



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

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



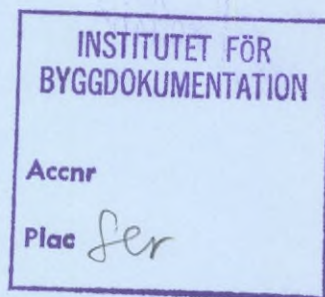
Rapport

R61:1987

# Stockholmsprojektet

Bergteknisk undersökning för  
värmelagret i kvarteret Höstvetet

Ann Emmelin  
Håkan Stille  
Lennart Wahlström



Bygghforskningsrådet

R61:1987

**STOCKHOLMSPROJEKTET**

**Bergteknisk undersökning för värmelagret i kvarteret  
Höstvetet**

Ann Emmelin  
Håkan Stille  
Lennart Wahlström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 841053-2 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för Jord-  
och Bergmekanik, KTH, Stockholm.

## REFERAT

Uppvärmningen av Suncourt-huset i Hagsätra bygger bl a på värme från ett borrhålslager i berg. I samband med anläggandet av lagret följdes produktionsborrningen och utvärderades bergmassan.

I rapporten redovisas praktiska erfarenheter från anläggandet och utifrån dessa ges råd för upphandling och styrning av liknande projekt. Härvid behandlas borrhålsprecision, utrustning och arbetsförutsättningar.

Vidare ges råd för hur förfrågningsunderlaget för en borrentreprenad bör utformas och ett förslag ges till hur borrentreprenaden skall regleras.

Dessutom redogörs för olika parametrars betydelse för ett borrhålslayers funktion och för lokaliseringen. Lämplig omfattning på en geologisk och geohydrologisk förundersökning och olika undersökningsmetoder diskuteras.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R61:1987

ISBN 91-540-4733-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

## INNEHÅLL

	Sid
FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	7
1 SUNCOURT	9
1.1 Suncourtidén	9
1.2 Värmelagret	9
1.3 Bergteknisk undersökning	11
2 FÖRUNTERSÖKNING	13
2.1 Inte bara geologin styr .....	13
2.2 Geologins betydelse	14
2.3 Undersökningsmetoder	16
2.4 Förundersökningen för Höstvetet	17
3 UNDERSÖKNING AV BERGMASSAN	21
3.1 Utförda undersökningar	21
3.2 Svaghetszoner	21
3.3 Termiska egenskaper	26
3.4 Geohydrologi	27
3.5 Inmätning	30
3.6 Sammanfattning av undersökningsresultaten	30
4 PRODUKTIONSBORRNING	33
4.1 Bedrivande och resultat	33
4.2 Arbetsförutsättningar	39
4.3 Utrustning och metod	42
4.4 Borrprecision och felkällor	42
5 UPPHANDLING, KONTROLL	45
5.1 Förfrågningsunderlaget	45
5.2 Förslag till reglering av borrentreprenaden	47



## FÖRORD

Vid kvarteret Höstvetet i Hagsätra söder om Stockholm har ett värme-lager i berg utförts. Lagret är ett så kallat borrhålslager och ingår i Stockholmsprojektet där olika energisystem provas.

Institutionen för Jord- och Bergmekanik, KTH, har på uppdrag av Statens Råd för Byggnadsforskning (forskningsanslag 841053-2) följt byggandet av lagret. Syftet med undersökningen var att utvärdera förundersök-ningsmetodik och produktionstekniken för ett borrhålslager med be-gränsad storlek.

Arbetet har bedrivits i samarbete med ADG Grundteknik AB. Civ ing Ann Emmelin och Lennart Wahlström har utfört allt väsentligt arbete.

Stockholm september 1986

Håkan Stille





## SAMMANFATTNING

Suncourt i Hagsätra är ett av Stockholms kommuns experimenthus inom det s k Stockholmsprojektet där ny energiteknik skall prövas. Suncourt är ett 4 våningar högt hyreshus som byggs runt en inglasad gård. På sommaren skall överskottsvärme från gården tas om hand och lagras i berget under huset i ett borrhålslager.

I samband med anläggandet av lagret undersöktes bergmassan. Undersökningen omfattade bl a studier av kartor och annat arkivmaterial, seismik, slagborrning av ett referenshål, vattenförlustmätning samt borrning för och mätning av grundvattnets gradient. Tolkningen av resultaten, som även innefattade en utvärdering av produktionsborrnings utfall, är att bergmassan är relativt homogen utan större vattenförande sprickor eller slag.

Undersökningen är mer omfattande än som kan anses normalt för ett lager av denna storlek och vid denna temperaturnivå. Resultaten skall användas som indata till en utvärdering av lagrets funktion.

För ett lager vid låg temperaturnivå med få borrhål går det ej att motivera någon större förundersökning. Man bör dock alltid försöka förvissa sig om att berg- och grundvattenytorna ligger högt eftersom man annars får outnyttjade borrhålsmetrar. Vidare får berget ej vara så uppkrossat att borrarningen blir besvärlig. I övrigt kommer andra krav och begränsningar att vara styrande för lokaliseringen och utformningen av lagret.

Borrningen i Hagsätra visar vikten av att skapa goda arbetsförutsättningar och av att entreprenören har utrustning anpassad för arbetet för att kunna arbeta rationellt och med gott resultat. I Hagsätra borrades ett kvastformat lager från en ca 3 m djup schakt som var något större än lagrets överyta. Borrmaskinerna, vars riggar ej gick att ställa i sidled, gick snart i vägen för varandra och entreprenören fick genomföra större delen av arbetet med en maskin i stället för med två som planerat. En god inriktning och ansättning försvårades av den dåliga sikten och av underlaget som utgjordes av en snösörjig krosstensbädd på ett från sprängningen starkt uppsprucket berg.

De toleranskrav som angivits i förfrågningsunderlaget uppfylldes ej. Detta kommer dock att vara av mindre betydelse pga lagrets temperaturområde.

Ju bättre arbetsförutsättningar och borrrustning samt ju skickligare och mer motiverad borroperatör, desto bättre förutsättningar för ett gott borresultat, givetvis. Eftersom även bergmassans beskaffenhet spelar in är det dock svårt att hitta en för både entreprenören och beställaren acceptabel upphandlings- och ersättningsform i det fall vissa toleranser föreskrivs. Rimligare är att beställaren - i det fall precision i borrarningen är ekonomiskt motiverad - i stället föreskriver en viss utrustning och ett visst arbetsutförande med successiv uppföljning som sedan kontrolleras under arbetets gång.



## 1 SUNCOURT

### 1.1 Suncourtidén

Suncourthuset i Hagsätra är en av de byggnader som ingår i Stockholms kommuns energisatsning "Stockholmsprojektet". Inom projektet testas och utvecklas nya system för försörjning och hushållning med energi för uppvärmning.

Suncourtidén bygger på en överglasad gård kring vilken huset byggs, se figur 1.1. Gården fungerar som en stor solfångare och som en buffert mot uteklimatet. På sommaren kan värmen från gården med hjälp av en värmepump användas för uppvärmning eller beredning av tappvarmvatten. Överskottet kan sparas i det värmelager som finns i berget under huset. Energin som lagras i berget kan sedan tas ut på vintern när värmebehovet är större än den överskottsenergi som finns att tillgå i gården.

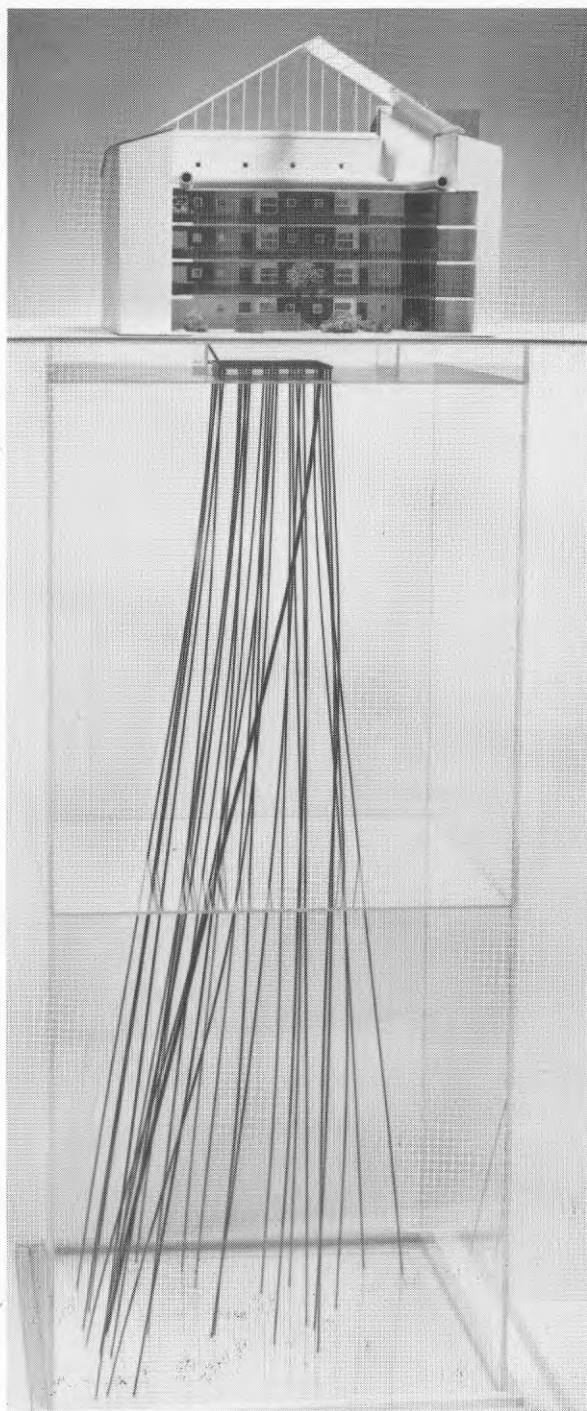
Värmen distribueras i huset med hjälp av ett luftburet lågtempererat system. Tillsammans med de övriga åtgärderna för värmeåtervinning och hushållning räknar man med att kunna sänka husets behov av köpt energi till ca 30 kWh/m<sup>2</sup> lägenhetsyta eller till ca 40% av det normala för nyproducerade lägenheter.

### 1.2 Värmelagret

Värmelagret är utformat som ett sk borrhålslager i berg. Det utgörs av en ca 25 000 m<sup>3</sup> stor bergvolym som är perforerad med borrhål, se figur 1.2. Bergmassan tjänstgör som ackumulator för energi som laddas i och tas ut med hjälp av den vätska som cirkulerar i det slutna slanssystem som är nedfört i borrhålen.



Figur 1.1 Suncourthuset med inglasad gård



Figur 1.2 Värmelagrets placering och utformning  
Foto: Johan Frick-Meyer

Vid urladdningen cirkulerar i borrhålen en vätska som har lägre temperatur än berget. Värme kommer då att ledas genom berget och föras över till vätskan som successivt värms upp under sin passage genom slangkollektorn. Vätskan leds sedan till värmepumpens förångare där den avger värme och kyls för att åter ledas ner och hämta energi ur berget. På motsvarande sätt cirkulerar, när lagret laddas, en vätska vars temperatur är högre än bergets.

Antalet borrhål är 25 och de har längden 80 m och dimensionen  $\phi$  115 mm. Hålen är borrhade i kvastform med ett teoretiskt inbördes avstånd på 2 m vid lagrets topp och 5 m vid dess botten. Detta gör att lagret i ytan inte mäter mer än 8 x 8 m och hopkopplingen av slangarna från hålen får plats i det speciella källarutrymme som byggts härför i Suncourthusets nordvästra hörn.

Vid dimensioneringen av lagret antogs bergets värmekapacitet vara 0.6 kWh/m<sup>3</sup> °C. Temperaturen i berget antogs pendla mellan ca +6°C och +16°C. Tillsammans med lagrets volym 25 000 m<sup>3</sup> gav detta en lagerkapacitet på 150 MWh. Maxflödet i kollektorn sattes till 10 l/s. Förutsätter man att vätskan under sin passage genom lagret som mest värms 3°, blir den uttagbara maxeffekten 125 kW.

### 1.3 Bergteknisk undersökning

I samband med anläggandet av lagret har den bergtekniska undersökning utförts som redovisas i denna rapport. Undersökningen är mer omfattande än vad som kan anses normalt för ett lager av den storlek som anlagts i Hagsätra. Den har också delvis en annan inriktning. Arbetet består av följande delar.

I kapitel 2 redovisas den förundersökning som gjordes för lagret i Hagsätra. I denna del diskuteras också lämplig omfattning av en förundersökning. Denna hänger bl a samman med möjligheten att påverka lokaliseringen och utformningen av lagret. Olika geologiska parametrars betydelse för lagrets funktion och för anläggningskostnaden belyses också.

Kapitel 3 beskriver den utökade undersökningen som gjordes sedan lagrets utformning och läge hade bestämts och ger en mer detaljerad beskrivning av bergmassan. Beskrivningen skall ligga till grund för den uppföljning och utvärdering av lagrets funktion som utförs av EHUB-KTH i samarbete med Lundagruppen för beräkning och datorsimulering av värmelager.

I kapitel 4 och 5 redogörs för borrhållningen i Hagsätra och de erfarenheter som gjordes vad gäller upphandling, utrustning, arbetsförutsättningar etc.





## 2 FÖRUNDERSÖKNING

### 2.1 Inte bara geologin styr .....

Det första man gör när idén att anlägga ett borrhålslager i berg dyker upp är givetvis att kontrollera att idén verkar rimlig. Man förvissas sig om att det inom rimligt avstånd från värmekälla och användare finns en bergmassa med inte alltför stor jordtäckning. Man försöker kanske också förvissa sig om att inga större sprick- och krosszoner går genom området och att genomströmningen av grundvatten i berget är måttlig. Att med enkla medel bedöma grundvattenströmningen är ganska svårt. Genomströmningen av vatten kan dock avsevärt påverka lagrets funktion. Ett mycket trasigt berg är också svårt att borra i och det kan vara nästan omöjligt att montera kollektorer.

Så långt är det dock relativt enkelt. Att bedöma värdet av ytterligare information är betydligt svårare. Värdet av att göra en grundligare undersökning ligger troligen i många fall främst i att man får ett säkrare underlag för upphandlingen. Det går givetvis inte generellt att säga att uppgifter som erhålls genom undersökningen kan utnyttjas för att styra lagrets utformning.

I de fall man har flera tänkbara platser att välja mellan kan en omfattande förundersökning ge indikationer på vilken som är den mest lämpliga om man ser på lagret som en isolerad företeelse. Man får då ej glömma bort att även andra faktorer än de geologiska styr. Möjligheten att ta marken i anspråk eller samnyttja den till något annat ändamål är betydelsefull. Avståndet till värmekällan och värmesänkan kan vara helt avgörande. I det fall man skall bygga ett stort lager och nyttja den lagrade energin i ett fjärrvärmennät kan det bli nödvändigt att göra ingående studier av fjärrvärmennätets flödes- och temperaturförhållanden för att kunna bedöma förutsättningarna för olika inkopplingspunkter och därmed ekonomin för olika lokaliseringar av lagret.

Bygger man ett mindre lager måste detta i de flesta fall ligga direkt i anslutning till värmekällan och användaren för att projektet skall bli ekonomiskt intressant. I det fallet finns oftast mycket små möjligheter - eller inga alls - att påverka lokaliseringen. De ekonomiska ramarna torde i detta fall inte heller tillåta någon mer omfattande undersökning.

Generellt kan man säga att den lämpliga omfattningen av en förundersökning beror av det planerade lagrets storlek och de krav man ställer på lagret - kanske främst vad gäller dess förmåga att leverera/svälja en viss minsta konstant effekt. Skall man anlägga ett lager med en volym på några miljoner m<sup>3</sup> som perforeras av 200-300 km borrhål inser man att det kan vara av visst värde att närmare undersöka bl a bergartens sammansättning för att kunna bedöma borrhålsdjup och tidsåtgång. För ett lager i samma storlek som Hagsätra med 2 km borrhål kommer dock andra faktorer att bli avgörande för utgången av borrhållningen.

Man måste från fall till fall bedöma vad som är ekonomiskt möjligt att göra. Vid en sådan bedömning måste man givetvis även ta hänsyn till osäkerheten i förutsägelsen om bergets beskaffenhet. Det är också viktigt att skilja på det teoretiska lagret - med ett visst föreskrivet borrhålsavstånd - och det verkliga utfallet. Man bör heller inte försumma möjligheten att kunna påverka lagerutformningen - t ex antalet borrhål - när väl arbetet börjat.

## 2.2 Geologins betydelse

I detta avsnitt skall belysas olika geologiska parametrars betydelse för lagrets funktion och för borrningsarbetets utförande och resultat. Parallellt kommer även andra faktors betydelse att beröras. Dessa kommer tillsammans att bestämma kostnaden för lagret och påverka ekonomin för utnyttjandet.

I ett kristallint, sprickfattigt berg bestämmer bergarten eller snarare bergets mineralsammansättning värmeledningsförmågan och värmekapaciteten. Främst är det kvartsinnehållet som är avgörande. I en granit t ex har kvartsen en stor förmåga att leda värme medan glimvern och fältspaten har betydligt lägre. Granits värmeledningsförmåga varierar mellan 3 och 4 W/m°C och dess värmekapacitet mellan 0,5 och 0,7 kWh/m<sup>3</sup> °C.

Bergets värmekapacitet tillsammans med temperatursvinget ger, för en viss bestämd volym, ett värde på volymens maximala lagringskapacitet. Huruvida all den lagrade energin kan utnyttjas kommer att bestämmas av bl a laddningens och uttagens fördelning i tiden (ofta svår att förutsäga). Här spelar värmeledningsförmågan roll. En hög värmeledningsförmåga ger höga förluster. Samtidigt ger den bättre möjlighet att ta ut eller ladda in höga effekter under längre tider. Med ett lågt värmeledningstal kan bergets tröghet bli begränsande för inlagringen och uttaget. Efter ett kraftigt uttag blir nämligen temperaturprofilen runt ett borrhål sådan att borrhålsväggen har i det närmsta samma temperatur som värmebärrarvätskan medan temperaturen mitt emellan hålen är betydligt högre. Är då värmeledningsförmågan låg, tar det längre tid för skillnaden att jämnas ut än om den är hög.

Simuleringar som gjorts inom ett annat projekt där det gällde ett lager på ca 30 GWh med en omsättning per år, visar hur de två ovan beskrivna fenomenen kan ta ut varandra. I detta fall komparerades i stort sett effektrögheten hos ett lager med värmeledningstalet 3,1 W/m°C av lägre förluster till omgivningen, dvs lagret höll generellt en högre temperaturnivå än ett lager med värmeledningstalet 3,5 W/m°C men i övrigt samma utformning. Den urladdningsbara energimängden blev alltså i stort sett densamma (BFR R164:1984, Säsongsvärmelagring i berg för fjärrvärmnät - Borlänge).

Den varierade effektrögheten kan teoretiskt sett kompenseras med olika avstånd mellan borrhålen. Ett lågt värmeledningstal som innebär liten räckvidd runt varje borrhål skulle då medföra att man perforerar berget relativt tätt. Ett sådant resonemang bör dock ta hänsyn till de praktiska möjligheterna att utföra lagret enligt den teoretiska beräkningen. Det önskade inbördes avståndet mellan borrhålen torde i de flesta fall vara mellan knappt 3 m och drygt 4 m. Att hålla en sådan precision i borrningen att det föreskrivna avståndet går att identifiera i botten på ett kanske 100 m djupt borrarat lager är orealistiskt.

Bergets mineralsammansättning har även betydelse för borrningens resultat. Även här är det främst andelen kvarts som är viktig.

Kvartsen påverkar direkt borrsjunkningen och kronförlitningen och därmed indirekt den totala tidsåtgången och kostnaderna. Om man skall borra ett stort lager kommer borrsjunkning och kronförlitning att få ganska stor betydelse. Är lagret däremot litet utgör kostnader för etablering och organisationen av arbetet betydligt större andel av den totala kostnaden.



Viktigare än bergarten är själva bergmassans karaktär. Sprickor, slag och krosszoner liksom förekomst av gångbergarter kan styra borrhölen och göra det svårt att hålla precisionen vid borrhölen. Risken att köra fast ökar också. Om berget är mycket krossat finns också risken att hålen rasar igen så att man ej kan montera kollektorerna. Om det visar sig att risken för detta är överhängande, kan det vara lämpligt att förinjektera berget. Alternativt kan man kanske flytta om borrhölen om man anser att man kan bedöma zonens utsträckning.

Förekomsten av sprickor och slag tillsammans med grundvattnets gradient bestämmer strömningen av grundvatten genom lagret. Om genomströmningen är stor och lagrets temperatur hög i förhållande till det strömmande vattnets kommer vattnet att föra bort en betydande del av den inlagrade energin och lagrets värmeförluster blir stora.

En mycket lokal krosszon däremot kan vara gynnsam för energiutbytet. Så är t ex fallet i borrhölslagret i projekt "Lulevärme" där energiutbytet mellan köldmediet och berget sker betydligt snabbare i ena hörnet av lagret eftersom temperaturförändringarna utjämnas inte bara genom ledning i berget utan också genom det vatten som rör sig i sprickorna (Bo Nordell, muntlig kommunikation).

Grundvattenytans nivå är direkt avgörande för kostnaden för den utnyttjningsbara lagervolymen. För att ett energiutbyte skall ske mellan vätskan i kollektorn och berget krävs att utrymmet mellan desamma ej är isolerat med luft. Man kan givetvis tänka sig att göra en infodring av borrhölen med en strumpa som sluter tätt mot bergväggen, men en sådan lösning är dyr och praktiskt besvärlig. Det vanligaste torde därför vara en lös slangkollektor av något slag eller ett öppet system där grundvattnet fungerar som värmebärare. Således kan man som lagervolym bara medräkna den del av bergvolymen som ligger under grundvattenytans nivå.

Jordtäcket mäktighet betyder också mycket för borrhönskostnaderna. Borrhöning med foderrör genom jord kostar betydligt mer än borrhöning i berg.

Å andra sidan bör man givetvis undvika bergschakt. Om man skall bygga lagret under exempelvis en parkeringsplats är det önskvärt med en viss jordtäckning så att ledningar och ventiler får plats utan att man behöver spränga.

### 2.3 Undersökningsmetoder

Borrhålslager placeras och utförs efter ett antal olika koncept vilka påverkar lämplig omfattning och uppläggning av förundersökningarna. De olika layouterna är:

- A Lager direkt vid markytan med eller utan jordtäckning, icke överbyggt av byggnad, t ex Luleå och Stora Skuggan.
- B Lager vid markytan överbyggt av byggnad, t ex Suncourt.
- C Lager nedsänkt i bergmassan i kombination med tunnel eller bergrum, t ex Högdalen (ej byggt).

För A och B utnyttjas olika geometrier, som cylindriska, kubiska och kvastformade lager. I ett kombinerat bergrums - borrhålslager, typ C, är möjligheten att välja geometri större, här kan den ideala klotformen lättare efterliknas.

Undersökningar för typ A och B bör dels inriktas på att finna områden med liten jordtäckning och hög grundvattennivå, dels på att kontrollera om någon grundvattengenomströmning av omfattning förekommer i området. För typ C, kombinationen med tunnel/bergrum erfordras dessutom en bättre kontroll av bergstruktur och bergkvalitet för att kunna välja ett läge där dyrbara förstärkningsåtgärder undviks.

Vid lager som har en medeltemperatur som ligger i närheten av bergmassans initialtemperatur är de geohydrologiska förutsättningarna av liten betydelse. Det är givetvis lättast att motivera en bergnivåundersökning när området planeras att samtidigt bebyggas, då kunskap om berg- och grundvattennivåerna även behövs för stom- och grundläggningsprojektering samt för upphandlingen. Att då samtidigt genomföra undersökningar för borrhålslaget medför ingen större merkostnad.

De förekommande undersökningsmetoderna för bestämning av de geologiska och geohydrologiska förutsättningarna har sammanställts i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Bestämning av geoförutsättningar - undersökningsmetoder

	Berg-nivåer	Svaghets-zoner	Grundvatten-nivåer	Termiska egenskaper	Bergmassans täthet
Seismik	x	xx			
Sonderingsborrn	xx	x			x
Kaxprovtagning				xx	
Georadar	x	x	x		
TV-granskning		xx			x
Kärnborrn		xx		xx	x
Arkivstudie, kartor	x	x	x		x
Vattenförlustmättn		xx			xx
Grundvatten obsrör/hål			xx		
Besiktning av frilagt berg	xx	x			

xx = tillförlitlig metod

x = metod som ger begränsad information

Undersökningsmetoderna bör väljas efter områdets förutsättningar såsom möjligheten att välja läge och lagrets storlek. I de flesta fall kommer man långt med studier av befintligt material kombinerat med besök på platsen. Vid t ex förtätande bebyggelse inne i bostadsområden eller där vibrationsalstrande aktiviteter förekommer är det mindre lämpligt att välja seismiska undersökningar eller georadar. I dessa fall är det lämpligast att utföra jordbergsondering för kontroll av bergnivåerna.

En undersökning kan t ex läggas upp enligt nedan:

1. Genomgång av kartor (topografiskt och geologiska kartblad) samt insamlande av uppgifter från kommunens arkiv över tidigare undersökningar.
2. Besiktning av området vilket oftast ger en uppfattning om hur orolig bergnivån är, dominerande bergart samt eventuellt information om bergstruktur och svaghetszoner. Normalt går det även att få en uppfattning om ifall grundvattnet är ytligt och jordlagrens sammansättning.
3. Seismisk undersökning för att finna en jämn bergyta på litet djup inom ett område med jämn bergkvalitet. Ur studierna för punkt 1 och 2 kan man avgränsa de mest lämpliga partierna och undersöka dessa. Lämpligen planeras de seismiska profilerna som fyra linjer i ett rutnät. Härigenom erhålls bättre kontroll av eventuella svaghetszoners utsträckning.
4. Sondering i ett mindre antal punkter för tolkning av seismiken och bestämning av jordarts följd. Kan ofta samordnas med grundundersökning för grundläggning.
5. Kontroll av grundvattennivåer bör utföras om lagret skall arbeta med en markant högre temperatur än den naturliga i bergmassan. Behovet skall också bedömas ur den kunskap som de andra förundersökningarna givit. Kontrolleras genom bergborrhål eller observationsrör i friktionsjord ovan berget.
6. Vid behov kompletterande undersökning för valt läge genom sondering till berg och bestämning av grundvattennivån i lagret. Härigenom ges projekteringsunderlag för val av utförandemetod och underlag för upphandlingen.

Detaljundersökningen ger besked om

- Jordschaktens omfattning.
- Behov och omfattning av bergsprängning - viktigt i upphandlingen.
- Omfattning och längder för jordborrning samt jordmaterial.
- Förutsättningar för markplaneringen.

#### 2.4 Förundersökningen för Höstvetet

För lagret i kvarteret Höstvetet har gjorts relativt omfattande undersökningar. Avsikten med dessa har som nämnts främst varit att få fram ett underlag för utvärderingen. De har också utförts efter det att lagrets utformning och läge blivit bestämda och de redovisas därför inte i detta avsnitt.

Suncourt-huset var ursprungligen tänkt att byggas på en annan plats än i Hagsätra. När man slutligen fick klartecken att bygga i Hagsätra var planerna för husets utformning och principerna för energisystemet ganska långt framskridna. Man hade i stort sett klart för sig husets energibalans. Lagrets funktion var översiktligt fastlagd vad gäller effekt- och energikapaciteter. Utifrån dessa, vissa antaganden - främst temperaturnivåer hos övriga i systemet ingående komponenter - samt erfarenhetsvärden från andra verkliga och simulerade lager och energi-brunnar dimensionerades lagret, se avsnitt 1.2.

Tomten, där man skulle lägga ett 25 000 m<sup>3</sup> stort lager, var alltså utsedd utan någon kännedom om de geologiska förhållandena på platsen. Ett måttligt bergdjup var dock indikerat av uppstickande berghällar runt själva tomten.

Inom tomten fanns två föreslagna lägen för lagret. Det ena innebar att lagret skulle läggas under den planerade parkeringsplatsen. Det andra innebar att lägga lagret i direkt anslutning till värmepumpen under ett planerat gemensamt utrymme i huset. Avståndet mellan de bägge platserna var 30-40 m. Av åtkomlighetsskäl och med tanke på de åtgärder som måste vidtas för att förhindra frysning i det först nämnda förslaget bedömdes det andra förslaget vara att föredra.

Det geotekniska-geologiska material som fanns tillgängligt utgjordes av en byggnadsgeologisk karta i skala 1:20 000 (Stockholms kommun), jordartskartan (SGU serie Ae), det geologiska kartbladet (SGU serie Af) samt den geotekniska undersökningen för grundläggning av huset.

Med hjälp av det geologiska bladet konstaterades att inga kända större sprickzoner går genom området och att berggrunden utgörs av gnejs.

Den geotekniska undersökningen bestod av vikt- och slagsondering till stopp på berg eller block. För läget under huset hade stopp erhållits på mellan 1 och 7 meters djup under markytan. För det andra läget antydde borringar i närheten att djupet till berg skulle kunna vara något mindre. Området var delvis utfyllt och marken relativt lös.

När platsen besöktes konstaterades att tomten ligger på en utfylld gryta i berget med dåliga avrinningsmöjligheter för ytvattnet. Grundvattnet antogs ligga mycket nära markytan. Detta förhållande bekräftades senare med hjälp av det grundvattenrör som sattes då man befarade problem med övertryck av grundvattnet.

Ungefär 200 m från tomten löper Huddingevägen. Den går här i ett relativt djupt dike i berggrunden och det finns anledning att notera att vägen kan fungera som en drän för berggrundvattnet och att strömningen genom lagret skulle kunna vara ganska stor. Det ytliga berget antyder dock att den dominerande sprickriktningen är parallellt med vägen och att kommunikationen därmed är så dålig att bergschakten endast i mindre omfattning påverkar grundvattnets strömning.

Besöket på platsen gav alltså ej någon anledning till att avbryta projektet eller söka efter nya alternativa lägen för lagret. Några ytterligare undersökningar bedömdes ej vara motiverade. Det planerade lagret var relativt litet och temperaturnivån låg med en medeltemperatur nära bergets ostörda temperatur. Kraven på lagrets förmåga att svälja och leverera en viss effekt vid vissa temperaturnivåer var ännu ej

helt specificerade. Ytterligare kännedom om bergmassans eller bergartens egenskaper skulle därför ej nämnvärt kunna påverka utformningen av lagret eller arbetsmetodiken.

Eftersom inget talat emot beslöt man att lägga lagret under huset där jordborrningen förmodligen skulle vara minst och där man lätt kunde ansluta till de övriga installationerna.





### 3                   UNDERSÖKNING AV BERGMASSAN

#### 3.1                   Utförda undersökningar

De inledande förundersökningarna var helt inriktade på bergnivåbestämning för byggnaderna och undersökningarna för borrhålslagret omfattade endast en geologisk kartstudie och en platsbesiktning. Som komplement till dessa har en utökad undersökning gjorts som har inriktats på:

- o lokalisering av större svaghetszoner
- o bestämning av termiska egenskaper
- o kontroll av borrhåls tekniska egenskaper
- o kontroll av områdets geohydrologiska förhållanden
- o kontroll av borrhålsavvikelse.

Samtliga ovan angivna faktorer kan påverka lagrets funktion och ekonomi. Omfattningen av undersökningarna för ett borrhålslager skall ställas i relation till vad man kan vinna eller förlora på att utföra eller avstå från insatserna i ett förprojekteringsstadium. Kostnaderna i löpande penningvärde 1984-1985 för de olika undersökningsinsatserna finns redovisade i nedanstående redovisning.

#### 3.2                   Svaghetszoner

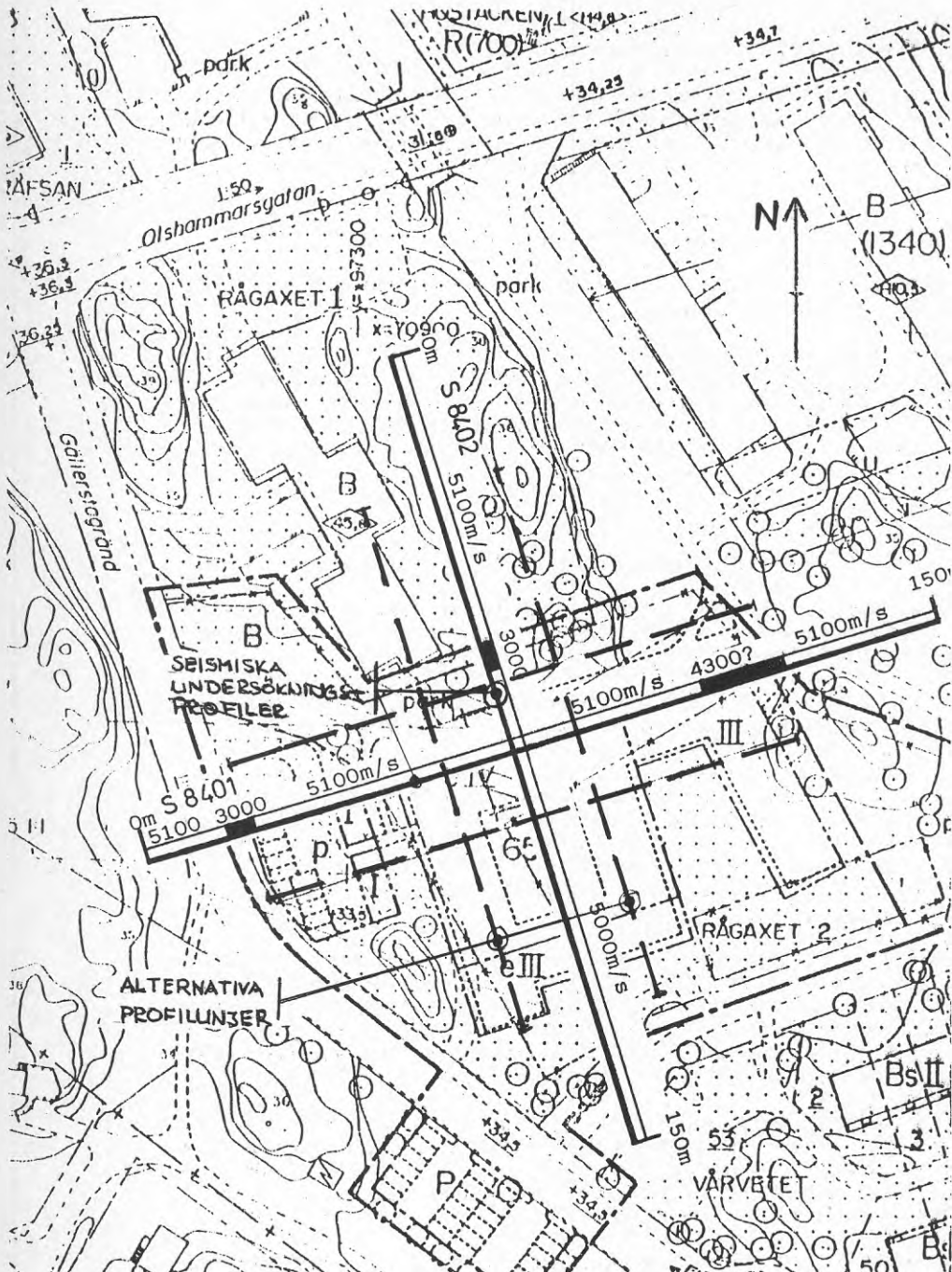
Undersökningarna har utförts genom en kombination av seismisk refraktionsmätning, sonderingsborrning och vattenförlustmätningar. Tillsammans ger dessa undersökningar en bild av bergmassans kvalitet.

Då undersökningarna kom att utföras i ett så sent skede att schakt- och grundläggningsarbetena hunnit påbörjas var förutsättningarna för de seismiska mätningarna ogynnsamma. Under raster när inga vibrationsalstrande aktiviteterna förekom kunde två seismiska profiler med vardera 150 meters längd skjutas. Profilerna lades genom lagrets centrum och utvärderingen inriktades på kontroll av gånghastigheterna i ytberget. Resultaten visar på förekomst av två markanta zoner med låg gånghastighet, 3 000 m/s, se figur 3.1. Detta indikerar att berget är av dålig kvalitet med hög sprickfrekvens, normal gånghastighet i sprickfattig gnejs och granit är 4 500 - 6 000 m/s.

Det är inte utrett om de två svaghetszonerna är sammanhängande i öst-västlig riktning. Mot detta talar dock det förhållandet att den dominerande bergstrukturen i området har en nord-sydlig riktning. Skulle zonen vara sammanhängande har den samma riktning som grundvattengradienten i området och kan ge en borttransport av inlagrad energi från det närliggande lagret, speciellt om zonen stupar in mot lagret.

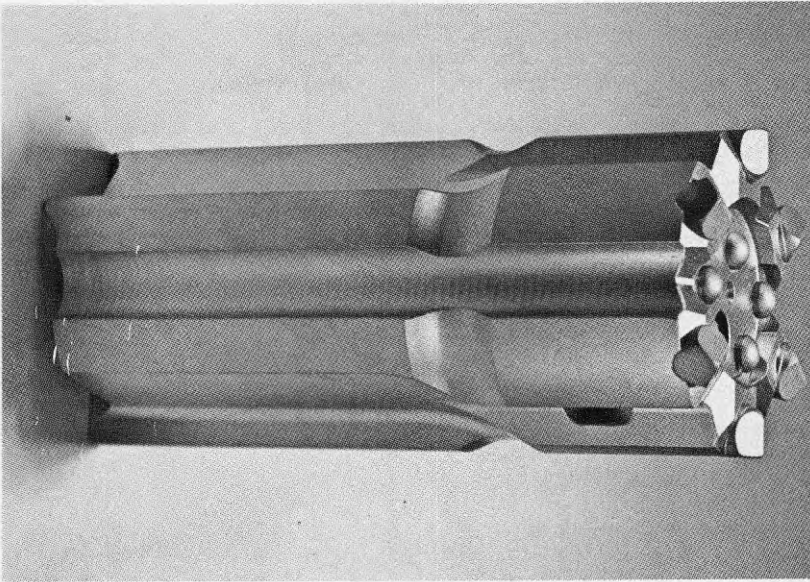
En bättre kontroll av svaghetszonernas utbredning hade uppnåtts om man utfört den seismiska undersökningen längs fyra profiler så att de bildat en kvadrat i läget för lagret, se figur 3.1. Kostnaderna för denna omfattning skulle för vårt fall ökat från ca 10 tkr till ca 15 tkr (undersökning och redovisning).

Bergmassan har undersökts genom ett 90 meter långt sonderingsborrhål i lagrets centrum. Hålet utfördes med en ROC 601 borrhög med en BBE 57 topphammare och en Guide Bit borrhög  $\varnothing$  64 mm, se figur 3.2.



Figur 3.1 Seismiska profiler med gånghastigheten hos ytberget och förslag till alternativa profillägen





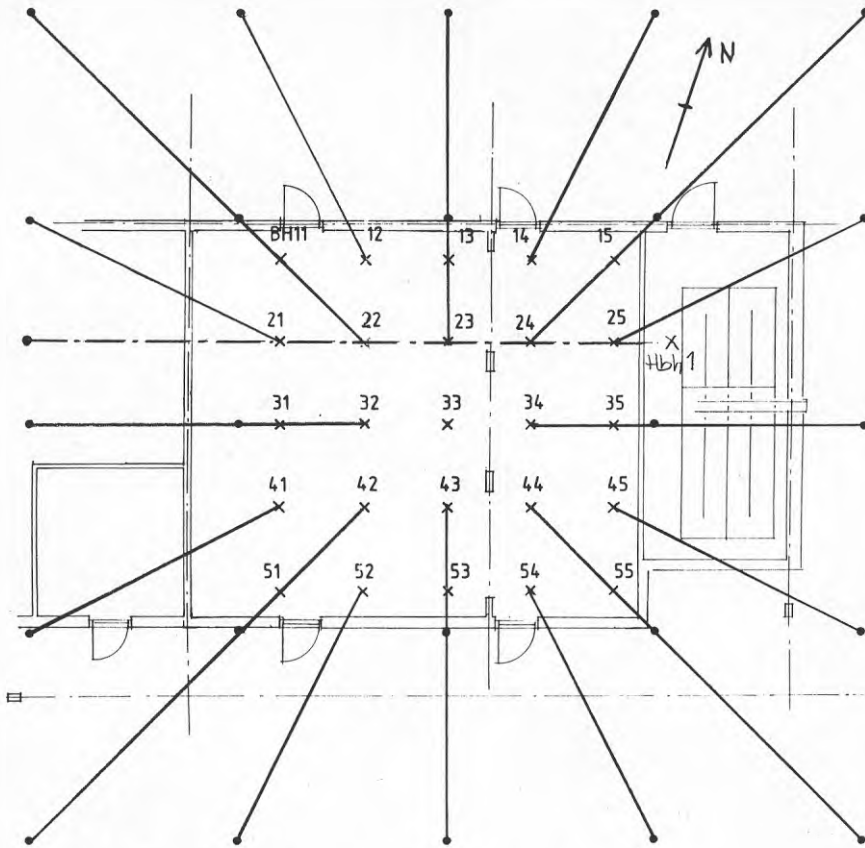
Figur 3.2 Precisionsborrkrona Guide Bit

Sondborrhålet utfördes dels för att ge en uppfattning om bergstrukturen, tolkad direkt från borrhningen och från den påföljande vattenförlustmätningen, dels för att jämföra avdriften hos ett hål borrarat med denna utrustning och med produktionshålens avdrift. Stor vikt lades således vid att utföra hålet, som borrades diagonalt i lagret, rakt. Se borrarplan figur 3.3. Matningskraften anpassades till iakttagelser under borrhningen, vidare slipades kronan om vid halva borrhdjupet.

Som helhet bedömdes bergmassan vara homogen och sakna partier med markanta slag eller sprickor. Det var endast de ytligaste tre metrarna som var starkt uppspräckta sannolikt till följd av överborrning och kraftig bottenladdning vid bergschakten. I övrigt noterades endast avvikelser i spolvattenflöde och borrhjunkning på 70-90 meters djup. Nettoborrhjunkningen vid hålets början låg på ca 2 min/m och avtog mot hålets botten till ca 4 min/m. På grund av det uppspräckta ytberget gick merparten av spolvattnet och borrhkaxet ut i ytbergets sprickor trots att foderrör monterats. Ingen kaxprovtagning kunde därför utföras. Ur inmättningsresultaten från produktionshålen i lagret, se kapitel 4, kan man tydligt utläsa att den genomgående sprickriktningen i bergmassan är Ö-V med en stupning mot norr. Speciellt markant är detta på ca 10 meters djup, här visar borrhålen en tydlig avdrift mot norr. Av vattenförlustmätningarna, se nedan, framgår att detta parti är relativt tätt. Troligen finns därför inga större öppna sprickor i detta parti.

Sonderingsborrningen kostade ca 12 tkr (etablering, borrhning, stillestånd).

I provhålet utfördes vattenförlustmätningar i fem meters intervall längs hela borrhålets längd. Dessa utfördes som s k Falling head försök vilket anses ge den mest rättvisande bilden av bergmassans permeabilitet. Fördelarna, gentemot andra metoder att bestämma bergmassans täthet,



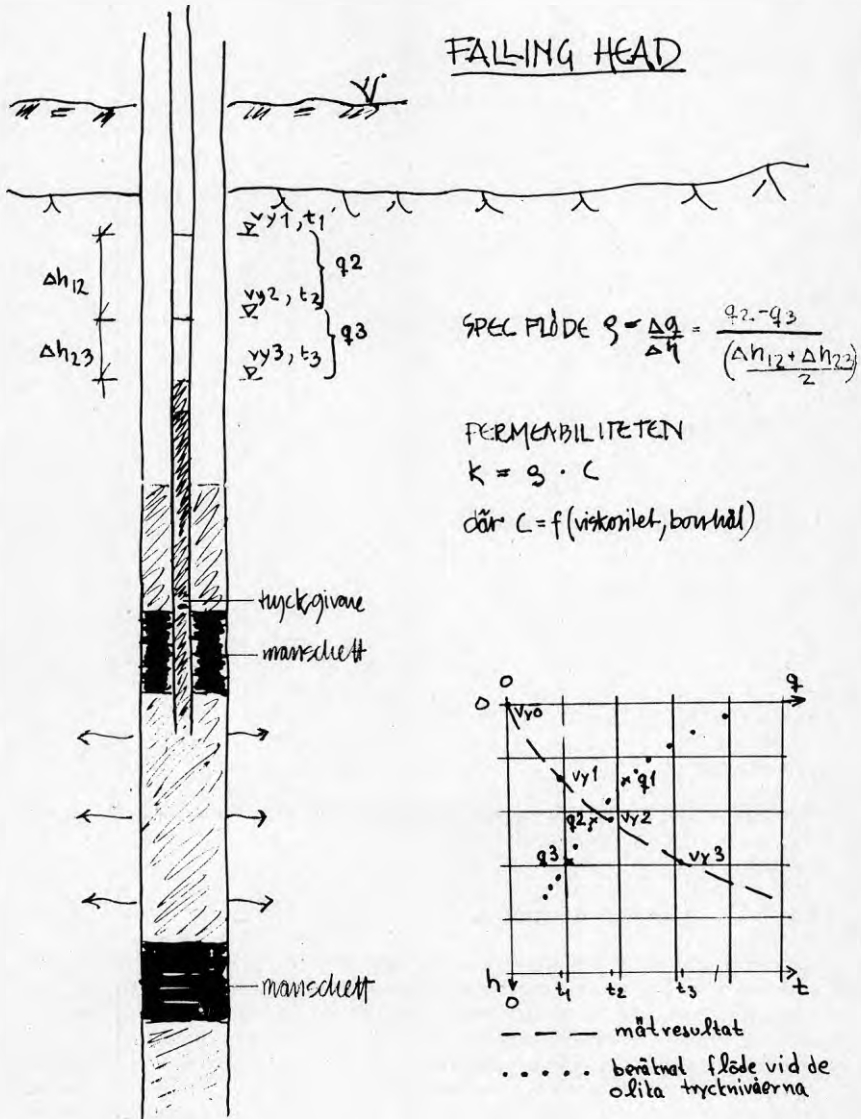
Figur 3.3 Borrplan med produktions- och undersökningshål

är bl a att man inte är beroende av en stabil trycknivå och att risken för att sprickorna öppnar sig samt att läckage vid manschetterna uppstår är liten eftersom inga stora övertryck påförs. Mätningarna utfördes med en dubbelmanschett, där vardera manschetter var 1 meter lång. Den avgränsade hållängden påfördes ett vattenövertryck genom en slang upp till markytan. Ur mätningar av hur flödet ut i bergmassan avtar som en funktion av övertryck och tid, kan sedan permeabiliteten beräknas. Teori och mätprincip framgår av figur 3.4.

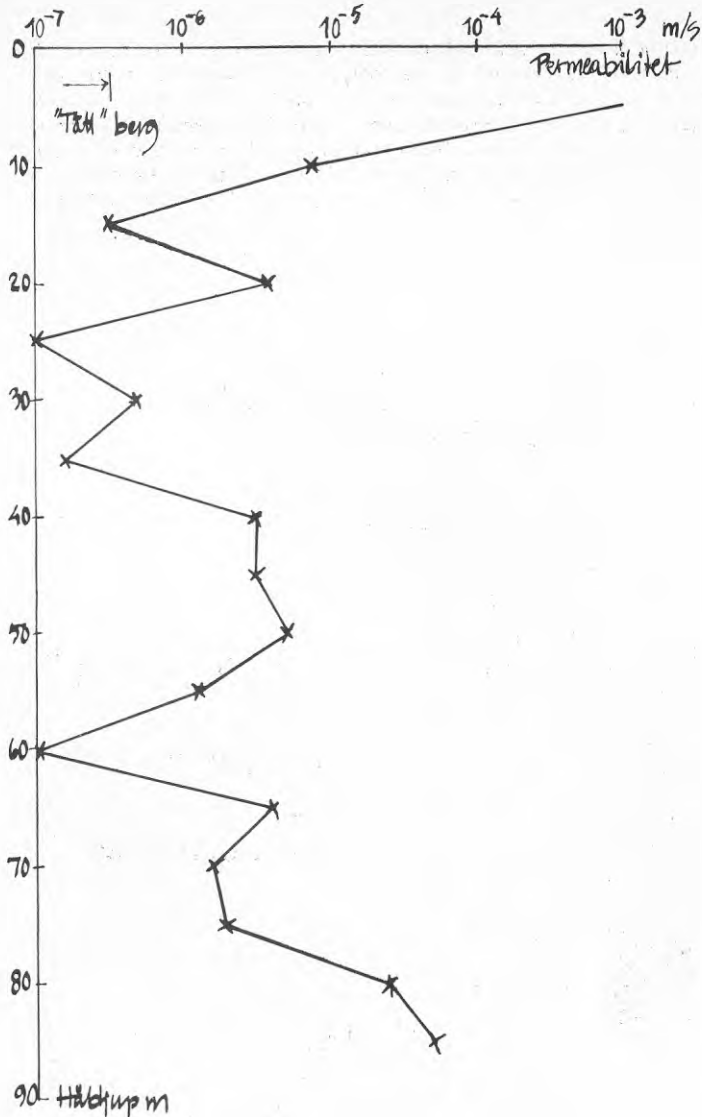
Mätningarna visar att bergmassan i huvudsak är tät, dvs har en permeabilitet runt  $10^{-7}$  m/s vilket är ett normalt värde för svensk sprickfattig gnejs och granit. Det är endast i ytberget och på 80-90 meters djup som bergmassan är betydligt mer genomsläpplig, dvs har högre frekvens öppna sprickor. De utvärderade permeabilitetsvärdena har tillsammans med iakttagelser från sonderingsborrningen sammanställts i figur 3.5. Vid produktionsborrningen var många hål täta ned till 40-50 meters djup, först därunder började vatten följa med spolluften upp ur hålen.

Kostnaden för vattenförlustmätning och utvärdering uppgick till ca 12 tkr.

Ur stabilitetssynpunkt kan ett lågtemperaturlager borrar från markytan knappast ge upphov till problem för befintliga eller planerade byggnader invid lagret. De enda stabilitetsaspekter som kan finnas på denna typ av lager är kraven på att borrhålen inte rasar igen. Oförutsedda kostnader för stabilisering av zoner med alltför instabilt berg kan bli mycket höga. Av resultaten från sonderingsborrningen och vattenförlustmätningarna framgår att det i Hagsätra endast är vid ytberget som borrhålen kan vara instabila.



Figur 3.4 Vattenförlustmätning genom Falling Head-försök. Princip.



Figur 3.5 Sammanställning av borrhingsresultat och permeabilitet för undersökningshålet

### 3.3 Termiska egenskaper

Värmelagrets drift och funktion kommer att följas genom ett mätprogram som omfattar temperatur- och energimängdsmätningar för lagret. Ett antal bergarters temperaturgivare har därför monterats i undersökningshålet och i utvalda produktionshål. Som underlag för dessa mätningars jämförelse med teoretiska beräkningsmodeller har berg termiska egenskaper undersökts och sammanställts i tabell 3.1. Det skall här betonas att undersökningen endast har utförts på ytliga bergprov, och då prov på kaxet inte kunde tas har ingen jämförelse med de djupare partierna kunnat ske. Enligt borrentreprenören var dock borrhakaxet av samma färg längs hela borrhålens längd.

Tabell 3.1 Bergprov från Höstvetet

Bergart	Gnejs	
Densitet	2 760	kg/m <sup>3</sup>
Spec värme	0.63	kWh/m <sup>3</sup> °C
Konduktivitet	2.2 - 3.8	W/m <sup>2</sup> °C
Porositet	<< 1	%
Kvartsinnehåll (okulär bedömning)	10 - 70	%

Provkroppen uppvisade en stor anisotropi, inom ett parti var bergarten mycket tät, mörk och kvartsfattig (basaltlik) medan den i övrigt innehöll en stor andel grova kvartskorn. I det förstnämnda avsnittet var värmeledningstalet så lågt som 2.2 - 2.2 W/m<sup>2</sup>°C, i det senare mer normalt, 3.6 - 4.3 W/m<sup>2</sup>°C. De stora variationerna kan endast förklaras genom den stora skillnaden i kvartsinnehåll. Avvikelserna mellan de termiska egenskaperna i såväl granit som gnejs är normalt små.

Bergartens borrhärlighet bestäms till stor del av dess kvartsinnehåll varför denna uppgift är intressant för borrentreprenörerna.

Den termiska laboratorieprovningens kostnad är 2 tkr.

### 3.4 Geohydrologi

Ett borrhålsvärmelager kan mycket väl utföras i såväl en bergmassa med hög sprickfrekvens och kommunikation mellan borrhålen som i ett helt tätt berg. Den sprickrika bergmassan är snarast att föredra för ett lågtemperaturlager under förutsättning att grundvattenströmningen genom lagret är marginell. Därför är det väsentligt att få besked om det finns någon pådrivande grundvattengradient genom lagret vilket kan ge upphov till borttransport av inlagrad energi. För att kunna bedöma hur mycket energi som kan transporteras med grundvattnet behövs en uppfattning om bergmassans täthet och förekomsten av eventuella svaghetszoner. För ett lågtemperaturlager med en medeltemperatur nära +7°C blir de geohydrologiska förhållandena mindre avgörande som lokaliseringfaktor än för ett lager med högre temperatur.

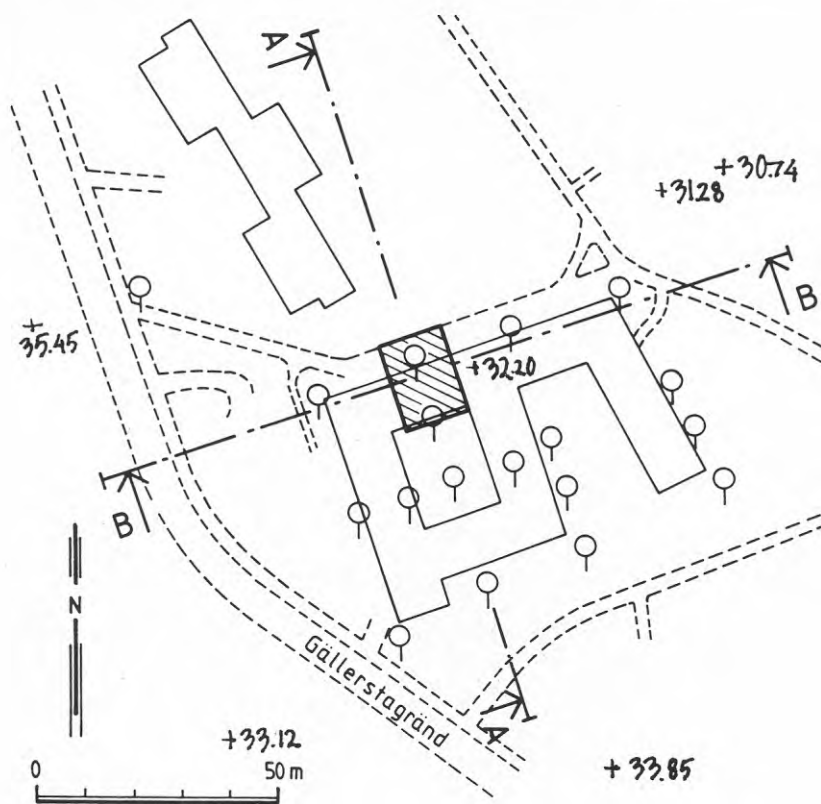
Kartläggningen av de geohydrologiska förhållandena i området vid lagret inleddes med studier av en topografisk karta och översiktlig besiktning på platsen. Därefter borrades 5 st mäthål i berghällar runt lagret. Hålen gjordes minst 10 meter djupa eller tills kommunikation erhöles med ett vattenförande spricksystem, dvs tills spolluften ur hålet medförde vatten. Hålen pluggades och pejlades sedan de stabiliserat sig. Resultaten visar att grundvattenytan som väntat följer topografins variationer. Den högsta nivån uppmättes i nordväst, där ett bergigt högparti finns. Även mot söder finns motsvarande förhållanden och även här var nivån högre än i öst-västlig riktning. Ur dessa mätningar i kombination med nivåuppgifter ur kartor förefaller det som om området dräneras mot öst eller nordost. Avrinningen sker troligen ned mot Huddingevägen med omgivande lågområden som är belägna på ca 200 meters avstånd och ca 10 meter lägre än lagret.

Den uppmätta grundvattengradienten är ca 2% i sydväst-nordostlig riktning, se figur 3.6 a och b. För huvuddelen av lagret motsvarar detta överslagsmässigt en genomströmningshastighet på  $10^{-8}$  m/s eller ett flöde på  $0,3 \text{ m}^3/\text{år}$  och  $\text{m}^2$  vertikal yta av lagret.

Då medeltemperaturen i lagret är låg blir den eventuella borttransporten av energi försumbar. Även för ett lager med hög temperatur skulle energiförlusterna av grundvattengenomströmningen bli marginella jämfört med de stationära förlusterna till omgivande berg. Vid en antagen årsmedeltemperatur hos lagret på  $30^\circ\text{C}$  blir borttransporten ca  $3\text{-}4 \text{ kWh/m}^2$  och år.

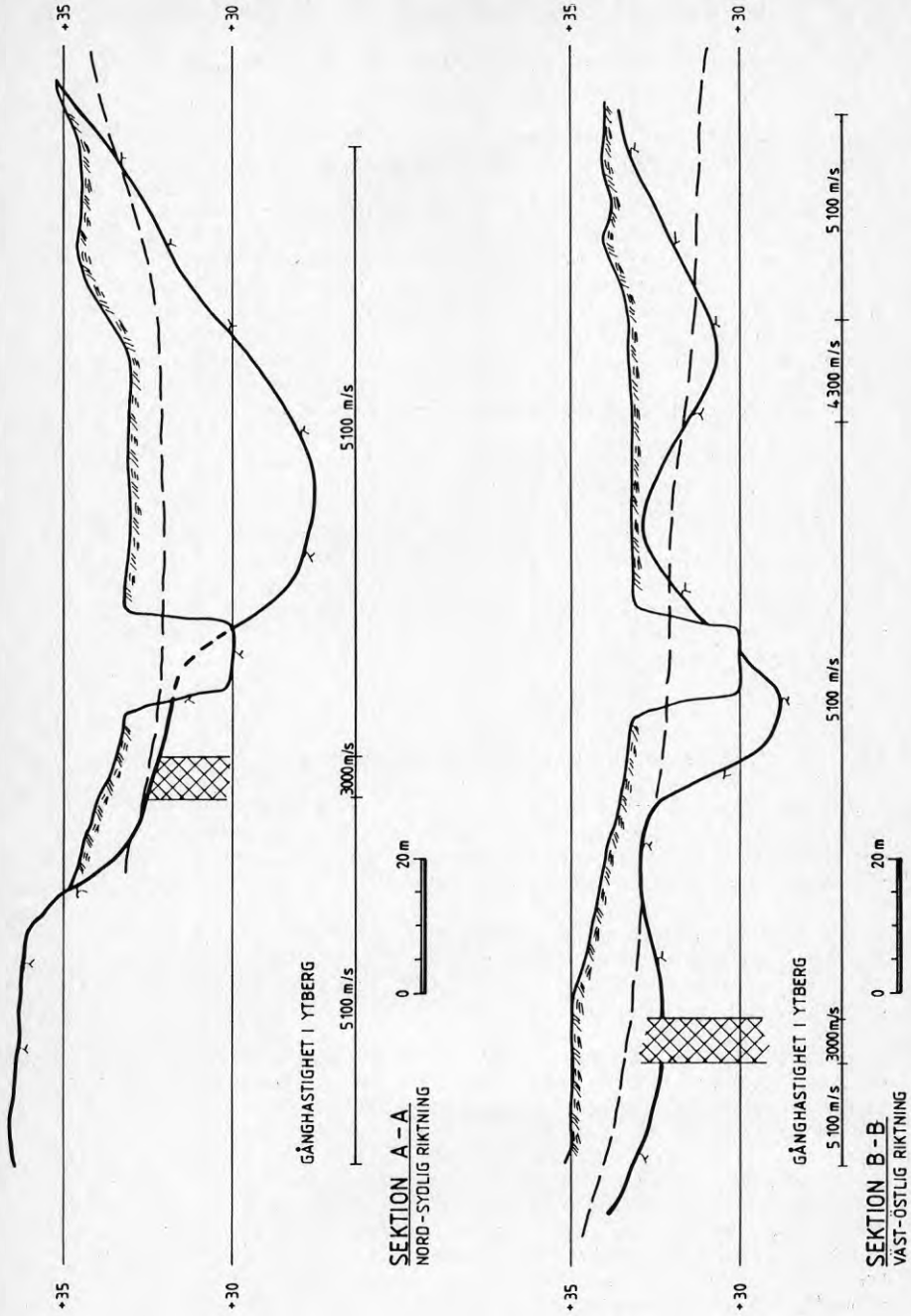
Kostnaderna för att i efterhand försöka skydda ett lager som har en kraftig grundvattengenomströmning är mycket stora varför de geohydrologiska förutsättningarna definitivt är en väsentlig lokaliseringsfaktor vid förprojekteringsarbetet.

Det nedlagda arbetet för den geohydrologiska karteringen är av storleken 7 tkr (observationshål, inmätning och pejling).



Figur 3.6 a Grundvattennivåer samt sektionsslågen för seismik





Figur 3.6 b Grundvatten- och bergnivåer längs sektioner tvärs lagret

### 3.5 Inmätning

Ställs höga krav på borrhållsprecisionen skall det även finnas möjligheter att kontrollera det uppnådda resultatet.

För inmätning av borrhål används en sk inklinometer, med vilken man mäter hålets lutning på olika nivåer längs två orienterade riktningar.

Lutningsmätningen utförs normalt i båda riktningarna samtidigt med hjälp av två servoaccelerometrar. Svårigheten med mätningarna är att bibehålla orienteringen av mätaxlarna under mätningens gång. För inmätningarna vid Höstvetet utnyttjades en mätutrustning med en kompass monterad på mätkroppen för orientering. Metoden är snabb och tillförlitlig under förutsättning att bergmassan inte är magnetisk, utrustningen framgår av figur 3.7. Det finns även mätutrustningar med andra orienteringsmetoder, t ex gyrokompass (snabb, tillförlitlig men dyr) eller fast kopplade stänger med orientering vid markytan (tidsödande).

Samtliga borrhål mättes in, produktionshålen med 10 meters intervall i höjdded och provhålet med 5 meters intervall. Med 10 meters mätintervall blir mätprecisionen något sämre än 1% av mätdjupet, vid 5 meters intervall ca 1%. Med tanke på upphandlingskravet för borrhållningen borde mätningen utförts med bättre precision än 1%.

Med hjälp av en mikrodatorbaserad mätinsamlingsenhet blir den effektiva tiden för inmätning av ett 80 meter långt borrhål ca 15-30 minuter om man mäter var 5:e meter.

### 3.6 Sammanfattning av undersökningsresultaten

Totalt sett visar undersökningarna att lagret är beläget i en relativt homogen bergmassa och inte utsatt för någon omfattande grundvatten genomströmning. Det förekommer tydliga partier med sprickor i lagret men få av dessa är öppna och vattenförande.

De termiska egenskaperna hos gnejsen, som är dominerande bergart vid lagrets överyta visar stora variationer i värmeledningstal. Bergartens struktur och sammansättning varierar från tät och kvartsfattig till grovkornig och kvartsrik.

Med dagens kunskap kan man säga att om lagret hade kunnat läggas där bergytan var jämnare och sprängning hade kunnat undvikas (alternativt utförts skonsammare) så skulle borresultatet blivit bättre och arbetet billigare.

Av topografin i området framgår att bergytan är orolig, det finns ett stort antal berghällar i dagen, ofta med brant stupande sidor. Inom ett sådant område krävs en detaljerad undersökning om man i detalj vill bestämma bergnivån. Möjligheterna att fritt lokalisera lagret inom tomten var små då det samtidigt skulle inpassas i lämpliga utrymmen under byggnaden. De få alternativa lagerlägenas bergnivåer skulle därför enkelt ha kunnat kontrolleras i förundersökningarna genom jordbergsondering till en merkostnad av ca 8 tkr.





Figur 3.7 Mätutrustning för inmätning av borrhål



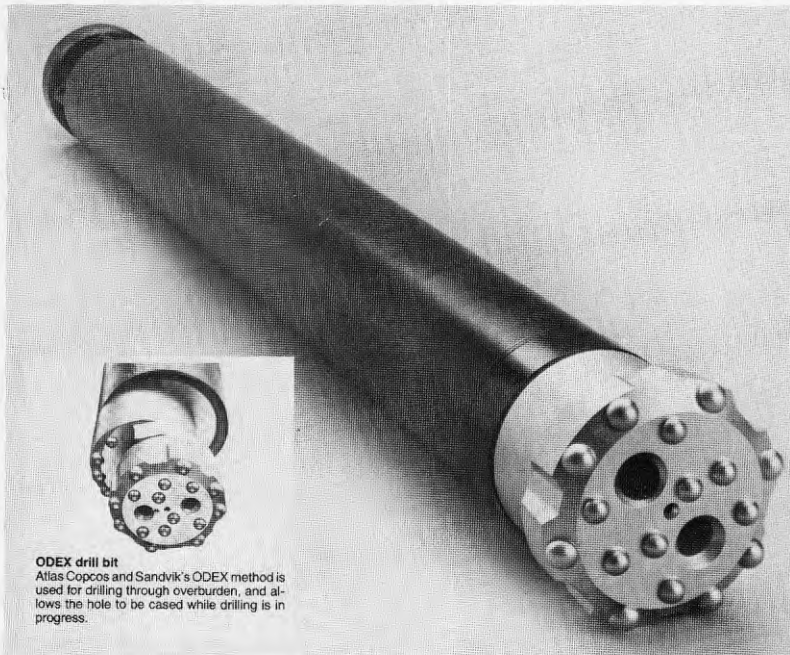
## 4 PRODUKTIONSBORRNING

### 4.1 Arbetenas bedrivande och resultat

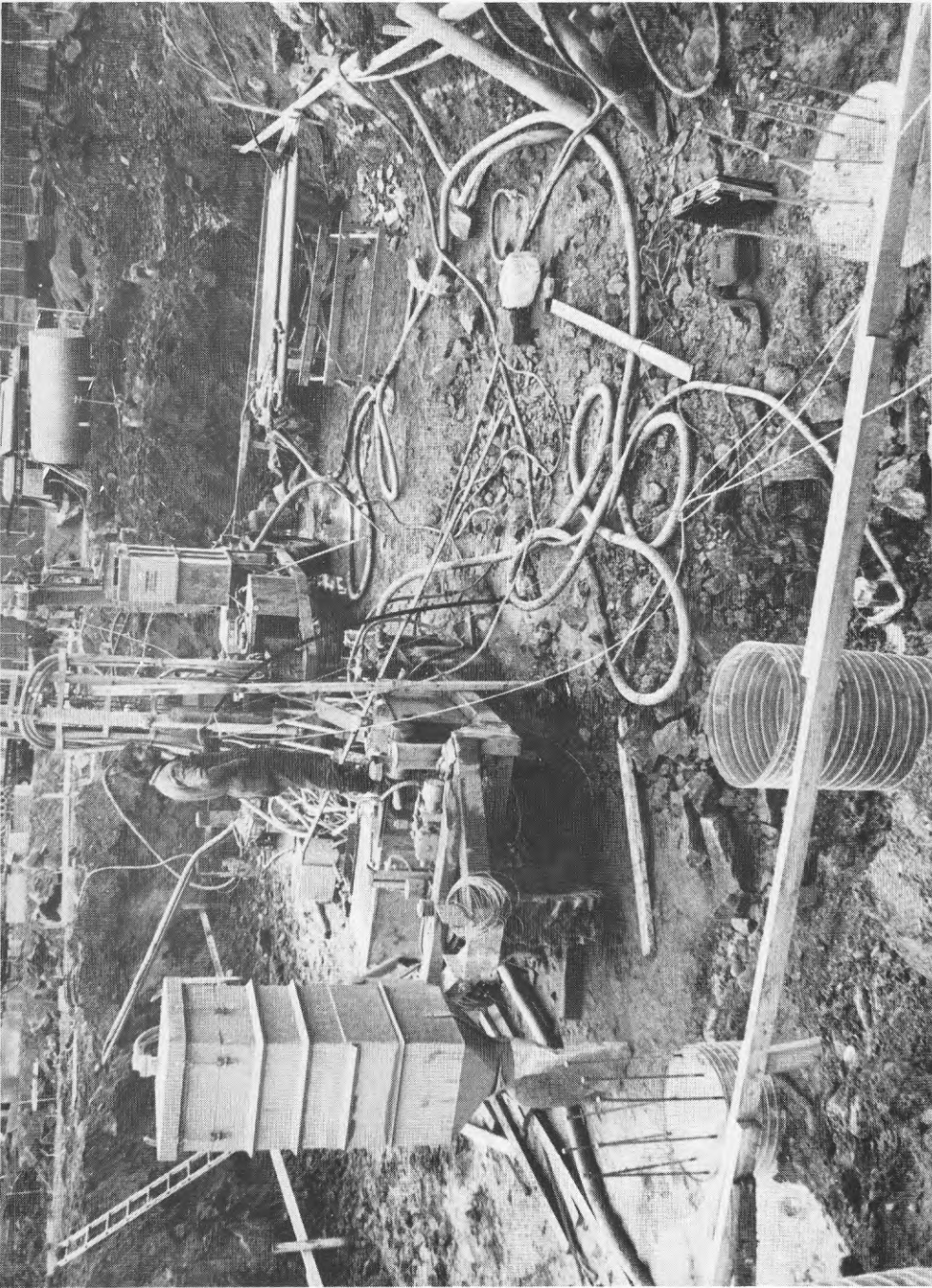
Inledningsvis utnyttjades två borragnar av fabrikat Nemek med COP 4 sänkhämmare, se figur 4.1 och 4.2. Inom halva ytan utfördes Odex foderrörsborrning genom jord och för resterande hälft foderrörsborrning genom sprängstenssylvta och uppspräckt ytberg.

Borrningsarbetena inleddes v 447, dvs i november och bedrevs med två maskiner t o m v 450, därefter utnyttjades en maskin. Arbetet avslutades v 505. Totalt fick 4 st borrhål borrar om pga stora avvikelser eller sammanborrning.

Borrningen utfördes med ett konstant matningstryck på 16-18 bar från en dieseldriven kompressor. Håldimensionen var  $\varnothing 115$  mm och borrningen utfördes enligt uppgift med styrning nedtill på hammaren och med två styrrör längs borrarsträngen. Bruttoborrsjunkningen var ca 8 m/timme. Borrkronorna slipades om efter varje färdigborrat hål, dvs var 80:e meter.



Figur 4.1 Sänkborrhämmare COP 42, en utveckling av hammaren COP 4

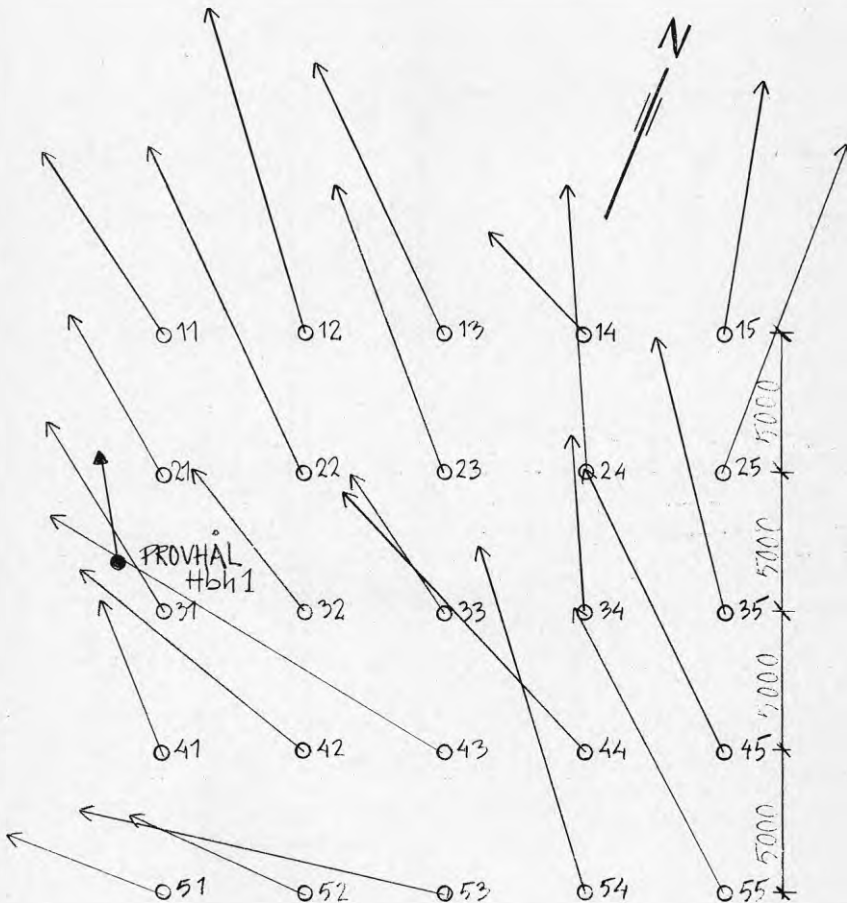


Figur 4.2 Schaktgropen med två borragnar

Efter avslutat borrhingsarbete inmättes samtliga borrhål med en inklinometer. Mätningen utfördes i 10-meters intervall utmed borrhålens längd. Mätmetodens precision är ca 1% av mätdjupet, bäst precision vid raka hål.

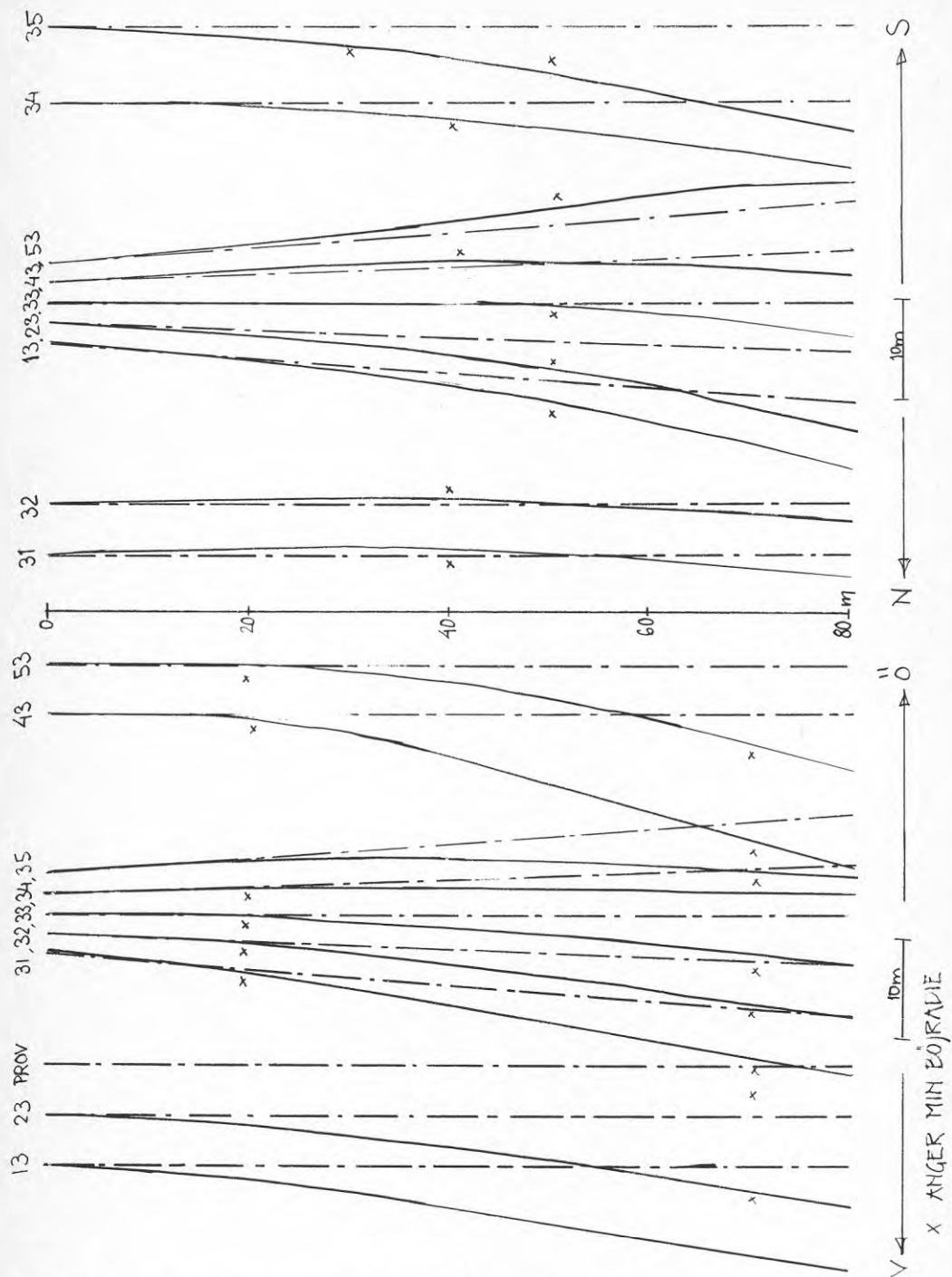
Mätresultaten visar tydligt att bergstrukturen styr borrhålen mot NV. Samtliga hål har böjt av i denna riktning, se figur 4.3. Provhålet i lagrets centrum uppvisar dock en betydligt mindre avdrift än övriga hål. Normalt sett påverkas en borkkrona med liten diameter och klen borrhsträng mer av sprickor och slag än en grövre krona. Då provhålet utfördes med  $\phi 64$  mm och produktionshålen med  $\phi 115$  mm skulle effekten normalt varit den omvända.

Avdriften hos produktionshålen tyder på att arbete utfördes med för hög matningskraft vid genomborring av zoner med sprickigt eller av annan anledning "styrande" berg. De minsta krökningsradierna har uppmätts vid 20 meters djup i Ö-V riktning och 40-50 meters djup i N-S riktning, se figur 4.4. De partier där de största krökningarna uppstått sammanfaller med de partier som är de mest genomsläppliga enligt vattenförlustmätningen.



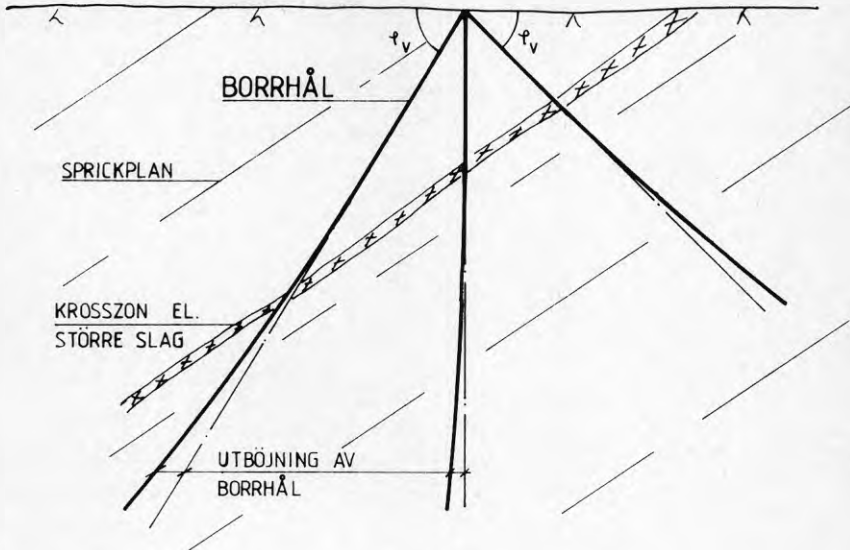
Figur 4.3 Borrhålsavvikelse i lagrets botten, plan





Figur 4.4 Sektioner med inmätta och planerade lägen för borrhålen

Samtliga borrhål utom provhålet har utförts med samma teknik och utrustning, påverkan från bergstrukturen borde därför rimligen vara av samma storlek för samtliga borrhål. Detta under förutsättning att bergmassan är relativt isotrop och att hållutningen  $0^{\circ} - 12^{\circ}$  från vertikalplanet inte påverkar avdriften nämntvärt, se figur 4.5.

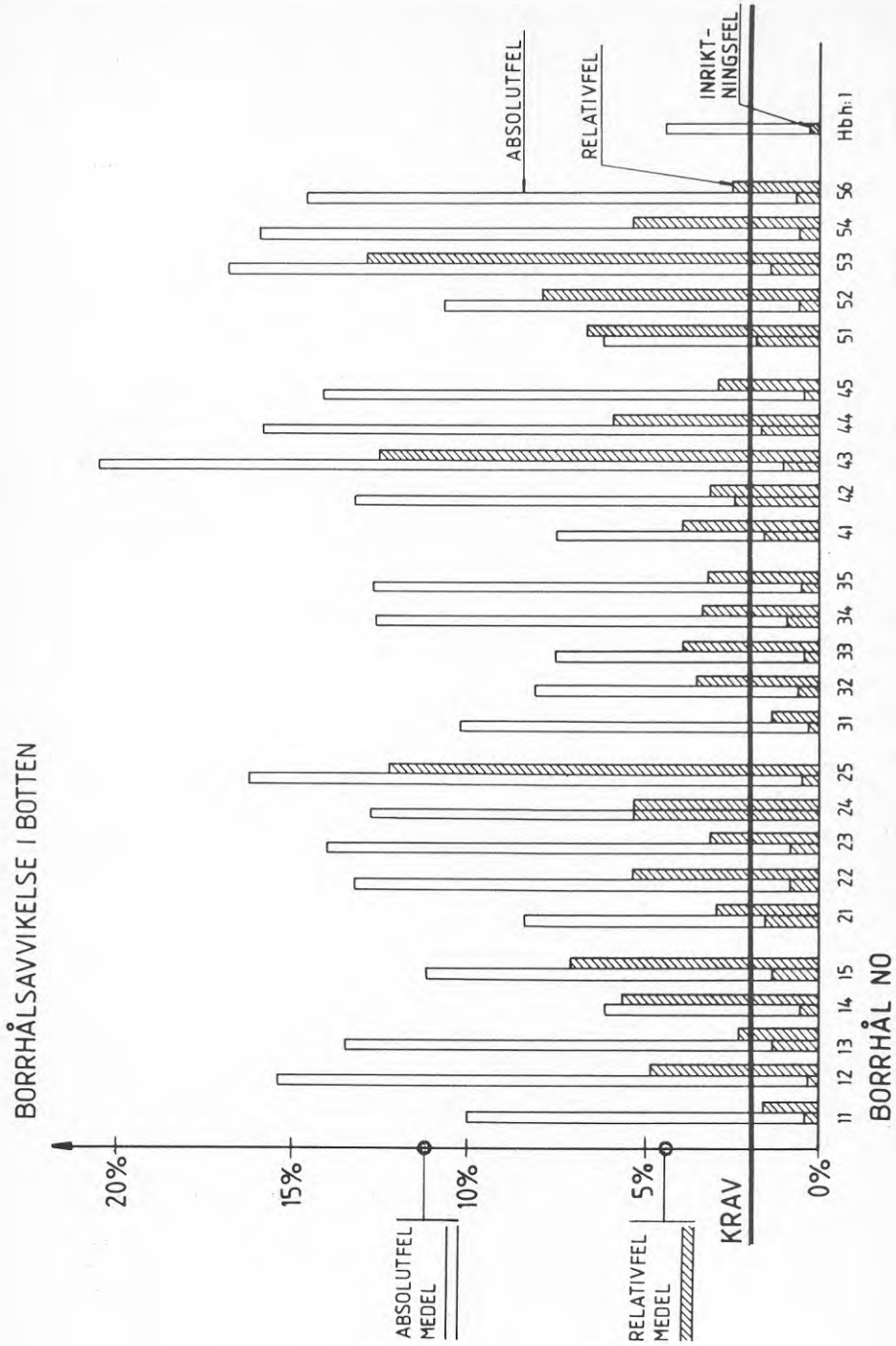


Figur 4.5 Hållkrökning vid borrhållning genom sprickigt berg

På 80 meters djup har borrhållslagrets tyngdpunkt förskjutits ca 9 meter mot NV, vilket motsvarar en avvikelse på hela 11,2% av borrhållslängden. Hållen är inbördes relativt väl samlade med en medelavvikelse på endast 4,4% från deras teoretiska lägen kring den nya förskjutna tyngdpunkten. Borrhållprecisionen är alltså dålig i absoluta tal men betydligt närmare det angivna kravet, 2%, vid uppföljning relativt den nya tyngdpunkten.

En hög borrhållprecision uppnås inte enbart genom försiktig borrhållning, styrutrustningar etc. Borrhållen skall, när det inte är helt vertikalt borrhållning inriktas med både rätt horisontalvinkel och vertikalvinkel för varje borrhåll. Ett inriktningsfel ger ju en direkt "initialavdrift" som tillsammans med avdriften under borrhållningen ej får överstiga toleransen 2%. "Initialavdriften" var i medel 1,1% och som mest 5,3%. Av figur 4.6 framgår hur precisionen uppnått för de olika borrhållen.

Det är även viktigt att borrhållvagnens uppställning över borrhållpunkten utförs noggrant. Kraven på denna uppställning var  $\pm 20$  mm, pga de rådande förhållandena blev det verkliga resultatet betydligt sämre. Planläget blev 104 mm fel i medel och 245 mm fel som mest. För en exakt utsättning av ett lutande håll krävs att man mäter in höjdläget för varje borrhåll innan läget i förhållande till referensplanet översättes på markytan.



Figur 4.6 Sammanställning av borrhålsprecision



Jämfört med andra borrhålslager som anlagts är den absoluta hål-avvikelsen på 11% för Suncourtlagret något mindre än de för Luleå och Stora Skuggan uppmätta avvikelserna. Det är möjligt att ytterligare förbättra borrhålsprecisionen avsevärt genom olika insatser vilket bl a har bevisats av långa provhål i Viscariagruvan och av geotermiska borrhållar i Fjällbacka. Här är de absoluta avvikelserna vid 100-500 meters hållängd ca 1% av hållängden.

Bergets struktur, men kanske i ännu högre grad använd utrustning, arbetsförutsättningar och borroperatörens motivation är avgörande för hur gott resultatet blir, vilket kommer att behandlas i det följande.

## 4.2 Arbetsförutsättningar

Borrhålslagret har sk kvastform där överytan är 8 x 8 meter och bottenytan på 80 meters djup 25 x 25 meter. Arbetstekniskt innebär detta att utrymmet för borrhållningen är mycket begränsat och att både horisontal- och vertikalkvinkeln måste ställas in vid varje uppställning.

Förutsättningarna att rikta in horisontalkvinkeln efter flukter var dåliga då arbetet utfördes i en schaktgrop med 3 meter höga kanter som förhindrade fri sikt.

All transport till och från arbetsplatsen fick utföras med mobilkran eftersom ingen transportramp fanns. Det var även mycket svårt att, som borrentreprenören hade planerat, utnyttja två borrvagnar samtidigt. Genom maskinvalet i kombination med lagrets kvastform var det endast möjligt att borra ett fåtal hål med dubbla borrvagnar.

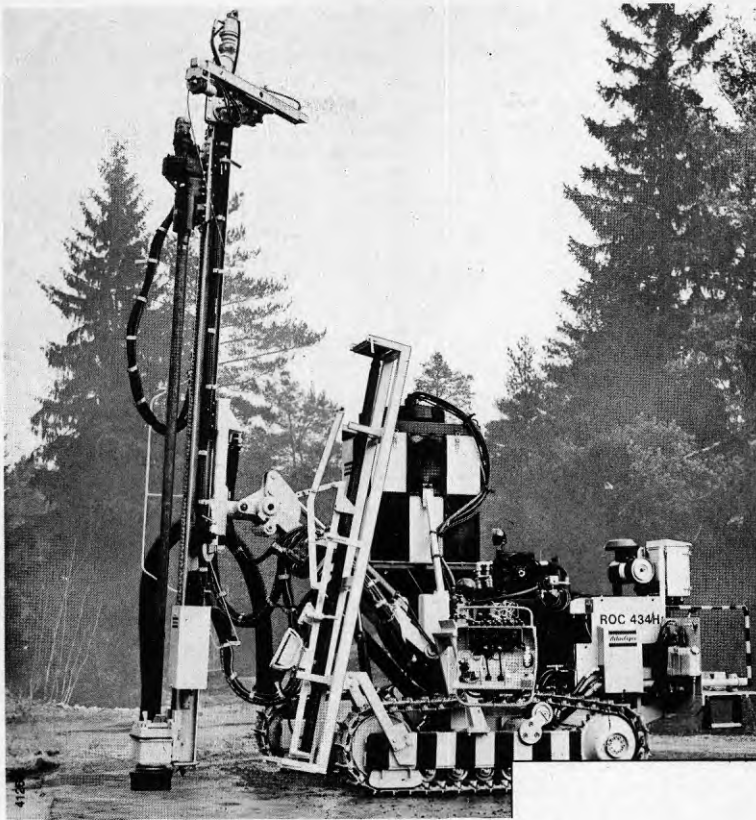
Arbetet utfördes med borrvagnar av märket Nemek med COP 4 hammare, dessa kan endast luta matarbalken i en riktning ut från bäraren, se figur 4.7. Hade borrhållningsarbetet utförts med modernare bärare, som kan ställa in matarbalken i valfri riktning, skulle arbetet ha kunnat utföras med två aggregat. Ett exempel på en sådan bärare är ROC 434H, se figur 4.8.

Förutom problem med inriktning och utrymmen stördes arbetet i hög grad av att borrhållningen utfördes från en oremsad sprängbotten. Precisionen försämras härigenom vid påhugg och under borrhållning av en instabil uppställning av borrvagnen. Andra nackdelar är osäker utmärkning av borrhållningslägen och att borrhållningen måste utföras med foderrör ned till oskadat berg. Om arbetet i stället sker från remsad bergyta kan lämpliga stålrör gjutas in direkt i borrhållningsöppningens överände varigenom den tidsödande och dyra foderrörborrningen undviks. Foderrörborrning försämrar även precisionen avsevärt eftersom den är svår att styra exakt. Dålig precision på foderrören påverkar den fortsatta borrhållningen.

Till största delen utfördes borrhållningsarbetena under vinterförhållanden, se figur 4.7. Under borrhållningsarbetet tillförs borrhållningen endast spillluft, samma luft som driver borrhållningshammaren, men när luften evakueras förs en avsevärd mängd grundvatten upp tillsammans med borrhållningskaxet. Resultatet blev att arbetsbädden mycket snabbt blev en tjock frusen is-sandskorpa, speciellt som arbetsytan här var belägen under den naturliga grundvattennivån och länshållningen inte alltid fungerade.



Figur 4.7 Borrning under vinterförhållanden, Nemek borrvagn.



Figur 4.8 ROC 434H

Borrentreprenören fick uppenbarligen betydligt fler problem än vad han kunnat förutse. Detta sammanhänger delvis med brister i handlingarna, delvis med att entreprenören ej till fullo tillgodogjorde sig informationen och planerade arbetet därefter. Det upplevs som svårt, och mindre motiverat, att uppfylla krav på hög precision när arbetsförutsättningarna inte överensstämmer med de förväntade.

Mot bakgrund av de praktiska erfarenheterna bör man alltså så långt det är möjligt beskriva arbetsförhållanden som arbetsutrymme, arbetsbädd, siktförhållanden, framkomlighet till arbetsplatsen, behov av läns hållning för grundvatten, krav på kaxhantering (lämpligen container) etc.

Det är ekonomiskt fördelaktigast för borrentreprenörerna om arbetet kan utföras med tre borrsvagnar med två roterande operatörer. Här utnyttjades inledningsvis två borrsvagnar men endast en operatör. Produktiviteten blir inte så mycket bättre då service, slipning av borrkronor etc samt inställning vid borrhålen tar för lång tid för en man med två maskiner. Risken för fastkörning och för sämre precision är uppenbar om inte operatörerna ges tillräcklig tid att övervaka borrhållningsarbetet.

### 4.3 Utrustning och metod

Utvecklingen av nya borrar-maskiner, borrar-kronor och kringutrustning går idag mycket snabbt. Förutom den valda tekniken med sänkborrhammare konkurrerar idag topphammarborrning vid dimensioner upp till ca 3" och djup ner till ca 75 m. Förutom dessa borrar-tekniker är den rent roterande-skärande borringen under stark utveckling. Även inom DTH-tekniken (Down the hole) sker utveckling, i framtiden väntas borrar-kronor typ Guide Bit samt helhydrauliska borrar-maskiner. Det är också tänkbart bärare med två bommar tas fram.

Vid val mellan sänkborr och topphammarborrning är några egenskaper hos de respektive metoderna:

<u>Sänkborr</u>	<u>Toppammare</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möjlighet till grovhål   <math>\phi</math> 105-165 mm</li> <li>• Långa hål, ingen förlust av slag-energi</li> <li>• Bättre styrning i borrhålet</li> <li>• Tunga borrar, standardlängd 3 m</li> <li>• Mindre risk för fastborrning</li> <li>• Kräver högtryckskompressor med stor energiförbrukning</li> <li>• Låg ljudnivå</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snabbare vid håldim <math>\leq</math> 3"</li> <li>• Maxdjup ca 75 m pga förlust av slagenergi</li> <li>• Raka borrhål med specialkronor</li> <li>• Lättare hantering av borrar-material, borrarstål 6 m</li> <li>• Vid fastborrning förloras enbart borrarstål och krona</li> <li>• Helhydrauliska maskiner finns - låg energiförbrukning</li> <li>• 2 boms aggregat finns</li> </ul>

Optimering av hålavstånd, borrhålsdimension, hållängd etc kan alltså ske med hänsyn till befintlig teknik. Troligen är det ekonomi och praktiska krav på att borrhålen skall ge plats för kollektorslangar etc som avgör vilken metod som lämpar sig bäst. Skillnaden i borrarprecision, vattenvolym i borrhål och miljöspekter är sekundära i sammanhanget.

### 4.4 Borrarprecision och felkällor

Enligt Mark AMA finns följande två klasser med krav på borringstoleranser:

	Ansättning	Rakhet
Klass 1	40 mm	20 mm/m (2%)
Klass 2	100 mm	50 mm/m (5%)

Kraven i förfrågningshandlingarna var 20 mm för ansättning och 2% för rakhet. Resultatet blev i relativa mått ungefär likvärdigt med kraven enligt klass 2. Att ange tolerans för avvikelsen i absoluta mått vid borring av långa hål är olämpligt, åtminstone utan föregående provborring som visar att bergstrukturen inte påverkar borrarprecisionen nämnvärt.



Ett sänkhamarborrat hål har normalt bättre raket än ett topphammarhål till följd av den bättre styrningen vid borrkronan och en betydligt böjstyvare borrarsträng. Det finns tekniska hjälpmedel till både sänk- och topphammarborring för att borra raka hål. För en sänkhammare kan extra styrningar monteras både upp- och nedtill på hammaren och dessutom kompletteras med ett styrrör vid nedersta borrarsskarven. Nackdelen är ökat slitage på hammaren och en försämrad spolning av hålet. För en topphammare kan man utnyttja speciellt framtagna borrkronor med bättre styrning, s k Guide Bits, och styrrör längs borrarsträngen. Nackdelen här är dels ett högt pris för kronan, dels tyngre hantering av de med styrrör försedda borrarstålen. Borrarstälshanteringen underlättas avsevärt om borrarvagnarna förses med ställ för borrarstål och borrar.

Nedan redogörs kortfattat för övriga faktorer som påverkar borresultatet.

Utsättningsfel som skall kunna hållas inom  $\pm 10$  mm. Problemen här kan vara att behålla en oskadd utsättning för fler än ett fåtal hål åt gången. Utsättningen bör ske med instrument.

Inställningsfel uppstår när borrarigen ställs upp och ej centreras rakt över hålet.

Inriktningsfelen uppkommer när matarbalken skall ställas in över borrarhålet. Inriktningen har stor betydelse vid borring av långa hål och skall därför utföras med stor omsorg. Horisontalvinkeln är svårinställd och kontrolleras säkrast med ett instrument mot matarbalken, normalt sker dock inriktningen mot fluktkäppar eller andra märken. Fel i horisontalvinkeln ger i huvudsak en parallell förflyttning av hålet. Vertikalvinklarna kontrolleras enklast genom ett fast monterat mätinstrument på matarbalken, alternativt kan ett optiskt vattenpass/lutningsgivare användas. Inriktningsfelens storlek är större för lutande hål med varierande orientering än för vertikala hål. Inställningen av vertikalvinklarna är av stor betydelse för borresultatet då felet ökar med hålets längd. T ex ger 1 grads fel i inställning en avvikelse på hela 1,75 m för ett 100 meters hål.

Påhuggsfel beror ofta på att borrarikronan glider mot bergytan innan den greppar. Resultatet av detta kan bli att all omsorg som lagts ned i noggrann inställning och inriktning går förlorad. Det är därför mycket viktigt att påhugget utförs med reducerad matningskraft och slageffekt. Vidare skall påhugget utföras från en rensad bergyta där matarbalkens dubb får ordentligt stöd. Om borrarikronan glider mot bergytan bör en förnyad kontroll och justering av maskinens uppställning utföras.

Hälkrökningen uppstår till följd av bergmassans struktur, dominerande sprickriktning, bandning etc, men också till följd av gravitationens påverkan. Krökningen blir störst för borrhål med liten diameter, klen borrarsträng och högt matningstryck.

Den väsentligaste faktorn för ett gott borresultat är operatörens insatser. En skicklig operatör läser borrarigen och anpassar matningskraften till bergkvaliteten. Vid sprickiga partier gäller det t ex att minska matningskraften då man i princip utför ett flertal nya påhugg i en sådan zon. Det finns idag maskiner som automatiskt anpassar matningskraft till rotationsmotståndet hos borrarikronan.

En erfaren operatör kan om det är klargjort att borrhningsarbetet skall utföras med hög precision lägga ned den lilla extra tid på kontroller som erfordras för att få ett fullgott borresultat. Förutom ett gott borresultat blir även förslitningen hos materialet lägre. I raka hål håller borrhören betydligt längre och genom försiktig passage genom lösa zoner minskar risken för fastsättning av hammaren.

Som morot för att utföra detta bör förfrågningshandlingarna utformas så att ett gott borresultat känns motiverat.



## 5 UPPHANDLING, KONTROLL

### 5.1 Förfrågningsunderlaget

Det finns inget avsnitt i AMA som är lämpligt att ansluta beskrivnings- och kravtexten till vad beträffar borrhningsarbetet.

Handlingarna bör i stället utformas så att entreprenörerna ges en allmän orientering och all väsentlig information som lagrets utformning, arbetsförhållanden, geologi, precisionskrav och kontroll samt reglering vid avvikelser från uppställda krav.

Lagrets utformning beskrivs lämpligen med ritningar illustrerande borrhålsayouter, anslutning av borrhål till ovanförliggande konstruktion och kollektorslangar samt utformning och monteringskrav för kollektorslangarna. Borrhningskostnaden minskar med diametern hos borrhålen varför håldimensionen bör hållas så liten som möjligt. För topphammarborrning erfordras styrkronor, dessa finns i alla standarddimensioner mellan  $\phi$  51-102 mm. Sänkborrhkronor finns från ca  $\phi$  80 mm och uppåt. Vanligaste dimension i Sverige för sänkborrning är dock 105-115 mm vilken passar Atlas Copcos borrhmaskin COP 42.

Så långt som möjligt ska de praktiska förutsättningarna för arbetet anges. När arbetet kan påbörjas och när det skall vara klart ska anges så att behovet av speciella vinteranordningar och produktionskapacitet kan bedömas. Det ska framgå om borrhningsarbetet kan utföras från markytan, från framschaktad bergyta eller från sprängbotten. Vid jordborrning är det stor skillnad mellan borring genom t ex blockig fyllning och ensgraderad jord både för borrekonomi och precision.

Om grundvattennivån ligger högre än arbetsnivån erfordras länshållning sannolikt med något filter för att hindra igensättning från borrhkax. Är det fråga om arbete från en sprängbotten bör den teoretiska skadezonen från sprängningen anges och i vilken grad bergytan kommer att rensas innan borringen inleds, här finns lämplig text i AMA.

Andra praktiska förutsättningar som bör anges är möjligheten att utnyttja området utanför arbetsytan till uppsättning av flukter och upplagsytor, vem som utför utsättning etc. Likaså bör anges krav på tillvaratagande av borrhkax (drygt 5 m<sup>3</sup> vid Höstvetet), eventuellt med angivande av metod (dammsugarutrustning med säckar eller sluten containerhantering).

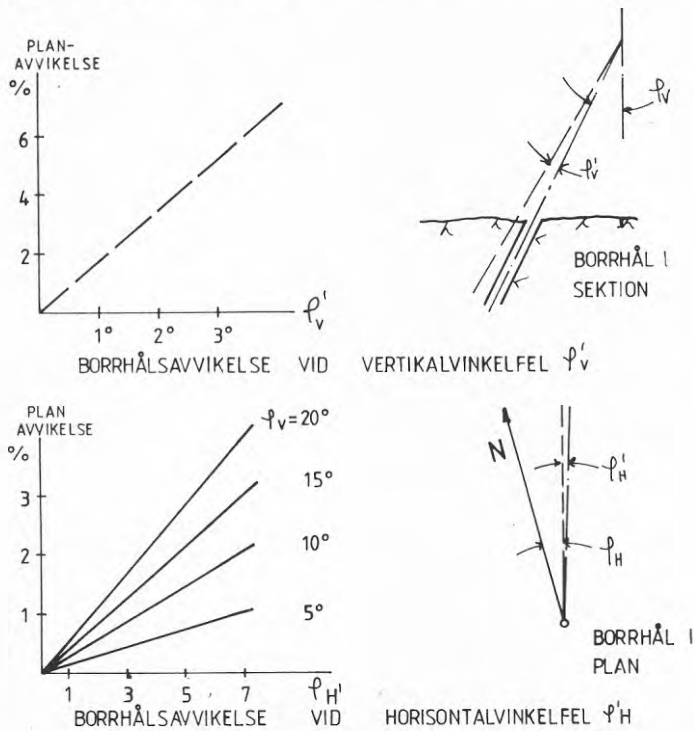
Förutom jord- och bergnivåer bör förekommande bergarter och bedömd bergkvalitet anges. Redovisas borrhningsprotokoll skall dessa för att ge användbar information kompletteras med uppgifter om borrhkrona, håldimension, samt borrhmaskin och arbetsstryck.

Precisionskrav måste ställas på borringens utförande, kraven skall dock vara anpassade till vad som kan motiveras för lagrets funktion. Om bergmassan är relativt homogen med likartad struktur inom hela borrhningsytan kan entreprenören uppfylla höga krav på bottenpunkternas inbördes lägen. Är däremot strukturen varierande eller hållutningarna sådana att hålen styrs åt olika håll, jämför figur 4.6, är det mycket svårt eller nästan omöjligt att uppfylla höga precisionskrav. Resultatet kan här i stället bli olika isolerade grupper med samlade hål inom de olika bergstrukturerna. Så blev resultatet delvis vid Stora Skuggan där lagret utfördes över en stor yta.

En hög kravnivå på borrhålens avdrift är 2%, kravet bör dock sättas i relativa mått. Detta innebär att bottenpunkternas inbördes lägen bibehålls men att tyngdpunkten tillåts att förskjutas beroende på bergstrukturen. Är man genom provborrningar eller efter de inledande borrhålen medveten om hur bergstrukturen varierar inom lagret kan om man så vill viss kompensation ske vid inriktningen av matarbalken.

Krav som alltid skall kunna efterlevas är precision vid uppställningen och inriktning över borrhunkten.

Vid rent vertikala borrhål erfordras endast lodning för inriktning av matarbalken. Skall hålen utföras lutande krävs mer omfattande åtgärder för inriktning av matarbalken, förutom viktinstrument erfordras antingen syftlinjer eller inriktning med teodolit för en noggrann inställning. Felet till följd av en felaktig horisontalvinkel sammanhänger med borrhålens vertikalvinkel. I figur 5.1 framgår konsekvenserna av olika fel vid uppställning över borrhålet.



Figur 5.1 Borrhållets planavvikelse i procent av borrhålslängd pga fel inställd horisontal- och vertikalvinkel

Totalfelet i inriktning vid uppställning över borrhålet skall vid en hög kravnivå kunna hållas vid ca 1%. Detta innebär att vertikalvinkelinställningen av matarbalken måste vara noggrannare än 0,4 grader, dvs 7 mm/m, i vardera riktningen. Borrningsarbetet vid kvarteret Höstvetet gav denna precision som medelvärde.

Borrhålets påhugg skall kunna hållas inom 40 mm, inklusive utsättnings-toleranserna. Kräver den VVS-tekniska inkopplingen högre precision bör detta anges så att motivet till detta framgår.

Borrkronorna förslits under borrhningsarbetet, för att undvika problem vid monteringen av kollektorslangarna bör därför en minsta tillåtna diameter anges. En sliten borrhkronas diameter kan slitas ned 5-10 mm innan kronan skrotas.

Kontrollen skall givetvis omfatta entreprenörens efterlevnad av precisionskraven. Enklarest att kontrollera är de absoluta kraven på inriktning och inställning. Även borrhålen skall mätas, det är en fördel om det sker även som en förkontroll vid arbetets inledning, exempelvis efter 10 borrhade hål. Då ökar möjligheten att få resterande hål utförda med bättre precision.

Förutom ren inmätningkontroll bör man kräva att entreprenören redovisar borrhprotokoll för varje hål där iakttagelser under borrhningen noterats, exempelvis med teckenkod enligt SGF's beteckningsblad. Visar borrhnoteringar och inmätningresultaten på zoner med dåligt berg finns risk för stor grundvattengenomströmning. Tätheten hos denna zon kan då kontrolleras genom vattenförlustmätning och vid behov förbättras genom injektering.

Har detaljkrav ställts på speciell utrustning som borrhkronor, styrrör, dammsugarutrustning, riktinstrument, trepunktsuppställning av borrhmaskin etc, finns anledning att kontrollera att dessa efterlevs. Ofta tenderar alla speciella åtgärder utanför det rena uppborrandet av hålen att glömmas bort!

## 5.2 Förslag till reglering av borrentreprenaden

Vill man se till att de uppställda kraven efterlevs på bästa sätt skall man visa detta tydligt redan vid arbetets upphandling. Här skall det framgå vilka kontroller som kommer att utföras och hur arbetet skall regleras om de olika kraven inte uppfylls.

Om precisionskraven är rimliga och entreprenören inser att det finns tekniska och ekonomiska motiv för kraven, kommer han förhoppningsvis att anstränga sig för att välja lämplig utrustning och personal för arbetet. Det får inte bli så att någon entreprenör tar hem jobbet på ett lite lägre pris än andra och sedan kompenserar sig genom ett sämre arbete.

Regleringen kan ske efter à-prislista för olika precisionsklasser. Kraven delas då lämpligen in i en klass som omfattar precisionen på borrhålets läge vid markytan, dvs utsättning, inställning och påhugg. Här skall regleringen ske efter absoluta mått. En andra klass kan omfatta de faktorer som har störst betydelse för bottenpunktens läge i lagret dvs inriktning och hållkrökning. Här föreslås en kombination av inriktningsfel enligt figur 5.1 och bottenpunktens avdrift relaterad till den verkliga tyngdpunkten på denna nivå. En tredje regleringsklass bör omfatta borrhålets diameter, igenrasade och för korta borrhål. Uppfylls inte de här kraven kan inte hela borrhålet utnyttjas då kollektorerna inte kan monteras till hålets avsedda botten. De föreslagna precisionsklasserna redovisas i tabell 5.1.

	I	II	III	IV
Planlägesfel vid hålets överände (mm)	<40	<100	<200	>200
Reduktion av ersättning för hålet	-	3%	6%	9%
Planlägesfel längs borrhålet (% av hållängden)	<2%	<5%	<10%	>10%
Reduktion av ersättning för hålet	-	10%	20%	30%
Korsborrat, igenrostat eller hål med för liten diameter	reduktion för förlorad borrhållängd alternativt omborring utan kostnad			

Tabell 5.1 Förslag till regleringsklasser för borring

En förutsättning för att den föreslagna regleringen ska bli effektiv är att offerterna utformas så att priset per borrhål framgår eller entydigt kan framräknas. Beställaren bör vara observant på att förhållandet mellan priset på borring och etablering etc är rimligt eftersom sannolikheten för reduktion av borrhållängden är större än för tillkommande arbeten.

I de fall då bergstrukturen påverkar hållkrökningen olika inom lagret måste detta accepteras utan reduktion för entreprenören, kraven på inriktning skall dock uppfyllas. Ur inmätningens resultat kan man relativt entydigt tolka hur bergstrukturen påverkat borrhållängden, jämför figurerna i kapitel 4.1.

En förutsättning för att regleringen skall vara trovärdig är att inmätningen av borrhålen utförs noggrant. Regleringsgränserna bör därför justeras för onoggrannheten vid inmätningen.

Utöver utförandekrav bör å-priser finnas för reglering av foderrörsborring, stabilitetsinjektering och omborring av hål som passerar krosszoner, eventuellt vintertillägg och övriga tänkbara tillkommande eller avgående arbeten som kan uppstå. Det blir alltid dyrast att reglera när arbetet väl är utfört.

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 841053-2 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för Jord- och Bergmekanik, KTH, Stockholm.

R61: 1987

ISBN 91-540-4733-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707061

Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirkapris: 33 kr exkl moms