. Motiv för sådana riktlinjer har redovisats i tidigare kapitel. Med hänsyn till att varje objekt ligger i en unik geologisk miljö och att även i övrigt varierande förutsättningar gäller för olika anläggningar, är det knappast lämpligt att ge anvisningar en form, som skulle kunna uppfattas som normerande. Ordet riktlinjer skall därför inte tolkas som regler eller direktiv utan snarare som en anvisad väg att, utifrån erfarenheterna av forskningsprojektet, nå goda förundersökningsresultat och prognoser, som kan redovisas kvantifierade på ett så långt möjligt entydigt och lättförståeligt sätt.

Nedan följer sålunda ett utkast till disposition och till vissa delar även ett mer genomarbetat förslag till innehåll för riktlinjer i första hand inriktade på en form för systematisk redovisning. Förutom resultaten av forskningsarbetet har ISRM:s rapport "Recommendations on site investigation technique", 1975, utgjort underlag.

7.2 Förslag till disposition av "Riktlinjer för förundersökningar"

I FÖRUNDERSÖKNINGAR OCH PROGNOSE

- a) Allmänt om behov av och förutsättningar för förundersökningar i olika situationer med hänsyn till typ av anläggning, projekteringsläge, geologisk miljö, upphandlingsform m m. Motiv för enhetliga riktlinjer.

b) Förundersökningens olika faser

Riktlinjer för en principiell arbetsgång i form av olika moment, som slutligen leder till en bergteknisk prognos. (Se 7.3 nedan).

c) Översikt över tillgängliga förundersökningsmetoder. Jämförelser mellan olika metoders "informationsinnehåll" och räckvidd. Metodik för att på bästa sätt (successivt) erhålla erforderlig information med hjälp av en eller flera metoder (jfr figur 7.2.1).

d) Metod att värdera undersökningars täckning och prognosers säkerhet, se kapitel 6.

II ANVISNINGAR FÖR ARBETSHANDLINGAR

a) Rekommenderad rapportmall (formuleringar och beteckningar i en för alla inblandade begriplig form)

b) Innebörd och tolkning av angiven säkerhet i prognoser och konsekvenser av avvikelser från vad som förutsagts.

c) Synpunkter på ansvarsfrågor.

7.3 Utkast till ovan föreslaget avsnitt "Förundersökningens olika faser"

En förundersökning består normalt av ett antal moment från de första målformuleringarna till den slutliga bergtekniska prognosen. De olika momenten kan inte alltid distinkt särskiljas och löper inte nödvändigtvis i en generellt given ordningsföljd. Likafullt torde det vara motiverat att beteckna de nedan beskrivna stegen som principiella riktlinjer för arbetsgången. I figur 7.3.1 illustreras de olika momenten i ett blockschema.

A. Ingenjörgeologisk frågeställning

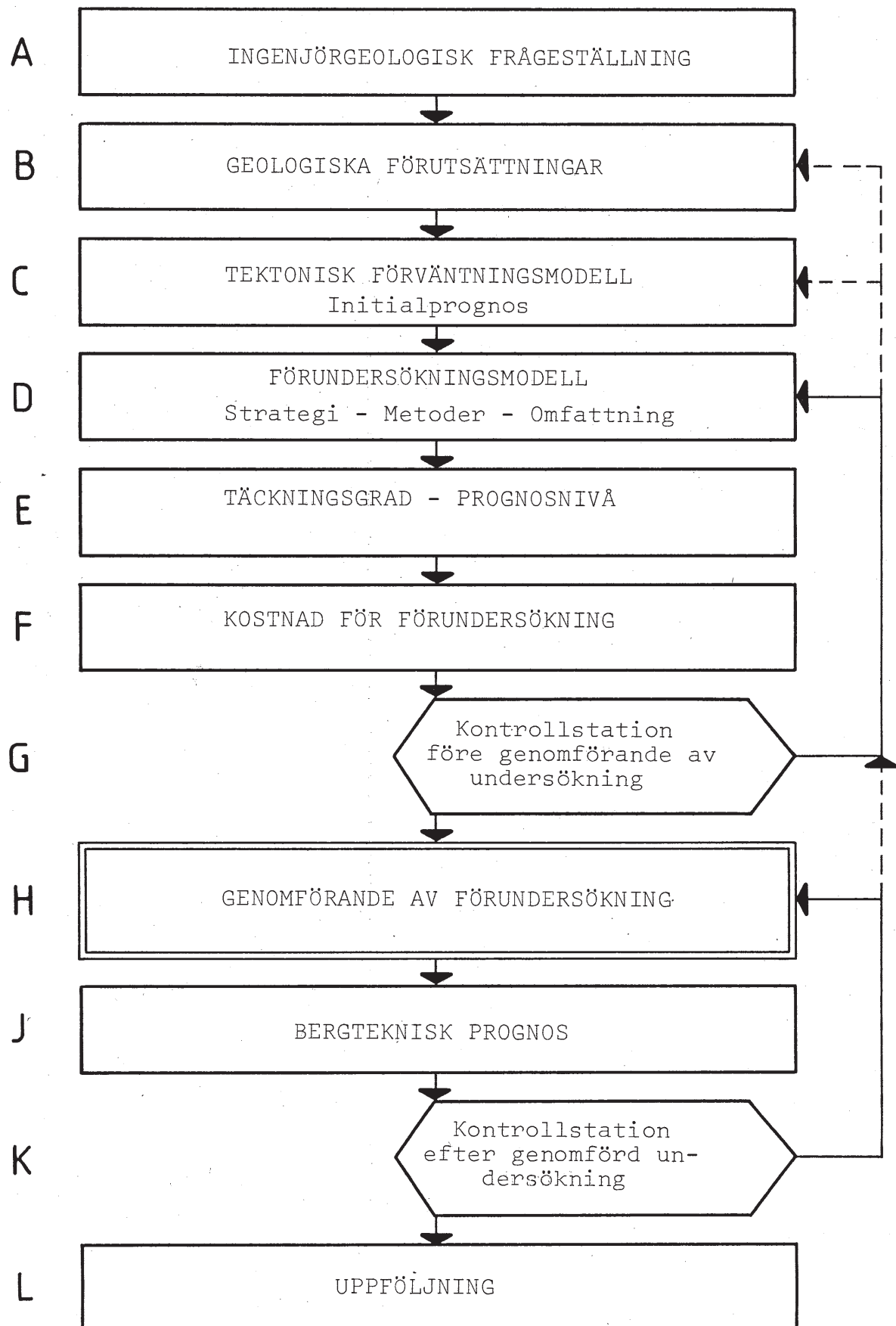
Motiv och mål för förundersökningen preciseras inklusive krav på prognosens säkerhet.

TABLE 1.1

NO.	METHOD AND PURPOSE	INFORMATION PROVIDED BY METHOD	MAIN APPLICATION
1. GEOLOGICAL STUDIES	1.1. Regional Geological mapping	1.1. Understanding of the geological environment — geological history of site area or region and the types of rocks, rock defects and active geological processes (if any) to expect. Often indicates boundaries or major defects which are concealed or not evident at the site; hence it forms the basis for planning and interpretation of detailed studies at the site proper.	1.1. All major projects, where regional geological maps do not exist already. Even where such maps exist they may not have been prepared for engineering purposes and hence it is advisable to re-examine the region in the light of the particular project needs or problems.
	1.2. Detailed Geological mapping logging of boreholes, excavations, etc.	1.2. The mapping provides detailed plans and sections, which initially form the basis for the detailed exploration and sampling and then logging of boreholes, etc., using geological as well as engineering classifications, and allows the use of geological interpretation and correlation of the data, to obtain a 3-dimensional geological picture.	1.2. All projects.
2. GEOPHYSICAL METHODS	2.1. Electrical Resistivity	2.1. Provides a measure of the «apparent resistivity» of the ground surface. Useful for locating the depth to bedrock beneath alluvium or weathered rock cover; also in the location of the water table, buried conductors or non-conductors, sheared zones, etc.	2.1. Most suited to projects requiring data at relatively shallow depths over large or elongated areas, e. g. construction materials, dam sites, roads, canals, pipelines, etc.
	2.2. Seismic Refraction	2.2. Provides calculated values of the velocities of seismic waves in various layers of subsurface materials and calculated depths of the interfaces between the layers. The seismic velocity can also give an indication of whether or not a rock mass will require blasting for excavation and the dynamic modulus of elasticity.	2.2. As above.
3. GEOPHYSICAL METHODS	2.1 and 2.2.	2.1 and 2.2. If carried out early can be used to obtain an initial indication of site conditions, to assist in the planning of direct exploration by drilling, etc. If carried out with drilling or other subsurface exploration, it provides the basis for interpolation between the results of separate drill holes, and in some cases, extrapolation into the areas not covered by drill holes.	
	2.3. Seismic Reflection	2.3. Provides measurements of the travel times of seismic waves reflected from interfaces between different rock or soil layers at depth.	2.3. Generally suited to submarine projects, dredging, harbours, breakwaters.
	2.4. Geophysical and Nuclear and other methods of Borehole Logging	2.4. Provides measurements of the electrical, seismic and radioactive properties of the subsurface materials, around boreholes.	2.4. Very useful occasionally to indicate the reason for core loss in diamond drilled holes, can show up cavities as distinct from weak seams and can provide information on hydrogeologic, lithologic and tectonic conditions. Some of these methods have been developed for the petroleum industry.
	Etcetera....		

Figur 7.2.1

Ur ISRM-rapport 1975



Figur 7.3.1 FÖRUNDERSÖKNINGENS OLIKA FASER

Förutsättningar i form av anläggningens avsedda funktion och livslängd, dimensioner och placering (alternativa layouter, orientering, djupläge o s v) skall anges liksom eventuella särskilda krav på "byggnadsmaterialet", d v s det omgivande berget. (stabilitet, täthet, bergväggars råhet osv).

B. Geologiska förutsättningar

Befintligt geologiskt material sammanställs och analyseras. Kartor, rapporter, publikationer och en allmän fältrekognosering samt uppgifter från tidigare utförda anläggningar i området bildar underlag. Den främsta uppgiften är att ge en bild av områdets homogenitetsförhållanden så att lämpliga homogenitetsenheter kan avgränsas. För detta krävs att man anlägger ett regionalgeologiskt betraktelsesätt.

C. Förväntningsmodell och initialprognos

De enligt moment B ovan redovisade uppgifterna, kombinerade med kunskaper om regionala geologiska förhållanden, utgör underlag för den kvalificerade ingenjörgeologiska bedömning som resulterar i en tektonisk förväntningsmodell. Denna ger en bild av den förväntade bergtekniska geologiska situationen i området.

Utöver en allmän redogörelse innehåller förväntningsmodellen normalt uttalanden om:

<u>Geologiska parametrar</u>	<u>Bergtekniska parametrar</u>
Antal homogenitetsenheter	Bergtäckning
Bergets fördelning	Taknivå
Bergarternas hållfasthet	Spänningsfält
Principiell strukturtolkning	Hålrumsorientering
Kontaktförhållanden (sprickfyllnad)	Spännvidd
Svaghetszoner (störningar)	Vägghöjd
Vatten	Tvärsnittsarea
Gas, temperatur, seismisk aktivitet	

Uppgifterna i förväntningsmodellen representerar en första prognos - initialprognosen - över aktuella bergtekniska förhållanden. Denna kan ge en första indikation om lämpliga driv-

ningsmetoder, förstärkningsinsatser och möjlig prognosnivå och så bilda underlag för en preliminär kostnadskalkyl. Utarbetningen bör ske i samråd med projektansvarig ingenjör.

Här, liksom i flera av de följande momenten, kan det finnas anledning att göra en "återkoppling" till ursprungligen angivna frågeställningar för att kontrollera om det finns anledning att modifiera dessa.

D. Förundersökningsmodell ("Den kombination av metoder som väljs...")

Det egentliga förundersökningsarbetet, detaljundersökningen, planeras nu för att ge kompletterande information, dels med avsikt att kontrollera riktigheten av den uppställda förväntningsmodellen, dels för att ge kvantitativa svar på de frågor som inledningsvis har ställts. Planen måste vara väl genomtänkt och rymma olika handlingsalternativ eftersom man för det fortsatta arbetet i vissa skeden kommer att vara beroende av tidigare erhållna resultat.

Metodval

Beträffande undersökningsmetoder, deras syfte och normala tillämpningsområden, hänvisas till den nämnda ISRM-rapporten, som innehåller en koncentrerad översikt och rekommendationer. Dessa är fullt användbara på skandinaviska förhållanden.¹⁾

Den i vårt land vanligen tillämpade undersökningsgången, geologisk kartering - geofysiska mätningar - borrhning, ger ofta resultat som svarar mot ställda krav. Dessa bör dock enligt forskargruppens erfarenheter presenteras på ett mer fullständigt sätt, framför allt i fråga om resultatens giltighet på

¹⁾ I tänkta "riktlinjer för förundersökningar" skall givetvis ingå en fullständig presentation av metoder och deras möjligheter inkl laboratorie- och fältprovningar.

anläggningens nivå. Det visar sig att man ofta borde komplettera gängse metoder med djupseismik och kosta på ytterligare kärnbörning för att få tillräckligt tillförlitlig information på djupet. Här bör åter betonas betydelsen av geohydrologiska undersökningar i de fall grundvattensänkningar ej kan accepteras eller läckande vatten väntas störa drivningsarbetena.

Av stor vikt är också en komplettering med bergmekaniska undersökningar så att även bergets deformationsbeteende kan prognoser.

Undersökningens omfattning

I skriften skall under denna rubrik diskuteras de allmänna förutsättningar som bör styra omfattningen av förundersökningen, såsom uppställda funktionskrav, möjligheter till alternativ sträckning osv.

Dessutom behandlas lämplig omfattning med hänsyn till enskilda metoders möjligheter. Som exempel lämnas här ett utkast till rekommendationer för seismiska undersökningar:

Antal seismiska profiler bestäms med ledning av den uppställda tektoniska förväntningsmodellen. Minst två "parallella" profiler bör utföras inom varje homogenitetsenhet. För att möjliggöra interpolering av geologiska strukturer erfordras att t ex en specifik låghastighetszon indikeras på minst tre mätställen eller observationspunkter (d v s håll- eller terrängobservationer som stämmer överens med det seismiska resultatet).

Vissa strukturtyper kan påverka profilvalet: Berggrund utan parallellstruktur (typ granit), med parallellstruktur (typ gnejs), berggrund med varandra korsande svaghetszoner.

Profilriktningen läggs i lämplig vinkel ($> 30^\circ$) mot den förväntade strukturen. Då inget sådant strukturmönster är känt, läggs ett nät av seismiska profiler. Riktningarna modifieras under hand så att nätet blir anpassat till iakttagna strukturriktningar.

Mätningarna utförs i etapper med successiv förtätning av profilavståndet. Strukturernas rymdorientering bör alltid kontrolleras med hjälp av parallella profiler.

Berghastigheter bör presenteras i form av intervaller och ej enbart som genomsnittsvärden.

E. Täckningsgrad och prognosnivå

För de olika planerade undersökningsmomenten görs en uppskattning av vilka täckningsgrader man kan vänta. Dessa är beroende av undersökningsresultaten och kan alltså på detta stadium endast bedömas.

De olika täckningsgraderna sammanvägs med olika metoders informationstyngd till en informationsnivå och resultatet utgör en viktig del i den därpå följande bedömningen av förväntad prognosnivå, dvs om resultaten av den planerade undersökningen kan väntas motsvara uppställda krav i fråga om detaljering och tillförlitlighet.

Systemet för täckningsgrader osv enligt kapitel 6 redovisas och rekommenderas.

F. Kostnader för förundersökningen

De planerade förundersökningarna kostnadsberäknas och ställs i relation till områdets geologiska uppbyggnad och anläggningens beräknade totalkostnad. Skäligheten med hänsyn till bedömd prognosnivå och övriga uppställda krav bedöms.

G. "Kontrollstation"

Främst med hänsyn till resultaten av skälighetsbedömningen ovan måste man nu, d v s fortfarande i planeringsstadiet och innan undersökningen genomförs, pröva alternativa undersökningsstrategier och se hur dessa påverkar kostnad och prognosnivå. Med andra ord kan moment B-F i princip behöva gås igenom ett antal gånger innan man nått balans mellan uppställda krav och förväntat prognosresultat. Här kommer man också att finna det lämpligt att undersökningen indelas i etapper av typen:

Förberedande undersökning
Detaljundersökning
Kompletterande detaljundersökning
Kontroller

Härigenom kan prognosresultatet kontrolleras i olika skeden, vilket ger större utsikter att den slutliga prognosen blir anpassad till de ursprungliga önskemålen och att undersökningskostnaderna kan begränsas.

H. Genomförande av undersökningarna

Undersökningsarbetet genomförs enligt den uppgjorda planen.

J. Bergteknisk prognos

Den slutliga bergtekniska prognosen bygger på alla de data, som samlats in under de olika förundersökningsskedena. Innan en sammanfattande bedömning görs skall därför delprognoser ställas upp för olika bergtekniskt betydelsefulla faktorer. Här anges endast några exempel på sådana faktorer: hållfasthetsegenskaper, struktur, vatteninläckning, förstärkningsinsatser, markpåverkan. Viktigt är att prognosen underbyggs av en bergmekanisk tolkning av insamlade data. Genom ett sådant förfarande och en väl avvägd särbedömning av olika faktorer ges större möjligheter till kritisk granskning av prognosen och därmed en realistisk bedömning av den totala förstärkningsinsatsen och i vilken mån den påverkar drivningskostnaden.

Likaledes bör bedömningarna av förstärknings- och tättningsbehov särredovisas, eftersom prognosunderlaget för dessa förutsägelser ofta är av mycket olika kvalitet. Följande delprognoser bör lämnas:

Ingenjörgeologiska parametrar

Antal homogenitetsenheter
 Procentuell bergartsfördelning
 Hållfasthetsfördelning
 Orientering av sprickgrupper
 Sprickavstånd
 Sprickfyllnad
 Kontaktförhållanden
 Svaghetszoner
 Vittring/omvandling
 Vatten
 Gas, temperatur, seismisk
 aktivitet

Bergtekniska parametrar

Bergtäckning
 Taknivå
 Spänningsfält
 Hålrumsorientering
 Spännvidd
 Vägghöjd
 Tvärsnittsarea
 Bergklassfördelning
 Förstärkningsklassfördelning
 Markpåverkan
 Kostnader

K. "Kontrollstation"

Prognosen enligt moment J skall redovisas på så sätt att den på ett godtagbart sätt besvarar i moment A ställda frågor. Om detta inte är möjligt med utgångspunkt i erhållna resultat måste man överväga att utföra kompletterande undersökningar varefter prognosen korrigeras eller kompletteras.

L. Objektuppföljning

Momentet att under byggets gång följa upp de parametrar och åtgärder som förutsagts, bör anses tillhöra förundersökningen. Det är framför allt med tanke på kommande verksamhet en mycket väsentlig del, som med tiden, genom ständigt ökande erfarenheter, gör det möjligt att förfina prognostekniken. (Här föreslås att i skriften införs en redovisning och rekommendation av det uppföljningssystem som tillämpats i BeFo 18-projektet.)

KAPITEL 8

FORTSATT VERKSAMHET

8.1 Inledning

Det genomförda forskningsprojektet har genom uppföljningar och analys av berganläggningsarbeten i Sverige visat på flera områden, där ett fortsatt utvecklingsarbete bör kunna ge gott utbyte. För en fortsatt diskussion kring lämpliga satsningar föreslås ett seminarium kring de olika uppslag, som forskningsarbetet och rapporten givit upphov till.

Utredningen har visat att idag tillgängliga förundersökningsmetoder med lämplig avvägning av metodval och omfattning kan ge en tillfredsställande prognos rörande drivningsförhållanden och erforderliga förstärkningsåtgärder förutsatt att man har en god kännedom om den aktuella platsens geologi. En i huvudsak korrekt strukturgeologisk förväntningsmodell är sålunda en grundläggande förutsättning för ett gott förundersökningsresultat. Härför krävs en kvalificerad ingenjörgeologisk insats i ett tidigt planeringsskede.

Möjligheterna att i förväntningsmodeller förutse geohydrologiska förhållanden och störningar - framför allt på större djup - är starkt begränsade. Detsamma gäller möjligheterna att med mätningar på förundersökningsstadiet få en ingenjörgeologiskt tillfredsställande beskrivning av geohydrologien. Tillgängliga metoder är föga utvecklade och tillämpas sällan.

Forskningsarbetet har visat att man i princip har en rimlig och kvantifierbar uppfattning om de bergmekaniska parametrar som styr förstärkningsbehovet. Däremot är det normalt mycket svårt att på förundersökningsstadiet ens grovt uppskatta dessa parametrar och särskilt deras sammanvägda betydelse för stabiliteten.

Nämnda förhållanden i kombination med att förundersökningar oftast presenteras utan försök att systematiskt och stringent värdera "täckning och tyngd" hos undersökningsdata, skapar

svårigheter att rationellt beakta berget vid projektering och byggande.

Undersökningsmaterialet har också visat att man borde ha mycket att vinna på att ägna större omsorg åt en geomekansk tolkning av undersökningsdata. I vissa fall har man fått en onödigt stor prognosavvikelse genom att man i tolkningen ej till fullo utnyttjat ett i sig helt korrekt och tillräckligt geologiskt underlag.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att forskningsprojektet motiverar satsningar på utbildning inom områdena ingenjörgeologi, geohydrologi och bergmekanik, pekar på behov av riktlinjer för mer systematiskt utförande och redovisning av förundersökningar samt specifika tekniska satsningar på vissa undersökningsmetoder.

8.2 Utbildning

Bergbyggnadskonsten är fortfarande en i hög grad empirisk vetenskap med bristfällig teoribildning. Detta förhållande ställer speciella krav på kunskaper och erfarenheter hos de personer, som utför förundersökningar. Att konstruera bra strukturgeologiska förväntningsmodeller - vilket enligt föregående är en nödvändig förutsättning för ett gott förundersökningsresultat - kräver sålunda kunniga, erfarna och skickliga ingenjörgeologer.

Trots Sveriges långa bergbyggartradition, har vi inte någon mer omfattande direkt utbildning i ingenjörgeologi i landet. För närvarande inom området verksamma geologer - ett begränsat antal - har skaffat sig sin reella kompetens huvudsakligen genom praktisk erfarenhet i samband med anläggnings- och gruvprojekt.

Det framtida bergbyggandet i Sverige och utomlands ställer allt större krav på ingenjörgeologisk kompetens då projekten tenderar att bli allt större och mer komplicerade med mindre ekonomiska marginaler och större säkerhetskrav. Det finns alltså ett ökande behov av välutbildade ingen-

jörsinriktade geologer, som utöver geologutbildningen bör ha utbildning i teknisk-ekonomiska värderingsprinciper vad gäller frågor som rör bergmekanik, brytningsteknik, förundersökningsteknik m.m.

Utöver förbättrad utbildning krävs också intensifierade satsningar på grundläggande forskning och utveckling, något som i vissa avseenden blivit eftersatt i Sverige genom avsaknad av en professur inriktad på ingenjörgeologins bergfrågor. Inrättande av en lärostol i ingenjörgeologi - av samma typ som finns på många ställen utomlands - bör verksamt kunna bidra till bättre förundersökningar och billigare bergbyggande.

8.3 Riktlinjer, anvisningar, normer m m

Samhället ställer för närvarande inga uttalade krav på innehåll och utformning av förundersökningar eller dokumentation av berganläggningar annat än vad som kan beröra arbetarskyddsfrågor 1). I praktiken existerar dock en hel del regler för såväl förundersökningar som byggprocessen bl a hos större bergbyggare som kraftbolag, gatukontor, FortF m fl.

Avsaknaden av regler och anvisningar har, liksom för undermarksbyggande i allmänhet, bedömts otillfredsställande bl a med hänsyn till övrig stadsplanering. Mot en strikt reglering talar emellertid det faktum att bergbyggande kräver ett flexibelt arbetssätt med möjlighet till fortlöpande anpassning till oförutsedda förhållanden. Den hittills mycket

- 1) Arbetarskyddsstyrelsens anvisningar, nr 125 1978, "Bergbesiktning, skrotning och bergförstärkning", punkt 1:

I projektering för utrymme i berg skall ingår förundersökning av den bergmassa vari utrymmet skall ligga. Förundersökning skall bedrivas med markobservation, med djupundersökning genom mätning med olika metoder, t ex seismiska, eller genom sonderingsborrning.

Anm. Förundersökning avses ge sådana upplysningar om gränser mellan jord och berg, om bergarter och bergartsgränser, om sprickor, krosszoner, skiktningar e d i berget och om grundvattenyta, vattenföring och gasflöde som behövs för projektering av bergutrymmet och för projektering av skyddet mot ohälsa och olycksfall i bergarbetet och under vistelsen i utrymmet.

måttliga regleringen av området har också enligt många bedömare bidragit till våra internationellt sett låga kostnader för bergbyggande.

I forskningsprojektet betonas fördelarna med att förundersökningar utförs med en systematisk och enhetlig uppläggning och redovisning och rapporten innehåller ett utkast till riktlinjer (kapitel 7). Det har emellertid ansetts lämpligt att det grundmaterial, som ryms i rapporten, efter viss mognadstid kompletteras och prövas ytterligare, innan man tar slutlig ställning till vilken form fastare riktlinjer eller anvisningar skall ges.

Vissa arbeten med anknytning till frågan om riktlinjer har pågått parallellt med BeFo-18-projektet. En arbetsgrupp vid Statens Geotekniska Institut, SGI, har utarbetat ett förslag till BETECKNINGSSYSTEM FÖR BERGUNDERSÖKNINGAR. Förslaget har givits ut på remiss 1978. Tekniska nomenklaturcentralen, TNC, publicerar 1979 en BERGTEKNISK ORDLISTA, där bl a ett antal specifika förundersökningstermer definieras.

8.4 Teknikutveckling

8.41 Geohydrologi

Forskningsprojektet har klart demonstrerat att vatteninläckning och tätning är problem, som svarar för stora ekonomiska osäkerheter i bergbyggandet. För att förbättra läget är det angeläget att sammanfatta de praktiska resultaten av den omfattande geohydrologiska forskning, som bedrivits under senare år. Dessutom krävs satsningar på vissa begränsade målområden. I ett arbetsseminarium, "Täta tunnlar bättre", som BeFo avhöllit i anslutning till forskningsprojektet, ansågs det särskilt angeläget att FoU sker inom följande områden:

- a) Optimala val av "tillåten inläckning"
- b) Utveckling av metoder att förutse vattenförhållanden i berg
- c) Utveckling av teknik för tätning av berg.

8.42 Seismik

De seismiska undersökningar, som i dag normalt tillämpas, ger främst information om brantstående, ytnära strukturer och bergegenskaper. I forskningsprojektet har tydligt dokumenterats ett stort behov av utveckling av metoder för djupseismik, främst beträffande tolkning och utvärdering av gånghastigheter så att mätdata kan erhållas även från aktuell anläggningsnivå.

8.43 Bergmekaniska mätningar

Normalt visar svenskt berg sådana stabilitetsförhållanden att särskilda bergmekaniska mätningar av exempelvis spänningar och deformationer ej har ansetts nödvändiga. Erfarenheter utomlands visar dock att systematiska, uppföljande mätningar kan ge möjlighet att pröva ny teknik, bygga mer ekonomiskt och säkert under svåra förhållanden samt ge värdefull dokumentation för såväl vetenskapliga som kommersiella ändamål. Avsaknad av mätvärden upplevs av många utländska fackmän som en stor brist, vilket ibland har medfört en viss skepsis inför tillämpning av svenska metoder utomlands.

Man bör därför diskutera dessa frågor och eventuellt utarbeta rekommendationer för när, hur och vilka mätningar, som kan erfordras i olika sammanhang.

8.44 Bergklassificering

Under forskningsarbetet har i många sammanhang uppmärksamats behovet av systematiska värderingar, där geologiska data direkt kan associeras med förstärkningsåtgärder och kostnader. Att utveckla generella klassificeringssystem torde vara en alltför omfattande uppgift. Däremot bör det vara värdefullt och angeläget att i delavsnitt och för vissa problemområden utveckla klassificeringssystem, som beaktar främst bergartstyp och strukturmönster, bergets mekaniska egenskaper och vatten.

9 ORDLISTA

Anläggningsområde	Psykologisk förstärkning
Berg (Bergmassa)	Q - värde
Bergart	RMR
Bergklass	RQD
Bergklassificering	Räckvidd
Detaljundersökning	Selektiv förstärkning
Driftförstärkning	Slumpvisa strukturelement
Förberedande undersökning	Spekulationsområde
Förstärkningsklass	Sprickavstånd
Förundersökning	Sprickgrupp
Förundersökningsmodell	Spricksystem
Förväntningsmodell	Tillämpningsområde
Homogenitetsenhet	Täckningsgrad
Informationsnivå	Undersökningsområde
Informationstyngd	Undersökningstäthet
Initialprognos	Upprepade strukturelement
Observationsområde	Zon
Permanent förstärkning	Zonklass
Prognosnivå	Z(RQD)

BEGREPPSDEFINITIONER TILL ORDLISTA

Anm. Under projektets gång har Tekniska nomenklaturcentralen (TNC) utarbetat en bergteknisk ordlista, som kommer att ges ut 1979. TNC:s definitioner har använts där inte särskilda skäl har funnits att ge speciella, projektanpassade definitioner.

Anläggningsområde (site)

Område som innesluter anläggningens samtliga bergrum och tunnlar.

Berg (Bergmassa)

Berggrunden betraktad som byggnadsmaterial antingen in situ (ostörd) eller som partier som omger ett utbrutet hålrum.

(Bergmassa enl TNC: Sammansatt material av bergarter samt deras sprickor och slag).

Bergart

Mineralaggregat vars sammansättning kan variera inom bestämda gränser, t ex granit, diabas, kalksten m m (TNC).

Bergklass, se bergklassificeringBergklassificering

Indelning av berg på grundval av hållfasthet eller andra egenskaper (TNC).

I denna rapport bildar sådana berg-tekniska egenskaper, som påverkar hålrumms stabilitet basen för klassificeringen. Graderingen uttrycks med hjälp av bergklasser och utan hänsyn till det planerade hålrummets form och storlek.

Detaljundersökning

Detaljerad undersökning av bergparti där planerad anläggning avses att placeras (föregås normalt av förberedande undersökning).

Driftförstärkning

Bergförstärkning i samband med kontinuerlig utsprängning av tunnlar och bergrum, där detta är en nödvändig eller beslutad förutsättning för fortsatt drivning (TNC).

I denna rapport avses även injektering.

Förberedande undersökning (site inspection)

Rekognoscering av ett aktuellt projektområde som grund för val av undersökningsområden och program för detaljundersökning.

Förstärkningsklass

Indelning av förstärkning efter typ och kvantitet.

Förundersökning (ingenjörgeologisk prospektering)

Undersökning avseende ingenjörgeologiska och bergtekniska förutsättningar för byggande i berg (TNC).

Målsättningen är att kunna prognosera bergtekniska förhållanden, konstruktionsparametrar, lämplig brytningsmetod, förstärkningsinsats, kostnader och byggtid.

Förundersökningsmodell (prospekteringsmodell)

Med förundersökningsmodell menas den kombination av metoder som väljs för att göra det möjligt att värdera för bedömningen nödvändiga bergtekniska parametrar. De tillämpade metoderna beskrivs till kvantitet, räckvidd och noggrannhet. Jfr. 4.12.

Förväntningsmodell

Rymdmodell över geologiska - bergtekniska förhållanden baserad på erfarenhet och tillgängliga undersökningsresultat, och som innehåller såväl registrerade som med ledning av den omgivande geologiska miljön förväntade strukturer och bergegenskaper. Modellen skall beakta informationer av bergteknisk betydelse för upprättande av bergtekniska prognoser. Jfr. 4.12.

Homogenitetsenhet

Avgränsat område inom vilket undersökta struktur- eller materialegenskaper uppvisar en med avseende på brytningsteknik likartad fördelning och sammansättning. Kan omfatta flera zoner. Överordnat begrepp, jfr. zon.

Informationstyngd

Betydelse av erhållna bergtekniska data vid tolkningen av bergtekniska förutsättningar eller vid val av konstruktionsparametrar. Jfr 6.12.

Informationsnivå

Mått på värdet av sammanvägd täckningsgrad, informationstyngd och bearbetning. Jfr 6.12.

Initialprognos

Utkast till bergteknisk prognos som underlag för val av undersökningsmetodik.

Observationsområde

Genom observation, mätning och provtagning väl kontrollerat området (t ex borrhål, mätprofil, håll, provkropp). Jfr. 6.12.

Permanent förstärkning

Förstärkning som säkerställer rummets framtida bestånd där hänsyn även tagits till anläggningens funktion (TNC).

Prognosnivå

Med prognosnivå menas bedömd säkerhetsgrad hos prognosen uttryckt som verkligt utfall i förhållande till prognoserat värde (100 %):

säker	90-120 %
sannolik	70-150 %
osäker	50-200 %
mycket osäker	< 50 eller >200 %

Psykologisk förstärkning

Med psykologisk förstärkning menas sådana förstärkningsåtgärder, som inte utförs på bergmekaniska grunder. Sådana förstärkningar kan vara generella i förväg bestämda, eller under driften av säkerhetspsykologiska skäl påkallade.

Q-värde

Numeriskt värde för bergkvalitén som underlag för bestämning av bergförstärkning, BARTON et al. 1974. Som bestämmande parametrar används: RQD, antal sprickgrupper, sprickytornas karaktär, sprickytornas omvandlingsgrad, sprickvattens reducerande stabilitetseffekt och spänningarnas reducerande stabilitetseffekt.

RMR = Rock Mass Rating

Numeriskt värde för bergkvalitén som underlag för bestämning av bergförstärkning. Som parametrar användes: enaxlig tryckhållfasthet, RQD - index, sprickavstånd, sprickriktning, sprickornas tillstånd, vattentillträde. BIENIAWSKI 1976.

RQD = Rock Quality Designation

Kvalitetsangivelse beräknad på borrhärlor. RQD representerar summan av ostörda kärnbitar i o-vittrat berg ≥ 10 cm, räknade per längdenhet i procent av den teoretiskt betraktade totala kärnlängden, även inkluderande eventuella kärnförluster. DEERE 1966.

Räckvidd

Avgränsad area eller volym som bedöms kontrollerad av viss undersökningsmetod. Jfr. 6.12.

Selektiv förstärkning

Osystematisk förstärkningsinsats i syfte att säkra begränsade bergpartier.

Kan prognoseras i viss utsträckning.

Slumpvisa strukturelement

Raka eller böjda ytor eller svaghetszoner i bergmassan som ej upprepas vad karaktär eller orientering beträffar. Kan ej prospekteras.

Spekulationsområde

Område dit undersökningsresultat måste extrapoleras utanför vad som kan betecknas som tillämpningsområde. Jfr. 6.12.

Sprickavstånd

Med sprickavstånd menas avståndet mellan intilliggande, huvudsakligen parallella sprickor.

Sprickgrupp

Ett antal inbördes parallella sprickor tillhör en sprickgrupp (TNC).

Spricksystem

Flera olika sprickgrupper, anordnade i ett visst mönster, utgör ett betraktat områdes spricksystem. (TNC: Två eller flera korsande sprickgrupper).

Tillämpningsområde

Avgränsat område, till vilket erhållna undersökningsresultat från en specifik undersökningsmetod kan extrapoleras på geologiska grunder under förutsättning av kända geometriska strukturelationer. Jfr. 6.12.

Täckningsgrad

Relationen mellan summan av tillämpningsområden för viss undersökningsmetod och hela det betraktade området eller volymen.

Undersökningsområde

Avgränsat område som blir mål för en detaljerad undersökning. Områdets volym beror på nivån hos anläggningsbotten.

Undersökningstäthet

Genomsnittligt avstånd mellan provningar eller provsträckor vid en viss undersökningsmetod.

Upprepade strukturelement

Raka eller böjda ytor eller svaghetszoner i bergmassan som upprepas vad orientering beträffar. Gruppbyggande och således statistiskt bearbetbar. Kan prospekteras.

Zon

Anläggningsavsnitt med likartade geologiska bergtekniska egenskaper. Jfr. 4.1.

Zonklass

Kvalitetsgradering av berg där hänsyn tagits till anläggningens dimension. Kan omfatta flera bergklasser. Jfr 4.13.

Z(RQD) = Zone Rock Quality Designation (Helfrich)

Koordinering av liknande på varandra följande RQD - värden till en zon. Onormala toppar elimineras. Minsta zonstorleken beror på anläggningsdimensionen. Indelas i 5 klasser. HELFRICH 1976.

10 LITTERATURFÖRTECKNING

Barton, N., Lien, R. och Lunde, J.:

Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Vol. 6, 1974, pp.189-236.

Barton, N., Lien, R. och Lunde, J.:

Estimation of support requirements for underground excavations. Design methods in rock mechanics. Proc. 16th Symp. on Rock Mech., Univ. of Minnesota, 1975.

Bergman, M.:

Storage in excavated rock caverns. Proceedings of the first international symposium in Stockholm - Rockstore 77, Vol. 2.

Bergman, M. och Helfrich, H.:

Bergteknisk borrhåls- och borrhärneanalys. Värdering av metoder. BeFo-rapport 22, Stockholm 1975.

Bieniawski, Z.T.:

The point-load test in geotechnical practice. Engineering Geology, 9 (1975).

Bieniawski, Z.T.:

Exploration for rock engineering. Vol 1 and 2. BALKEMA, Rotterdam 1976.

Bergman, G., Roosaar, H. och Sund, B.:

Vattenläckage i bergtunnlar, verkan och influensområde. Stadsbyggnad Nr 3, Stockholm 1977.

Brännfors, S.:

Undersökningsmetoder inom byggnadsindustrin - synpunkter på dagens och morgondagens teknik. Bergmekanikdag 1974, BeFo, Stockholm.

Carlsson, A. och Olsson, T.:

Vatteninläckning till berganläggningar - Förväntningsmodell av influensområdet. Byggmästaren, Vol 57, Nr 11, Stockholm 1978.

Carlsson, A. and Olsson, T.:

Water leakage in the Forsmark tunnel, Uppland, Sweden. SGU Serie C Nr 734, Stockholm 1977.

Carlsson, A. and Olsson, T.:

Hydraulic properties of Swedish crystalline rocks. Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, N.S. Vol. 7, Uppsala 1977.

Carlsson, A. and Olsson, T.:

Variations of hydraulic conductivity in some Swedish rock types. Proceedings of Rockstore, Stockholm 1977.

Deere, D.V. och Miller, R.P.:

Engineering classification and index properties for intact rock. Techn. Rep. No. AFWL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base, New Mexico, 1966.

Grønhaug, A.:

Geologiske undersøkelser for tunnler. Veglaboratoriet, 48, Oslo, 1975.

Helfrich, H.K.:

Geophysikalische und gebirgstechische Prospektion des Gebirges als Unterlage für Ausschreibungen von Felsbauwerken. Bundesministerium für Bauten und Technik: Strassenforschung (Wien) H. 18, 1974.

Helfrich, H.K.:

Seismiska undersökningsmetoder för bestämning av bergförhållanden. Väg- och vattenbyggaren 20, nr 8-9, Stockholm 1974.

Helfrich, H.K.:

Gebirgstechnische Kennziffern mit petrographischem Begriffsinhalt. Rock Mechanics, Suppl. 4, Wien-New York, Springer 1975.

Helfrich, H.K.:

Zon (RQD) som underlag för bergklassificering. Bergmekanikdag 1976, BeFo, Stockholm.

Helfrich, H.K., Bergman, M., Nord, G.:

Förundersökningars värde och omfattning. Sammanfattning av etapp I. BeFo 1976.

Helfrich, H.K.:

The engineering-geologic expectation model as a basic for the prognosis in underground construction. Rock mechanics, Suppl. 7, 1978

ISRM:

Recommendations on site investigation techniques. Lissabon 1975.

Jansson, B. och Winqvist, T.:

Undermarksplanering. Statens råd för byggnadsforskning, BFR, rapport T8:1978.

Larsson, I., Flexer, A. and Rosen, B.:

Effects on ground water caused by excavation of rock store caverns. Engineering Geology, 11 (1977).

Larsson, I.:

Tektonik- Ett komplement till bergmekanik. IVA-rapport 18, Stockholm 1969.

Lundegårdh, P.H.:

Projektering av rum och tunnlar i berg. SGU Ser C Nr 590, Stockholm 1963.

Lysén, L., Palmqvist, K.:

Tätning av bergtunnlar. Projekteringsmetodik, injektering och förstärkning. Statens råd för byggnadsforskning, BFR, R4:1976.

Morfelddt, C.-O.:

Bergrum och tunnlar. Byggnadsgeologisk uppföljning och kartering. Statens råd för byggnadsforskning, BFR, rapport R 15:1975.

Müller, L.:

Der Felsbau Bd. III: Tunnelbau Stuttgart, 1978.

Persson, L.:

Petrology of the Järnvägsforsen tunnel, Western Medelpad, Central Sweden. SGU Ser C Nr 722, Stockholm 1976.

Rydman, S.G.:

Förundersökningar vid projektering av bergrumsanläggningar, BeFo-rapport, Stockholm 1974.

SIA:

Erfassen des Gebirges in Untertagebau. Empfehlung 199, Zürich 1975.

Sjöstrand, B. och Stanfors, R.:

Geologiska undersökningar för Sydvattentunneln (Bolmen-tunneln). Väg- och vattenbyggaren nr 8-9, 1975.

Söderberg, L.:

Practical procedure for preinvestigations concerning unlined rock storage caverns for petroleum products. Rockstore 77, Vol 2, Stockholm 1977.

Wickham, G.E.:

Ground support prediction model (RSR Concept). NTIS, US-department of Commerce, San Francisco 1974.