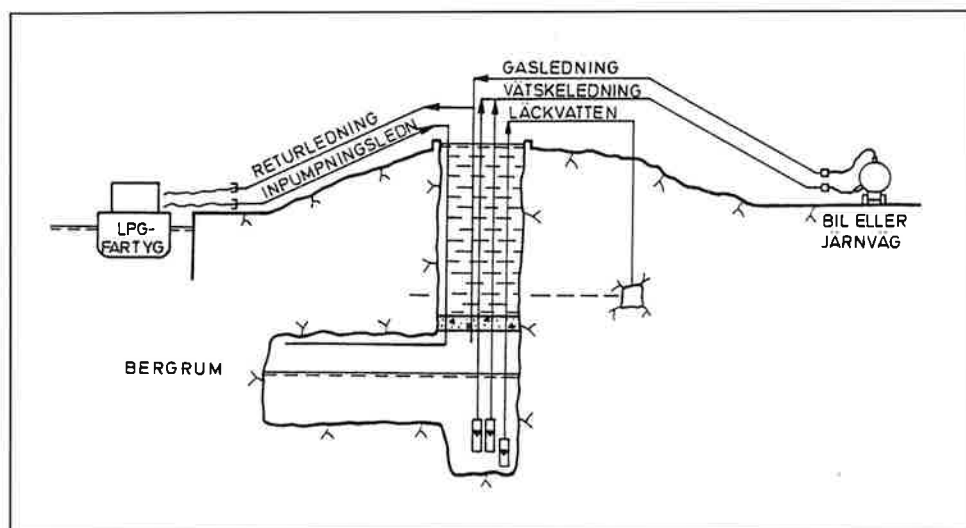




GEOHYDROLOGISK UNDERSÖKNINGS- METODIK VID BERGBYGGANDE

Erfarenheter från tre fallstudier

Gunnar Gustafson
Sven Wallman

STIFTELSEN SVENSK BERGTEKNISK FORSKNING
SWEDISH ROCK ENGINEERING RESEARCH
SveBeFo Rapport 16

**GEOHYDROLOGISK UNDERSÖKNINGS-
METODIK VID BERGBYGGANDE**

**Geohydrological preinvestigation methods for
rock facilities. Three case histories**

Gunnar Gustafson, CTH
Sven Wallman, VBB VIAK

FÖRORD

Geohydrologiska undersökningar och analyser har blivit allt viktigare i samband med berganläggningar under mark. Främst är det kraven på kontroll över grundvattensituationen som lett till att man numera ofta preciserar vilka förändringar som kan accepteras under och efter byggnadsskedet. I BeFo:s forskningsprogram har tidigare genomförts ett projekt, avrapporterat 1986, med syftet att demonstrera olika geohydrologiska förundersökningsmetoder och deras möjligheter samt hur en kvalificerad utvärdering av undersökningarna bäst kan göras. Under åttiotalet gjordes också en bred uppföljning av Bolmentunneln, där flera högskoleinstitutioner var engagerade och geohydrologin ingick som en viktig del.

Den nu föreliggande rapporten är resultatet av ett projekt, som påbörjats inom BeFo:s ramprogram 1990-93 och nu slutförts i SveBeFo:s regi. Utgångspunkten har varit den tidigare nämnda metodrapporten och en uppföljning av bergundersökningar för ett gasollager i Karlshamn, Hojums kraftstation i Trollhättan och järnvägstunneln genom Hallandsås. Under utredningens gång visade det sig att de ursprungligen uppsatta, ganska ambitiösa målen inte kunnat uppfyllas. Tunnelarna genom Hallandsås har som bekant blivit avsevärt försenade och möjligheterna till detaljgranskning och uppföljning därmed mycket begränsade. Även underlaget från de övriga anläggningarna har varit svårt att analysera, delvis på grund av att förundersökningsmaterial och dokumentation har varit tämligen översiktlig. Trots dessa svårigheter har arbetet fullföljts men i en mer begränsad form.

I rapporten redovisas och rekommenderas ett arbetssätt för att effektivt utnyttja tillgängliga geohydrologiska metoder och undersökningsresultat under ett bergprojekts olika skeden. Ett särskilt avsnitt behandlar också principiella frågeställningar kring användning och tolkning av geologiska och geohydrologiska modeller i samband med bergbyggande. Rapporten utgör därmed ett komplement till den tidigare nämnda BeFo-rapporten och andra publicerade beskrivningar av geohydrologiska metoder.

Projektet har följts och fått gott stöd av en referensgrupp med Göran Bäckblom, SKB, som ordförande. Övriga medlemmar har varit Tommy Ellison, BESAB, Eva Hakami, KTH, Ulrika Hamberger, Sydkraft Konsult och Kent Hansson, Geosigma.

Stockholm i oktober 1994

Tomas Franzén

SUMMARY

This report is an effort to identify useful geohydrological investigation methods in hard rocks and to adapt these for practical use in rock construction. In the first part a summary of practical geohydrological methods, which can be applied as integrated parts in preinvestigations in rock, is given. It is also shown how available data on the geohydrological conditions can be used and later on be updated by further investigations.

Next, functional demands, as well as demands on rock quality and environmental impact, are analysed for four types of rock installations. For these cases the demand on groundwater control is different both during construction and operation. In the following section retrospective analyses of three real cases with similar functional demands as the type installations are made. Experiences found by these analyses are commented and make up the basis for some given recommendations.

Finally an investigation scheme for tunnels and rock installations is proposed, where the experiences gained are utilised. The objective is to use an investigation philosophy which gives a good support for the design and construction of the installation and optimizes the investigation efforts. This is achieved by a suitable subdivision of the work in stages and an iterated analysis of the data themselves but also of their usefulness in order to fulfil the objectives of the project.

SAMMANFATTNING

Följande rapport söker att identifiera lämpliga geohydrologiska undersökningsmetoder i berg och att anpassa dessa till praktisk tillämpning i bergbyggande. Inledningsvis ges en redovisning av hydrogeologiska metoder, som integrerat kan användas i praktiskt byggande. Här visas också hur befintliga data tidigt kan tas hänsyn till vid projekteringen, och hur sedan geohydrologiska undersökningar tillför väsentlig information.

Därefter redovisas funktionskrav samt krav på bergegenskaper och samhälls- och miljöaspekter för fyra typanläggningar, där den geohydrologiska situationen är av olika vikt för byggnad och drift. Fortsättningsvis redovisas sedan retrospektiva analyser av tre objekt med liknande förutsättningar som typanläggningarna med kommentarer och rekommendationer. Dessa analyser har fungerat som erfarenhetsåterföring till projektet.

Slutligen föreslås en undersökningsgång för berganläggningar där erfarenheterna från projektet tas till vara. Målet är här att skapa en undersökningsfilosofi, där man genom en lämplig etappindelning och en fortlöpande analys av sina resultat dels ger ett gott underlag för projekteringen, dels optimerar fortsatta undersökningar.

GEOHYDROLOGISK UNDERSÖKNINGSMETODIK VID BERGBYGGGANDE

Erfarenheter från tre fallstudier

INNEHÅLL:

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	iii
1 INLEDNING	1
2 BAKGRUND	2
3 EN UNDERSÖKNINGSSTRATEGI DÄR GEOHYDROLOGIN INTEGRERAS ...	5
3.1 INDELNING AV ETT PROJEKT I OLIKA ETAPPER	5
3.2 DET KONVENTIONELLA SYNSÄTTET	7
3.3 DET GEOHYDROLOGISKA ANGREPSSÄTTET	8
4 FUNKTIONSKRAV FÖR FYRA TYPANLÄGGNINGAR	14
4.1 GASOLLAGER	14
4.2 FÖRSÖRJNINGSTUNNLAR	16
4.3 STÖRRE TORR BERGANLÄGGNING	17
4.4 TRAFIKTUNNLAR	18
5 RETROSPEKTIVA ANALYSER	20
5.1 TERMINALGAS' GASOLLAGER I KARLSHAMN	20
5.2 HOJUMS KRAFTSTATION	26
5.3 HALLANDSÅSTUNNELN	31
5.4 NÅGRA REFLEXIONER FÖRANLEDDA AV DE RETROSPEKTIVA ANALYSERNA	36
6 UNDERSÖKNINGSGÅNG	42
6.1 ATT ARBETA MED MODELLER	42
6.2 UNDERSÖKNINGAR I OLIKA ETAPPER	46
7 REFERENSER	52

BILAGOR

1 INLEDNING

Det svenska urberget är en utmärkt plats för olika typer av anläggningar och bergbyggnadskonsten har en mycket lång tradition. Ett bra exempel på detta är den tredimensionella modell som finns till beskådande i Dannemora gruvmuseum. Denna modell är från 1486, med en mycket fin detaljrikedom som till och med idag borde tillfredsställa varje beställares önskan om att få se hur den kommande byggarbetsplatsen under jord kan se ut.

Den förändrade synen på undermarken som resurs har medfört att det traditionella nyttjandet av undermarken har ändrats från traditionell gruvdrift, kraftverkstunnlar och en del andra infrastrukturtunnlar till att omfatta en rad olika användningsområden. I och med att undermarkens nyttjande har ökat framförallt i urbana områden så har kraven också ökat på dessa anläggningars funktion och deras effekter på den ovanliggande marken. På grund av de speciella förhållandena i tätorter, där det naturliga tillskottet av regnvatten som når jordlagren och bergmassan begränsas, kan även ett litet inläckage till underjordsanläggningarna orsaka stora skador. Detta har medfört att frågeställningarna kring framförallt täthets- och stabilitetsfunktionerna har accentuerats.

Forskningsprogrammets mål har varit att identifiera lämpliga geohydrologiska undersökningsmetoder och anpassa dessa till praktisk tillämpning i bergbyggande. Under arbetets gång har programmets genomförande ändrats något och denna rapport omfattar nu följande delmoment:

- En redovisning av geohydrologiska metoder som integrerat kan användas i praktiskt bergbyggande.
- Redovisning av fyra typanläggningar, där den geohydrologiska situationen är av olika vikt för byggnad och drift.
- Retrospektiva analyser av tre objekt med liknande förutsättningar som typanläggningarna med kommentarer och rekommendationer. Dessa analyser har fungerat som erfarenhetsåterföring till projektet.

I en fortsättning av projektet är det lämpligt att följa ett större underjordsprojekt och där registrera samt analysera genomförda geohydrologiska undersökningar och deras resultat.

2 BAKGRUND

Det geohydrologiska kunnande som utvecklats bl a inom SKB's forskningsprogram för kärnavfallsförvaring kan genom information och kunskapsöverföring utvecklas till praktiskt användbara metoder i bergbyggandet. Den största skillnaden mellan SKB's verksamhet och normalt bergbyggande eller gruvdrift är att kraven för och betraktelsesättet för SKB's del gäller för en mycket lång tidsperiod, medan man i vanligt bergarbete ofta med kort varsel vill ha en rimligt noggrann prognos över vad som kommer att hända. Inom SKB's undersökningar har en stor mängd geohydrologiska metoder utvecklats och nyttjats som bör vara möjliga att överföra till enklare utrustningar. En förutsättning för att man skall göra en vidareutveckling av de metoder som nyttjas av SKB, är dock att det finns en rimlig möjlighet att de kan komma till användning i entreprenörledet.

Exempel på sådana metoder är geostatistisk bearbetning av data från brunnarsarkivet, som visat sig ge ett utomordentligt underlag för att bedöma genomsläpplighet och vattenföring i olika bergarter inom ett område. En sådan bearbetning av befintliga, områdesspecifika geohydrologiska data ger också en bra plattform för preliminära bedömningar av den geohydrologiska situationen. En annan metod med god utvecklingspotential är driftprognoser baserade på enkla tester i pilothål vid tunnelfronten. Även flödesloggning i borrhål, spinnermätning, har visat sig vara mycket värdefull för att identifiera vattenförande berg.

En utveckling kräver förmodligen att metodvalet kopplas hårt till vad varje etapp i ett projekt leder fram till, och därmed också till den budget som finns till förfogande i varje etapp. Metodvalet måste också anpassas till avnämaren. Det innebär att olika mottagare i beslutsprocessen har olika krav som skall uppfyllas för att de skall kunna fatta ett beslut för nästa etapp i projektet. Dessutom måste man kunna diskontera nyttan av den uppställda prognosen kontra kostnaden. Därav följer också att värdet/nyttan av varje åtgärd för att uppfylla prognosen måste kunna omsättas i termer som kan prissättas. Vidare krävs en ökad medvetenhet och förståelse för att detaljprognoser kräver detaljundersökningar och förutsätter aktiv design i en del moment.

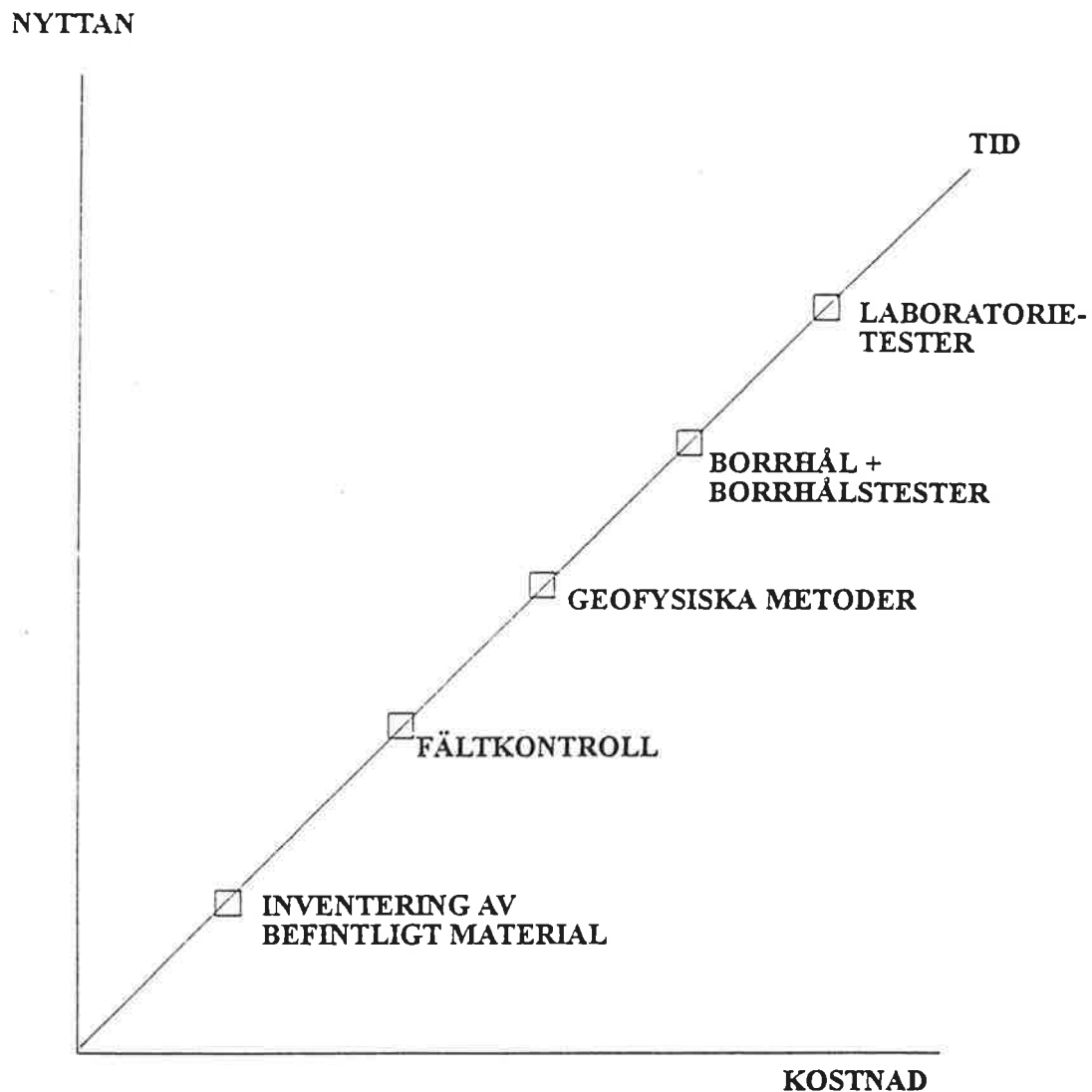
För att uppnå dessa uppställda mål är det två generellt viktiga principer som måste beaktas:

- Att fastslå en undersökningsfilosofi där geohydrologin integreras
- Att anpassa undersökningsinsatsen till projektets kostnadsfördelning över tiden

Framgång bygger på att problemen definieras väl och att grunden för planeringen är en geologisk och geohydrologisk modell, som stegvis förbättras under arbetet. Man bör här påpeka vikten av att man förstår geologin och geohydrologin i tre dimensioner.

En grundläggande, självklar, men långt ifrån alltid tillämpad idé, är att börja med enkla och normalt billiga metoder. Detta för att bättre och effektivare nyttja och förstå de dyra och mer komplicerade metoder, som sedan bör sättas in. En av projektets uppgifter är just att visa på olika billiga och dyra metoder, samt att försöka värdera nyttan mot arbetsinsats och kostnader. Det finns naturligtvis ingen standardformel för detta, men ett försök har gjorts att koppla undersökningsfilosofin till ett antal typanläggningar som kan fungera som riktmedel för undersökningsinsatsen för andra liknade och jämförbara projekt. Detta bör kunna

tilltala de verksamma inom bergbyggnadsbranschen och resultatet kommer förhoppningsvis att framstå som ett hjälpmedel framöver.



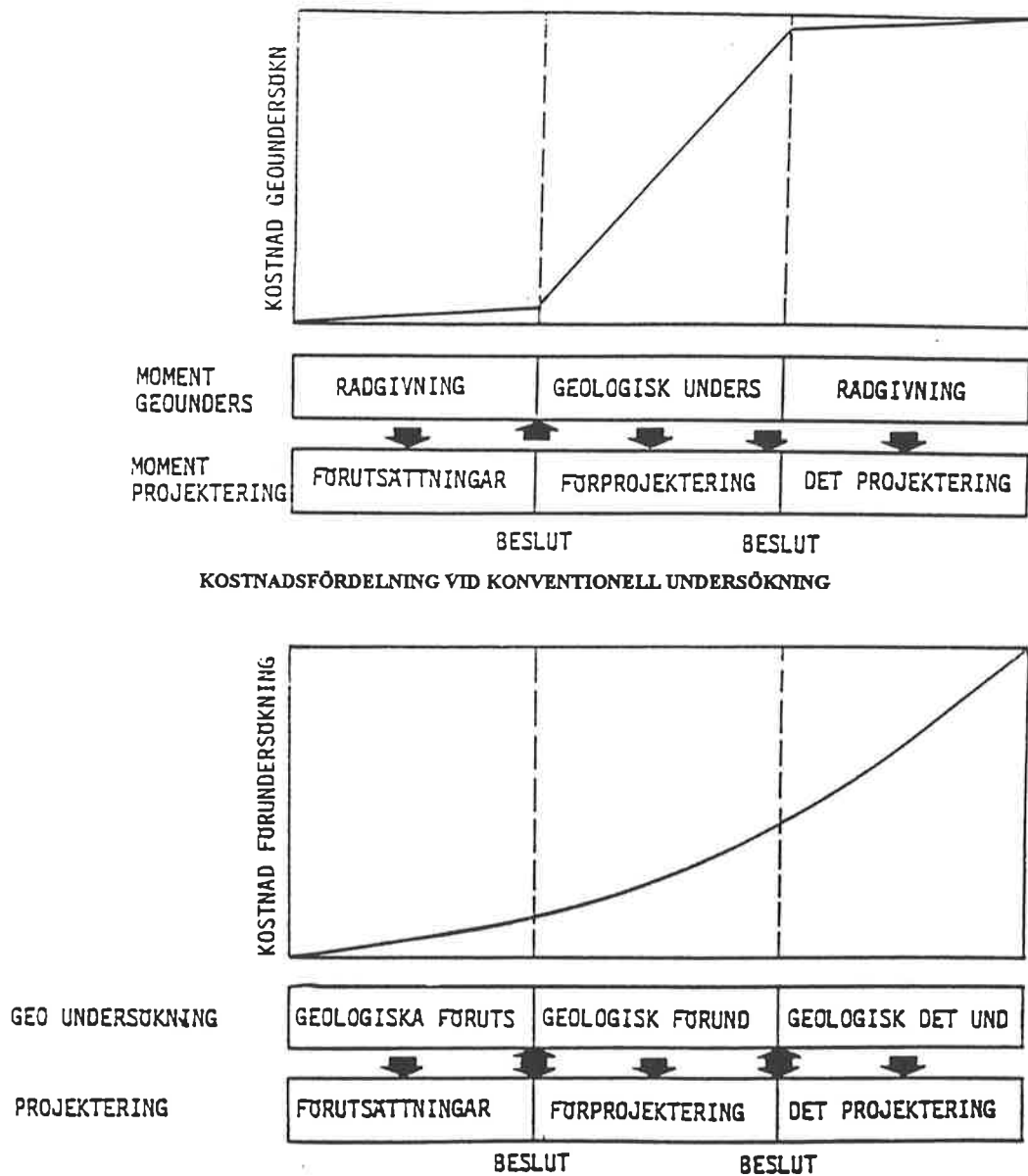
Figur 2.1. Kostnader för olika undersökningsinsatser relaterade till nyttan.

Att försöka förändra kostnadsfördelningen inom ett projekts olika skeden kan vara svårt att vinna gehör för. Principen har tidigare diskuterats inom ramen för BeFo's forskningsprogram och presenterats i rapporten "Geohydrologiska förundersökningar i berg", Gustafson (1986). Det viktigaste i denna princip är att en förändring kommer till stånd så att en kostnadsfördelning, där insats och möjliga resultat vägs mot varandra, används och beaktas. Detta är kanske i en del fall att föredra framför det konventionella synsättet, se figur 2.2.

En ingående analys av arbetsgången finns redovisad i denna rapport. Det kan dock fastslås:

- Att man bör få en lägre totalkostnad för projektet
- Att undersökningskostnaden inte blir större än vanligt och dessutom kommer senare i projektet, vilket ger lägre kapitalkostnad.

Den föreliggande rapporten kan ses som en vidareutveckling av tankegångarna och en fortsättning från denna angreppspunkt.



Figur 2.2. Kostnadsfördelning vid förundersökningar i berg (Gustafson 1986).

3 EN UNDERSÖKNINGSSTRATEGI DÄR GEOHYDROLOGIN INTEGRERAS

Vid underjordsarbeten kan ofrivilliga indrivningsstopp starkt medverka till att arbetsmiljön och produktionseffektiviteten försämrats. Den främsta orsaken till detta är, att framförhållningen och prognosticeringen för indriften idag inte alltid är vad den kunde vara och inverkar negativt på såväl ekonomin som arbetsfördelningen. Tre faktorer är här avgörande:

1) Bergets karaktär:

- Kristallin berggrund: Hållfasthet, spänningsförhållanden, spricksystem, vattenföring etc.
- Sedimentär berggrund: Porositet, vattenföring och hållfasthet.
- Jord: Konsolideringsgrad, kornstorleksfördelning, porositet, hållfasthet.

2) Arbetskvalitet:

- Planering, arbetsledning, yrkeskunnande, anpassningsförmåga, erfarenhetsåterföring etc.

3) Teknisk design:

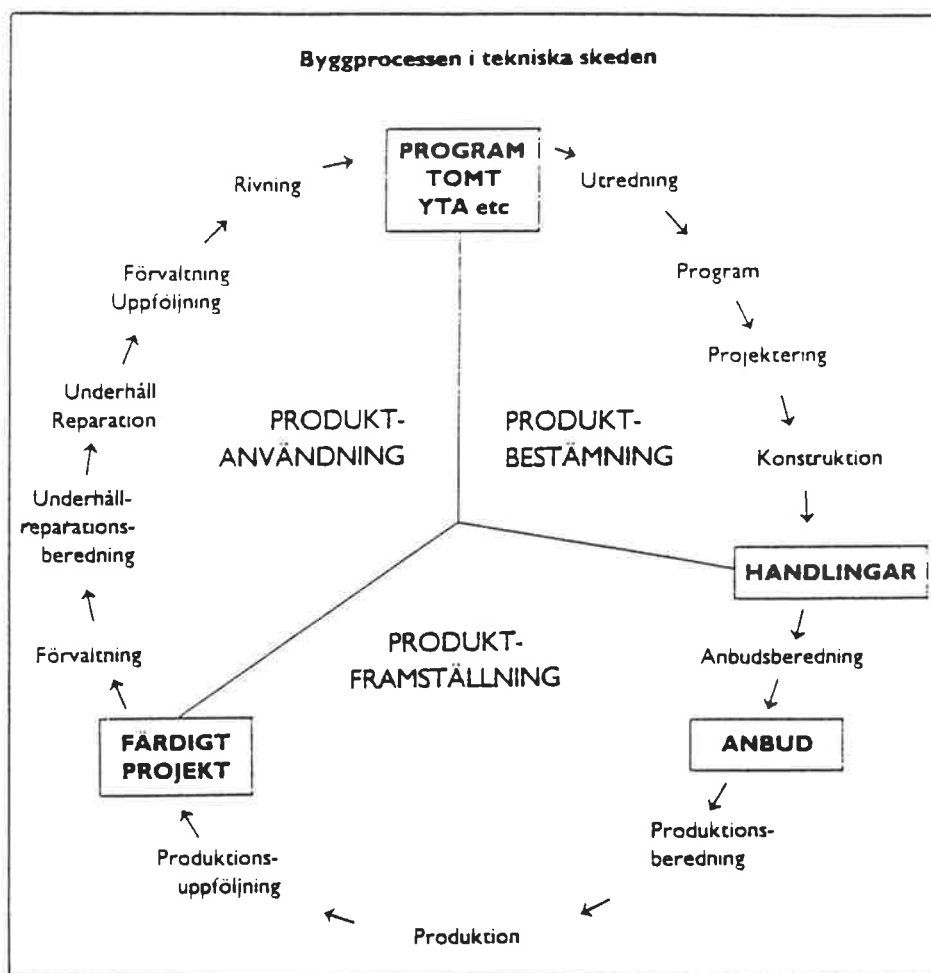
- Lay out, bergtäckningsfilosofi etc.
- Indriftsteknik, tekniskt kunnande
- Förstärkning, tätning etc.

De två sistnämnda och deras olika delmoment karakteriseras av att de oftast går ut från några etablerade lösningar. Den förstnämnda faktorn är olika från ett projekt till ett annat, och kan endast bestämmas genom väl avpassade förundersökningar.

3.1 INDELNING AV ETT PROJEKT I OLIKA ETAPPER

Ett större anläggningsprojekt indelas vanligen i ett antal etapper från det inledande idéstadiet till slutligt genomförande och drift. En normal etappindelning visas schematiskt i Figur 3.1. En jämförelse över hur byggprocessen i tekniska skeden framställs i litteratur som behandlar beställarens upphandling av entreprenörer framgår av Tabell 3.1.

Denna etappindelning kommer att följas i stort sett genom hela denna redogörelse, med den modifikationen att de geologiska förundersökningarna som regel ligger ett halvt skede före projekteringsskedena. Så föregås exempelvis förprojekteringen av en geologisk förut-sättningsstudie, projekteringen av de geologiska förundersökningarna och byggperioden av detaljundersökningar.



Figur 3.1 Byggprocessen i tekniska skeden (Råsled 1990).

Tabell 3.1. Etappindelning av ett projekt (efter Råsled 1990)

ETAPP 1 Förprojektering	ETAPP 2 Projektering	ETAPP 3 Byggperiod	ETAPP 4 Driftperiod
Område med vissa förutsättningar Kravspecifik process	Beslut angående detaljundersökningar Layout, funktion	Beslut angående anläggningen och omgivningen	Beslut angående funktion och underhåll Påverkan på tredje man
Rekommendationer	Omgivningspåverkan Miljökonsekvenser Tillstånd	Kompletterande undersökningar Dokumentation Aktiv design	Slutdokument Tillstånd Omgivningspåverkan

3.2 DET KONVENTIONELLA SYNSÄTTET

Undermarksbyggandet i Sverige har utvecklats mot en metodik där uppkomna situationer med dåligt berg eller vatteninläckage åtgärdas efterhand de kommer. Detta innebär tyvärr ofta att tidsplanen blir förskjuten och att extra kostnader uppkommer. Man har dessutom ofta i ett totalt sparnit antagit ett lågt anbud på förundersökningsinsatsen utan att man har försäkrat sig om den önskvärda kvaliteten. Detta medför i de flesta fall att merkostnader uppkommer för både beställaren och entreprenören. Den aktuella skrivningen i anbudsunderlag och anbud kan i en del fall naturligtvis hjälpa upp situationen för någon av parterna. Men någon bra affär där båda parter är nöjda blir det inte alltid.

För att komma till rätta med problemen med undersökningars kvalitet, prognoser, giltighet m m har man i såväl Sverige som internationellt arbetat fram en arbetsgång eller olika typer av mallar eller matriser. Dessa mallar syftar till att avgöra vilka undersökningsmetoder som skall användas för ett enskilt objekt. Så har man också inom ramen för BeFo's forskningsprogram tagit fram ett flertal sådana arbetsmallar. Nedan redovisas några av de mera tongivande både utgivna av BeFo och andra:

1. ISRM, 1972: Suggested methods for determining water, content, porosity, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties.
2. Morfeldt, C-O, m fl, 1973: Bergundersökningar, Kvalitetsvärdering av undersökningsmetoder, BFR R34:73
3. ISRM, 1975: Recommendations on site investigations techniques.
4. Morfeldt C-O, 1976: Bergrum och tunnlar, Byggnadsgeologisk uppföljning och kartering, BFR R15:76
5. Helfrich H, m fl, 1979: Förundersökningars värde och omfattning. BeFo Rapport 18:2.
6. Ahlbom K, m fl, 1983: Final disposal of spent nuclear fuel - geological, hydrological and geophysical methods for site characterization, SKBF-KBS TR 83-43.
7. Thoregren U, 1983: Final disposal of spent nuclear fuel - Standard program for site investigation, SKBF-KBS
8. BeFo, 1983: Undermarksbyggande i svagt berg, serie 1-4, BeFo 106: 1-4.
9. Handboken Bygg, 1984: Undersökningsmetoder för berg.
10. Bergman, S G A , Carlsson, A, 1986: Förundersökningar i berg, BeFo 86/1.

Det gemensamma för dessa sammanställningar är att det finns någon form av flödesschema för genomförandet av undersökningsmetoderna i tiden, som utgår från arbetsgången i ett projekt, se exempel i figur 3.2. Utöver dessa sammanställningar finns det ett antal rapporter som beskriver de olika metoder, som används i undersökningar för undermarksbyggande, av vilka några refereras i den fortsatta texten.

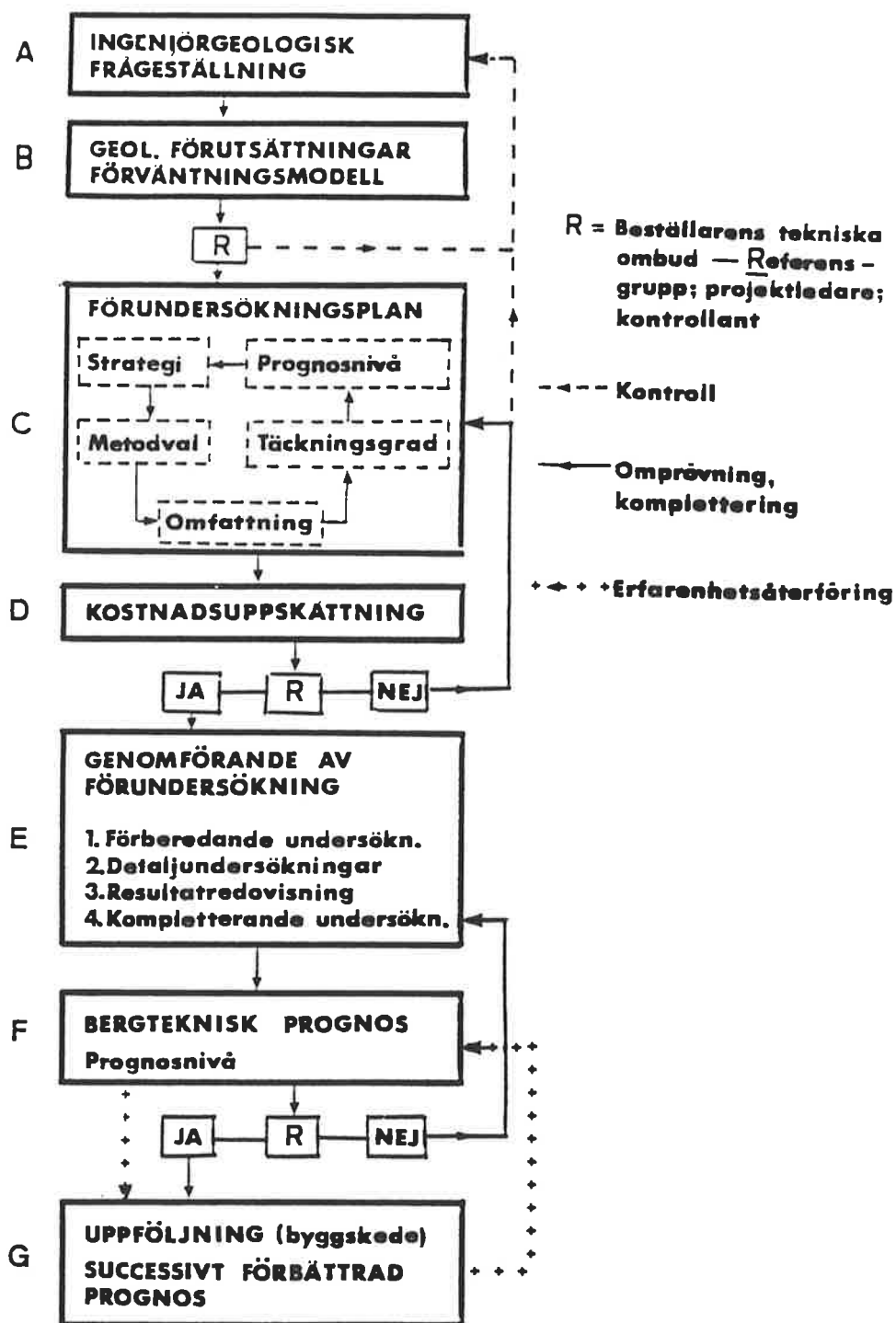
Varje ny undermarksanläggning är dock ensam i sitt slag med avseende på kombinationen av förutsättningar, layout etc. Detta innebär, vilket också påpekas i rapporterna, att några specifika mallar för vilka metoder som skall användas i varje enskilt fall inte existerar. Sammanställningarna kommer då ofta att få formen av "det möjligas konst" och användbarheten i praktiken blir begränsad. En framkomlig väg för att successivt få mer tillämpning av dessa arbetsmallar är kanske att använda upprättade checklistor. Checklistorna skall då i första hand användas för att kontrollera att man inte förbiser någon lämplig undersökningsmetod. Ett exempel på en sådan checklista framgår av figur 3.3.

3.3 ETT ANGREPPSSÄTT DÄR GEOHYDROLOGI INTEGRERAS

Större inläckage av grundvatten i underjordsanläggningen kan medföra en rad nackdelar både under byggtiden och driftskedet. I kombination med höga vattentryck förstärks problematiken och kan medföra mycket allvarliga konsekvenser för funktion, arbetsmiljö och ekonomi. En rad genomförda underjordsprojekt visar att en av de absolut viktigaste faktorerna som har påverkat resultatet är vatten. Därför bör ett geohydrologiskt arbetssätt användas i större utsträckning än idag.

Nedan följer en kort sammanfattning av ett angreppssätt där geohydrologiska faktorer integrerats i projekteringsgången. Angreppssättet har tidigare presenterats i rapporten "Geohydrologiska förundersökningar i berg", (Gustafson 1986). Jämför figur 2.2. Framställningen utgår från en etappindelning med en direkt koppling mellan geoundersökningar och projektering enligt:

- *Geologiska förutsättningar - förutsättningar för projektet*
- *Geologiska förundersökningar - förprojektering*
- *Geologiska detaljundersökningar - projektering*



Figur 3.2. Exempel på flödesschema för förundersökningar. Förundersökningar i berg (Bergman & Carlsson 1986)

Tabell B.3

Checklista (ex) Checklista över faktorer med relevans för bedömning av bergtekniska konsekvenser. De i kolumn 3 och 4 ifyllda uppgifterna utgör exempel på hur dessa frågor skulle kunna besvaras i ett praktiskt fall.

Uttalande avser	Speciellt	Baseras på	Bedömd grad av säkerhet
1	2	3	4
Bergartsfördelning ¹⁾ (regionalt och lokalt)	Gränser	Blottningar	Osäkra gränser
Strukturtolkning ¹⁾ (regionalt och lokalt)	Förkastningar	Topografi	God
	Tensionszoner	-	Gissning
	Andra svaghetszoner	Topografi	Osäker
	Huvudsprickgrupper	Blottningar	Osäker representativitet
Vattenförhållanden	Sprickfyllnader	Blottningar	Osäker representativitet
	Grundvattenytor, källflöden	Mätningar	God
Primära bergspänningar ¹⁾	Konduktivitet	Uppskattning	Osäker
	Horisontaltryck, ev spänningsanomalier	Sprickgruppens slutenhet	Mycket osäker
Temperatur på objektnivå	-	Närliggande gruva	Osäker
Gasförekomst	-	Närliggande gruva	Osäker
Seismisk aktivitet	-	Referenser	God
Homogenitetszoner ²⁾	Antal, lägen	Blottningar, BGD	Osäker
	Bergmassans egenskaper	BGD	Ganska osäker
Objektet ³⁾	Orientering	Dominerande sprickgrupper	Ganska säker
	Rek. djupläge		Osäker
	Spännvidder		Osäker
	Vägghöjder		Ganska säker
	Släntlutning		Ganska säker
	Förstärkningar		Osäker
	Drivningsmetoder	Närliggande berganläggning	Ganska säker

1) Redovisas på karta

2) BGD standard

3) Planer och sektioner

Checklistan kan efter behov utökas med flera uppgifter varvid den ingenjörgeologiska frågeställningen är vägledande.

Figur 3.3. Exempel på checklista för förundersökningar (Bergman & Carlsson 1986).

Målsättningen med den första etappen är att utifrån befintligt material utreda *de geologiska förutsättningarna* för att genomföra ett projekt. Väl genomfört belyser detta arbete både framtida möjligheter och problem. Speciellt viktigt är att identifiera möjliga geologiska risker för projektet. Arbetet baseras i huvudsak på genomgång av befintligt material och en följande översiktlig fältrekognoscering. Arkivmaterialet omfattar bland annat:

- *Kartmaterial och flygbilder* i olika skalor är lätt tillgängliga. Speciellt kan man peka på att storskaliga orienteringskartor med mycket god topografisk information ofta finns att få för områden nära tätorter. Stereoskopiska flygbilder finns också i olika skalor och tagna vid olika årstider i närheten av våra tätorter.
- *Geologiska kartor och publikationer* finns att få främst från SGU, men finns också utgivna av hembygdsförbund och andra organisationer. Problemet är ofta att de är för småskaliga för att vara av direkt värde som kartor. Beskrivningarna är dock speciellt värdefulla, då man här oftast får en god genomgång av förekommande bergarter och deras egenskaper.
- *Geohydrologiska data* finns lätt tillgängliga i SGU's geohydrologiska länskartor, SGU (1971-), men också SGU's brunn- och borrhingsarkiv innehåller lättillgängliga geohydrologiska data, liksom grundvattennätets databas, Nordberg och Persson (1974).
- *Tidigare projekt och undersökningar* är speciellt viktiga eftersom man här ofta kan få fram direkta erfarenheter av berg- och grundvattenförhållanden i området från dem som var med. Rapporter från andra projekt i närheten går som regel att få tag på. Även dessa innehåller som regel värdefull information.

På grundval av dessa data kan man efter en analys ofta ställa upp en god förväntningsmodell över berg och grundvattenförhållanden. Den efterföljande rekognosceringen blir då ofta en övning, där man söker bekräfta eller förkasta denna modell och också ett tillfälle att lära känna det område anläggningen skall byggas i, så att en god grund läggs för planeringen av fortsatta undersökningar. Den preliminära studien sammanställs i en rapport som ingår i förutsättningarna för projekteringen.

Målsättningen med *de geologiska förundersökningarna* är att fastställa om det är möjligt att bygga anläggningen enligt förutsättningarna. Vidare att ge underlag för projekteringen, prognos av bergkvalitet, inläckande vattenmängder och påverkan på omgivningen. Arbetet skall ge underlag för att upprätta en preliminär layout. Följande moment ingår oftast:

- *Kartering av bergarter och spricksystem* utgör basen för hela den geologiska modellen av anläggningsområdet. Riktningen hos olika sprickgrupper avgör till stor del hur berg-rum skall riktas. Olika bergarter har olika byggbarhet, och en god bestämning av de förekommande bergkropparnas geometri ger möjlighet att anpassa anläggningens lay-out. Från hålobservationer kan man ofta också analysera uppsprickningstyp och indirekt få information om vattenförande sprickgrupper.
- *Markgeofysiska mätningar* kommer som regel in i detta skede. Deras betydelse ligger främst i att de innan borrhning utförts är de enda metoder, som någorlunda säkert kan användas för att belägga och extrapolera i ytan observerade lineament och zoner. VLF

och geoelektrik ger utslag på bergets elektriska ledningsförmåga. Denna är som regel direkt knuten till bergets vattenhalt, men detta vatten kan förekomma fritt eller vara bundet i leromvandlat berg. Vid refraktionsseismik mäts ljudhastigheten i berget, som är direkt knuten till dess uppkrossning. Vid magnetometri mäts det magnetiska fältet, som förstärks i magnetithaltiga mörka bergarter, men kan vara avsevärt svagare i sprickzoner där magnetiten vittrat och oxiderats. En metod som också är värd att nämna är georadar, där man kan få en god bild av bergets överyta och utgåendet av sprickzoner i jordtäckta områden. Geofysiken, förnuftigt använd, ger alltså goda möjligheter till att bestämma läge och riktning hos krosszoner. Det som orsakar anomalier är ofta vatten fritt eller bundet i lera. I båda fall är det ofta knutet till bergtekniska problem. Magnetometri ger dessutom också möjlighet till att analysera bergartsfördelningen i dåligt blottade områden.

- *Hammarborrningar och någon kärnborrning* är ofta lämpligt att sätta in i detta skede. Huvudsakligen brukar man utforma borrhållprogrammet så att man söker belägga viktigare zoner, som kan ge vatten- och byggnadsproblem. Man bör emellertid också ta vara på data från "normalberget" mellan zonerna, då förhoppningsvis detta skall motsvara egenskaperna hos huvuddelen av bergmassan. Det är viktigt att följa borrhållarna noga och att registrera borrhållskning, vattenföring och andra parametrar fortlöpande, Andersson (1981).
- *Kaxprovtagning och kärnkartering* ger möjlighet att bestämma bergarterna i borrhållen. Kärnan har givetvis det högsta värdet eftersom man i den kan ge en detaljerad bergbeskrivning och bekräfta sprickfrekvens, sprickriktningar och bergväxt från ytkarteringen. Finns en kärna ger emellertid kaxanalys också goda resultat.
- *Enklare hydrauliska tester och provpumpningar* utförs i detta skede för att skaffa en uppfattning om bergets genomsläpplighet och hydrauliska samband. Lämplig metodik har beskrivits av Gustafson (1986). Speciellt viktigt är att utföra någon interferenstest, då knappast någon annan metod ger möjlighet att bestämma samband i konduktiva sprickzoner.
- *Analys av data* och prognos av bergförhållandena redovisas som regel fortlöpande för uppdragsgivaren, då som visats i Figur 2.2 förundersökning och förprojektering med fördel bör drivas parallellt. Analysen bör syfta till att förbättra och förfina den geologiska modellen över området. Speciellt bör förväntade problem identifieras så de kan tas hänsyn till eller undvikas i anläggningens utformning. De geohydrologiska förutsättningar samlas på samma sätt i en geohydrologisk förväntningsmodell.

Avslutningsvis redovisas förundersökningarna oftast i en sammanfattande rapport. Detta dokument utgör grunden för detaljprojekteringen.

Den geologiska detaljundersökningens mål är att visa på förutsättningarna hur berganläggningen skall byggas och vilka konsekvenser det får i varje del av anläggningen. Avsikten är att bekräfta eller eventuellt modifiera anläggningsutformningen efter de erhållna detaljundersökningarna. Följande moment kan ingå:

- *Geofysiska mätningar* genomföres för att komplettera främst den tektoniska bilden.

Samma metoder används som i förundersökningsskedet. Men även sådana metoder som borrhålsloggning och borrhålsradar kan ge viktig information.

- *Kärn- och hammarborrning* utföres för att bestämma bergegenskaperna vid kritiska punkter i anläggningen. En viktig regel är att data från ett borrhål främst visar hur det ser ut vid borrhålet. Borrhålen bör alltså sättas med stor omsorg, för att reda ut detaljproblem. Till dessa hör vattenföring i zoner som man tvingas gå igenom. Borrhålen bör riktnings- och krökningsmätas.
- *Kärnkartering och kaxprovtagning* utföres på sedvanligt sätt. Speciellt viktigt i detta skede är att utnyttja kärnorna för bergmekaniska analyser.
- *Hydrauliska tester* utföres i detta skede främst som manschettmätningar i kärnborrhålen. De utnyttjas för att lokalisera konduktiva zoner och att bestämma konduktivitetsfördelningen i berget. Manschettmätningarna kan dock till stor del ersättas med flödesmätning.
- *Hydraulisk modellering* av anläggningen utföres för att prognostisera inläckaget och grundvattenavsänkningen i kringliggande områden. I de fall byggnadstekniska skäl medför att injektering måste företas, prognostiseras avsänkningarna för det inläckage som kan tolereras.
- *Detaljprognoser* över bergkvalitet, förstärkningar och vattenproblem upprättas för anläggningens olika delar.

Studien redovisas fortlöpande och dokumentet utgör tillsammans med förundersökningsrapporten det geologiska/geohydrologiska underlaget för planering och genomförande av projektet.

4 FUNKTIONSKRAV FÖR FYRA TYPANLÄGGNINGAR

Föreliggande arbete har till stor del bestått i att undersöka i vad mån geohydrologiska metoder utnyttjats i projektering av berganläggningar. För att göra det hela konkret har ett antal genomförda projekt analyserats. Dessa projekt har representerat ett antal typanläggningar, som skall representera både olika användningar av undermarken och typiska byggnads- och designproblem, som hänger samman med funktionskraven. De fyra typanläggningarna representerar var och en ett antal specifika krav vilka utgår från:

- Funktionen
- Geologiska egenskaper och geohydrologiska/bergmekaniska aspekter
- Samhälls- och miljöaspekter

Inledningvis redovisas här de olika typanläggningarna och deras funktionskrav, varefter den tidigare redovisade etappindelningen utvecklas till en projekteringsgång, som integrerar de geohydrologiska problemställningarna. Vilka undersökningsmetoder som är aktuella vid de olika typanläggningarna diskuteras sedan utifrån etappindelningen.

De fyra typanläggningarna är:

- 1) Gaslager (LPG).
- 2) Försörjningstunnlar/små tunnlar (8-15 m²), i urbaniserade områden. Traditionell användning men även nya användningsområden.
- 3) Vanligt bergarbete, ex. maskinhallar skyddsrum etc., där dels grundvattennivån är väsentlig för anläggningen och dels där den saknar betydelse.
- 4) Trafiktunnlar, (50-100 m²), vilka normalt har en annan arbetscykel än anläggningstyp 2.

4.1 GASLAGER

Den första typanläggningen är ett gaslager (LPG = liquid petroleum gas) av konventionell typ byggt som ett trycksatt lager med en lagringsvolym på ca 50 - 75 000 m³. Bergtäckningen är 100 - 150 m. Bergrum och tillfartstunnlar uttages med hjälp av konventionell teknik: borrhning, laddning, sprängning och utlastning. Nedan följer en kort uppräknig av de väsentligaste kraven för anläggningen.

Funktionen:

- Mekanisk stabilitet
- Gastäthet
- Litet vattenläckage
- Driftssäker vattenridå
- Plats skall finnas för en ovanjordsdel med serviceanläggningar
- Framkomlighet för gasmatarledning till gaslagret
- Behov av kraftförsörjning

Geologiska egenskaper och geohydrologiska/bergmekaniska aspekter:

- Ett relativt homogen kristallin bergart
- Ett relativt stort avstånd från större sprickzoner till anläggningen för att undvika stabilitets- och läckageproblem
- Relativt låg permeabilitet
- Möjlighet till effektiv tätning och kontroll
- Bra och jämn grundvattenkvalitet

Samhälls- och miljöaspekter:

- Säkerhetsavstånd till befintlig bebyggelse
- Konsekvenser av brand eller gasutläckage
- Gasens inverkan på flora och fauna
- Effekter på grund- och ytvatten från utpumpat läckagevatten
- Trafik och buller

4.2 FÖRSÖRJNINGSTUNNLAR

Den andra typanläggningen är försörjningstunnlar/små tunnlar (8-15 m²) i urbaniserade områden. Det kan vara för el, tele, värme, avlopp eller vattenförsörjningsändamål. Nya användningsområden kan komma att ställa delvis nya krav.

Bergtäckningen är ofta 20 - 100 m och längden kan variera mellan ett par hundra meter till flera tiotals kilometer. Tunneln uttages med konventionell teknik: bormning, laddning, sprängning och utlastning eller med TBM, detta tas dock specifikt upp i avsnitt 4.4. Nedan följer en kort uppräknig av de väsentligaste kraven för anläggningen.

Funktionen:

- Mekanisk stabilitet.
- Behov av tätning av bergmassan. Då ett torrt utrymme krävs t ex vid el-, tele- eller värmeinstallationer ställer detta extra krav på injekteringsinsatsen jämfört med om tunneln skall användas för distribution av vatten eller avloppsvatten.
- Kvalitet på inläckande vatten. Även här finns det skilda krav. Då installationer, rörsystem, elkablar etc inte får utsättas för korrosivt vatten kommer kraven på tätningen att vara stor. Negativ vattenkvalitetsförändring genom inläckage till vattenförsörjningstunnel är inte acceptabelt och ställer då speciella krav på tätning. I fallet med en avloppstunnel är det av betydelse att det inte är för stora volymer. Detta kan påverka funktionen vid den senare behandlingen av avloppsvattnet i reningsverket.

Geologiska egenskaper och geohydrologiska/bergmekaniska aspekter:

- En relativt homogen kristallin bergart.
- De sprickzoner som skall passeras måste vara väl identifierade.
- Känd hydraulisk konduktivitet inom olika tunnelavsnitt.
- Möjlighet till effektiv tätning och kontroll.
- Bra och jämn grundvattenkvalitet. I fallet med avloppstunnlar saknar vattenkvaliteten betydelse.

Samhälls- och miljöaspekter:

- Närhet till befintliga byggnader och anläggningar eller dålig bergtäckning. T ex andra tunnlar, skyddsrum, brunnar m m.

- Grundvattensänkning i omgivningen och dess sättningskänslighet både på kort och lång sikt.
- Läckvattnets påverkan på grund- och ytvatten. Hög halt av suspenderat material i vattnet kan innebära problem med avbördningen av spillvattnet.
- Buller och markvibrationer vid utsprängningen.
- Transporter, massupplag och krossverksamhet.

4.3 STÖRRE TORR BERGANLÄGGNING

Den tredje typanläggningen är en vanlig torr berganläggning, som t ex kraftstation, skyddsrum eller liknande. Grundvattennivån kan vara av större eller mindre betydelse på grund av anläggningens placering. För anläggningar belägna i urbana områden tillkommer samma krav som för försörjningstunnlarna.

Anläggningsvolymen kan vara 25 - 100 000 m³ och bergtäckningen ca 10-100 m. Bergrum och tillfartstunnlar uttages med konventionell teknik, borrhning, laddning, sprängning och utlastning. Nedan följer en kort uppräknig av de väsentligaste kraven på anläggningen.

Funktionen:

- Behov av tätning av bergmassan. Då torrt utrymme krävs ställer detta extra krav på injekteringsinsatsen jämfört med om bergrummet skall användas vid t ex en kraftstation.
- Mekanisk stabilitet.
- Plats skall ofta finnas för en ovanjordsdel.
- Behov av kraftförsörjning.

Geologiska egenskaper och geohydrologiska/bergmekaniska aspekter:

- En relativt homogen kristallin bergart.
- Ett relativt stort avstånd från större sprickzoner till anläggningen.
- Relativt låg vattenföring och möjlighet till effektiv tätning och kontroll om anläggningen är belägen i urbana områden.

Samhälls- och miljöaspekter:

- Närhet till befintliga byggnader och anläggningar eller dålig bergtäckning. T ex tunnlar, skyddsrum, brunnar mm.
- Grundvattensänkning - sättningskänslighet på såväl kort som lång sikt, speciellt i urbana områden.
- Läckvattnets påverkan på grund- och ytvatten. Hög halt av suspenderat material i vattnet kan innebära problem med avbördningen av vattnet.
- Buller och markvibrationer vid utsprängningen (urbana områden)
- Transporter, massupplag och krossverksamhet.

4.4 TRAFIKTUNNLAR

Den fjärde typanläggningen är trafik tunnlar med en tvärsnittsarea på 50 - 100 m² . Arbetscykeln är normalt en annan än den för försörjningstunnlar beroende på att uttagsvolymen är så mycket större. Tunnelborrningmetoden, TBM, kan också komma att användas.

Det finns en rad fördelar och en del nackdelar med TBM-tekniken och det finns förespråkare både för och emot bland de aktiva inom bergbyggnadstekniken. Det står dock utom allt tvivel att tekniken har kommit för att stanna och de senaste årens utveckling med allt kraftfullare maskiner gör att allt fler anser att TBM-tekniken är ett alternativ i vissa sammanhang till den konventionella uttagningstekniken. Genom att använda TBM-tekniken undviker man en del problem som annars uppstår i samband med själva utsprängningen och som påverkar den geohydrologiska delen av ett underjordsprojekt, bl a inläckaget.

Erfarenheten från underjordsarbeten utförda med TBM visar att inläckaget kan vara betydligt mindre än det prognostiserade. Det finns inte ännu någon helt entydig förklaring till att prognosmetoder som fungerar utmärkt när det gäller konventionell tunnelteknik inte synes ha samma framgång när det gäller TBM-metoden. Någon av följande förklaringar eller en kombination har föreslagits:

- Spänningskoncentrationen runt tunneln medför att vattnet inte läcker in i samma omfattning som annars skulle vara fallet.
- Kapillära krafter hindrar vattnet från att tränga in i tunneln.
- Gasinjektion i samband med TBM-maskinens indrift. Luften pressas in i bergmassan från tunneln.
- Gastransport strax innanför tunnelväggen fungerar som en effektiv spärr för vattnet att komma in i tunneln.

En störd zon med tätare berg närmast tunneln förekommer också vid tunneldrivning med konventionella metoder. I detta fall antar man som regel samma orsaker bakom fenomenet.

Bland nackdelarna för TBM-metoden är att den är känslig för vattenförande zoner, speciellt stora vatteninläckage och i samband med sk squeezing, inläckage av vatten och suspenderat material/vitringsmaterial. Detta medför att speciell uppmärksamhet bör ägnas åt de geohydrologiska undersökningarna. Nedan följer en kort uppräknig av de väsentligaste kraven för anläggningen. Dessa funktionskrav gäller oavsett om tunneln är sprängd eller borrarad.

Funktionen:

- Mekanisk stabilitet.
- Behov av tätning av bergmassan. Då ett torrt utrymme krävs ställer detta extra krav på injekteringsinsatsen.
- Vattenkvalitet på inläckande vatten.
- Plats skall finnas för påslag och förskärningar.
- Behov av kraftförsörjning.

Geologiska egenskaper och geohydrologiska/bergmekaniska aspekter:

- Ett relativt homogent kristallint berg.
- De sprickzoner, som skall passeras, måste vara väl identifierade.
- Relativt låg vattenföring och möjlighet till effektiv tätning och kontroll.
- Bra och jämn vattenkvalitet.

Samhälls- och miljöaspekter:

- Grundvattensänkning - sättningskänslighet i omgivningen, både på kort och lång sikt om anläggningen finns i urbana områden.
- Närhet till andra anläggningar eller dålig bergtäckning. T ex andra tunnlar, skyddsrum eller brunnar.

5 RETROSPEKTIVA ANALYSER

Som en viktig del av arbetet har projektering och i viss mån utbyggnaden av utförda typanläggningar analyserats. Målet har varit att se i vad mån geohydrologisk undersöknings- och projekteringsmetodik tillämpats i verkliga fall, samt att utröna vilken nytta projektet skulle kunna få av detta. Analyserna har baserats på upprättade handlingar för de olika projekten samt intervjuer med olika inblandade; byggherrar, konsulter och entreprenörer. Ursprungstanken var att ett objekt av varje typ skulle följas, men av olika skäl var det nödvändigt att begränsa insatsen till tre, nämligen:

- Terminalgas' gasollager i Karlshamn
- Hojums kraftstation i Trollhättan
- Hallandsåstunneln

I det följande redogörs kortfattat för de tre projekten, varefter några preliminära slutsatser dras.

5.1 TERMINALGAS' GASOLLAGER I KARLSHAMN

Gasollagret vid Oxhaga Nabb utgör ett konventionellt LPG-lager i bergtrum med vattenridå. Lagret ägs av Terminalgas AB, som i sin tur ägs till 65 % av Sydkraft och till 35 % av Neste Oy. Terminalgas AB har välvilligt ställt tillgängligt material till förfogande. Detta omfattar i huvudsak geologiska, bergtekniska och geohydrologiska undersökningar men även annat för analysen upplysande material. Tillstånd att få ta del av och bearbeta detta material har givits av Terminalgas' vd Kjell Klein.

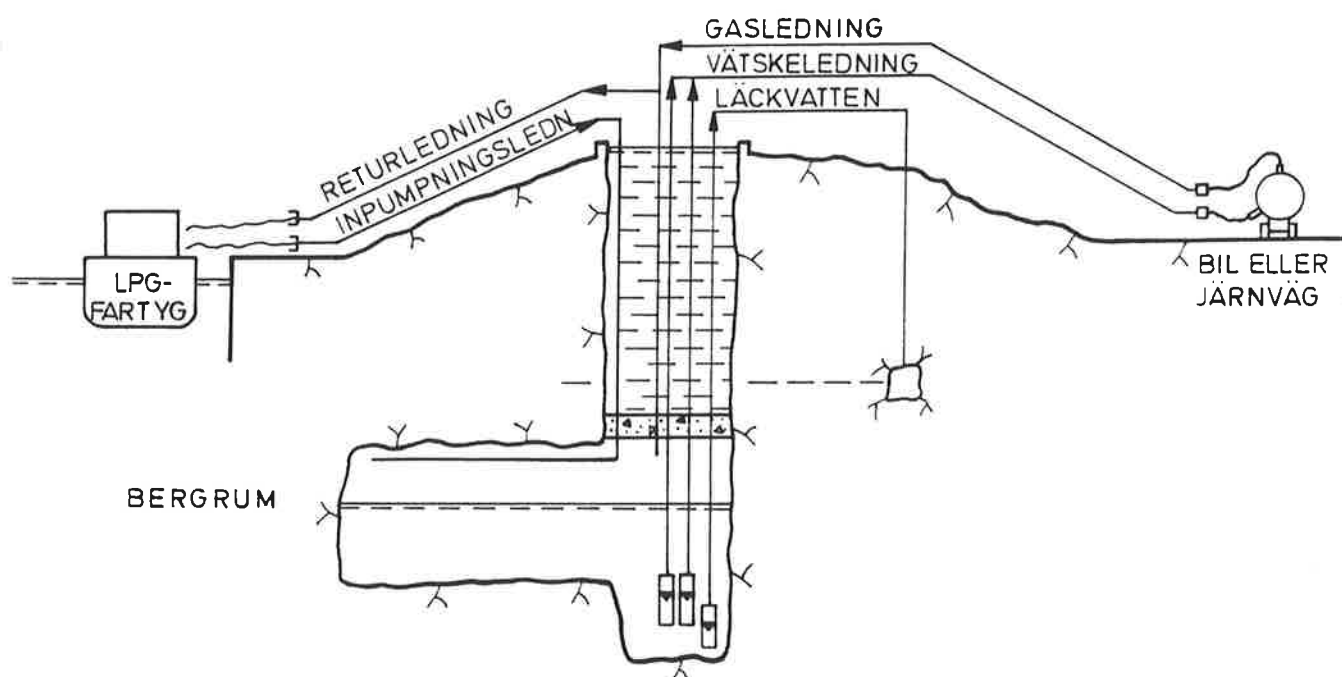
De genomförda undersökningarna representerar samtliga skeden: förprojektering, projektering, byggperiod samt driftsperiod. En i frågorna väl insatt teknisk chef, Mikko Ronkainen, har varit en stor tillgång för att belysa och diskutera frågorna på plats i Karlshamn. Vid byggande och projektering har man dragit nytta av de samlade erfarenheterna från liknande anläggningar. I landet finns dock endast ett begränsat antal tillgängliga.

5.1.1 Orientering

Gasol är en petrokemisk produkt som i huvudsak framställs ur råolja vid raffineringen. Beteckningen gasol är ett marknadsnamn för en blandning av de två kolväterna, propan och butan och den är gasformig vid normal temperatur och normalt tryck. Olika blandningar ger gasolen olika egenskaper som kan efterfrågas inom förbränningstekniken, där den främst ersätter tung eldningsolja (EO5). Gasolen är ett alternativ till naturgasen och äger i stort sett samma egenskaper. Den största fördelen med gasol är flexibiliteten då den inte är ledningsbunden som naturgasen.

Terminalen dimensionerades först för en lagringsvolym på cirka 30 000 m³ vilket senare ökades till cirka 50 000 m³. Den har byggts som ett trycksatt bergrumslager med vattenridå. Bergrummet har en spännvidd på 20 m, en höjd av 22 m och längden är 90 m. Sulan ligger på -108 m. Byggtiden var endast 19 månader och driftstart planerades till hösten 1989. Den totala omsättningen av gasol planerades uppgå till cirka 50 000 ton eller 100 000 m³ per år. En schematisk principskiss över bergrums- och distributionsenheternas layout återfinns i Figur 5.1.

TERMINALGAS AB



Figur 5.1. Systemskiss över gasollagret i Karlshamn

Leveransen av gasol sker via fartyg till terminalen och utleveransen med hjälp av järnvägs-vagnar och lastbil. LPG-fartygen (LPG liquid petroleum gas) är totalkylda och gasen har vid leveransen till lagret en temperatur på - 42 °C. När gasolen pumpas in i bergrummet har den förvärmats och har en temperatur på cirka +3 grader.

Nedan följer en genomgång av angreppssättet vid förprojekteringen enligt avsnitt 3.3 och Tabell 3.1. Det skall poängteras att analysen gjorts med beaktande av att varje projekt är unikt och att metodiken också måste anpassas till detta.

5.1.2 Etapp 1 - Förprojektering

Som ett första steg i projekteringen granskade och kontrollerade projektledningen liknande anläggningar i Sverige och Finland. Härvid nyttiggjordes andras erfarenheter, vilket naturligtvis påverkade både utformning och kvalitetsstyrning.

Från början definierades de egna målen i kvalitetsstyrningshänseende. Därefter har kvalitet och uppställda mål utvärderats kontinuerligt under arbetets gång. Denna arbetsform har enligt de ansvariga fungerat tillfredsställande. Den framställda projekthandboken, Terminalgas (1988) är ett bra exempel på kvalitetsstyrning. Denna handbok är väl strukturerad och genomtänkt samt i ett format som gör den lätt att ta med sig. Projekthandbokens innehåll redovisas i tabell 5.1.

Tabell 5.1. Innehållsförteckning i Terminalgas' projekthandbok

- 1 PROJEKTBEKRIVNING
- 2 PROJEKTADMINISTRATIVA RUTINER
- 3 ORGANISATION
 - A. Befattningsbeskrivningar
 - B. Mötesrutiner
- 4 KONTOPLAN
- 5 ARKIVPLAN
- 6 TIDPLANER
 - A. Huvudtidplan
 - B. Deltidsplaner
 - C. Samordningstidplan
- 7 TEKNISKA PROJEKTFÖRUTSÄTTNINGAR
- 8 TELEFONLISTA
- 9 KARTOR
- 10 DISTRIBUTIONSLISTA PROJEKTHANDBOK

Vidare har en analys av upphandlingsformen genomförts av professor Jan Söderberg från Lunds tekniska högskola. Denna har omfattat en jämförande studie av de två gasollagren Sundsvall och Karlshamn.

Något förfrågningsunderlag till den kontaktade/utförande konsulten för förundersökningskedet fanns inte upprättad enligt uppgift. Detta skiljer sig från övrig upphandling i projektet, och tyder på ett stort förtroende för konsulten. Denna form av upphandling av konsulttjänster inom området geologi och grundvatten har fortgått under samtliga etapper 1-4 vilket medför att det i vissa fall är svårt att avgöra vilken rapport som tillhör respektive skede. Man kan också tycka att det är anmärkningsvärt att ingen fullständig geologisk slutrapport har presenterats av den anlitate konsulten. I den av entreprenören upprättade kvalitetsplanen under kapitlet organisation finns inte den anlitate konsulten för geologi och grundvatten uppräknad, vilket också är ovanligt. Konsulterna finns emellertid angivna i de administrativa föreskrifterna för entreprenaden (Terminalgas, 1988), som tillsammans med projekthandboken utgör grundläggande handlingar för projektets genomförande.

Den första av geokonsulten upprättade rapporten behandlar en geologisk-tektionisk undersökning med följande metodik:

- Genomgång och sammanställning av tidigare utförda undersökningar och erfarenheter från i området befintliga berganläggningar
- Geologisk-tektionisk fältkartering
- Borring av fyra kärnborrhål med vattenförlustmätning
- Kartering av borrhälar (4 st)
- Utvärdering av vattenförlustmätning
- Sammanställning och utvärdering samt upprättande av en geologisk-tektionisk förväntningsmodell

Rapportens resultat kan sammanfattas enligt följande:

Geologi-tektionik:

Den regionala berggrundsbeskrivningen visar att den s k Blekinge kustgnejs dominerar inom området. Den grå, vanligtvis finkorniga (< 1 mm) gnejsen är svagt förskiffrad dvs bergväxten är svagt utbildad. Förskiffringsriktningen är N-S - N 15 E / 50-60 W. I gnejsen förekommer inneslutningar av pegmatit och basiska inlagringar (här kallad grönsten) på några cm. I borrhälen återfanns några 5-30 cm breda grönstensinlagringar. Dessa grönstenar är i blottningar delvis leromvandlade. En påträffad krosszon i ett av de befintliga berggrunden var delvis leromvandlad.

Området domineras tektioniskt av följande sprickgrupper:

- N-S - N 15 E
- E-W
- N 10 E/ 60-65
- N 50-60 W
- N 30 -40 E

Slutsatsen är att berggrunden har i stort sett god kvalitet för berggrundsbyggnation med en låg sprickfrekvens. De redovisade sprickgrupperna ger en storblockig uppsprickning.

Hydrogeologi:

Bedömningen är att grundvattenföringen i det aktuella området är mycket låg. Resultatet från utbyggnaden av befintliga anläggningar visar dock på en lokalt avsänkt grundvattennivå. I detta skede fanns inga uppgifter på grundvattennivån och uppgifter saknas från kärnborrhälen.

Vattenförlustmätningar har genomförts i tre kärnborrhål med enkelmanschett. Resultatet har utvärderats av kärnborrningsföretaget och den redovisade största inpumpade vattenmängden är 0.06 l/m min bar mellan nivå 15-50 m i TG 4.

Bedömning:

Berggrunden är lämplig ur byggnadssynpunkt, och de större tektioniska zonerna som omger bergplinten kommer inte att beröra anläggningen. Mindre prognosticerade zoner inom bergplinten har ingen större uthållighet med eventuellt undantag av en brantståen-

de nordsydlig zon öster om den planerade anläggningen. Viss "risk för enskilda blockutfall föreligger på grund av berggrundens allmänna storblockiga utbildning." Risken för leromvandling anses som liten. Berggrunden är i stort tät.

Genomgången och redovisningen av befintliga anläggningar samt erfarenheter därifrån är i denna första rapport summarisk och borde ha kunnat ge mer indata för den viktiga första analysen. Karteringen är acceptabel och redovisningen av utförda karteringar av borrhämlor ger ett bra underlag för utvärderingar.

Utvärderingen av vattenförlustmätningarna saknar stringens och förväntningsmodellen kunde vara mer genomarbetad.

5.1.2 Ettapp 2 - Projektering

Några geologi- eller geohydrologirapporter för projekteringsskedet har inte redovisats. Detta får tolkas, dels så att projektören nöjt sig med resultatet av den geologisk-tektoniska undersökningen, dels så att utformningen av olika detaljer i bergrummet fortlöpande anpassats till bergegenskaperna under byggperioden. Så har vad vi kan se inte utökningen av bergrumsvolymen från 30 000 m³ till 50 000 m³ föranlett någon egentlig ny undersökningsinsats. Man får emellertid förmoda att bergkonsulter haft fortlöpande rådgivning till projektörerna under projekteringsfasen.

5.1.3 Ettapp 3 - Byggperiod

För att följa projektet under byggfasen upprättades en särskild vattengrupp med representanter för beställare, entreprenör och konsult. Detta visar att man har stor respekt för de geohydrologiska frågorna, just därför att det är ett gaslagringsprojekt, där lagrets täthet beror på grundvattensituationen kring lagret. Gruppens uppgift var att följa utvecklingen av grundvattennivåerna kring lagret och de andra bergrummen i området, att följa och värdera borrhningen av vattenridåhålen samt att föreslå åtgärder för att hålla grundvattensituationen under kontroll.

De följande rapporterna redovisar borrhningar av vattenridåns totalt 24 borrhål som har fungerat som observationspunkter och infiltrationshål. Programmet för genomförandet har utarbetats allteftersom resultat inkommit från hydrauliska tester i borrhålen och här förefaller det inte ha funnits någon speciell plan.

Bedömningen av resultatet är dock att önskat grundvattenskydd över och runt gasollagret genom infiltration kan upprättas. Vidare att betryggande grundvattenskydd etablerats genom kompletterande infiltration i bestämda borrhål.

Vid projekterat lagringstryck, 7,5 bar övertryck, erfodras en grundvattenyta högre än nivå -8 m i omgivande berg. Det etablerade grundvattenskyddet innebär enligt bedömningen en betydande extra säkerhet vid lagringen.

5.1.4 Etapp 4 - Driftperiod

Vid idrifttagningen av lagret skedde ett läckage av gasol från ett borrhål som just höll på att borrar. Hålet skulle komplettera observations- och infiltrationshålsnätet mellan gasollagret och bergrummen söder därom. Läckaget föranledde en omfattande utredning, och man konstaterade att det orsakats av en osedvanligt stor borrhålsavvikelse, som medförde att hålet borrades in i bergrumsgaveln, trots att det var riktat som ett snedhål bort från bergrummet. Läckaget hade därmed inte primärt något att göra med grundvattensituationen kring lagret. Det inträffade visar vikten av att känna riktning och krökning hos undersökningsborrhålen. Intressant är också att det krökta borrhålets läge bestämdes med borrhålsradarmätning, en metod som utvecklats inom SKB-projekten.

Driften fungerar idag helt tillfredsställande enligt uppgift.

5.1.5 Slutkommentar till Terminalgas' gasollager

Projekterings- och byggprocessen i Karlshamn visar sannolikt ett ganska typiskt förlopp för ett projekt där man har en kompetent beställare, som anser sig veta hur man skall gå tillväga och hur anläggningen skall utformas. Man kan här peka på de nära relationerna mellan Sydkraft och Terminalgas, där Sydkraft med sin stora erfarenhet verkat både som projektör och byggläda. I samma perspektiv bör man se relationerna mellan konsult och projektör, där det inte är det första projektet man samarbetar i, vilket medför att mycket av det som sker, sker muntligt och noteras i mötesprotokoll och liknande, men inte resulterar i heltäckande konsultrapporter. En risk med detta arbetssätt är dock att ny kunskap och ny teknik inte förs in i projekten genom att man "gör som man brukar göra".

Detta fungerar väl så länge allt går enligt planerna. Om problem uppstår, som exempelvis vid läckaget ur borrhålet, medför det att vissa förhållanden blir svåra att reda ut. En bättre löpande redovisning tror vi därför skulle ge kvalitetsvinster.

Geohydrologifrågorna har hela tiden varit aktuella i projektet. De metoder som använts har emellertid främst varit kvalitativa och erfarenhetsbaserade. Några beräkningar och djupare analyser har vi inte lyckats finna. Igen, kan man säga att detta fungerar så länge erfarenheten räcker till och att inga oförutsedda händelser inträffar. I detta fall kan man emellertid peka på den något ad hoc-betonade kompletteringen av infiltrations- och observationssystemet söder om bergrummet. Man kan förmoda att behovet hade avslöjats och att detta kunnat genomföras på ett mer planerat sätt om geohydrologiska data utnyttjats bättre och man gjort en modellberäkning av grundvattentrycken kring bergrummet. Det hade rimligen sparat en hel del problem genom att de kunnat lösas innan lagret togs i drift.

5.2 HOJUMS KRAFTSTATION

Hojums och Olidans kraftstationer i Trollhättan utgör Vattenfalls egentliga "elvagga" och därmed också Sveriges första koncentrerade elenergileverantör. De första enheterna färdigställdes i början av seklet och de nuvarande anläggningarna innehåller 13 (Olidan) respektive två turbiner. Hojums kraftstation planerades först för tre aggregat, men endast två turbiner installerades när anläggningen färdigställdes 1943. Det var dock till en del förberett för en tredje turbin. I Vattenfalls utvecklingsprogram i syfte att säkerställa Sveriges framtida elenergibehov har därför en utbyggnad av ett tredje aggregat, G16, i Hojum ingått. En översikt över Hojums kraftstation visas i Figur 5.2.

Utbyggnaden innebär en hel del underjordsarbeten med bland annat en utloppstunnel på cirka 100 m och utsprängning för turbinrummet, en nog så svår uppgift med tanke på den verksamhet som måste fortgå. Vidare innebär alltid ett ingrepp i en befintlig anläggning hänsynstagande och överraskningar. Detta accentuerades av att relationsritningarna över tidigare utförda underjordskonstruktioner inte stämde överens med verkligheten. Den aktuella frågeställningen var om bergförhållandena skulle ge några tillkommande överraskningar vid de tillkommande sprängningsarbetena.

Arbetet är nu färdigställt och facit på bergförhållandena har erhållits. Det kan konstateras att den uppställda prognosen i stort sett har uppfyllts, och inga avgörande fel har konstaterats enligt berörda parter. Underlaget för prognosen utgörs av ett förundersökningsmaterial sammanställt och utvärderat av Vattenfall och Hagconsult AB. Rapporten är: "Hojums kraftstation, bergundersökningar 1987 - 88, utförande, resultat och rekommendationer" av Nils Granlund, Hagconsult AB, och Martin Moberg, Vattenfall, 1988-12-09. Rapporten benämns fortsättningsvis Rapport 1.

Vidare skedde under byggnadstiden ett bergtekniskt uppföljningsarbete, som utfördes av den fristående konsulten Kurt Eriksson på uppdrag av Vattenfall HydroPower AB. Här föreligger ett kartmaterial och en sammanställning över geologi, vattenförekomst och förstärkningsarbeten. Detta material benämns fortsättningsvis Rapport 2.

Förutom denna dokumentation har underlaget för den retrospektiva analysen utgjorts av fältrekognoseringar, presentation, förevisning och diskussioner med platschef Sören Burström, Kraftbyggarna och Sven Andersson, Vattenfall HydroPower AB. Tillstånd att få ta del av och bearbeta materialet har medgivits av Bengt Arne Westerlind, Vattenfall Västsverige.

Nedan följer en genomgång av Etapp 1 - 4 enligt Tabell 3.1 och avsnitt 3.3 med utgångspunkt från Hojumsprojektet och med vinkling mot ett geohydrologiskt angreppssätt. Det skall poängteras att analysen gjorts förutsättningslöst och i medvetande att varje projekt är unikt och att metodiken också måste anpassas till detta. Två principer har vi emellertid sökt följa:

- Man skall starta med billiga metoder och avsluta med de dyraste. Enkla metoder bör således föregå komplicerade.

- Man skall gå från allmänna utsagor till specifika, det vill säga från en översikt till detaljer.

Avslutningsvis finns en analys av vad ett mera komplett geohydrologiskt angrepp hade medfört under varje etapp.

5.2.1 Etapp 1 - Förprojektering

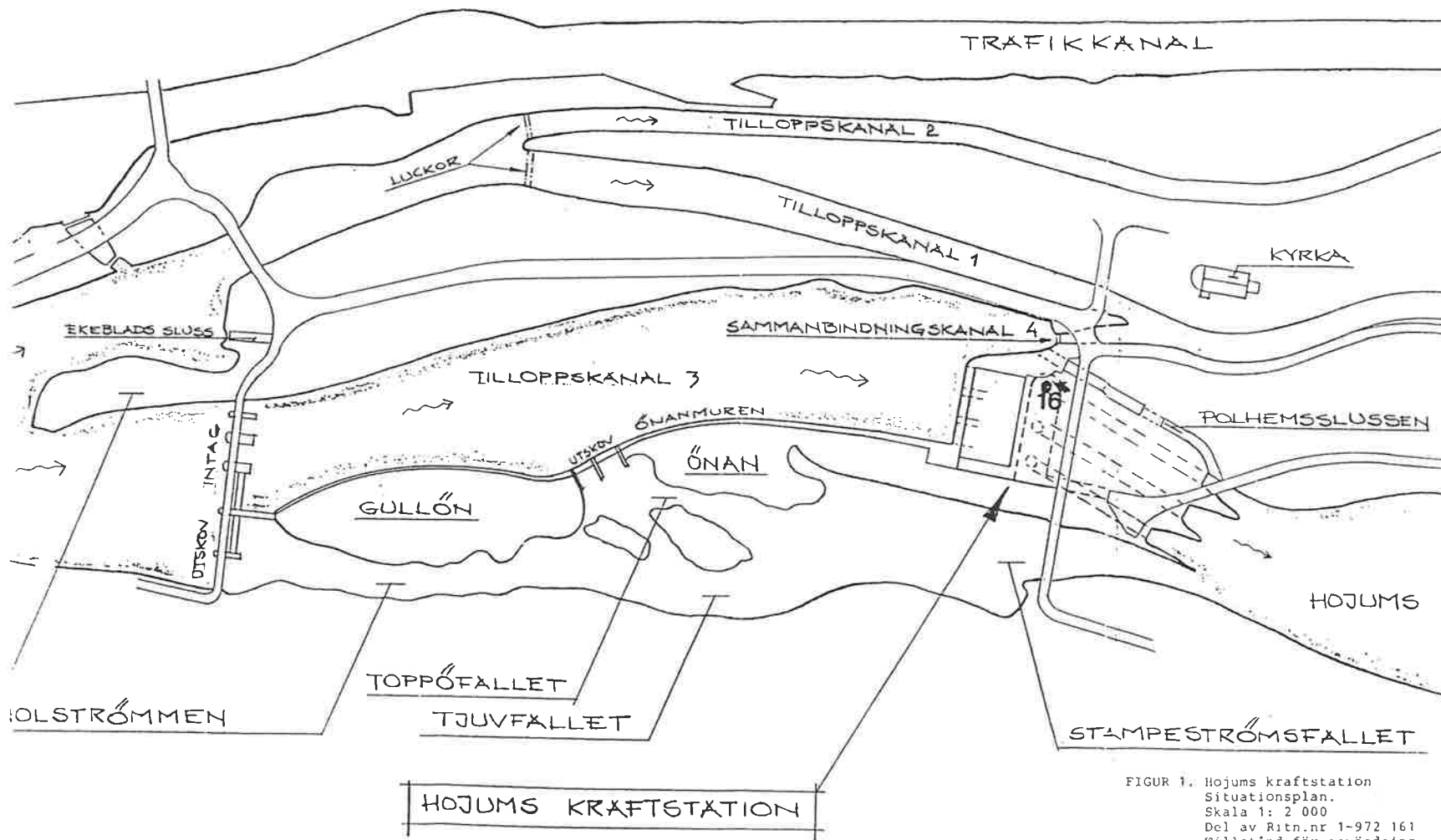
Dokumentation från denna del saknas i stort sett helt. Detta beror delvis på att det studerade projektet utgör en utvidgning av en tidigare anläggning. Någon lokaliseringsprocess var det därför inte fråga om och erfarenheter från det tidigare bygget fanns trots allt samlat även om de inte var helt korrekta. Man konstaterar därför i Rapport 1 att:

"Kraftstationsbygget åtföljdes av relativt ringa bergtekniska och bergmekaniska problem enligt skriften 'Hojums Kraftstationsbyggnad' från 1945, och ingenting finns nämnt om förundersökningar genom exempelvis kärnborrning före byggstarten. I maskinsalens norra och östra vägg utfördes emellertid omfattande förankringsarbeten på grund av slag i berget".

En studie av tillgängliga bergytor i maskinstation och kabeltunnel samt berghällar i dagen har genomförts. Slutsatsen var att bergmassan runt utbyggnaden av G16 skilde sig från de tidigare utsprängda delarna. Denna slutsats medförde att man tog ett beslut om att kärnborrning skulle utföras. I och med detta betraktades de arbeten som skall motsvara Etapp 1 avslutade.

Under förprojekteringsetappen brukar nyckelordet vara arkivsökning och enklare fältrekognoscering. Vi kan inte riktigt bedöma om man ansåg den äldre utredningen tillräcklig eller om den samlade erfarenheten från området avgjorde insatsen. Vi kan emellertid konstatera att man inte gjort några ansträngningar att söka data från andra källor än de egna arkiven. Någon preliminär ingenjörsgelogisk modell över området har inte redovisats liksom inte heller någon redovisning av de geologiska och bergtekniska riskerna.

För området finns ett gott geologiskt kartmaterial liksom flygbilder, som kan vara underlag för en ingenjörsgelogisk modell omfattande bergartsfördelning och tektoniska huvuddrag. Vad beträffar geohydrologin kunde man förmoda att närheten till de gamla anläggningarna och Trollhätte kanal kunnat medföra en mycket komplicerad situation. Grundvattennivåobservationer i något befintligt borrhål hade sannolikt gått att utföra. Man kunde vidare exempelvis ha utnyttjat SGU's brunnssdatabas för att få ett första underlag till en läckageprognos.



Figur 5.2. Hojums kraftstation, situationsplan. Del av Vattenfalls ritning nr. 1-972 161.
(Tillstånd för användning har erhållits)

5.2.2 Etapp 2 - Projektering

En översiktlig kartering av tillgängliga bergytor i anslutning till kraftstationen, Polhems sluss, Göta älvs fåra samt nedströms Oskarsbron genomfördes. Med utgångspunkt från resultatet rekommenderades ett stegvis genomfört kärnbörningsprogram. Varje börnings-etapps resultat skulle utvärderas och läggas till grund för det fortsatta undersökningsarbetet.

Hålen borrades i nummerordning, 1 -10, och placerades i väl genomtänkta positioner för att täcka in intressanta och väsentliga delar av undersökningsområdet. Av de tio kärnborrhålen utfördes sju som gradhål (14 - 50 grader) och tre som vertikalhål. Den sammanlagda längden kärnbörning var ungefär 400 m.

Redovisningen avseende berggeologiska förhållanden klargör områdets stratigrafi och åldersförhållanden samt bergartsfördelningen. Struktureologiskt dominerar nord-sydliga riktningar som medför både förskiffring och stänglighet. I ett senare sprödektioniskt skede sker också delvis riklig sprickbildning som beskrivs med avseende på sprickmineral, uppträdande och riktningar.

Beskrivningen visar och klargör eventuella bergtekniska problem, som beror av berggrundens historia och uppträdande. Okulära granskningar visade att det inte fanns några tecken till vattenrinning i maskinsalens fria bergväggar mot norr och öster. Endast ett litet läckage kunde upptäckas i stationens djupaste del mot öster på nivån ca +4 m. Det identifierades som ett inläckage i en bergartskontakt.

Genom att man i borrprogrammet kombinerat gradhål i två mot varandra vinkelräta lodplan och vertikala hål anser man att flertalet sprickriktningar har övertvärats. Inga märkbara spolvattenförluster noterades under kärnbörningen förutom vid ett tillfälle, då orsaken var ett korsande gammalt borrhål. Några få geohydrologiska observationer gjordes emellertid under börning:

- Vid börning av hål D8 utfördes observationer av vattenytans förändringar i borrhålet. Efter varje upptag fastställdes vattenytans läge med hjälp av ett ljuslod och ytan hölls under kontroll vid nedsättningen av kärnrör och borrsträng för fortsatt börning. Någon nämnvärd inläckning kunde inte noteras och efter avslutad börning låg vattenytan på nivån +14,0 m. En kontrollmätning två dygn senare visade att vattenytan stigit till +15,4 m. Detta antyder ett mycket tätt berg.
- I borrhål D10 genomborrades på nivå ca +12 m någon eller några vattenförande sprickor, som gav ett flöde av ca 2 l/min vid trycket 3 mvp. Läckvattnets ringtryck tolkas som att det inte är frågan om flöde från kanalen där vattenytan ligger på ca +39 m.

Ingen täthetsundersökning av berget gjordes med hjälp av konventionella vattenförlustmätningar eller liknande. I den tidigare nämnda skriften "Hojums Kraftstationsbyggnad" finns enligt uppgift ingen redovisning av bergtätning genom cementinjektering.

Materialet omfattar vidare en utförlig beskrivning av de bergbyggnadstekniska förutsättningarna. Så redovisas exempelvis ritningsbilagor över borrkärnematerialet med indelning i sprickklasser, RQD-värden mm. Materialet presenteras överskådligt på bland annat sek-

tioner, foton och diagram. För att ytterligare höja åskådningsgraden och visa de tredimensionella förhållandena presenterades också en plexiglasmodell i skala 1:200. Dessutom presenteras i en textdel en väl genomförd analys av detta material med avslutande rekommendationer.

Projekteringsunderlaget redovisas således som en väl genomförd konventionell berggeologisk/bergteknisk förundersökning. Mot detta finns inte något att anmärka. Visserligen hade det varit möjligt att använda hammarbörning i en del fall för att få ned kostnader, och kanske någon annan metodik för bergklassificeringen, men detta är snarast en smaksak.

Av ett geohydrologiskt angreppssätt finns däremot inte ett spår. De enkla in/utläckagetester, som utfördes, kanske ändå ansågs tillräckliga, något som också styrks av erfarenheterna under byggtiden, se vidare nedan. En kontroll av borrhålens hydrauliska funktion samt längre observationsserier borde dock ha genomförts, eftersom de låga inflödena till borrhålen också beror på låga drivtryck. Detta medför att man inte har någon egentlig kontroll av bergets hydrauliska konduktivitet och därmed inte heller kunnat signalera någon beredskap mot överraskande inläckage.

5.2.3 Etapp 3 - Byggperiod

Uppföljningsarbetet, som presenteras i Rapport 2, har haft karaktären av en byggnadsgeologisk beskrivning och dokumentation. Rapporten redovisar följande:

- Huvudbergart, sprickor, sprickfyllnad och strukturer.
- Vatteninläckage i tre klasser: Fukt, dropp och rinnande vatten.
- Utförda förstärkningsarbeten.

Rapporten lämnar, så långt, inte utrymme för några ytterligare kommentarer än de tidigare gjorda. En del partier har varit relativt svåra ur bergteknisk synpunkt. Bland annat utfördes kabelbultning, men inte av sådan art att den inte kunde förutses med hjälp av förundersökningarna. Detta visar på ett bra utfall av gjorda analyser och prognoser.

Man kan vidare konstatera att uppgifterna från berörda personer i projektet är helt samstämmiga. Några egentliga vattenproblem har inte förekommit. Några uppgifter och mätdata finns inte att analysera.

5.2.4 Slutkommentar till Hojums Kraftstation

För utbyggnaden förutsågs inga grundvattenproblem, man gjorde inga djupare förundersökningar för att bemöta sådana och man råkade heller inte ut för några grundvattenproblem. Man kan då, dels undra om det var någon slump, dels om det finns några motiv för att hålla på med geohydrologiska undersökningar i dessa sammanhang. För att börja med den första

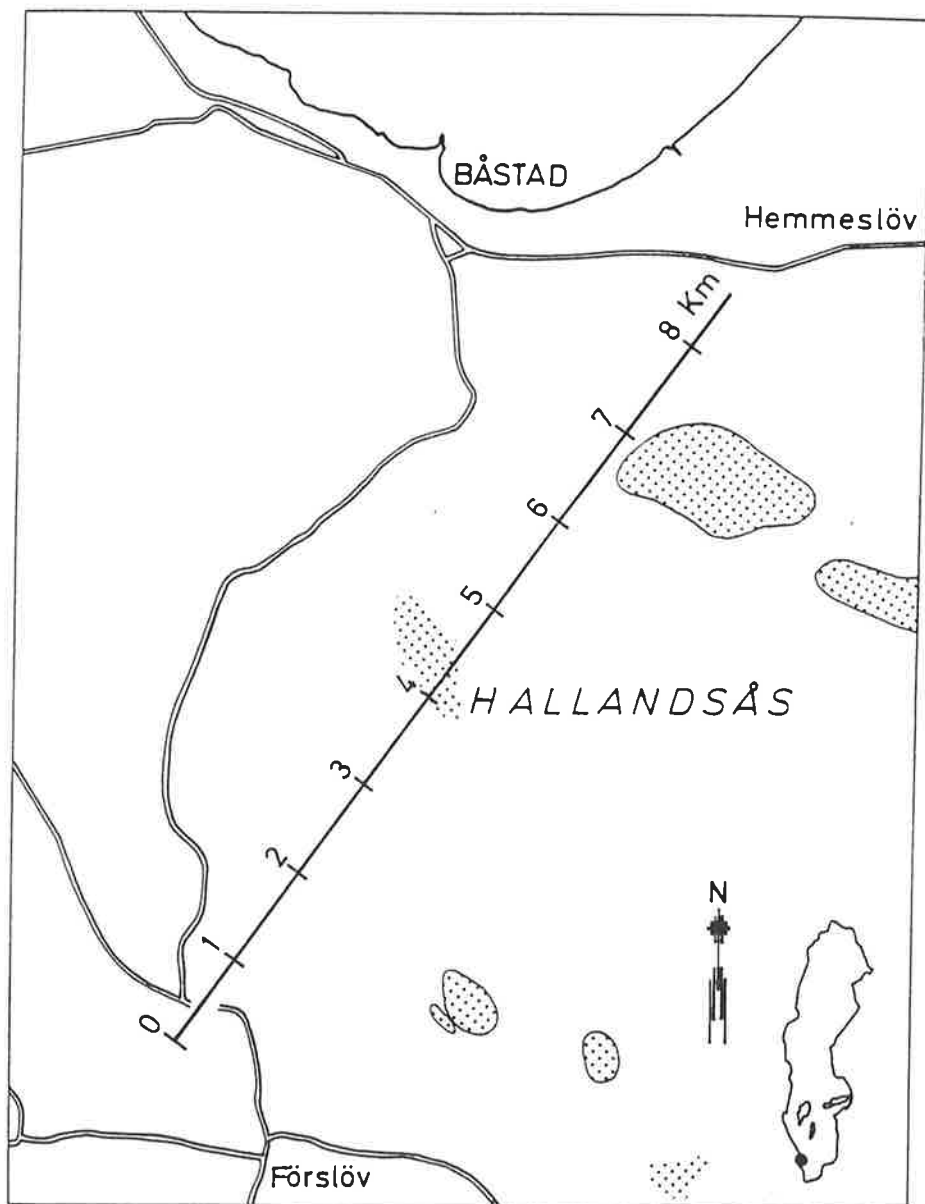
frågan, kan man konstatera att Hojums tillbyggnad var ett av de sista byggena i sin art. Bygget genomfördes, som ett av de sista utförda av Vattenfalls byggnadsorganisation. Man vilade här på en mer än 70-årig tradition och ett gediget kunnande. Man hade inom organisationen fortfarande kontroll på och kanske också muntliga uppgifter om förhållandena vid den första utbyggnaden. Genom detta förväntade man sig inga vattenproblem och fick inga heller. Man både bedömde situationen rätt och handlade alldeles riktigt.

Inför framtiden kan man emellertid konstatera att denna erfarenhetsbas inte längre är lika lätt att mobilisera. Organisationen hos Vattenfall har ändrats och nya människor har kommit in med andra erfarenheter. Vidare har det kringliggande samhällets krav förändrats. Omgivningspåverkan, där för kraftverksbyggena knappast grundvattensänkningar hörde till de mera framträdande, får mycket stor betydelse inom bebyggda områden. Nya kvalitetssäkrings-system, gör att det sannolikt måste visas och dokumenteras på ett annat sätt, vilka faktorer, som skall beaktas eller inte vid en berganläggning. Ökad medvetenhet om risker och risk-faktorer, på grund av ändrade produktionsmetoder verkar åt samma håll.

Vår lärdom av Hojum är därför inte att man skall göra en mängd geohydrologiska undersökningar för deras egen skull, utan snarare att man skall skaffa sig enkla verktyg för att undersöka och analysera grundvattenrisker på ett tidigt stadium för att slippa lägga ned stora insatser till begränsad nytta.

5.3 HALLANDSÅSTUNNELN

Anläggandet av två parallella järnvägstunnlar genom Hallandsåsen baseras på två utredningsprojekt, som genomfördes på uppdrag av Banverket - Södra Regionen, se figur 5.3. Den första, Spårprojektet, omfattar i huvudsak en konventionell banutredning. Den andra, Bergprojektet, omfattar geologiska, geofysiska, geohydrologiska och bergtekniska utredningar. Föreliggande analys omfattar i stort sett enbart den geohydrologiska delen av Bergprojektet och dess koppling till de geologiska och geofysiska arbetena. Den bergmekaniska delen har inte varit möjlig att infoga, vilket vi dock inte anser ha haft någon avgörande betydelse. Genom att bygget senare kom att genomföras som totalentreprenad, samt att det långt ifrån är färdigställt, har endast Etapperna 1 och 2 i tabell 3.1 varit möjliga att följa. Allt material från geoundersökningarna för Hallandsåstunneln har ställts samman i en gemensam rapport: "Skottorp - Förslöv, Ny järnväg. Förfrågningsunderlag. Primärdata - Berg", Banverket - VBB VIAK (1991). Dessa data har också varit grunden för vår analys.



Figur 5.3. Hallandsåstunnelns sträckning

Målsättningen med bergprojektet har varit att beskriva de bergtekniska och geohydrologiska förutsättningarna som ett underlag för

- slutlig tunnelsträckning och alternativa tunnelutformningar
- erforderliga förstärkningar och dimensionering av dessa
- erforderligt underlag för tillståndsansökningar

Undersökningarna genomfördes i följande ordning och omfattning:

- berggrundsgeologiska och tektoniska undersökningar
- geofysiska undersökningar
- undersökningsborrningar
- geohydrologiska undersökningar
- kärnborrningar
- bergmekaniska undersökningar

Bergprojektet har samordnats av VBB VIAK AB. De har vidare haft en referensgrupp med företrädare för de olika utredningsdelarna som följt arbetet.

Enligt redovisningarna genomfördes de geohydrologiska undersökningarna med i huvudsak två syften:

- 1) Att klarlägga vilka vattenläckage som kan förväntas till tunneln.
- 2) Att klarlägga effekterna i närheten av markytan av en framtida tunnels dränerande inverkan.

Kriterier för tunnelns tätning har dessutom föreslagits med utgångspunkt från erhållna resultat. Några sammanfattande slutsatser av de geohydrologiska undersökningarna redovisas inledningsvis nedan som en bakgrund till analysen:

- Berggrunden har hög vattengenomsläpplighet och man kommer sannolikt att få vattenproblem om inte lämpliga åtgärder vidtas.
- Berggrunden genomsättes av förkastningszoner och gångbergarter i riktning NV-SO.
- Förkastningszoner utgör bland annat Hallandsåsens nordliga och sydliga begränsningar.
- De större sprickzonerna är ofta leromvandlade och analyser visar på en övervägande del kaolinit.
- Geofysiska mätningar indikerar totalt sett hög sprickighet och att stupningen hos zonerna är nära vertikal.
- En lermorän med delvis känd utsträckning förväntas ge en reducerad dränering av ytligt grundvatten i sydligaste delen av tunnelsträckningen.

Den genomförda analysen omfattar endast undersökningarna i Etapperna Förprojektering och Projektering enligt ovan. Då byggprojektet utförs som totalentreprenad tillkommer dessutom ytterligare undersökningar i entreprenörens regi. Dessa, liksom erfarenheterna under

bygg tiden, förväntas inte bli tillgängliga för genomgång under den närmaste framtiden. När så blir fallet torde de berättiga ett eget uppföljningsprojekt.

5.3.1 Etapp 1 - Förprojektering

Undersökningarna startade med en noggrant genomförd inventering av befintligt material. Detta gav ett underlag för planering av fortsatta aktiva undersökningar och en inledande analys av områdets egenskaper. Inventeringen omfattade följande:

- Bergborrade brunnar inom ett avstånd av ca 4 km vinkelrätt ut från tunnelsträckningen.
- Nederbörds- och avdunstningsdata från SMHI's stationsnät.
- Topografi och ytvattenförhållanden.

Detta material användes till att analysera områdets hydrogeologi. Tillsammans med geologi-informationen gav detta viktiga slutsatser angående:

- Jord- och bergakviferer och deras grundvattenmagasin.
- Samspelet mellan grundvattnet i jord och berg.
- Grundvattenbildningen.
- Grundvattennivån och dess relation till topografin.
- Fördelning av specifik kapacitet och transmissivitet för brunnarna. Dels för att ge en uppfattning om intervall och variation, dels som underlag för en statistisk analys.

Inventeringen av befintligt material avseende geohydrologiska datauppgifter ger ett underlag för en utförlig och omfattande beskrivning i denna del av utredningen.

En analys av grundvattenkemin kunde troligen ha genomförts med hjälp av SGU's brunnsarkiv och tidigare utredningar.

En presentation av en geologisk/ingenjörgeologisk karta med en mer sammanfattande uppläggning hade kompletterat utredningen. Kartor över inventerade brunnar och isokarta över specifik kapacitet finns dock.

Det representativa underlaget skall sättas i relation till målsättningen, som enligt vår bedömning inte framgår tydligt av redovisningen.

5.3.2 Etapp 2 - Projektering

I det vidare arbetet utfördes en omfattande fältundersökningsinsats. Denna utgjorde senare underlag för den analys, vars resultat utgör det redovisade projekteringsunderlaget. Undersökningarna omfattade bland annat:

- Borring av hammar- och kärnborrhål.
- Kaxprovtagning och bl a XRD-analys av finfraktionen för att undersöka om svällande leror förekommer.
- Enkla hydrauliska tester i samband med borring.
- Korrelationsstudie till inventerade brunndata.
- Korta provpumpningar i 6 borrhål.
- Längre provpumpningar med mätningar i kringliggande borrhål och privata brunnar i två borrhål.
- Upprättande av en geohydrologisk modell på grundval av geologiska, geofysiska och geohydrologiska data.
- Vattenprovtagning med analys i 16 borrhål, av vilka två också analyserades med avseende på radon.

Den detaljuppföljning som gjordes på de 25 hammarborrhålen innefattade en kontroll av deras specifika kapaciteter och en beräkning av transmissiviteten. Detta var speciellt värdefullt eftersom man med en korrelationsstudie kunde knyta dessa resultat till vad man funnit i brunnsinventeringen. Genom den statistiska bearbetningen har man haft möjlighet att bedöma tillförlitligheten i undersökningsmaterialet. Redovisningen av dessa data är tydlig och koncis med en klar möjlighet att också relatera specifika värden till längdmätningen för tunneln. Denna redovisning underlättar en bedömning av det framtida potentiella tunnel-läckaget.

De hydrauliska testerna i borrhålen, kort- och långtidspumpningar, följer normal standard för större underjordsanläggningar och redovisas på konventionellt sätt. Testerna användes också för att bestämma eventuell hydraulisk anisotropi i bergmassan, dvs avsänkningstrattens utseende analyseras. En jämförelse med de tektoniska och geofysiska modellerna visar god överensstämmelse. Där jämförelser är möjliga visar resultaten att enkla tester har god överensstämmelse med senare mer omfattande tester. Den extra kontroll, som genomfördes i enskilda grävda och borrhållade brunnar avsåg att ge ytterligare information om en påverkan på jordlagrens grundvattenmagasin. Detta är en viktig del av tunnelns omgivningspåverkan.

Som en inledning till en prognos av inläckningsförhållandena har man gjort beräkningar med två enkla analytiska modeller. De visar en sannolik inläckning i intervallet $6 < q < 30$ l/s·km för en otätad tunnel. Ett tillåtet läckage av 2 l/s·km (12 l/min · 100 m) medför således att omfattande tätningsåtgärder blir nödvändiga. En simulering av tunnelpåverkan med

finit-elementmodellering ger vid dränerig på 2 l/s·km ett influensområde på 30 km², vilket innebär ett genomsnittligt influensavstånd av ca 1,7 km från tunneln.

Inga speciella anmärkningar finns att rikta mot redovisningen av vattenkemin. Den följer i stort sett ett konventionellt mönster.

Utredningen utgör en omfattande redovisning av ett omfattande undersökningsarbete för att utreda de geohydrologiska förutsättningarna för projektet. Vad man möjligen kan sakna i denna etapp är en etablering av ett observations- och övervakningsprogram i syfte att erhålla en användbar tidsserie. Kunskap om grundvattnets variationer i tid och rum är dels avgörande för förståelsen av ett områdes hydrogeologi, dels helt nödvändig för att avgöra om en tunnel påverkar situationen i en framtid. Denna information skulle också vara en värdefull uppdatering av den geologiska/ingenjörsgelogiska kartan.

5.3.3 Slutkommentar till Hallandsåstunneln

För närvarande, 1994, pågår tunnelbygget med stora problem. Något slutomdöme om förundersökningarna gav en rättvisande bild av berget och dess hydrogeologi går därför ännu inte att ge. Så långt kan man dock konstatera att den prognos, som gavs om att norra sidan på Hallandsåsen skulle bestå av en besvärlig förkastningszon, verkar stämma. En fråga är dock hur mycket man har tagit prognoserna på allvar.

För den geohydrologiska prognosens del kan man sannolikt lita till att berget är mer genomsläppligt än normalt och att man behöver genomföra omfattande tätningsarbeten för att uppnå de uppställda tätningskriterierna. Därmed uppstår ett annat problem, som har att göra med att tätningsarbetena omöjliggör en kvantitativ uppföljning av den geohydrologiska prognosen, eftersom det är inläckage till en oinjekterad tunnel, som man kan prognostisera med någon noggrannhet. Kvalitativt och till läge torde dock prognosen vara möjlig att följa upp.

En tredje faktor, när man skall värdera förundersökningarna, är att bergarbetena i detta fall genomförs som en totalentreprenad. Detta gör att förundersökningarnas juridiska värde blir ett helt annat än för någon annan entreprenadform. Frågan är om också deras värde som upplysning om bergförhållandena betraktas som lägre av detta skäl. De kanske studeras mindre eftersom de inte på samma sätt kan bli underlag för extrakostnader på grund av avvikelser.

5.4 NÅGRA REFLEXIONER FÖRANLEDDA AV DE RETROSPEKTIVA ANALYSERNA

De retrospektiva analyserna har gjorts på projekt i skilda geohydrologiska miljöer, från Hojums kraftstation, där man inte haft några vattenproblem alls, till Hallandsåstunneln, där vattenproblemen sannolikt blir betydliga. Gjorda förundersökningar och hur de använts föranleder en serie reflexioner som kan vara värda att beakta när en realistisk strategi för hur

geohydrologiska metoder skall tillämpas i bergbyggandet. Vissa slutsatser gäller förundersökningar och deras tillämpning i allmänhet, medan andra har mer specifik vinkling mot geohydrologi.

5.4.1 Vatten är dåliga nyheter!

Grundvatteninflöden till en berganläggning är ett besvär. Det medför som regel att man måste utföra dyrbar injektering, och dessutom åtföljs ofta vattnet av andra byggnadsproblem, som sprickigt berg, svällande leror och radon. Psykologiskt sett innebär det att man inte letar efter de svåra vattenproblemen om man inte har speciellt svåra erfarenheter. Historiskt sett har inte heller vattenprognoserna varit särskilt rättvisande, vilket medfört att man tagit dem med en nypa salt och i stället förberett sig med en organisation, som kan ta hand om problemen när de kommer.

För att geohydrologiska prognoser skall komma till användning måste de således vara av sådan art att de gör dåliga nyheter till goda. Detta har direkt med deras prognosvärde att göra. De måste vara så tillförlitliga att man kan:

- Förutsäga svåra vattenproblem till läge och art.
- Detaljplanera hanteringen av svåra vattenproblem i god tid.
- Reducera organisationen och beredskapen för att ta hand om vattenproblem.

Allt detta går, men det är en kostnadsfråga, insatsen måste alltid vara klart lägre än vad det kostar att bereda sig på det extrema. Detta är svårt att visa för vanliga anläggningar i normalgott berg. En lägre ambitionsnivå, som är nog så väsentlig, är att till låga kostnader göra en rättvisande riskprognos för vattenproblem.

5.4.2 Kan vatten vara ett problem?

Frågan i rubriken kan kanske verka förvånande. Man ska emellertid vara medveten om att inte alla grundvattenproblem syns i anläggningen. En viktig del i de geohydrologiska undersökningarna för Hallandsåstunneln bestod i att undersöka grundvattenpåverkan i områdena ovanför tunneln. Sättningar orsakade av grundvattensänkningar kring en tunnel känner vi alla till. Medvetenheten om hur små inläckage som krävs för att medföra sättningsproblem är dock inte allmän. Problemet kan också vara svårt att hantera eftersom det fordrar en uppföljningsorganisation, som skall följa nivåförändringarna i ett system av borrhål kring anläggningen. Detta medför kostnader både för att upprätta systemet och för att hålla det i gång. Som påpekats tidigare har inte alltid prognoser slagit in, vilket medfört att man ofta bevakat en förmodad påverkan som inte inträffat och missat avsänkningar, som fått stora ekonomiska konsekvenser. Igen kan man säga att allt detta går att ta reda på men det medför kostnader, som måste tas igen med god marginal i det senare utförandet. Slutsatsen blir tre typer av geohydrologiska undersökningar:

- Billiga metoder för att identifiera risker för grundvattensänkning och sättningar.
- Tillförlitliga detaljundersökningsmetoder för att förutse och projektera åtgärder mot grundvattensänkning.
- Effektiva uppföljningsmetoder för grundvattennivåförändringar.

En genomgång av undersökningsmetoder och deras användbarhet ges i avsnitt 6.2.

5.4.3 Kunskap och medvetenhet.

Ett problem med grundvatten är att det inte bär sig åt som bergspänningar. Stabilitet är alltid ett lokalt problem, den zon en tunnel påverkar sträcker sig någon tunneldiameter ut, vilket gör att man sällan behöver bekymra sig om de globala stabilitetsproblemen. Grundvatten känner inga sådana begränsningar. Grundvattenbalansen hänger alltid ihop med grundvattenbildningen vid markytan, sambandet mellan markytan och de lokala förhållandena kring tunneln. Det medför att geohydrologen ofta måste komma med svar fyllda av reservationer på ett sätt som gör dem svåra att utforma konkreta åtgärder från, samtidigt som byggaren slår ifrån sig reservationerna eftersom han uppfattar dem som ett tecken på bristande insikt snarare än vad de verkligen är; signaler om ofullständig information om ett komplicerat system. Botemedlet bör vara bättre utbildning av både geohydrologer och byggare, ett fält där SveBeFo har en mycket viktig roll. Av de geohydrologiska undersökningarna måste man kräva:

- Tydlighet om förutsättningar och precision
- Entydighet där så är möjligt

5.4.4 Förundersökningar läses inte.

Ett problem som vi snuddat vid tidigare är att förundersökningar inte läses särskilt noggrant förrän man har problem. Orsaken måste vara att man inte anser det mödan värt. Till detta kan det i sin tur finnas flera skäl:

- De innehåller inte vad man uppfattar som väsentlig information för planering av bygget.
- Man uppfattar att de som regel ger osäker, missvisande eller rent av felaktig information.
- De ger ofta irrelevant information på ett sådant sätt att det är svårt att skilja den från den väsentliga.
- De har i vissa fall begränsat juridiskt värde.

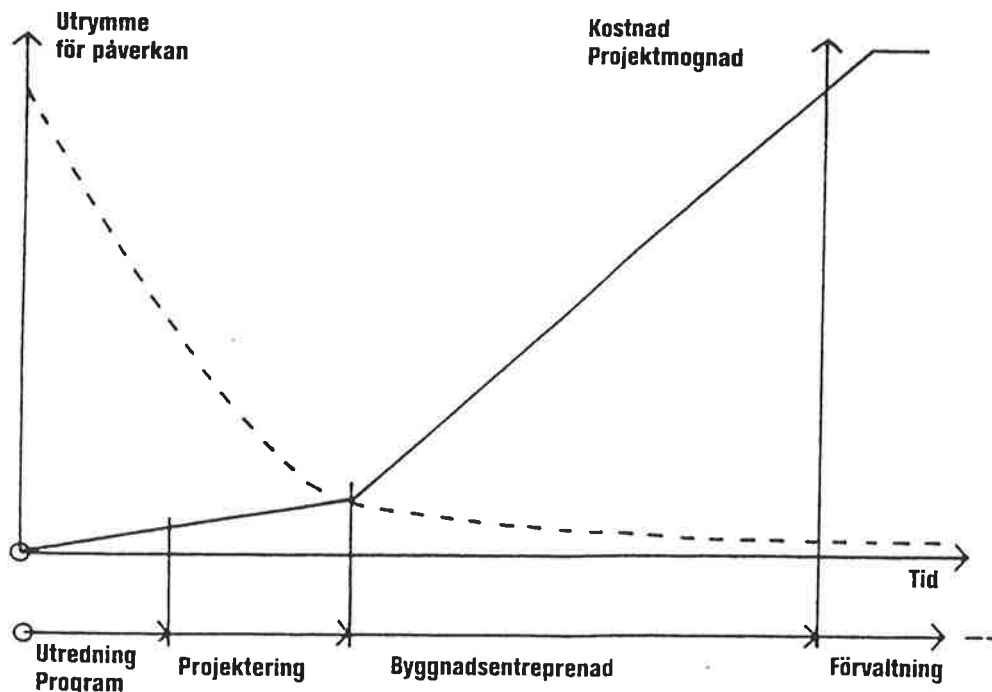
- Man kan inte tillgodogöra sig informationen genom att den är kryptiskt formulerad eller vag.
- Man saknar kunskap att tillgodogöra sig informationen.

För att rätta till detta måste alla inblandade anstränga sig. Problemen är generella och gäller inte bara geohydrologisk information.

5.4.5 Lönar sig förundersökningar?

En ofta ställd och därmed också berättigad fråga är om det verkligen lönar sig att göra avancerade förundersökningar exempelvis med geohydrologiska metoder. Betalar insatsen sig genom att man får ett enklare och billigare bygge, eller blir påverkan på omgivningen så mycket mindre att man därmed kan minimera externa krav. Svaren blir självfallet olika beroende på vilken roll man har i processen. Inte ens en inbiten totalentreprenör kan hävda att det är lämpligt att ge sig in i ett projekt utan några förundersökningar och även en hängiven konsult kan medge att vissa undersökningar är omotiverade. Alla kan således enas om att man behöver förundersöka, men det är ofta svårt att ena sig om en lämplig nivå. Vissa resonemang kan emellertid ligga till grund för en avvägning.

Undersöknings- och projekteringskostnader utgör en liten del av den totala projektkostnaden, se Figur 5.4, men de påverkar högst påtagligt projektkostnaden.



Figur 5.4. Kostnadspåverkan och projektmognad (Wätte, Cassel 1989, se Råsled 1994).

Att ge avkall på kvalitet till förmån för pris borde därför vara ofördelaktigt i ett tidigt skede av ett bergprojekt. Att bevisa det är svårt, men vissa möjligheter till att göra det finns genom en väl genomförd riskanalys.

Ju större risk man löper, desto större insatser är man beredd att sätta in för att avvärja den. Det innebär således att omfattande förundersökningar av detaljproblem har sitt berättigande när man har identifierat en risk och skall åtgärda den. Riskidentifikation kan emellertid ofta ske till måttliga kostnader om man bara är medveten om detta och utformar insatsen för detta. Här finns således en "80/20-regel", som bör utnyttjas vid planering av undersökningsinsatsen. Detta innebär att man går fram med sin undersökning i två steg, där det första inriktas mot att söka riskpunkter och det andra en detaljundersökning av dessa.

Ett annat fenomen, som är väsentligt, är att berget som regel är extremt heterogent. Det medför att specifika data är starkt platsbundna. I den mån man inte är specifikt låst i sin utformning av anläggningen utan har en möjlighet att anpassa den till förhållandena lönar det sig därför ofta dåligt att göra mycket detaljerade insatser, se mera om detta nedan. Igen finner vi att det finns en gräns för hur långt det är berättigat att föra en undersökning. En klok strategi för berättigade insatser är således:

- Att ta fram de generella egenskaperna hos berget.
- Att identifiera riskområden.
- Att detaljundersöka där risken är stor och man är låst av designen.

5.4.6 Problem tas när de kommer.

Resonemanget ovan är inte precis någon ny upptäckt. Man har vetat länge att berganläggningar blir både bättre och billigare om man har möjlighet att ändra utformningen och anpassa den efter berget. Detta har vidare medfört att man anpassat byggnadsorganisationen därefter. Systematiskt tillämpat har förfarandet givits namn som: Aktiv design, NATM eller Design as you go. Vi är övertygande om att detta angreppssätt är helt riktigt. Intressant är emellertid att i samtliga dessa sätt att anpassa sig till berget ligger en designfas. Det är alltså inte bara att bygga på, man måste hela tiden undersöka och analysera för att optimera sin framfart. Detta fordrar att man har metoder, som går att inpassa i en byggprocess, ger svar på de frågor man ställer och har god precision.

5.4.7 I vilket skede passar geohydrologiska metoder?

Geohydrologiska undersökningar går att genomföra under alla skeden av ett projekt. Det är viktigt att framhålla att det inte är något speciellt i sig med geohydrologi. Vissa metoder har funnits med mycket länge, manschettmätningar exempelvis. Vad som är relativt nytt är

dock att metoderna tillämpats konsekvent och med en konsistent teoribyggnad bakom. Den relativa nyheten gör dock att det ännu kan brista något i anpassning till byggprocessen och att kunskapen att ta emot informationen inte alltid finns hos byggarna.

6 UNDERSÖKNINGSGÅNG

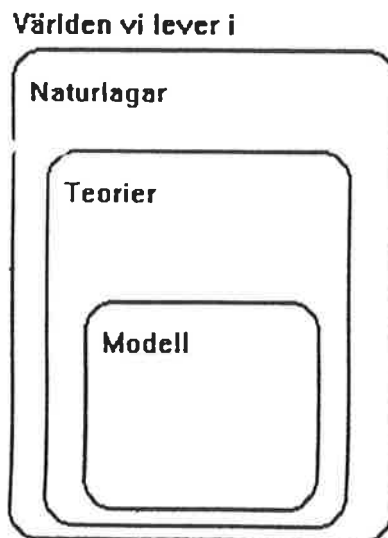
I det följande analyseras några grundläggande drag i det sätt vi arbetar med geoundersökningar, varefter vi försöker att kombinera denna analys med de slutsatser vi dragit från de retrospektiva analyserna för att komma fram till en lämplig undersökningsfilosofi. Denna filosofi är inte avsedd att vara ett recept för hur man genomför ett projekt med ett geohydrologiskt angreppssätt utan snarare ett såll man kan använda för att sortera fram lämpliga handlingsvägar.

6.1 ATT ARBETA MED MODELLER

Bakom varje förslag till undersökningsgång ligger någon tanke om hur vi tillägnar oss information, hur vi bearbetar den och hur vi sedan utnyttjar denna för att göra förutsägelser, som vi kan bygga vidare på. I det tidigare har vi sett, dels hur man vanligtvis bygger upp olika förväntningsmodeller som man använder för att beskriva förhållandena på en plats, dels hur vi delar in projekt i skeden eller etapper. Vi tror att båda dessa sätt att hantera information ligger som en bas för allt ingenjörsarbete och kan vara värda en inledande analys.

6.1.1 Modeller

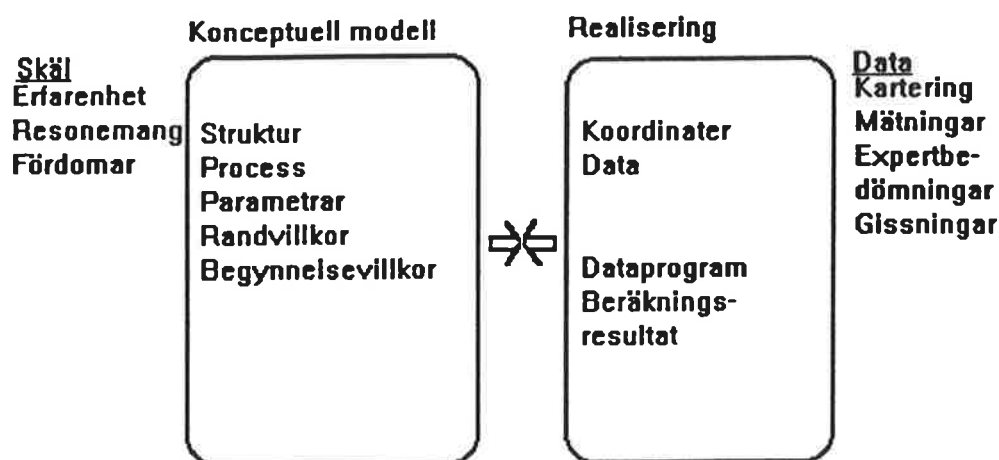
I ingenjörsarbetet förlitar vi oss på att den värld vi lever i åtminstone i princip är möjlig att förstå. Det finns ett antal naturlagar, som är giltiga överallt och som inte går att bryta mot. Vi håller oss också med ett antal svagare samband, som delvis kan härledas från naturlagarna men också grundar sig på erfarenhet. Hooke's och Darcy's lagar är sådana. Dessa kallar vi ofta teorier. I detta sammanhang är då en modell en tillämpning av en teori på ett specifikt problem. Vi har således en hierarki från det allmänna till det specifika, från naturlag till modell, se Figur 6.1



Figur 6.1. Modellens relation till verkligheten.

En modell kan vidare vara beskrivande eller kvantitativ. I vårt fall, när vi vill beskriva en bergvolym startar vi oftast med en beskrivande modell, som baseras på teorier om hur berget och dess spricksystem bildats, och kopplar så småningom till bergmekaniska och geohydrologiska modeller.

Detaljskådar vi sedan våra modeller finner vi att de har två viktiga sidor, dels en samling grundantaganden av allmängiltig karaktär, som följer direkt av teorierna, dels en platsspecifik uppsättning data. Den förra kallas ofta för den konceptuella modellen, och dess tillämpning på en specifik plats med givna egenskaper för modellens realisering, Gustafson och Olsson (1993), se Figur 6.2.



Figur 6.2. Den konceptuella modellen och dess realisering.

Som vi försökt visa är inte alltid underlaget för modellerna lika bra som vi tror. Speciellt i den konceptuella modell ligger ofta ett antal antaganden dolda, som vi inte är helt medvetna om. Vi har emellertid funnit att strukturen ovan ger oss möjlighet att analysera våra grundantaganden, men också våra fördomar på ett sådant sätt att vi bättre vet vilka approximationer vi gör. Den tvingar oss vidare att skilja på den verklighet vi skall beskriva och vår modell av den.

Vi vill nu påstå att ett viktigt steg för att höja kvaliteten hos bergundersökningarna är att tydligt redovisa den konceptuella modellen och att särredovisa karteringar, data och tester. Det senare brukar göras ganska väl, men det förra har vi sett alltför lite av.

I vissa sammanhang finner vi att det finns konkurrerande modeller. Frågan är ofta hur vi kan finna några regler för vilken av dem vi skall använda. En analys av dessa frågor gjordes i Stripaprojektet, Hodgkinson m fl (1992). Grundläggande för detta fann man vara, dels att modellen är användbar för det specifika syftet (usefulness), dels att man kan samla data och bestämma parametrar till modellen med rimlig insats (feasibility).

Förvånande ofta finner vi emellertid att modeller kan ge samma resultat trots mycket olika komplexitetsgrad. En god regel bör då vara att använda den enklaste modellen av flera

möjliga, för att göra utsagan, en vetenskaplig regel med mycket gamla anor (Occams rakkniv).

En regel i samma anda är att söka någon sorts balans mellan kvaliteten på de data, som ligger bakom modellen och dess komplexitet. En komplicerad modellberäkning får tyvärr ofta mer tilltro än den förtjänar.

Sammanfattningsvis gäller således:

- Skilj på och redovisa tydligt den konceptuella modellen och dess realisering i det specifika fallet
- Välj konceptuell modell med hänsyn till användbarhet och tillämplighet.
- Använd enklast möjliga modell, som ger tillräcklig precision.
- Balansera komplexitet hos indata och modell.
- Gå tillbaka och om möjligt verifiera resultaten när de föreligger.

6.1.2 Uppdatering

När vi delar upp ett projekt i olika etapper, gör vi det ofta för att få ett antal tillfällen, där man kan summera upp data och ta beslut för fortsättningen. Det är inte minst viktigt att få en ekonomisk avstämning så att man kan kontrollera projektets rimlighet och ställa bland annat de planerade undersökningsinsatserna mot nyttan.

Vid varje uppsummering av data lägger vi vanligen den tidigare förväntningsmodellen som grund och förbättrar den på de punkter där vi ökat vår kunskap under den genomförda etappen. Denna process kan vi kalla uppdatering, se Figur 6.3.



Figur 6.3 Uppdatering av modeller.

En intressant fråga är hur den första modellen ser ut och vad den baserar sig på. Vi vill påstå att den uppstår första gången man diskuterar projektet i fråga. Modellen genomgår sedan vanligen ett antal uppdateringar, som varken redovisas eller är särskilt medvetna.

Vanligen är underlaget för dessa tidiga modeller inte särskilt väl strukturerat. De baseras gi-

vetvis på erfarenhet, men i detta skede spelar fördomar, fantasi och till och med visioner en viktig roll. Viktigt är dock att man hela tiden försöker analysera, att man är på rätt väg, och att man i denna analys har kraft att lyfta ut det, som inte har värde. I denna process är åter användbarhet och tillämplighet nyckelbegrepp. Klarar man detta, hamnar man som regel så småningom på rätt spår i ett projekt, men det är givetvis inte utan betydelse från vilken punkt man startar. Denna bestäms till stor del av erfarenheten hos dem som gör de första ansatserna, och om man har tillgång till en god databas från liknande projekt. I inledningen av ett projekt måste man betona betydelsen av kvalificerade bedömningar. Följa en väl strukturerad plan kan även den oerfarne göra.

Sammanfattningsvis gäller således:

- Uppdatera förväntningsmodellerna i väl avvägda etapper.
- Väg använda metoder mot användbarhet och tillämplighet.
- Lyft ut det, som inte har värde.
- Bygg startmodellen på en kvalificerad bedömning av dem, som har stor erfarenhet.
- Utnyttja tillgängliga databaser.

6.1.3 Nyckelfrågor

Som vi har funnit vid de retrospektiva analyserna, har inte alltid geohydrologi varit någon viktig fråga, medan i vissa fall geohydrologisk information varit av största värde. En mycket enkel analys av denna typ har gjorts i avsnitt 4: "Funktionskrav för fyra typanläggningar". Tidigt i varje projekt bör man analysera vad man behöver veta för att genomföra det, så att man kan identifiera dess nyckelfrågor.

Nyckelfrågorna är som regel direkt knutna till funktionskraven. De tillhör oftast någon av följande huvudgrupper:

- *Byggbarhet*
- *Stabilitet* på kort och lång sikt.
- *Täthet*
- *Omgivningspåverkan*
- *Kemisk påverkan*

I tillägg till detta och överordnat:

- *Geologiska förhållanden*

De geohydrologiska frågorna är som regel primära för täthet, omgivningspåverkan och kemisk påverkan. De kan vara det för byggbarheten. De medverkar också ofta vid en bedömning av stabiliteten.

För dessa nyckelfrågor är det viktigt att i varje skede av ett projekt söka värdera den kunskap vi sitter inne med och vad ökad kunskap får kosta. Detta är en viktig fråga, ty ökad kunskap kan ofta ersätta de kostnader man har för ökad beredskap mot det oförutsedda eller en konsekvent genomförd överdimensionering. Teknik för att göra sådana värderingar finns inom riskanalys och beslutsteori.

6.2 UNDERSÖKNINGAR I OLIKA ETAPPER

I det följande söker vi ge några vägledande synpunkter på geohydrologiska undersökningar, som är lämpliga att företa under olika skeden av ett bergprojekt. Indelningen av projektet utgår från den normala etappindelning, som schematiskt visas i avsnitt 3, se Figur 3.1 och Tabell 3.1. En jämförelse på hur byggprocessen i tekniska skeden framställs i litteratur som behandlar beställarens upphandling av entreprenörer framgår av Råsled (1990).

För geohydrologiska undersökningar gäller som för alla andra att de skall utföras med kompetens och kvalitet. Att det finns ett gott förtroende mellan beställare, konsult och entreprenör är därför viktigt. Vidare är det nödvändigt att övriga geologiska undersökningar integreras med de geohydrologiska redan från inledningsfasen. Det är av stor vikt att alla geologiska data kommer geohydrologin till del och att inget anses för "geologiskt eller bergmekaniskt inriktat" för att inte redovisas på ett stringent sätt. Detta framstår som än mer väsentligt när man analyserar förutsättningarna, som geohydrologin har när det gäller att beräkna hydrauliska parametrar och utföra prognoser för en uppsprucken kristallin berggrund.

De geohydrologiska förhållandena i en kristallin berggrund avviker i hög grad från de porösa medier/akviferer som standard analys- och modelleringsmetoderna utvecklats för. Här har det dock framförallt inom oljeteknologin utvecklats en del nya akviferanalysmetoder som senare bearbetats för att även gälla vatten. Den stora satsningen på utveckling av geohydrologiska tester och metoder som sker inom SKB-programmet har dock betytt mycket för förståelsen av hur urberg fungerar geohydrologiskt. Att dessa utvecklade metoder också kommer till användning som hjälpverktyg i vanligt i undermarksbyggandet bör ge väsentliga tekniska vinster.

6.2.1 Etappmål

Etappindelningen, som den redovisats här och i avsnitt 3, kan sägas vara en sorts normalindelning, som ofta används. I det följande redovisas några viktiga geohydrologiska aspekter. Det finns givetvis andra, bergmekaniska, produktionsmässiga o.s.v., men dessa utelämnas i detta sammanhang. Målsättningen för etapp I - IV är följande:

Etapp I - Förprojektering

- De geohydrologiska undersökningarna skall utföras i den omfattning som krävs för att klargöra de ekonomiska, tekniska och miljömässiga förutsättningarna för undermarksbyggnationen.
- De skall svara mot generella villkor för tillkommande projekt eller annan undermarksanvändning och ge underlag för en skaderiskbedömning.
- Med hjälp av denna skall det vara möjligt att planera åtgärder mot en eventuell grundvattensänkning eller annan omgivningspåverkan. En kontrollista som utgår från avsänkningsskriterier skall upprättas.
- De geohydrologiska undersökningarna skall ge underlag för projekteringen och layoutarbete.

Etapp II - Projektering

- De geohydrologiska undersökningarna skall genomföras så att de funktionella kraven på anläggningen tillgodoses avseende placering och utformning.
- De skall svara mot bergmekaniska, drivningstekniska och arbetsmiljömässiga krav samt krav på omgivningspåverkan och miljökonsekvenser av grundvatteninläckning till anläggningen.
- Undersökningarna skall vara utformade så att de utgör ett tillräckligt underlag för att erhålla erforderliga tillstånd från berörda myndigheter och även tillgodose förfrågningsunderlaget för anbudsberedningen.

Etapp III - Byggperiod

- De geohydrologiska undersökningarna skall genomföras så att de ger underlag för en optimal drivnings- och injekteringsteknik samt kontroll av grundvatteninläckage och skydd för anläggningens funktion.
- De skall svara mot myndigheternas krav på kontrollsystemet för omgivnings- och miljöpåverkan samt underlag för eventuella skadeersättningsanspråk.

Etapp IV - Driftperiod

- De geohydrologiska undersökningarna skall genomföras så att den fortsatta kontrollen av anläggningens funktion garanteras.
- Undersökningarna skall ge indata för att planera underhållet av anläggningen och för kontrollsystemet avseende omgivnings- och miljöpåverkan under driftperioden.

6.2.2 Några viktiga geohydrologiska delmoment i projekten.

I det följande redovisas några viktiga geohydrologiska delmoment att beakta i projektgenomförandet. Frågan har tidigare berörts i avsnitt 3.3, "Det geohydrologiska angreppssättet", och den nedanstående sammanställningen kan delvis ses som en komplettering till denna. I redogörelsen hänvisas till ett antal mer eller mindre väl etablerade metoder. I det fall goda beskrivningar finns redovisade i andra publikationer, exempelvis "Geohydrologiska förundersökningar i berg", Gustafson (1986), hänvisas till dessa, i andra fall ges en kort metodbeskrivning i bilaga.

Ettap I - Förprojektering

- 1 Bearbetning och samutvärdering av befintliga geologiska och geohydrologiska data. Ett förslag på vad en sådan beskrivning skall beakta redovisas i Bilaga 1.
- 2 Enkel vattenbalansstudie över området.
3. En geostatistisk bearbetning av geohydrologiska data från brunnsarkivet, se Bilaga 2 och Gustafson (1986).
4. Analys av grundvattennivåmätningar från ett etablerat system. Mätning sker en gång per vecka i samtliga observationsrör och eventuella brunnar. Om möjlighet finns kan nivåregistrering ske kontinuerligt med hjälp av en loggerutrustning. Ett flertal finns idag på den svenska marknaden. En kontinuitet i mätningarna krävs för att rätt bedöma grundvattenflödet genom området.
5. Analys av påverkade grundvattennivåer, Svensson (1988). Det är väsentligt att kontrollera mätseriens kvalitet för att kunna dra rätt slutsatser och bedöma akviferen.
6. Analys av vattenkemi. Bestämning av fysikaliska, kemiska och bakteriologiska parametrar, se Bilaga 3.

De genomförda geohydrologiska undersökningarna 1-6 förväntas leda fram till en geohydrologisk förväntningsmodell. Denna kan ge ett första svar på läckageprognos, omgivningspåverkan, motstående intressen, miljökonsekvenser, speciellt känsliga områden för anläggningens funktion och hydrauliska strukturer.

Den kan också tillsammans med indata från geologiska och bergmekaniska undersökningar utgöra grunden för en ingenjörsgelogisk karta över området.

En kontrollista skall upprättas med specifika parametrar och vilka värden som inte får underskridas. Detta genomförs för att avgöra om en omgivningspåverkan sker.

Konsekvensen av att inte genomföra undersökningarna i denna omfattning, är att målsättningen att klarlägga de ekonomiska, tekniska och miljömässiga förutsättningarna inte uppfylls.

Ettapp II - Projektering

- 1 Borrningar utförs med syfte att bl.a. genomföra hydrauliska tester. Borrningarna utförs i största möjliga utsträckning som hammarborrningar, vilket är kostnadseffektivt och ger möjlighet att genomföra flera olika typer av hydrauliska tester med konventionell (billig) utrustning.

Kombinationsborrningar skall om möjligt användas för att optimera borrhålskostnaden och nyttan av informationsinsamling från olika metoder. Tekniken med teleskopborrning i samband med kärnborrning ger en rad fördelar avseende möjligheterna att genomföra olika hydrauliska tester, se Almén och Zellman (1991).

Borrhålsprogrammet skall planeras med utgångspunkt från den insamlade geologiska och bergmekaniska informationen under ettapp I samt ta hänsyn till geohydrologiska frågeställningar angående speciellt känsliga områden och hydrauliska strukturer.

Samtliga borrhålsborrningar oavsett metod bör rikttningsbestämmas!

- 2 Hydrauliska tester såsom stigningsmätning, pulsresponstester, injektionstester, provpumpning, spinnermätning och flödeslogg. Avsikten med hydrauliska tester är att fastställa akviferens olika karakteristika, dess identitet. Alla nämnda tester är gångbara för att insamla information om de hydrauliska parametrarna. De olika hydrauliska testerna har fördelar respektive nackdelar vilka beror på :

- det intressanta undersökningsområdets storlek och geometri
- intervallet på bergmassans hydrauliska konduktivitet
- tiden som finns till förfogande för testens genomförande

Metoderna kan kombineras och kompletteras då i många fall varandra. Beskrivningar finns för den enkla stigningsmätningmetoden i Bilaga 4, i övrigt hänvisas till Gustafson (1986) och Almén och Zellman (1991).

- 3 Kartering av sprickfyllnadsmaterial i syfte att identifiera vattenförande sprickor och indirekt deras riktningar.
- 4 Komplettering av observationsnätet av grundvattenrör med hänsyn till detaljplaneringen och layouten. Fortsatt mätning med samma intervall som tidigare. Analys av nivåmätningarna.
- 5 En geostatistisk bearbetning av geohydrologiska data från borrhålsundersökningar, se bland annat Liedholm (1987 och 1990) och Gustafson m fl (1991).
- 6 Inläckageprognoser. Dessa baseras på framtagna hydrauliska parametrar och utförs inledningsvis med hjälp av enkla analytiska modeller där en första layout beaktas, se Gustafson (1986)
- 7 Lermineralanalyser. En analys av lermineral i krosszoner m m skall utföras och ger svar på typmineral, svällningsegenskaper och omvandlingsgrad.

- 8 Kontroll av den under etapp I framtagna geohydrologiska förväntningsmodellen. Uppdatering av densamma och justering med avseende på ökad detaljkunskap om layout, anläggningens krav och ökad informationsgrad.
- 9 Uppdatering av den ingenjörsgelogiska kartan med hjälp av den ökade informationsmängden.

De geohydrologiska undersökningarna 1-9 ger nu en ökad prognosäkerhet för inläckage, omgivningspåverkan, miljökonsekvenser, speciellt känsliga områden och hydrauliska strukturer. Detta medför att det bör finnas ett tillräckligt underlag för att erhålla erforderliga tillstånd från berörda myndigheter och även tillgodose förfrågningsunderlaget för anbudsberedningen.

Ettapp III - Byggperiod

- 1 Hydrauliska tester i sonderingshål/pilothål. Dessa genomförs som tryckuppbyggnadstester, se Gustafson (1986). Metoden ger ett underlag för att bedöma trycknivåer och grundvattenflöden samt utföra läckageprognoser.
- 2 Vattenförlustmätningar (injektionstest), se Almén och Zellman (1991). Metoden medger att bestämma hydrauliska parametrar, injekterbarhet och injekteringsbehov, vilket är nödvändigt för en optimal drivnings- och injekteringsteknik, se Stille mfl (1993).
- 3 Flödesmätningar. Registrering av vattenflödet kan ske med hjälp av olika mätöverfall, se Bäckblom och Stanfors (1986). En variant för att samla in vatten till ett mätöverfall kan vara att bygga en skiferist, dvs ett gallerförsatt dike tvärs över tunneln. Vidare kan driftstid på pumpar noteras och användas som en kontrollfunktion. Flödesmätningarna skall utföras kontinuerligt och ger viktiga data för att utöva kontroll av grundvatteninläckage och skydd för anläggningens funktion.
- 4 Analys av grundvattennivåmätningarna. Presentationen av nivåregistreringarna måste återges på ett sådant sätt att man direkt kan avläsa förändringar som påverkar anläggningen och dess omgivning eller pågående arbeten. Bör inordnas i redovisningen av driftsuppföljningen.
- 5 Driftsprognoser. En analys av insamlade geohydrologiska data från driftstiden kan utföras med hjälp av flera statistiska metoder, se Liedholm (1990 och 1991). Dessa prognosverktyg är i dag enkla att använda, då användarvänliga dataprogram finns att tillgå. De kan med fördel användas parallellt med de ordinarie driftprognoserna.

De genomförda geohydrologiska metoderna 1-5 ger ett underlag för en optimal drivnings- och injekteringsteknik samt kontroll av grundvatteninläckage och skydd för anläggningens funktion.

Ettapp IV - Driftperiod

- 1 Flödesmätningar. Fortsatt registrering av vattenflödet och driftstid på pumpar. Flödesmätningarna skall utföras kontinuerligt och ger viktiga data för att utöva kontroll av grundvatteninläckage och skydd för anläggningens funktion.
- 2 Grundvattennivåregistreringar för att kontrollera anläggningens funktion och påverkan på omgivningen.
- 3 Geostatistisk analys av geohydrologiska data. Avsikten är att kontrollera, verifiera eller uppdatera den geohydrologiska modellen.

De geohydrologiska mätningarna skall genomföras så att den fortsatta kontrollen av anläggningens funktion garanteras. Undersökningarna skall också kunna ge indata för att planera underhållet av anläggningen och för kontrollsystemet avseende omgivnings- och miljöpåverkan under drifttiden.

7 REFERENSER

- Ahlbom, K, Carlsson, L, Olsson, O, 1983: Final disposal of spent nuclear fuel - geological, hydrological and geophysical methods for site characterization, SKBF-KBS TR 83-43.
- Alberts, C, Gustafson, G, 1983: Undermarksbyggande i svagt berg. Vattenproblem och tätningssåtgärder. BeFo 106:4
- Almén, K-E, Zellman, O, 1991: Äspö Hard Rock Laboratory, Field investigation methodology and instruments used in the preinvestigation phase, 1986 - 90. SKB TR 91 - 21
- Andersson, J-E, Carlsson, L, 1980: Hydrauliska tester. Del 1. Influens av brunnsmagasin och skin vid olika transienta tester. SKBF-KBS Arbetsrapport AR. 80-38.
- Andersson, J-E, Carlsson L., 1981: Hydrauliska tester. Del 2 Pulsresponstester. SKBF-KBS Arbetsrapport AR 82-35.
- Andersson, O H, 1981: Borrning och dokumentation. Thesis 8. Avd. f. kvartärgeologi, Lunds Universitet.
- Avén, S (red), Ståhl, T, Wedel, P, m fl, 1984: Handboken Bygg, Geoteknik, Band G. Liber förlag.
- Banverket - VBB VIAK, 1991: Skottorp - Förslöv, Ny järnväg. Förfrågningsunderlag. Primärdata - Berg.
- Bäckblom, G, Stanfors, R, 1986: The Bolmen Tunnel - Tunneling through the Staverhult Fault Zone. Engineering Geology vol 23 pp 45-47.
- Bergman, S G A, Carlsson, A, 1986: Förundersökningar i berg, BeFo 86/1.
- Carlsson, L, Gustafson, G, 1991: Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. BFR rapport R66:1991.
- Christiansson, R, Liedholm, M, 1991: är det möjligt att prognosticera bergförhållanden ? BeFo. Bergmekanikdagen 1991. Stockholm.
- Christiansson, R, Liedholm, M, Widing, E, 1991: Prognostisering av bergmassan. BeFo 202:1/92.
- Earlougher, R C, 1977: Advances in Well Test Analysis. Monograph Volume 5 of the Henry L. Doherty Series. Society of Petroleum Engineers of AIME. Dallas.
- Fagerström, H, Carlsson, A, Morfeldt, C-O, 1983: Undermarksbyggande i svagt berg. Byggnadsgeologi. BeFo 106:1
- Granlund, N, Moberg, M, 1988: Hojums kraftstation, bergundersökningar 1987 - 88, utförande, resultat och rekommendationer. Hagconsult AB och Vattenfall.

Gustafson, G, Liedholm, M, 1984: Lyckeboprojektet. Utvärderingprogram Geologi - Geohydrologi. BeFo 109:1/84.

Gustafson, G, 1986: Prediction of Gross Permeability of Fractured Crystalline Rock. Reykjavik, Nordic Hydrology Conference. 1986.

Gustafson, G, 1986: Geohydrologiska förundersökningar i berg. BeFo 84:/86

Gustafson, G, Stanfors, R Wikberg, P, 1989: Swedish Hardrock laboratory. Evaluation of 1988 year pre-investigations and description of the target area, the island of Äspö. SKB. Technical Report 89-16.

Gustafson, G, Olsson, O, 1993: The development of conceptual models for repository site assessment. NEA SEDE/PAAG Workshop on the role of conceptual models in demonstrating repository post-closure safety, Saclay (Paris) France, 16 - 18 November 1993.

Helfrich, H, m fl 1979: Förundersökningars värde och omfattning. BeFo Rapport 18:2.

Hodgkinson D, 1992: A Compilation of Minutes for the Stripa Task Force on Fracture Flow Modelling. OECD/NEA Stripa Project, Technical Report 92-09.

Hässler, L., 1991: Injektering av bergsprickor - simulering och klassificering. BeFo 241:2/91.

ISRM, 1972: Suggested methods for determining water, content, porosity, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties.

ISRM, 1975: Recommendations on site investigations techniques.

Liedholm, M, 1987: Regional Well Data Analysis. SKB Progress Report PR 25-87-07.

Liedholm, M, 1989: Combined evaluation of geological, hydrogeological and geophysical information. SKB. Progress Report PR 25-89-03.

Liedholm, M, 1990: PM - The Association of Successive Logarithmic Hydraulic Conductivities from Autocorrelation Analysis. SKB Äspö Hard Rock Laboratory, Technical Note 90-6.

Liedholm, M., 1991: Conceptual Modeling of Äspö, PM - Forecasting the fracture frequency by an exponential smoothing model, SKB Technical Note.

de Marsily, G, 1981: Quantitative Hydrogeology. Groundwater Hydrology for Engineers Academic Press Inc.

Morfeldt, C-O, Bergman, B, Lundström, L, 1973: Bergundersökningar, Kvalitetsvärdering av undersökningsmetoder, BFR R34:73

Morfeldt, C-O, 1976: Bergrum och tunnlar, Byggnadsgeologisk uppföljning och kartering, BFR R15:76.

Nordberg, L, Persson, G, 1974: The national groundwater network of Sweden. SGU Ser. Ca Nr. 48.

Palmqvist, K, Lindström, M, 1988: The Saltsjö Tunnel Hydrogeological Mapping and Analysis. SKB AR 88-36.

Palmqvist, K, 1990: Groundwater in Crystalline Bedrock. SKB Technical Report TR 90-41.

Rhen, I, 1989: SKB Swedish Hard Rock Laboratory. Transient interference tests on Äspö 1988, Evaluation. SKB Progress Report 25-88-13. Stockholm.

Råsled, B, 1990: Upphandling av byggnader och anläggningar. Byggeförlaget, Stockholm.

Råsled, B, 1994: Produktbestämning - En bestämning med brister. Byggindustrin Nr 30, 1994.

Stille, H (red), Gustafson, G, Håkansson, U, Olsson, P, 1993: Passage of water-bearing fracture zones. Experiences from the grouting of the section 1 - 1400 m of the tunnel. SKB Äspölaboratoriet, PR 25-92-19.

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), 1981- : Hydrogeologiska Länskarter i skala 1:250 000. Serie Ah.

Svensson, C, 1988: Analys av påverkade grundvattennivåer. Meddelande nr 84. Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola.

Stille, H, Franzén, T, Heiner A, Nord, G, 1983: Undermarksbyggande i svagt berg. Stabilitet och förstärkning. BeFo 106:3.

Söderberg J, 19xx: Analys av upphandlingen av Terminalgas' gasollager.

Terminalgas AB, 1988: Gasolterminal Karlshamn, Administrativa föreskrifter. Intern rapport.

Thoregren, U, 1983: Final disposal of spent nuclear fuel - Standard program for site investigation, SKBF-KBS.

Sundqvist, U, 1984: Tryckuppbyggnad som akvifertest i naturligt sprickigt medium. Litteraturgenomgång. Publikation B 261. Geologiska institutionen. Chalmers tekniska högskola.

NÅGRA KRAV PÅ EN GEMENSAM BESKRIVNING AV GEOLOGISKA OCH GEOHYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Nedan ges en lista på några faktorer, som är viktiga att belysa vid en samutvärdering av geologiska och geohydrologiska data från ett område:

- 1 Förkastningar, krosszoner och sprickzoner bör beskrivas, dels i allmänna termer, dels med hänsyn till om de är vattenförande.
- 2 Sprickornas karaktär skall beskrivas, exempelvis om de är öppna eller slutna, längd, vidd och mineralfyllnad.
- 3 Generella vattenförande egenskaper hos förekommande bergarter. Exempelvis sedimentära bergarter eller speciellt vattenförande enheter, som pegmatiter eller spröda graniter.
- 4 Speciella omständigheter, som karst eller porösa vulkaniska bergarter, måste noteras speciellt.
- 5 Förekomst av lermineral, och speciellt om det finns anledning att misstänka svällande leror. Vittring i olika former, som t ex noteras också.
- 6 Risk för höga grundvattentryck och därmed injekteringsproblem, misstankar om bergutfall eller erosion i lerzoner.
- 7 Misstanke om inläckande gaser, som radon, koldioxid eller kolväten.
- 8 Uppgifter om vattenkemiska förhållanden, som exempelvis risk för saltvatteninträngning eller ett aggressivt vatten.

TILLGÄNGLIGA GEOHYDROLOGISKA DATA FRÅN BRUNNSARKIVET

Inledning

En uppskattning av andelen av Sveriges befolkning som har sin vattenförsörjning från enskilda vattentäkter ger att den är ca 30 %. Av de uppskattningsvis ca 1 miljon brunnar som idag finns i Sverige utgör de bergborrade ungefär 50 %. Dessutom finns det ett stort antal kommunala vattentäkter vilka består av en eller flera bergbrunnar.

Enligt brunnsarkivet anläggs mellan 7 000 och 10 000 brunnar varje år. Av dessa nya brunnar borrar cirka hälften för att ersätta gamla brunnar på grund av att dessa förändrats negativt avseende kapacitet eller kvalitet. För närvarande finns det ungefär 160-170 000 brunnar registrerade.

Det relativa nytillskottet är således betydande och det statistiska underlaget förbättras hela tiden. Till en del kan man naturligtvis säga att tillskottet regionalt över Sverige inte speciellt markant förbättrar underlaget men inom relativt befolkningstäta områden gäller detta.

Denna stora datamängd finns samlad på brunnsarkivet på Sveriges geologiska undersökning, SGU. Till detta arkiv samlas brunns- och borrhoppgifter in från brunnsbörare och en del konsultföretag. Vid arbeten där geohydrologiska data framkommer föreligger en obligatorisk uppgiftsskyldighet till SGU, reglerad i svensk lag från 1975, SFS 1975:424.

Dokumentationen avser grundvatten-, jordarts- och berggrundsförhållanden samt grundvattenkvaliteter. I arkivet finns även äldre data men dessa kan uppvisa vissa brister med avseende på ovanstående uppgifter.

Brunnsarkivet ingår som en avdelning i grundvattensektionen på SGU. Denna har till arbetsuppgift att samla in, bearbeta och tillhandahålla uppgifter om grundvattenförhållandena i landet.

Detta sker bl a genom dokumentation av brunnar, källor, vattentäkter och grundvattenutredningar, samt genom att förändringar i grundvattnets nivå, temperatur och kemi följs vid de mätstationer, som sorterar under SGU:s grundvattennät. Sektionen består av fyra avdelningar med specifika uppgifter:

Brunnsarkivet

Brunnsarkivet består av flera delarkiv:

- *Brunns- och borrhdataarkivet* innehåller uppgifter om brunnarnas läge, geologi, tekniskt utförande samt uttagbara mängder. Bland annat redovisas data om lägeskoordinater, jorddjup, bergartstyp och foderrörlängd.
- *Kemiarkivet* omfattar resultaten från grundvattenkemiska analyser. Den övervägande delen av registrerade analyser omfattar fysikalisk-kemiska analyser med 16 huvudparametrar som standard, se exempel i Appendix 1. Ett mindre antal analysresultat finns från specialundersökningar avseende radon, koppar, vanadin, bakteriell aktivitet etc.
- *Vattentäcksarkivet* innehåller uppgifter om kommunala vattentäkter, huvudsakligen från län där hydrologisk kartering bedrivits. Arkivet innehåller kompletterande uppgifter avseende:
 - Skyddsområden
 - Vattendomar
 - Bedömd vattenkapacitet och uttagna vattenmängder
- *Utredningsarkivet* innehåller rapporter över grundvattentäcksutredningar samt material som insamlats vid de geohydrologiska karteringarna.
- *Källarkivet* består av uppgifter om året runt flödande "kalkkällor" . För varje källa finns uppgifter om läge, namn, akvifertyp, källtyp, uppskattat eller uppmätt flöde, temperatur, vattendrag som källan rinner till, smak, utfällningar, kemisk analys och litteratur. Det finns för närvarande uppgifter från ca 1 000 flödande källor.

Samtliga arkiv utom utredningsarkivet är ADB-baserade. Uppgifterna finns tillgängliga som rådata eller bearbetade data i form av diagram, listutskrift eller dataritade kartor. För framtagning av materialet debiteras ett timpris och kostnader för ADB samt kopiering.

Grundvattennätet

Grundvattennätet har totalt ca 600 mätstationer i ett 80-tal observationsområden vilka representerar olika geologiska miljöer. Fördelningen av mätstationerna är rikstäckande.

Vid varje mätstation registreras kontinuerligt uppgifter om grundvattennivå, temperatur och vattenkemi. För varje station finns dessutom uppgifter om bland annat geografiskt läge, geologi och tekniskt utförande.

Regelbundet görs sammanställningar från grundvattennätet som redovisar den aktuella grundvattensituationen. Materialet utnyttjas främst till en fortlöpande kontroll av grundvattens kvalitetsvariationer och nivåförändringar.

Genom grundvattennätet sker samarbete med statens naturvårdsverk inom det svenska programmet för miljöövervakning (PMK) och nätet ingår också i ett globalt miljöövervaknings-

system (GEMS). Samarbete finns även med de nordiska och internationella geohydrologiska programmen (NHP-IHP)

Geohydrologisk kartering

Den geohydrologiska karteringen är inriktad på att kartlägga grundvattenförhållanden. Kartorna visar vattentillgångar, uttagsmöjligheter och vattenkvaliteter. Basinformationen erhålls ur kartblad från övriga kartserier och från brunnarsarkivet, grundvattenätet samt olika utredningar. Kartmaterialet föreligger i två skalor. Dels finns länskartor serie Ah i skala 1 :250 000 och dels finns inom vissa delar av landet mer detaljerade kartor i skala 1 :50 000, serie Ag.

Den geohydrologiska kartan med tillhörande beskrivning redovisar grundvattenförhållandena i berggrund och jordlager, vilket innebär att jord- och bergartskartor utgör ett viktigt basmaterial för tolkningen av de geohydrologiska kartorna. Jord- och bergartsfördelningen ger en första information om möjligheten till uttag av tillräckliga grundvattenmängder.

Utredningsverksamhet

Grundvattensektionen genomför på beställning utredningar och undersökningar samt bedriver forskning, utvecklingsarbete, och informationsverksamhet inom grundvattenområdet.

Det är således en omfattande verksamhet som bedrivs inom grundvattensektionen på Sveriges geologiska undersökning, vilket är ett statligt verk med service- och samhällsansvar.

Materialet är till övervägande delen lättillgängligt och kostnaden för servicen man erhåller är tämligen blygsam. Vid en jämförelse med vad det skulle kostat att införskaffa dessa uppgifter vid undersökningar för t ex en underjordsanläggning, inser man att det är en god affär att först kontrollera om det finns uppgifter på grundvattensektionen

Uppgifterna från grundvattensektionen lämpar sig utmärkt för olika geostatistiska bearbetningar vilka sedan kan utgöra ett underlag för beslut angående undermarksbyggandet. En utmärkt sammanställning av olika bearbetningar av materialet ges i Regional Well Data Analysis, Liedholm (1987).

PAKETUNDERSÖKNINGAR

KEMISKA

Rå- och dricksvatten SLV 1989:30 Nivå 3

Undersökningen omfattar:

Temperatur vid provtagning	Alkalinitet	Aluminium
Turbiditet	Totalhårdhet	Koppar
Bottensats	Kalcium	Ammoniumkväve
Lukt (styrka, art)	Magnesium	Nitratkväve
Smak 1)	Natrium	Nitritkväve
Färgtal	Kalium	Fosfatfosfor
pH	Järn	Fluorid
Kemisk syreförbr. (COD-Mn)	Järn, elof 2)	Klorid
Konduktivitet	Mangan	Sulfat
Marmoraggr. kolsyra (beräknad)		

- 1) Endast för dricksvatten efter mikrobiologisk undersökning.
- 2) Efter luftning och filtrering, om järnhalten överstiger 0,3 mg/l vid vattenverk eller i råvatten.

Jonbalansberäkning ingår i priset.

GRUNDTVATTEN

Fullständig undersökning

Undersökningen omfattar:

Samma parametrar som för Nivå 3 samt marmoraggr. kolsyra (bestämd).

Avkortad undersökning

Undersökningen omfattar:

Färg	Kemisk syreförbr. (COD-Mn)	Järn
Turbiditet	Ammoniumkväve	Mangan
Lukt (styrka, art)	Nitratkväve	Kalcium
Bottensats	Nitritkväve	Magnesium
pH	Alkalinitet	Totalhårdhet
Konduktivitet	Klorid	Marmoraggr. kolsyra (beräknad)

ANALYS AV VATTENKEMI

Bestämning av fysikaliska, kemiska och bakteriologiska parametrar.

Inledning

En rätt genomförd vattenprovtagning med påföljande analys ger ett bra underlag för att bestämma grundvattnets kvalitet. Detta gäller såväl i observationsrör runt en undermarksanläggning som på inläckande grundvatten i tunneln eller bergrummet.

Vattnets kvalitet har en stor betydelse för installationers beständighet och påverkar i hög grad anläggningens funktion och livslängd. När vattnet skall användas till återinfiltration eller eventuellt i samband med en vattenridå för ett gaslager är det i många fall helt avgörande för funktionen och driften av anläggningen.

Genom att följa kvalitetsutvecklingen på vattnet finns också en möjlighet att i tid upptäcka ackumulerande problem i anläggningen samtidigt som det finns indata att möta kraven från myndigheter m fl avseende miljökonsekvenser.

Nedan följer en kort introduktion i vad de vanligaste uppmätta parametrarna står för:

Temperatur: Grundvattentemperaturen ligger i allmänhet på ca 7-8° C vid de normala anläggningsdjupen för berganläggningar (< 200 m). Detta gäller den kristallina berggrunden, och den är något högre i den sedimentära berggrunden.

Högre temperaturer på dessa djup under ostörda förhållanden, dvs innan anläggningen börjar byggas, tyder på ytvattenpåverkan.

pH: Vattnets surhetsgrad anges i pH skalan 1-14. Vatten innehåller alltid fria vätejoner, H⁺ och fria hydroxidjoner, OH⁻. När halterna är lika stora kallas vattnet neutralt och pH=7. Om vätejonkoncentrationen är högre än hydroxidhalten är vattnet surt och pH < 7. Basiskt kallas vattnet vid omvända förhållandet och följaktligen är pH > 7.

Vatten med pH-värden under 6 är i allmänhet aggressivt och kan bl a angripa metalledningar.

Alkalinitet, HCO₃: Alkalinitet är ett mått på vattnets förmåga att neutralisera eller buffra t ex surt nedfallande regn. Vatten med hög alkalinitet räknas > 60 mg/l och har god buffringsförmåga.

Aggressiv kolsyra: CO₂: Ett vatten som är i jämnvikt med luft innehåller alltid en viss mängd kolsyra. Om kolsyra finns i överskott kallas det aggressiv kolsyra. Vattnets pH bestäms av kolsyrakoncentrationen och alkaliniteten. pH är lägre vid hög halt av aggressiv kolsyra.

Totalhårdhet: Koncentrationen av kalcium och magnesiumjoner i vattnet är totalhårdheten. Hög totalhårdhet innebär ofta att också alkaliniteten är stor. Ett medelhårt vatten har en totalhårdhet på ca 35-70 mg/l medan. Förhållandet totalhårdhet/alkalinitet i mg/l är ca 1:3 i ett vatten som inte är påverkat av föroreningen.

Permanganatförbrukning, $KMnO_4$: Permanganatförbrukningen är ett mått på halten organiskt material. Halter över 40-50 mg/l innebär att ett förorenat ytvatten/grundvatten har nått provtagningspunkten. Idag används kemisk oxygenförbrukning COD-Mn också. Omräkning sker med hjälp av faktorn 0,25, dvs $0,25 \times$ permanganatet ger COD-Mn värdet.

Konduktivitet eller specifik ledningsförmåga, mS/m: Konduktiviteten är ett mått på antalet joner i vattnet. Höga koncentrationer, 20-40 mS/m visar på påverkan av salter och kan bero på inverkan av saltvatten eller föroreningar, t ex vägsalt, urlakning av gödsel etc. Grundvatten i sand och grus har värden på 5-10 mS/m och porvatten i leror, 20-40 mS/m.

Ett vattens kemi är ofta komplex och ett vattenprov ger ensamt inget besked. En kontinuerlig serie av prover och analyser är en nödvändighet för att belägga olika samband.

Litteratur:

Grundvattnets kemi, E Eriksson., V Khunakasem i Grundvatten, 1970. P A Norstedt & Söners förlag, Stockholm.

Hydrokemi, kemiska processer i vattnets kretslopp, E Eriksson, H Holtan. Nordic IHD Report No 7. 1974.

Chapter 6. Groundwater Chemistry in Groundwater and Wells. F G Driscoll. 1986. Johnson Filtration Systems Inc. Minnesota. USA.

Groundwater Quality in Groundwater Resource Development. Hamill L, Chapter F, Bell G. 1986. Butterworths London, UK.

PM FÖR STIGNINGSMÄTNING I BORRHÅL

1 INLEDNING

En stigningsmätning genomförs i syfte att erhålla en uppfattning om storleksordningen av bergets vattengenomsläpplighet. Dessutom kan man med kännedom om borrhålets diameter samt stigningshastighet, uppskatta borrhålets kapacitet.

Testen gäller praktiskt för borrhålsängder < 100 m.

Det är väsentligt att de olika delmomenten genomförs på rätt sätt och att momenten följer direkt efter varandra i tiden. Borrkax och annat material måste avlägsnas så att en fri inströmning från bergmassan är möjlig. Detta är förutsättningen för att testen skall ge så representativa och rättvisande indata som möjligt. Detta motiverar en väl genomförd blåsning av hålet under cirka en timma eller tills vattnet är rent, enligt punkt tre nedan.

Målsättningen med testen är att erhålla en fullständig återhämtningskurva för ett känt uttag.

2 GENOMFÖRANDE

Testen genomförs på följande sätt:

- 1) Borrstång och hammare lyfts upp ur borrhålet.
- 2) En blåsslang nedförs till borrhålets botten och kopplas till en kompressor.
- 3) Blåsning utföres under en timma och den uppspolade vattenmängden bestäms så noggrant som praktiskt är möjligt. Vid stora uppfordade vattenmängder genomförs ett antal representativa volymsbestämningar per tidsenhet.
- 4) Blåsningen avbryts och nivåmätningen startar genom blåsslangen. En noggrann notering av tiden 0, dvs när blåsningen upphör och första mättillfället är av yttersta vikt. Observera att den exakta tiden för nivåmätningen är viktigare än att man försöker mäta exakt varje hel minut.
- 5) Mätning av vattenytans läge med hjälp av ett ljuslod, klucklod eller annan metod med följande intervall :

0-10	10-20	20-60	60-120	24 timmar
minuter	minuter	minuter	minuter	
Varje	Varannan	Var femte	Var 30:e	Praktisk
minut	minut	minut	minut	tillämpning

Mätintervallet anpassas efter förutsättningarna vid varje testtillfälle. Det är viktigt att få en uppfattning om grundvattenytan har uppnått sitt "viloläge" eller inte, dvs om den naturliga grundvattenytan i den omkringliggande ostörda bergmassan har lika vilonivå som borrhålet.

6) Testen avslutas och blåsslängen avlägsnas.

Övrigt: Om mätning genom blåsslängen inte är möjlig skall den upptagas så fort som möjligt, då en så snabb start av nivåmätningen är önskvärd. Sker blåsningen m h a borrhålets igångsättes mätningen om möjligt utan att stången avlägsnas. En komplettering med en injektorpump kan i vissa fall vara nödvändigt.

REDOVISNING

Data presenteras i tabellform enligt mall nedan.

Protokollmall för stigningsmätning

Arbetsplats.....

Datum.....Borrhål.nr.....

Utförd av.....

Borrhålsdjup.....Foderrör.....

Borrdiameter.....Vattenmängd/flöde

Start upptag

Alla mätningar skall utföras från rör överkant/borrhål överkant.

Intervall	Tid/kl (minuter)	Vattennivå (m)	Anmärkning
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
12			
14			
16			
18			
20			
25			
30			
35			
40			
50			
60 osv			