© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Motorvägstunneln i Plabutsch, drivning av de två tunnelrören med 17 års tidsmellanrum

Gunnar Nord Atlas Copco Rockdrills AB

Bakgrund

För närvarande pågår byggandet av sista etappen av motorvägstunneln i Plabutsch strax utanför Graz i Österrike. Bygget av motorvägstunneln är i sig intressant att rapportera från men det har bedömts som ytterligare intressant eftersom det första tunnelröret påbörjades 17 år tidigare än det nu aktuella. Här ges alltså en möjlighet att studera den utveckling som dessa år har inneburit.
Det är alltid svårt att i detalj redogöra för projekt som ligger så långt bak i tiden och det är möjligt att jämförelsen kan halta något.

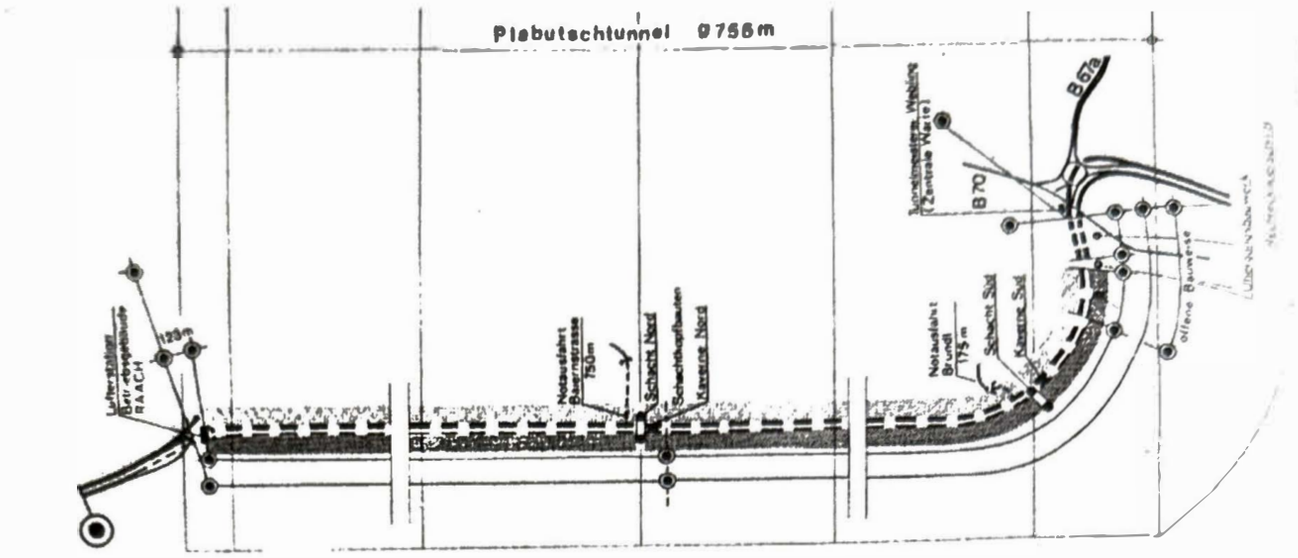
Inledning

Under 1970 talet insåg man insåg att det var ohållbart att låta genomfartstrafiken löpa i den 1000-åriga staden Graz. Frågan var bara var den nya motorleden skulle förläggas. Efter lång debatt beslöt man sig att förlägga en så stor del som 10 km i tunnel i en bergknalle som gränsar till de västra förorterna. Ett alternativ som diskuterades var att förlägga motorvägen i dagen genom förorterna och ett annat var att förlägga leden ytterligare västerut på andra sidan Plabutsch bergen.
Man beslöt också att bygga tunnlarna i två etapper där etapp ett omfattade det östra tunnelröret anslutningar med en "cut and cover" sträcka i vid den södra portalen som är 1400 meter samt gemensamhetsutrymmen såsom fläktrum, ventilationsschakt och två mellanpåslag 130 och 740 meter respektive. För att skaffa sig bättre kännedom om de bergtekniska förhållandena beslöts att under ett särskilt kontrakt utföra en pilottunnel längs hela den blivande sträckningen. Denna pilottunneln förlades i det östra tunnelröret, det som först skulle komma till utförande. Den placerades i vad som skulle bli galleriet iden mån tunneln drevs med delad sektion. Denna pilot kommer endast perifert att beröras nedan eftersom den egentligen inte har något med jämförelsen mellan de två tunnelrören att göra.
De 8,5 km bergtunnel domineras av dolomitisk kalksten. Den utgör hela 75 % och de resterande 25 % utgörs av sandsten, grönskiffer och lerskiffer. De senare bergtyperna erbjuder betydligt besvärligare drivningsförhållanden än kalkstenen och de är belägna huvudsakligen i tunnelns norra ände. Tunneln passerar några tektoniska zoner som självfallet nedsätter drivningskapaciteten. Bergtäckningen varierar från ringa upp till 300 meter., det vill säga mycket måttlig bergteckning som inte bör förorsaka något brott i bergmaterialet självt utom möjligen i de svaga skiffrarna samt de tektoniska zoner där berget har brutits ned och vittring påbörjats. De dåliga bergpartierna var dock så dominanta att man redan i ett tidigt stadium bestämde sig för att inte driva unneln med TBM teknik.
Bergklassificering enligt de då gällande Bergdrivningsklasser var som tabell nedan. Värdena hänför sig till utvärdering efter tunneldrivning.

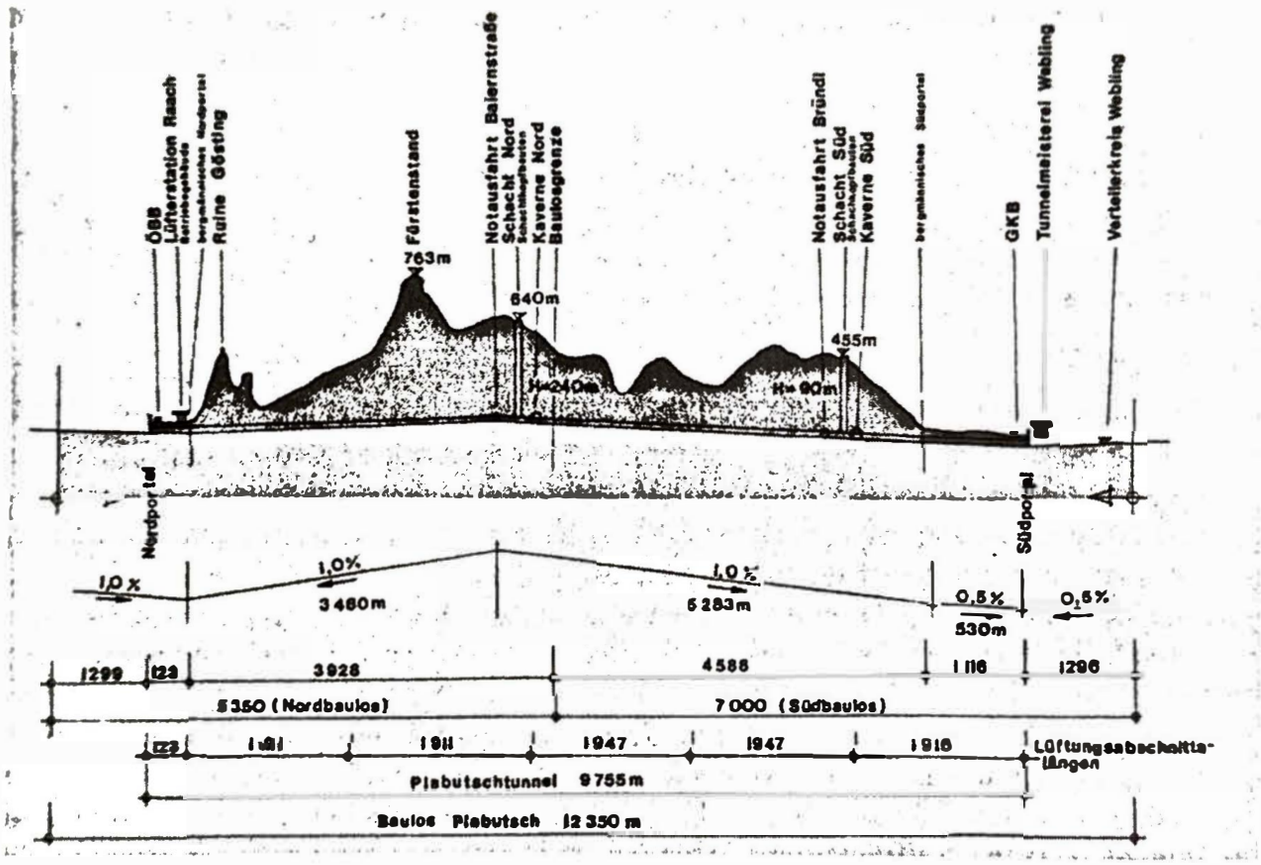
Klass 1	36	%
Klass 2	2	%
Klass 3	2	%
Klass 4	6	%
Klass 5	6	%

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tunneldesign utfördes av den Österrikiska konsultfirman Geoconsult för både öst och väströret.



Plan Plabutsch tunnel



Längdsektion genom Plabutsch tunneln

Drivning av 10 m2 pilot tunnel

För att få en känsla för vad man kan prestera i denna typ av berg och med Österrikisk arbetsupplägg skall kort något sägas om drivningen av pilottunneln. Tunneln 3,2*3,2 m drevs med konventionell sprängteknik och all kommunikation var spårbunden. För borrning använda man en Atlas Copco rail drill H477 med två Tunmecbommar R350, nitroglycerinbaserat sprängämne och utlastning med Hägglunds lastare 8HR och 5

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Skyttelvagnar som tog hela salvan om 30 fasta m3. Förstärkning utfördes med sprutbetong av torr typ samt korta ingjutna bultar (2 m). Salvdjupet var 3,2 m i bra berg och fick indrifter av storleksordningen 3 m. I bra berg med ringa till ingen förstärknings kunde en salva avverkas på 2,5 till 3 timmar vilket gav inte mindre än 9 salvor per dygn. Snittvärdena i bra berg var dock av storleksordningen 23-24 meter/dygn. Man arbetade alla veckans 168 timmar och presterade följaktligen 160 meter per vecka. Kapaciteten i dåligt berg låg dock på mindre än hälften av detta. Hela projektet gick på enfrontsdrift, först från ena portalen och sedan från den andra och inklusive omgrupperingen kunde drivningsarbetet avslutas på 23 kalendermånader. Denna tid borde rimligen motsvara 85 arbetsveckor vilket i så fall ger en snitthastighet av 100 meter i veckan eller 0,6 meter per totaltimme. Denna siffra ger alltså en indikation på vad som är möjligt att prestera med aktuella bergförhållanden, utrustning och personal.

Bergklasser

När man väl hade ett hål genom hela tunnelsträckningen gavs möjlighet att göra en tillförlitlig berg kvalitets prognos för det östra och sannolikt det västra tunnelröret. Resultatet kan grovt redovisas i tabellen på föregående sida.
För öströret fastställdes aktuella salvdjup för de olika bergkvalitéerna enligt nedanstående tabell.

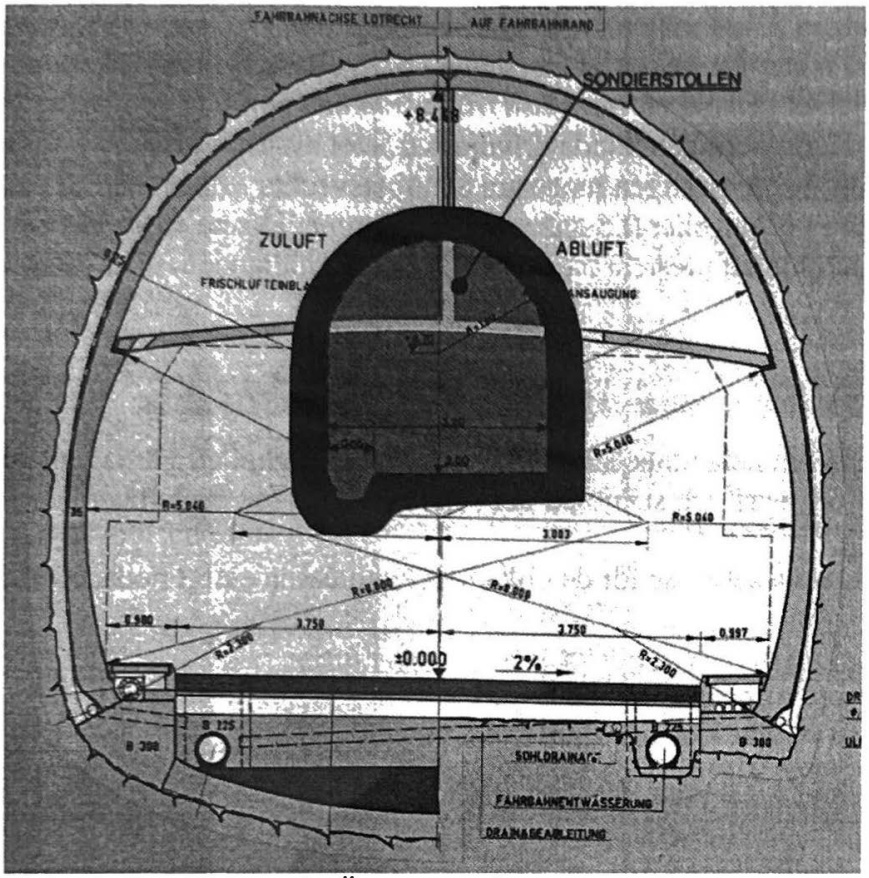
Bra till Medelbra berg som tillåter salvdjup på 4 meter
Dåligt berg som tillåter salvdjup på 4 till 2 meter
Dåligt berg som tillåter ett salvdjup på 1,2 meter

Drivning av det Östra tunnelrörert

Utförandet av det östra tunnelröret skedde under två kontrakt och utav två skilda entreprenörer. Uppdelningen framgår av figur ovan (Baulos betyder kontraktsavsnitt.). Plabutsch Nord omfattande 3900 meter kontrakterades till Baumeister Kurt Stettin och den södra delen omfattande 4600 m gick till ett Joint Venture med de fyra deltagarna AST, Mayreder, Jaeger och Neue Reform. Drivningsuppläggen på de två fronterna skilde sig något åt varför båda drivningarna kommer kort att beskrivas. Stettin vid den norra portalen drev hela vägen med galleri och pall och där pallen togs ut delad i tunnelns längdriktning vilket möjliggjorde att pallen kunde tas ut samtidigt cirka 30 till 50 meter bakom galleriet. Borrning för gallerisalvorna utfördes med två parallellställda AC Boomers H 135 vilket gav 4 borrmaskiner Cop 1038 HF som arbetade med fronten. Entreprenören hade möjlighet att använda en Boomer på vardera front avsnittet, men såvitt känt är tillämpades enfronts drift på hela kontraktet. Man använder relativt små lastare för att kunna arbeta relativt fritt i det lilla galleriet. Bergbultarna var av ingjutningstyp och hade en längd mellan 2,5 och 4 meter. Sprutbetong var förstås av torr typ och gavs en tjocklek mellan 5 och 25 cm. I de riktigt dåliga partierna som tillät ett salvdjup av endast 1,2 meter restes också stålbågar.
Man arbetade med 2*10 timmars skift och rent teoretiskt skulle det ha varit möjligt få ut fyra salvor på 10 timmar i den 45 m2 stora galleriet. Den dagliga framdriften var av storleksordningen 18 till 20meter.
Vid den södra portalen använde man sig också av två parallellt uppställda AC riggar H174,denna gång. Även här har man 4 borrmaskiner. Driftupplägget var här något annorlunda. Man tog ut tunneln i full sektion där så bergförhållandena tillät annars med galleri och pall. Pallen togs på full bredd, inte delat som vid norra portalen. Det skall tilläggas att den första delen vid sydportalen var berget så sönderbrutet att man använde en roadheader vid uttag av galleriet de första 400 metrarna och stålbågar cirka 300 meter. Förstärkningen

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

utfördes självfallet efter samma principer på de båda kontrakten, man hade samma designer nämligen Geoconsult i Salzburg. Utlastning i söder gjordes med Cat 966, Bröyt 41 samt den lågbyggda Kirunatrucken K 250.



Tvärsektion Plabutsch Östra tunnelröret med pilot tunnel inlagd.
Uttagen area är 90 och 104 m2 respektive

Hela tunneldrivningsprojektet startade i januari 83 och maj 83 kunde avslutas i april 85 och november 84 det vill säga totalt 46 (19+27) kalendermånader. Det motsvarar sannolikt 44 arbetsmånader eftersom man bara gör ett kort uppehåll över jul helgen. Den genomsnittliga månatliga framdriften blir då per front 190 meter inklusive uttag av pall. Om man antager att framdrivningshastigheten för de tre angivna salvdjupen fördelar sig som 5,3,1, och salvdjupen för 4,3och 1,2 fördelar sig som 63 %,25 % och 12 % vilket är ett rimligt antagande så är framdriften cirka 0,53 m/ total-timme i det bättre berget som tillåter 4 meters salvor. I hastighetsberäkningen inkluderas även uttag av pallen.

Överberg
Endast mycket generella värden finns tillgängliga. Möjligen finns värdena tillgängliga vid BK:s årsmöte i mars och delgivas muntligen.

Plabutsch 2 eller det västra tunnelröret

Detta tunnelprojekt utförs i sin helhet av ett Joint Venture mellan Hinteregger och Östu Stettin båda Österrikare.

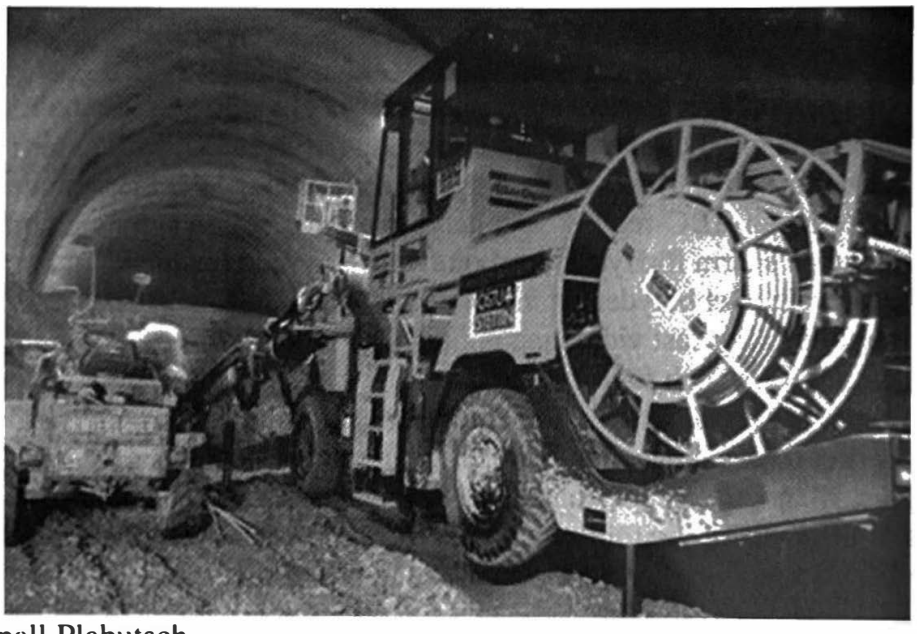
© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Portal vid Plabutsch syd

Drivningsupplägget på de båda tunneländarna är i stort sett identiskt, varför de behandlas här i ett sammanhang. För salv och bult borrning har man vid vardera tunnelfronten två borriggar en två boms och en treboms båda nya från Atlas Copco och utrustade med CAN-bus styrsystem och ABC-regular. Det betyder att operatören själv med hjälp av joystick och guidning på skärm förflyttar borrbommar till avsedd position. Trebomsriggen borrar ensam gallerigaveln. Det betyder att man även i detta fall 17 år senare än vid drivning av öströret fortfarande håller fast vid denna uppdelning av tunnelfronten. Inte i något fall tillämpar man full front vilket i och för sig inte hade varit möjligt sedan man väl valt borrigg. L3C som den heter inte når att täcka hela tunnelhöjden. Det skall dock tilläggas att valet inte var självklart i konsortiet fördes långa diskussioner innan man beslutade sig. Alla riggarna har givits 14 fots matare. Man kan således konstatera att man har reducerat antal borrmaskiner vid gallerifront från 4 till 3 vid en jämförelse med det östra röret. Trots att man bara har 3 maskiner använder man två borrare och förklaringen är att en man hinner inte med när hålen är korta.
Upplysningsvis skall sägas att en 1,3 meters salva borras på 30 till 35 minuter. För salvdjupet 2,7 m förlängs borrtiden till 45 minuter inklusive mobilisering och demobilisering.
För sprängning använder man ett sprängämne som gör det möjligt att börja lasta vid tunnelgaveln redan 5 minuter efter sprängning. För samtliga salvdjup tillämpar man öppning med plogkil och normalt så använder man sig 70 hål med 48 mm diameter. Laddning av salvan sker parallellt med borrning och sprängning sker cirka 20 minuter efter det att sista språnghålet har färdigborrats.
Utlastning sker med Cat 966G och låga offroad truckar Kiruna och GHH med 25 tons kapacitet. Utlastningen är således snarlik den som gjordes för 17 år sedan men att hjullastaren har en högre kapacitet. Det går 5 skopor i varje dumper så fyllning av en dumper tar 4 minuter. Det innebär att en 2,5 meters salva är utlastad på en timme inklusive ställtider och rensning.
Nätning som utförs vid alla kortare salvor tar för 2,5 m galleri 20 minuter. Sprutning utförs fortfarande som torrsprutning men med mycket hög kapacitet. Man har tagit fram en larvgående rigg som hyser två torrsprutor samt två hydraulmanövrerade bommar som bär sprutmunstycket. Betongsprutaren står på tunnelbotten och har en portabel manöverpulpet. Vardera sprutan har en nominell kapacitet på 12 fasta m3 per timme. Vid 2,5 meters salvdjup och att applicera 10 vfm3 tar en timme inklusive mobilisering och demobilisering.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Att sätta bult på en 2,5 meters salva tar bara en ½ timme och man använder huvudsakligen swellex och behövs spiling krävs ytterligare en insats på ½ timme men båda dessa funktioner överlappar varandra och påstås bara totalt kräva ¾ timme.
Den genomsnittliga salvlängden påstås hittills ha varit 2,3 meter och på den norra sidan har man efter 14 månader presterat hela 2800 meter tunnel och på den södra sidan har man efter 12 månader tagit ut 2200 meter. Enligt platspersonal skall man vara klar med själva drivningen i April 2001 och det betyder att 7 kalendermånader får adderas till de 12 och 14 månader som redan har presterats och totala antalet kalendermånader blir då 40 (12+7+14+7) Eftersom man bara gör 12 dagars uppehåll för Julfirande görs 2 månaders avdrag som vid öströret ovan för att ändra kalendertid till arbetstid. Resultatet blir att man per enkelfront presterar 8500/38=223 meter per månad som en total kapacitet inkluderande uttag av pallen. Med samma bergklassfördelning och hastighetsfördelning som vid öströret blir hastigheten i bra berg 0,51 meter/totaltimme.



Borrning för liggarpall Plabutsch

Jämförelse av drivning av de två tunnelrören.

Syftet med detta inlägg är att visa på förändringar i tunneldrivningstekniken över de 17 år som har förflutit mellan utförandet av de två objekten. Man tycker att förutsättningarna är precis desamma eftersom geologin är pratiskt taget identisk tunnlarna ligger ju bara 50 meter ifrån varandra. En skillnad som är uppenbar är att det första tunnelröret hade en 10 m2 stort grovhål som självfallet underlättade berguttaget, men denna skillnad är kalkylerbar och justeringar kan göras så att jämförelsen inte haltar. Svårare är att bedöma effekten av nya regelverk både vad gäller miljö och säkerhet. Därtill kommer ny design som ser ut att ha inneburit större restriktioner på salvdjup.
Man kan dock konstatera att vid enförsta grov översyn förefaller man inte ha lyckats prestera tunnel meter per totaltimme, jämför Öströret 0,53 m/timme och Väströret 0,51 m/timme.
Vilka är då skillnaderna i villkor för de två rören? Ett antal skillnader skall här nedan angivas.

1. I öströret fanns redan ett pilothål 10 m2 stort som har inneburit en stor besparing vad gäller antal borrhål laddad mängd sprängämne samt färre m3 utlastning. Antalet hål minskades sannolikt från 80 till 35 och det innebär 400.000borrmeter och 135.000 hål att borra en meter för två gamla tvåbomsriggar med Cop 1038 betyder det cirka 3

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

produktionsmånader (att adderas till öströrets tid). För utlastning betyder det sannolikt 2 månader för en Cat 966 av äldre modell.

2. Eftersom effekten av annan design med flera kortare salvor ännu inte har kvantifierats är det svårt att fastställa dess tidsbelastning. Antag ett förenklat resonemang där antalet korta salvor ökas så att fördelningen blir 30 %,50 % och 20 % för salvdjupen 4m, 3 m och 1,2 m respektive. Denna fördelning ger ett genomsnittligt salvdjup på 2,9 meter. I oktober 2000 uppgavs att efter 5000 m tunneldrivning var den genomsnittliga salvlängden 2,3 meter. Vad betyder det nu i tid salvorna är kortare och förstärknings arbetena har ökat i motsvarande omfattning. Antas den tidigare hastighetsfördelningen med 0,5 m/tim för 4 meters salva 0,3 m/tim för 3 meters salva och 0,1 m/tim för 1,2 meters salva så skulle det betyda 14 produktions månader eller cirka 7 månader på hela projektet öst-röret.
3. Vad nya miljökrav gör är ännu svårare att spekulera kring varför någon tidsbelastning inte påföres.

Summerar man resultaten från ovan kommer man till slutsatsen att öströrets produktionstid borde ökas med cirka 19 månader om det hade utförts på samma villkor som väströrets men med teknologi som daterar sig 17 år tillbaka. De 44 månaderna skulle alltså ha blivit 63. Mot den bakgrunden kan man hävda att man har uppnått förbättringar vad gäller produktion av storleksordningen 40 %. Att den sedan inte har kunnat diskonteras i kortare produktions tid beror på nya krav både vad gäller kvalité och miljö. Siffran kan synas hög men är bara en 2 procentig utveckling sett per år.

Vid en liknande fast syntetisk studie som författaren till denna artikel gjorde till ITA konferensen i Stockholm 1998 konstaterades även att det har varit mycket svårt att få teknikutvecklingen att resultera i snabbare framdrift. De flesta produktionsförbättringarna hade ätits upp av strängare miljökrav bättre arbetsförhållanden samt högre kvalité på utförd produkt.