© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

ERFARENHETER FRÅN URI-PROJEKTET, KASHMIR

Bengt Niklasson, Skanska Teknik AB
Henrik Ivarsson, Skanska Stockholm AB
Björn Stille, KTH
Henrik Johansson, Sydkraft Konsult AB

ALLMÄNT OM PROJEKTET

URI-projektet är ett vattenkraftprojekt beläget i Kashmir i norra Indien. Projektets slutmål är att överlämna ett nyckelfärdigt kraftverk som ska leverera 480 MW effekt och med ett årligt uttag av ca 3200 GWh. Det Skanskaledda konsortiet URI Civil AB består förutom Skanska av NCC, ABB, Sweco och Kvaerner Boving. Beställare är NHPC som står för National Hydroelectric Power Corporation, Indiens motsvarighet till Vattenfall. Tabell 1 sammanfattar de olika aktörerna i projektet.

Företag involverade i URI-projektet	
Ägare:	National Hydroelectric Power Corporation Ltd (NHPC)
Konstruktör:	SWECO AB, Sverige
Byggentreprenör:	Uri Civil Contractor AB, ett konsortium av Skanska International Civil Engineering AB och NCC International AB, Sweden
Leverantör av vatten-mekanisk utrustning:	Kvaerner Boving Ltd, UK
Leverantör av elektrisk utrustning:	ABB Generation AB, Sweden

Tabell 1.Tabell över deltagande bolag

På tidigare BK-möten har projektet i sin helhet beskrivits varför denna rapport mer kommer att behandla drivningstekniska frågor. Det är framförallt drivningen av utloppstunneln och svallschaktet som varit och är intressant.

Några ord skall dock nämnas om projektets olika byggdelar.

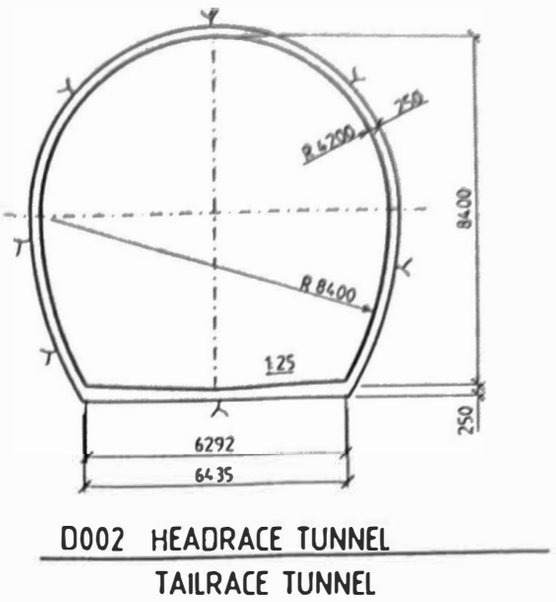
Projektet består av en utskovsdamm, två sedimenteringsbassänger, ett nödutskov, en kanal, en betongklädd tilloppstunnel, svallschakt, vertikala stålklädda tryckschakt, en underjordisk kraftstation bestående av 3 st bergrum och en betongklädd utloppstunnel. Totalt är det ca 22 km tunnel eller 1,5 miljoner fasta kubikmeter underjordsberg som skall tas ut. Tillopps- och utloppstunneln har en area av 68-73 m^2. Se figur 1.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

ALLMÄN GEOLOGI

En kort resumé över den allmänna geologiska bilden är viktig för att förstå en del problem och svårigheter som projektet brottats med.

Sedan början på 1970-talet har flera geologiska undersökningar gjorts i området. Dessa undersökningar har utförts av bland andra NHPC och UCCAB och bestod i huvudsak av markkartering, kärnborrningar och utgrävningar av provorter. Himalaya har bildats genom att den indiska kontinentalplattan krockat med den euro-asiatiska plattan och nu rör sig in under denna. Berget är mycket ungt och veckat och innehåller flera överskjutningar och förkastningszoner.



Figur 1. Tunnelprofil för till & utloppstunnlar

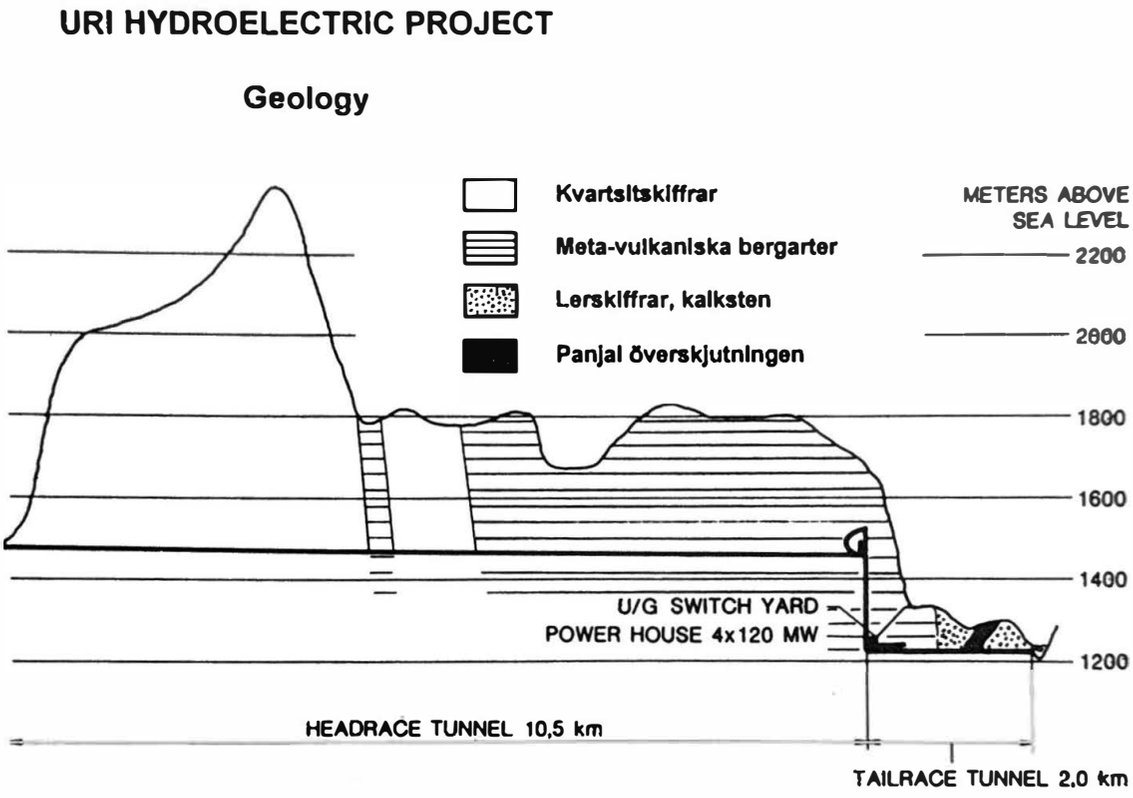
Dessa plattektoniska rörelser pågår fortfarande och Himalaya som bildats relativt sent är ett seismiskt högaktivt område. Flera stora jordbävningar har inträffat de senaste 25 åren.

Intagsområdet är beläget i Karewaformationen vilken till största del består av glaciala och glacifluviala avlagringar som blivit omarbetade av floden (se tabell 2). Tilloppstunneln ligger dels i berg från Tanawal-serien (se figur 2). Tanawal består i huvudsak av arenitiskt lerhaltigt metamorft berg av skiffrig kvartsit, kvartsiter, fylliter och sandsten samt linser och slag av skiffrig grafit. Resten av tilloppstunneln är belägen i Panjalvulkaniter. Dessa vulkaniska bergarter består av grönsten, bitvis med mycket skiffrig struktur. Den anses vara en förändrad andesitisk eller basaltisk lava som har flödat ut över ytan på Tanawalserien. Tunnlarna och bergrummen i kraftstationsområdet är belägna i Panjalvulkaniter. Från kraftstationsområdet ligger utloppstunneln i Panjalvulkanit, men övergår sedan till extremt dåligt berg. Upprepade förkastningar i Panjalöver-skjutningens fotspår kan leda till att det berg som påträffas kommer ifrån Salkhala-formationen. Från utloppet och ca 700 m in är tunneln belägen i cirka 700 m berg från Nummuliticserien som ansatts under Eocen epoken. Berget består här av grön och röd lerskiffer. Lerskiffern är tätt folierad, tydligt bandad av kalcit och uppsprucken. Det finns även band av kalksten och marmor samt gipsband och fickor av gips i skiffern.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

DAGSLÄGET

I slutet av januari 1995 strax efter det sista genomslaget i tilloppstunneln hade totalt 1311735 m^3 tunnel och 149714 m^3 bergrum sprängts ut. Detta motsvarar en längd av 22409 m. Totalt återstår ca 850 m av utloppstunneln som dels drivs från kraftverkssidan, adit 5, dels från nerströmshållet, adit 6. Kärnborrningarna från fronten vid adit 5 visar på fortsatt dåligt berg ytterligare 100 m medan drivningen från adit 6 utförs med fullfrontsdrift och gör god framdrift. Sprängningsarbetena i svallschaktet är påbörjade.



Figur 2. Längdskärning av projektet

Lagerföljden i Uri-området

Period	Epok	Formation	Bergart
Kvartär	Pleistocen	Karewa	Alluvium morän
Tertiär	Miocen	Murree	Lerskiffer, siltsten
Tertiär	Eocen	Nummulitic	Lerskiffer, kalksten
Trias			Kalksten
Karbon-Perm		Panjal	Meta-vulkaniska bergarter
Äldre Paleozoikum till Prekambrium		Tanawal	Kvartsitisk skiffer
Prekambrium		Salkhala	Skiffer

Tabell 2. Geologiska formationer och tidsåldrar

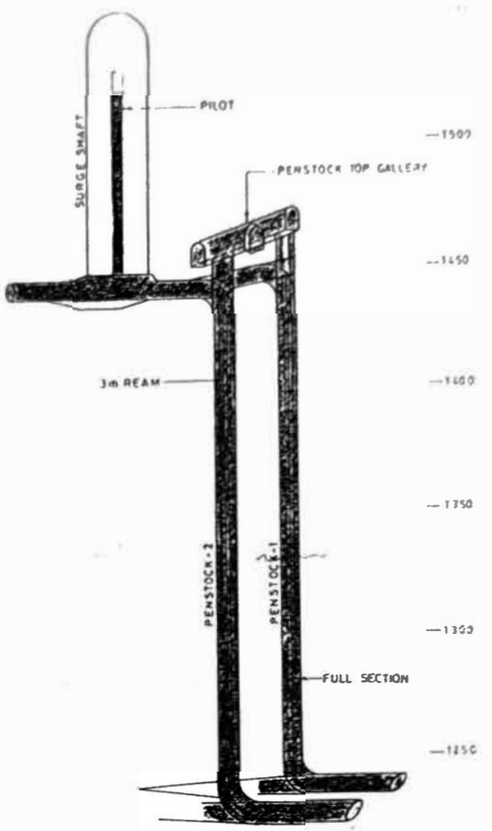
© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SVALLSCHAKTET

Svallschaktet har en höjd, inklusive kupolen, på 103 meter och en diameter på 23 meter. Från dagen har drivits en tunnel, Adit 4, ca 2400 m upp till toppen av svallschaktet. Från denna adit finns även infarterna till den 10500 m långa tilloppstunnels avslutning under svallschaktet samt till överdelen av de två tryckschakten. Figur 3 visar svallschaktet och de två tryckschakten.

Geologi

Berget i svallschaktet består av vulkaniter med ett antal korsande halvmeter tjocka lerzoner. Ett större lerslag är lokaliserat ovanför kupolen. Berget är starkt folierat. Riktningen är i stort sett parallell med tilloppstunneln och mycket brant stående. Det bedömdes ur stabilitetssynpunkt som icke tillrådligt att öppna upp hela schaktet utan förstärkning.



Figur 3. Svallschakt med de två tryckschakten.

Uttagsmetod

De tidplanemässiga förutsättningarna var sådana att arbetet med berguttaget i schaktet måste påbörjas innan drivningen av adit 4 avancerat upp till kupolen. Detta innebar att allt arbete måste utföras underifrån. Bland de tidigare förslagen fanns ett som gick ut på att driva upp två Alimakstigar i schaktet. Därefter skulle ena halvan tas ut till 2-3 m från periferin och därefter skulle den andra halvan tas ut på liknande sätt. Återstående krans skulle tas ut uppifrån samtidigt med förstärkningen av schaktet.

Den metod som till slut valdes byggde på en öppningsstig med ca. 3 meters diameter i centrum av schaktet. Denna drevs upp tills dess att ca 10 meter berg återstod upp till kupolens botten.

En plattform monterades i schaktet varifrån kransborrningen kunde utföras. Kransarna borrades radiellt ut från stigen. Hålen lutade ca 30 grader nedåt från horisontalplanet. Hållängd var 8-9 m, håldiametern 51 mm och försättningen 1,1 m. Antalet hål per krans var ca 30 stycken. Laddningarna bestod av 25 mm Dynamit som laddades med laddapparat. Nonel GT/T och Nonel MS användes för att initiera kransarna. Hålen borras så att ca 2 meter återstår ut till slutlig kontur.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

För transporter och av säkerhetsskäl fanns Alimakhissen kvar hela tiden. Det hade även den fördelen att geijdern kunde utgöra styrning av borrplattformen.

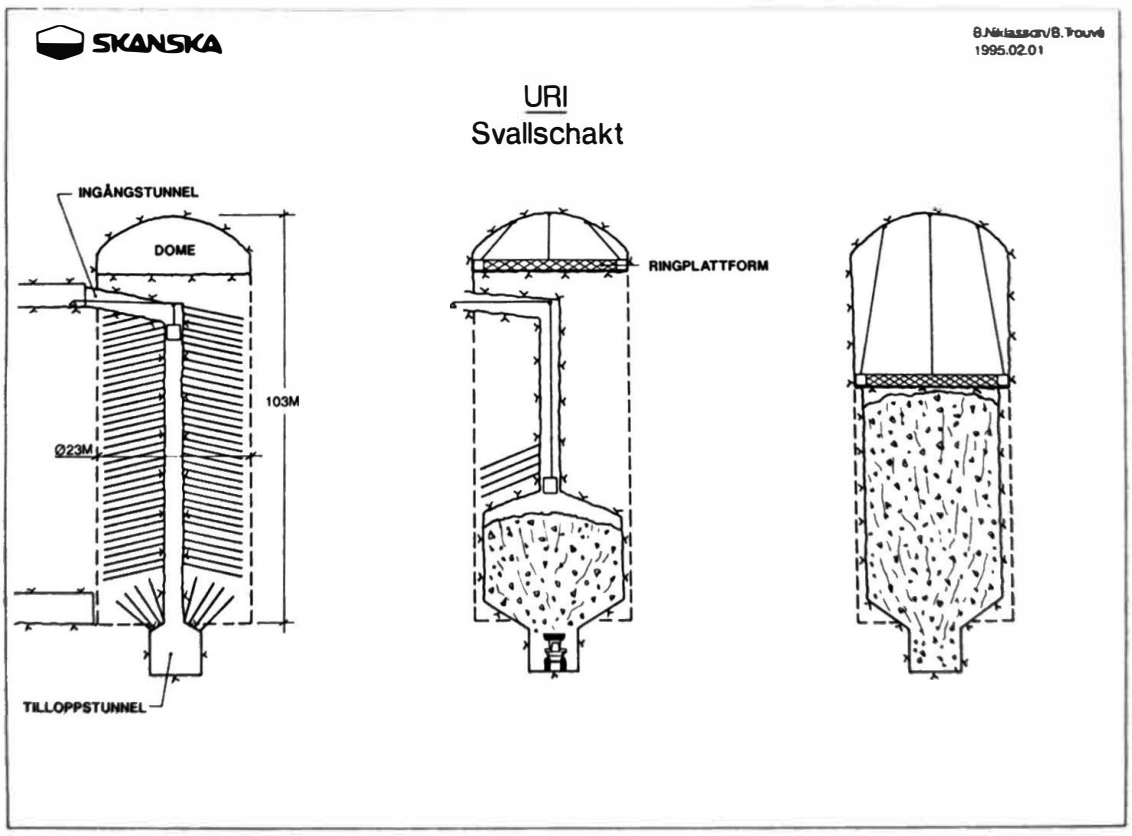
Samtidigt borrades bottendelen av schaktet upp underifrån av ett pallborrningsaggregat. Hållängderna var upp till 13 m och håldiametern 51 mm. Se figur 4 a.

Från övre svallgalleriet drevs därefter en infart till övre delen av centrumstigen varvid tillfart till schaktet kunde ske uppifrån via Alimak hissen. Då all borrning var färdig påbörjades utsprängningen av den nedre delen av schaktet som borrats underifrån. En inledande öppning på ca 25 m^2 strossades sedan ut till full area samtidigt som de fem nedersta kransarna släpptes. Därefter utspängdes schaktet nerifrån och uppåt.

För att uppnå maximal stabilitet i rummet under tiden som drivningen pågick magasinerades berget i rummet. Utlastning gjordes endast av svällberg. Se figur 4 b.

Kupolen hade under tiden sprängts ut och betonginklätts och monteringen av ringplattformen påbörjades. Alimak hissen demonterades och borrningen och sprängningen av takpelaren, bergpluggen mellan mellan schakt och kupol, kunde påbörjas.

Från ringplattformen som sänktes neråt i rummet strossades till slut de sista 1,5-2 metrarna till slutlig kontur varefter förstärkning utfördes. I takt med att plattformen sänktes tömdes rummet på berg. Se figur 4 c.



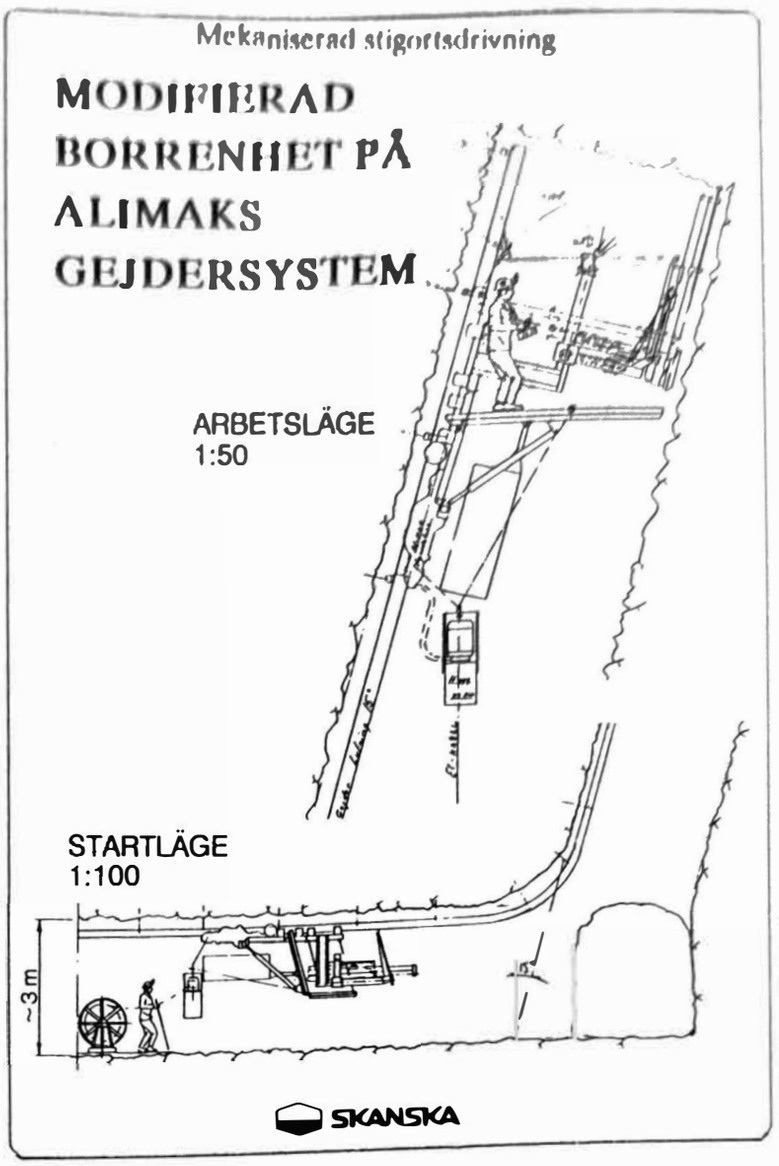
Figur 4 a-c. Metod vid berguttag av svallschakter i Uri projektet.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Utrustning

Utrustningen för att borra centrumstigen är en modifierad Alimakhiss som byggts om av Skanska för elhydraulisk drift. Sålunda är hissen utrustad med ett 18,5 KW hydraulaggregat och en hydraulisk borrmaskin COP 1028. Fördelarna med denna typ av utrustning ligger framför allt på miljösidan med lägre ljudnivå, bättre luft och belysning. Figur 5 visar utrustningen.

Borrplattformen är tillverkad av Alimak och bar 2 st COP 938 luftdrivna borrmaskiner.



Figur 5. Utrustningen som användes vid drivningen av centrumstigen i svallschaktet.

UTLOPPSTUNNELN

Utlopps- eller Tailracetunneln (TRT) är den tunnel som leder vattnet från kraftstationen till floden Jhelum. Tunneln är 2059 meter lång och går igenom partier med bergförhållnaden som klassas som squeezing ground.

Utloppstunnelns geologi

Utlopps- eller Tailrace-tunneln (TRT) ligger i ett område som har en foliation mellan 40 och 70 grader i tunnelriktningen. Området har en mycket komplicerad geologi främst beroende på den stora överskjutning, Panjal som utloppstunneln passerar igenom. Tunneln är belägen i tre olika formationer: Panjalvulkaniter, Tanawal och Nummulitic. Berget från Eocen (Nummulitic) har en komplicerad struktur och består av fylliter, kalksten och gipsband uppblandat med olika sorters skiffrar. Större delen av formationerna mellan kraftstationen och utloppet är stört av de tektoniska rörelser i området som hänförs till Panjalöverskjutningen. Efter de förundersökningar som har gjorts så bedöms överskjutningen att ligga ungefär 1,3 km från kraftstationen mot utloppet. Den bedömningen är dock mycket osäker. Det kan också finnas andra förkastningar som kan orsaka repetitioner av lagerföljder. Det är inte omöjligt och till och med troligt att hela området mellan kraftstation och den nummulitiska skiffern är

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

mycket krossat och skadat på grund av flera upprepade förkastningar i samband med Panjalöverskjutningen. Erfarenheter från utloppstunneln visar att berget redan från början är stört och av dålig kvalitet med mycket låg hållfasthet.

Bergklass och drivningssätt

I Uri-projektet har drivningsmetoden borrning och sprängning valts istället för fullortsborrning med TBM.

Bergkvaliteten har varit mycket skiftande i projektet och speciellt i kraftstationsområdet och i tailracetunneln har extremt dåligt berg påträffats. Det finns olika metoder för att öka möjligheterna att säkert ta ut en tunnel. När bergkvaliteten försämras rekomenderas minskad indrift till t ex två meter (från normalt fyra meter). Indriften bör dock inte minskas till mindre än 1,5 m med hänsyn till produktionseffektiviteten. Ytterligare åtgärder för att öka frontstabiliteten är att använda spiling. Vid så pass dålig bergkvalitet som i tailrace tunneln kan en annan åtgärd vara att övergå från fullfrontsdrift till en uppdelning av fronten i två eller tre delar för att öka frontstabiliteten och stand up time.

Projektspecifika åtgärder har varit att använda spiling i mycket dåligt berg och att dela upp fronten i två delar. På grund av att kärnborrprover i TRT adit 5 nästan enbart uppvisade kärnförluster så delades fronten där i tre delar. Detta ökar frontstabiliteten och minskar den aktiva spännvidden.

Förstärkningsbehov

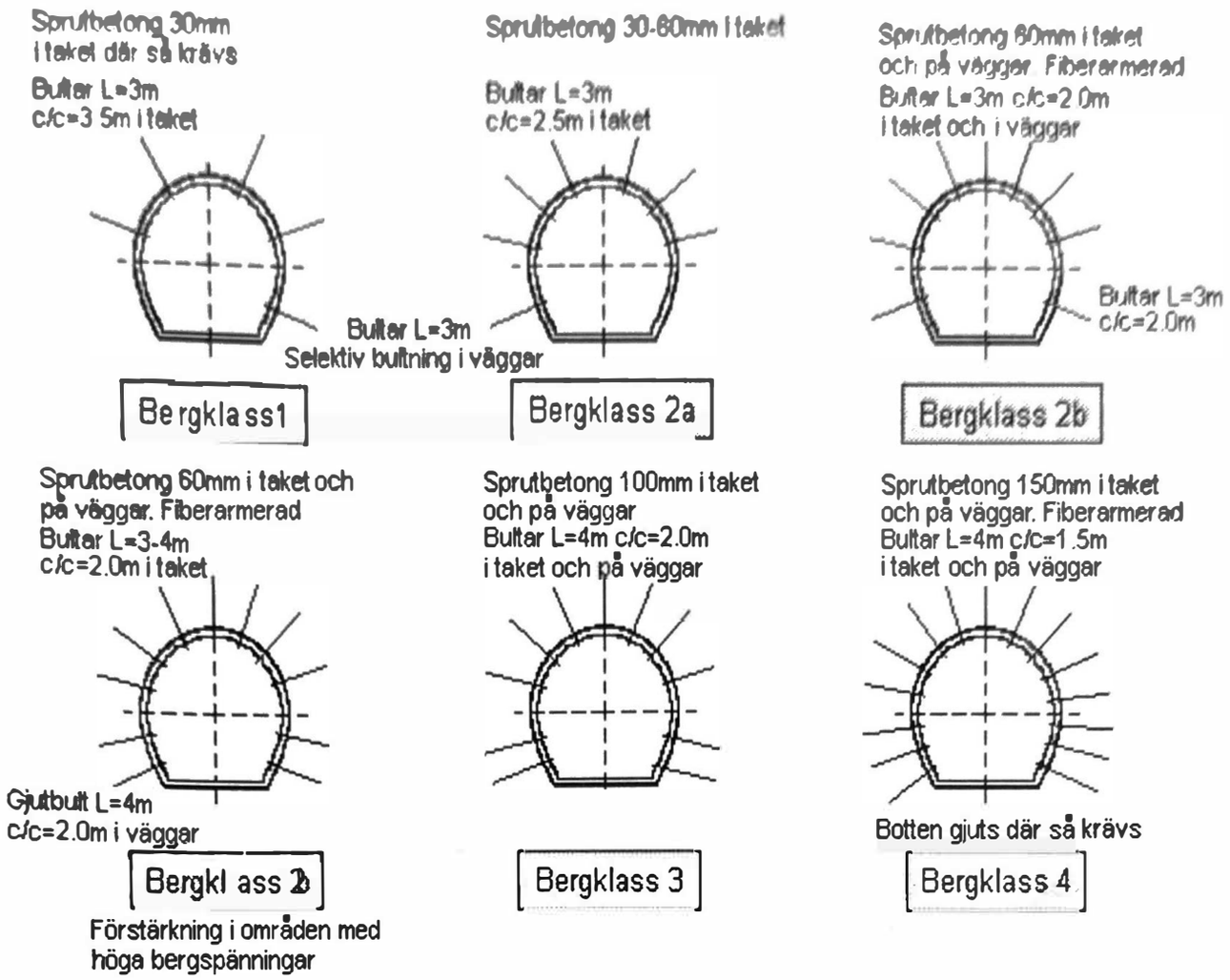
Temporär förstärkning

Berget klassificeras kontinuerligt enligt RMR-metoden. Till varje bergklass har en förstärkningsmodell bestämts. Denna modell skall dock utnyttjas som tumregel och modifieras efter det att bergmassans karaktär förändras. För att kunna optimera förstärkningsinsatserna vid dåligt berg registreras bergrörelserna med hjälp av konvergensmätare och extensometrar. I tailracetunneln används även kärnborrprover för att ge en känsla för hur berget ser ut längre fram.

I figur 6 visas de preliminära förstärkningsmodellerna. Förstärkningen har sedan förändrats, speciellt avseende bergklass 3 och 4.

Den temporära förstärkningsmodellen baseras på en samverkan mellan swellex eller ingjutna bult och sprutbetong. Förstärkningen är dimensionerad med hjälp av Ground Reaction Curve tekniken.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 6. Ursprungliga förstärkningsmodeller för olika bergklasser.

Förstärkning i bergklass 4

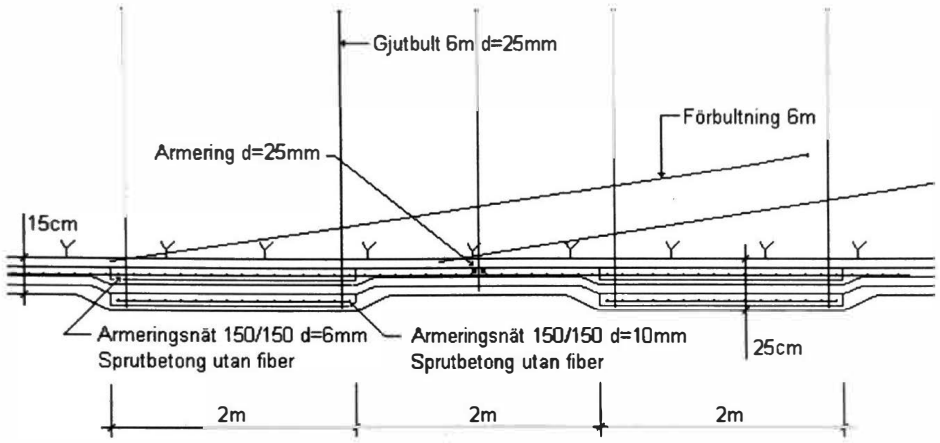
Från adit 5 nedströms har galleriet drivits med 2.5 och 4.4 meters salvor. Förbultning har använts till 2.5 meters salvorna och antalet var i genomsnitt 31 bultar/salva. Gjutbultavståndet blev 1.4 m och sprutbetongtjockleken blev 440 mm. Nät har använts från sektion 0/037.9, enligt den modell som utformades på plats. Modellen finns beskriven nedan. Pallen har förstärkts med gjutbult c/c 1.4 m och med sprutbetong med tjockleken 470 mm. Botten har förstärkts med en 300 mm betongplatta efter det att pallen tagits ut.

Från adit 6 har tunneln drivits med både full och delad front i bergklass 4. Den förstärkningsmodell som har använts i galleriet från adit 5 började inte användas förrän vid sektion 1/357.7 där drivningen övergick till galleri och pall. För den del i bergklass 4 där tunneln har drivits med full front har den förstärkts med gjutbult c/c 1.5 m och med sprutbetong med tjockleken 250 mm. Dock vidgades konturen med 0.5 m på denna sträcka, vilket innebar att denna förstärkning sprängdes bort. Omförstärkning utfördes med 190 mm sprutbetong och gjutbult c/c 1.2 m. Galleriet har förstärkts med gjutbult c/c 1.3 m och med sprutbetongtjockleken 380 mm. Det

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

har förstärkts med gjutbult c/c 1.3 m och med sprutbetongtjockleken 380 mm. Botten förstärktes även här med en 300 mm betongplatta.

De största deformationerna i en tunnel inträffar när fronten rör sig framåt, vilket gör att det är önskvärt att ha en förstärkning som successivt ökar i styrka. Enligt den moderna förstärkningsfilosofin skall berget i möjligaste mån bära sig självt. Får berget deformeras minskar spänningarna i berget och lasterna på förstärkningen blir mindre. Från säkerhetssynpunkt kan dock inte berget lämnas oförstärkt. Detta är ett motsägelsefullt problem som kan lösas på många olika sätt. På grund av de stora deformationerna som uppkom när tunneln började drivas, förändrades förstärkningsmodellen för bergklass 4. Figuren 7 nedan visar hur sprutbetongbågarna skall se ut när de blivit kompletta enligt förstärkningsmodellen.



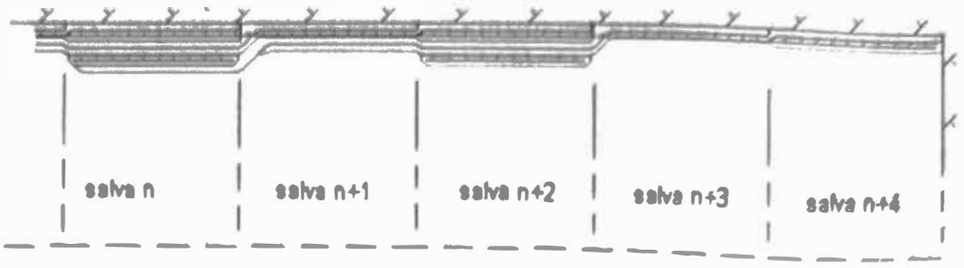
Figur 7. Förstärkningsmodell i bergklass 4.

Förstärkningen skall byggas på i omgångar. Först läggs ett lager med fiberarmerad sprutbetong. Första salvan närmast fronten och tredje salvan närmast fronten nätas sedan med ett 6 mm respektive ett 10 mm nät. Näten sprutas in med oarmerad sprutbetong. När nästa salva tagits ut sprutas ännu ett lager med fiberarmerad sprutbetong över de närmaste fyra salvorna. Ännu en salva tas ut och ett lager till med fiberarmerad sprutbetong sprutas från fronten och fyra salvor bakåt. Första salvan nätas nu med ett 6 mm nät och tredje salvan nätas med ett 10 mm nät. Dessa nät sprutas in med sprutbetong. När nästa salva tagits ut sprutas de fyra närmast fronten med fiberarmerad sprutbetong. Se figur 8 .

Produktionsmetod och resultat

Tidsfördelningen mellan olika moment i produktionscykeln varierar beroende på bergklass, förstärkningsbehov, drivning och borrdjup m m. Exempelvis tog förstärkningen i bergklass 1 ca 15% av tiden, medan den i bergklass 4 tog ca 65%. Nedan beskrivs de olika momenten och de kapaciteter som tagits fram.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 8. Metod för att förstärka bergklass 4.

Borrning

Borrning utfördes med en treboms Jumbo eller med en tvåboms Tamrock. Borrdjupet var 4.4 m i bergklass 1, 2a, 2b, 3 och undantagsvis i 4. I bergklass 3 har det också angivits 3 m borrdjup, men indriften var dock snarlik den för 4.4 m borrdjup varför utvärderingen är baserad på att borrdjupet var 4.4 m. Där delad front användes var borrdjupet vanligtvis 2.5 m, men när bergkvaliteten var bättre övergick borrdjupet till 4.4 m. I tailracetunneln användes plogkil med ungefär 100 hål vid fullfrontsdrift och ungefär 60 hål i galleriet vid delad front. När pallen sprängdes borrades 35 hål. Antalet hål har uppskattats vara lika med antalet tändare. Den specifika borrmingen blev cirka 1.5 m/tfm^3, bortsett från pallen där den blev cirka 1,1 m/tfm^3.

Laddning

Laddning utfördes manuellt från korg och bommar med dynamit och laddkäppar. Det användes ungefär 355 kg dynamit vid full front med 4.4 m borrdjup och 300 kg vid full front med 3 m borrdjup. Galleriet sprängdes med i genomsnitt 170 kg dynamit och till pallen användes 90 kg. Specifika laddningen var ca 1.3 kg/tfm^3, med vissa undantag. Sprängämnet var Noble Gel-90 32x200 mm och tillverkades i Indien av ICI. Tändarna var av Nonel-typ och till kontursprängning användes Detonex 80, och undantagsvis Gurit.

Utlastning

Utlastning utfördes med en sidtippad hjullastare, VME L160, och Scanialastbilar med bergflak. Utlastningskapaciteten är beräknad på teoretisk volym utan hänsyn till överberg. Genomsnittlig kapacitet blev ungefär 55 tfm^3/h. Med överberg antaget till 20% blir kapaciteten 66 vfm^3/h.

Skrotning

Skrotning utfördes vid bergklass 1, 2a och 2b manuellt med skrotspett från skylift eller maskinellt med boomer. Vid bergklass 3 och 4 skrotades enbart med boomer när så krävdes. Skrotning utfördes alltid av borrlaget.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Förstärkning

Sprutning utfördes med hjälp av sprutrobot och transmixer, som levererade betongen. Bultning och nätning utfördes av borrlaget respektive ett speciellt nätlag som arbetade från en skylift. För gjutbultning användes även ett särskilt arbetslag för blandning och pumpning av cement.

Utsättning

Utsättning utfördes med totalstationer med inbyggda längdmätare. Inmätning av tunnelsektionen för beräkning av överberg m m utfördes med teodolit och lös längdmätare utan prisma. På vissa sträckor användes dessutom tunnellaser i kombination med en mätkäpp för att effektivisera utsättningen.

SLUTSATSER

De geologiska prognoser som upprättades vid projektstart har till stor del stämt. I tilloppstunneln har problem förekommit med höga bergtryck som tidvis orsakat knäckningar i tunnelväggen. Höga vattentryck har orsakat svårinjekterat berg med låga framdrifter som följd. Tidsmässigt har hela tilloppstunnel följt planerna med genomslag endast några dagar från planerat datum. Ungefärliga framdrifter har för tilloppstunneln var 25 m/vecka på enkelfront och strax under 50 m på dubbelfront.

Framdriften i utloppstunnelns nerströmsdel, från adit 5 med huvudsakligen klass 4 berg har legat på ca 6-8 meter i veckan.

I kraftstationen har drivningen gått planenligt. Foliationen har varit orienterad tvärs de stora rummen vilket har underlättat berguttaget. När det gäller stabilitet och förstärkningsprogram hänvisas till Bergmekanikdagen 1995 och föredraget "Kraftstationen i Uri - stabilitet och förstärkning", Brantmark m.fl.

REFERENSER

Heiner A., Martna J., Stille H., "The Uri project and it´s status 1992". Föredrag vid Bergmekaniskt diskussionsmöte i Stockholm 18 mars 1992. Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo, Stockholm 1993.

Ivner B., "Uriprojektet i Himalaya". Protokoll från Bergsprängningskommitténs diskussionsmöte i Stockholm den 16 mars 1994.

Johansson H., Stille B., 1995 : "Squeezing ground - Erfarenheter från utloppstunneln i Uri Hpp". Examensarbete, avd. för Jord & Bergmekanik, KTH, Stockholm