© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

ORT OCH TUNNELPROJEKTET I SOFIAMALMEN, KIRUNA

Mats Keisu, LKAB
Per Näsström, SKANSKA
Bengt Niklasson, SveDeFo
Åke Öhrn, LKAB

INLEDNING

Ort och tunnelprojektet är ett samarbetsprojekt med Atlas Copco, Conjet, LKAB, Nitro Nobel, Secoroc, Skanska och SveDeFo. Huvudmålet är att kunna driva 7.4 m långa salvor.

Föredraget kommer att i huvudsak innehålla en presentation av Sofia-projektet samt en del resultat. Huvudmomentet, att skjuta långa salvor, har inte påbörjats när detta skrivs (försöken startar i början av februari) men resultatet kommer att presenteras muntligt på Bergsprängningskommitténs möte i mars.

Projektet är förlagt till Sofia-malmen i Kiruna och kommer att pågå t o m maj 1991. Programmet är mycket omfattande där bl a försök med ϕ 64 mm borrplan och olika test för att åstadkomma bra konturer ingår. Provet omfattar c:a 260 salvor.

BAKGRUND

Den storskaliga brytningsmetod som är införd vid LKAB medför att antalet ortgavlar på de olika brytningsnivåerna har begränsats. Detta innebär att tillredningsfunktionen måste bli effektivare i de gavlar som finns tillgängliga. Ett viktigt steg i rätt riktning är ett införande av långa salvor. I Malmberget har prov med långa salvor och enstångsskarvning utförts tidigare. Försöket visade att det var tekniskt möjligt att borra 7.4 m salvor.

Utredningen rekommenderade ett införande av långa salvor driftsmässigt om borrningen kan utföras med bra precision och med rimliga borrstålskostnader. Kalkylerna visar en besparingspotential på 1200 kr/ortmeter.

Försöket bygger också på en fortsättning av det arbete som SveDeFo utförde i Nukutusvara 1987 där en mängd olika öppningsvarianter testades med höghastighetsfilmning, funktionskontroller, vibrationsmätningar m m.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Dessa försök och nya erfarenheter har ökat kunskapen och pekat på möjligheten att t ex åstadkomma långa och säkra indrifter utan grovhål.

MÅLSÄTTNING

Målsättningen är att utveckla en funktionssäker drivningsmetod med lägre kostnader, längre salvor utan grovhål för effektivare drivning, säker arbetsmiljö, minskad överbergsbrytning och låga förstärkningsinsatser.

Borraggregat med större precision, elektroniska sprängkapslar, en helt ny teknik som vattenslitsning med abrasiver, nytt ventilationsystem, el-lastning m m kan ge ort- och tunneldrivning helt nya visioner för framtiden.

GENOMFÖRANDE

Provplatsen är Sofiamalmen i Kiruna-gruvan där borr- och lastnivån tillreds för skivpallbrytning. Borrnivån är belägen på nivå 598 m och lastnivån på 650 m. Sammanlagt är det 1269 meter ort som ska drivas.

Geologin i området beskrivs av Hedin /1/ enligt följande. "Den dominerande sprickriktningen hos slag och skölar på borr och lastnivå 598 m resp. 650 m är NV SO och brant stupande. På borrnivån 598 m är även en sprickriktning NO - SV relativt vanlig.

Breccior med huvudsakligen syenitporfyr eller mandelstensfragment är klart dominerande medan den rena malmbredden på borrnivå bara är 9 - 17.5 m i de undersökta orterna.

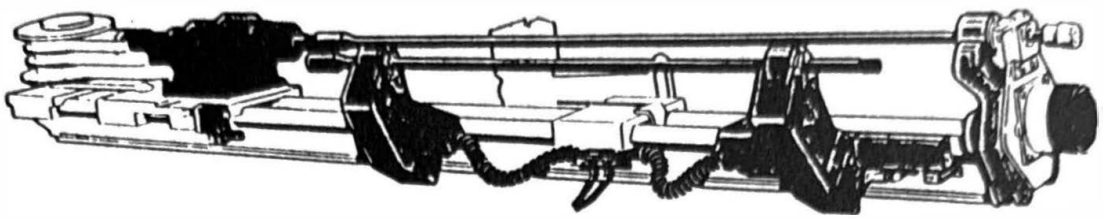
På lastnivån är granofyren den klart dominerande bergarten med underordnande breccior förande syenitporfyr - mandelstensporfyr eller granofyrfragment."

Ortareorna varierar från 19 kvm i borrorterna till 28 kvm i fältorterna. Den drivning som är utförd fram till årsskiftet 1990/91 är salvlängder på 4.4 meter. Ett tvåboms Strömnesaggregat har används. 125 st salvor är drivna inklusive ortpåhugg och strossar. Antalet ortmetrar är ca 500.

Av de kvarvarande ortmetrarna kommer huvuddelen att drivas som långa salvor, d v s upp till 7.5 meter, vilket är maximala borrdjupet med det nya borraggregatet som levererats i mitten av januari 1991. Borraggregatet är ett Atlas Copco Boomer 186 S utrustat med tre But 35 bommar med RAS-system för enstångsskarvning. Se figur 1. Första stången är 14 fot och den andra är 12 fot. Borrmaskinerna är COP 1440. Vidare finns

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

maskinloggingutrustning och TAS vinkelinstrument installerade på riggen.



Figur 1. Figuren visar en matare utrustad med RAS utrustning för enstångsskarvning

LKAB är huvudintressent och beställare av projektet. SveDeFo genomför den del i ramprogrammet som berör ort och tunneldrivning, Skanska-Kuj-bygg har drivnings-entreprenaden, Atlas Copco levererar borraggregatet och lägger ner utvecklingsresurser i själva riggbygget. Secoroc tillhandahåller borrstål och kronor, Nitro Nobel medverkar i prov med elektroniksprängkapseln och kontursprängningsförsök. Kimit medverkar i olika delar av sprängningsförsöken och Conjet i slitsförsöken där skärning med högtrycksvatten testas. Samtliga in-blandade bidrar på något vis med utvecklingsinsatser. Inom Sofiaprojektet drivs några G 2000 projekt. Det handlar då om tidigare beviljade projekt som berör ort och tunneldrivningsteknik. G 2000 bekostar även 4 man-månaders uppföljningsarbete.

SOFIAPROGRAMMETS DELPROJEKT

Programmet är i huvudsak indelat i fem delar:

- korta salvor, drivningsförsök med 4.4 meters salv-längd
- långa salvor, drivningsförsök med upp till 7.5 meters salvlängder
- borrutrustningsuppföljning (maskin, stål, kronor)
- ellastning med dieselgenerator
- sugande ventilation

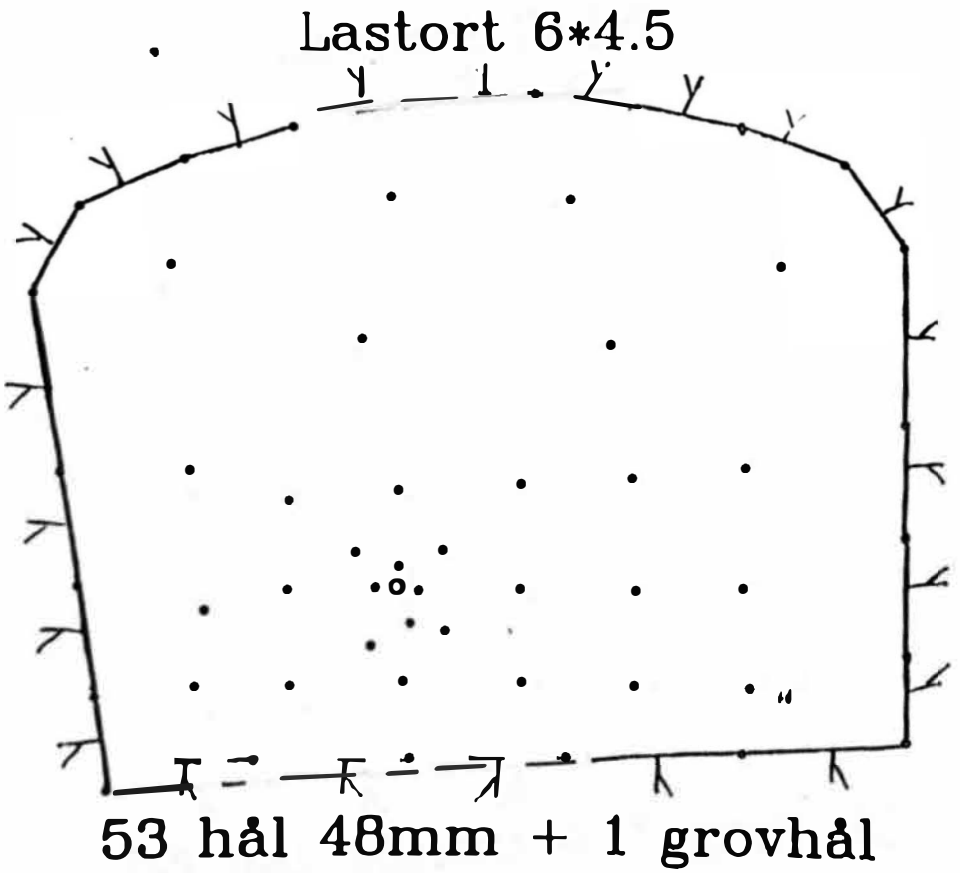
Drivningsförsök med 4.4 meters salvlängd och ellast-ningsförsöket är genomförda till årsskiftet 1990/91. Långsalvorna genomförs våren 1991.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Korta salvor.

Försöken under 1990 har fokuserats på öppningar och kontursprängningsförsök. Dessutom har omfattande försök med borrplaner för 64 mm håldiameter provats.

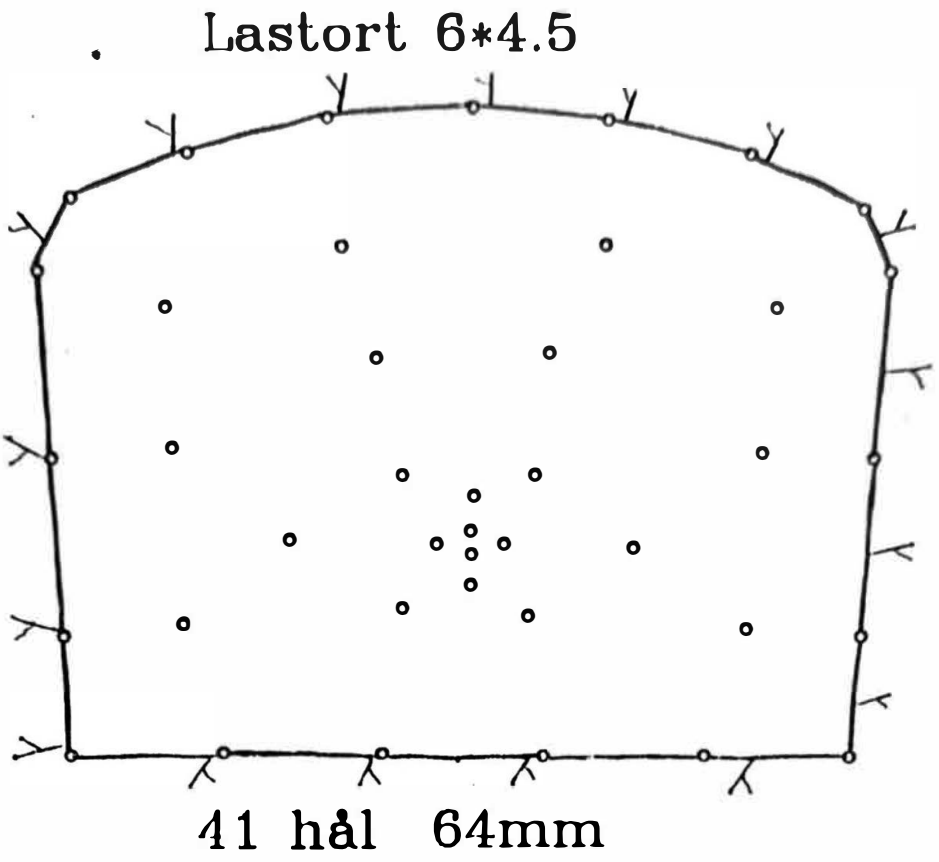
Provet inleddes med att ett antal standardsalvor följdes upp. Standard i detta fall är den borrplan som används i Kiruna. Borrhålsdiametern är 48 mm och ett grovhål, 102 mm används i öppningen, figur 2. I takhålen laddas Kimulux 22 mm rörladdning. I övriga salvan ANFO eller vid blöta hål, Kimulux 36 mm rör. Dessa standardsalvor utgjorde provets referens.



Figur 2. Figuren visar en standardborrplan

Ganska snart gjordes borrplanerna om för 64 mm hål och ett antal öppningsvarianter provades. Grovhålsöppning med ett 102 mm tomhål gick inte helt perfekt och dessutom var målet att få bort grovhålet. I slutet av november fanns en bra fungerande öppning utan grovhål för kortsalvorna. Den borrplan som kortsalvorna avslutades med framgår av figur 3.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

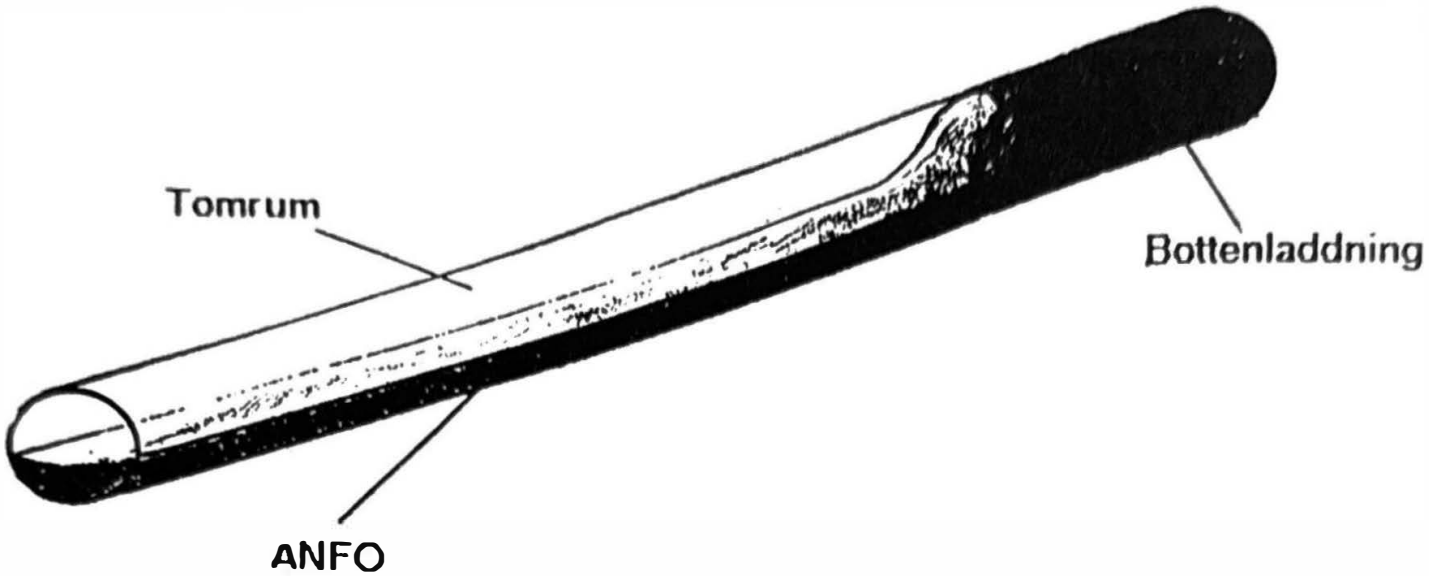


Figur 3. Figuren visar samma ortprofil som figur 2 med borrplanen för 64 mm borrhål

I konturhålen har den s k bakblåsningsmetoden med ANFO provats, både i 48 och 64 mm håldiameter. Dessutom har dubbla Kimulux 22 mm testats i 64 mm hålen. Enkelstavar har inte orkat slå ut försättningen i konturen. Bakblåsningsmetoden, eller slevladdningsmetoden som den heter i andra gruvor, är ett sätt att ladda ANFO där endast ca 1/3 av hålet är laddat om man ser hålet radiellt. Figur 4 visar detta.

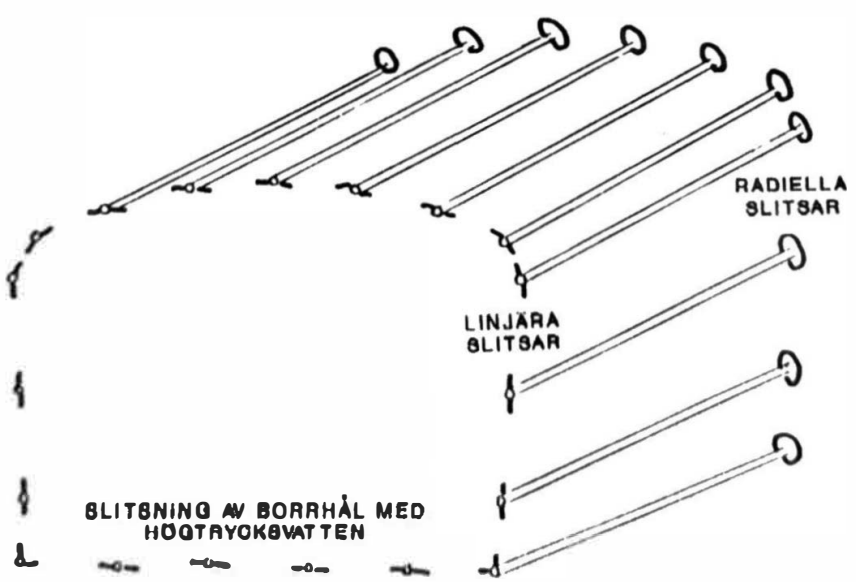
Förutom olika sprängämnen har elektonikspräng kapseln testats i konturen. Den exakta intervalltiden som kapseln ger kan utnyttjas för att få en jämnare yta på tak och väggar samt att klara försättningen med mindre sprängämnesmängd. Momentan och kortintervallinitiering (2 ms mellan hålen) har provats. Både i kombination med Kimulux 22 mm och bakblåst ANFO.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 4. Figuren visar schematiskt ett laddat hål som bakblåsts med ANFO

Det mest intressanta kontursprängningsförsöket kommer att göras i slutet av januari -91. De första proven kommer att göras i korta salvor. Försöket går ut på att slitsa kontur och öppningshål, antingen linjärt utmed borrhålet eller radiellt i borrhålets botten. Slitsen ska fungera som en sprickanvisning och underlätta för en spricka att finna närmaste vägen till grannhålet. I konturen tillämpas detta för att få en slät och oskadad yta. I öppningshålens botten skärs radiella sprickor för 100 % indrift. Se figur 5. Slitsarna ska skäras med sligblandat vatten som under högt tryck sprutar ur ett munstycke som förs in i hålet. Resultatet presenteras i den muntliga framställningen.



Figur 5. Figuren visar schematiskt slitsade konturhål. Efter Rustan.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Långa salvor

När detta föredrag skrivs har försöken med de långa salvorna ej startat. Resultat presenteras muntligen på Bergsprängningskommitténs möte i mars.

Sammanlagt kommer ca 650 meter drivas som långa salvor.

UPPFÖLJNING

Uppföljningen består av två delar. Dels följs varje salva upp efter ett fast schema, dels görs speciella mätkampanjer där resurserna intensifieras mot ett visst mål.

Den rutinmässiga uppföljningen innehåller följande delar:

dokumentation av
- stuffens identifikationsdata
- verklig borr, ladd och tändplan (laddarnas protokoll)
- borrbarhet, bergtyp, borrtid mm (borrarens protokoll)
- lastbarhet, styckefall (lastarens protokoll)
- skrotning, volym (skrotarens protokoll)

kartering av
- drivna orter
- varje stuff

inmätning av
- varje indrift
- kvarstående borrpipor
- halvpipor i konturen

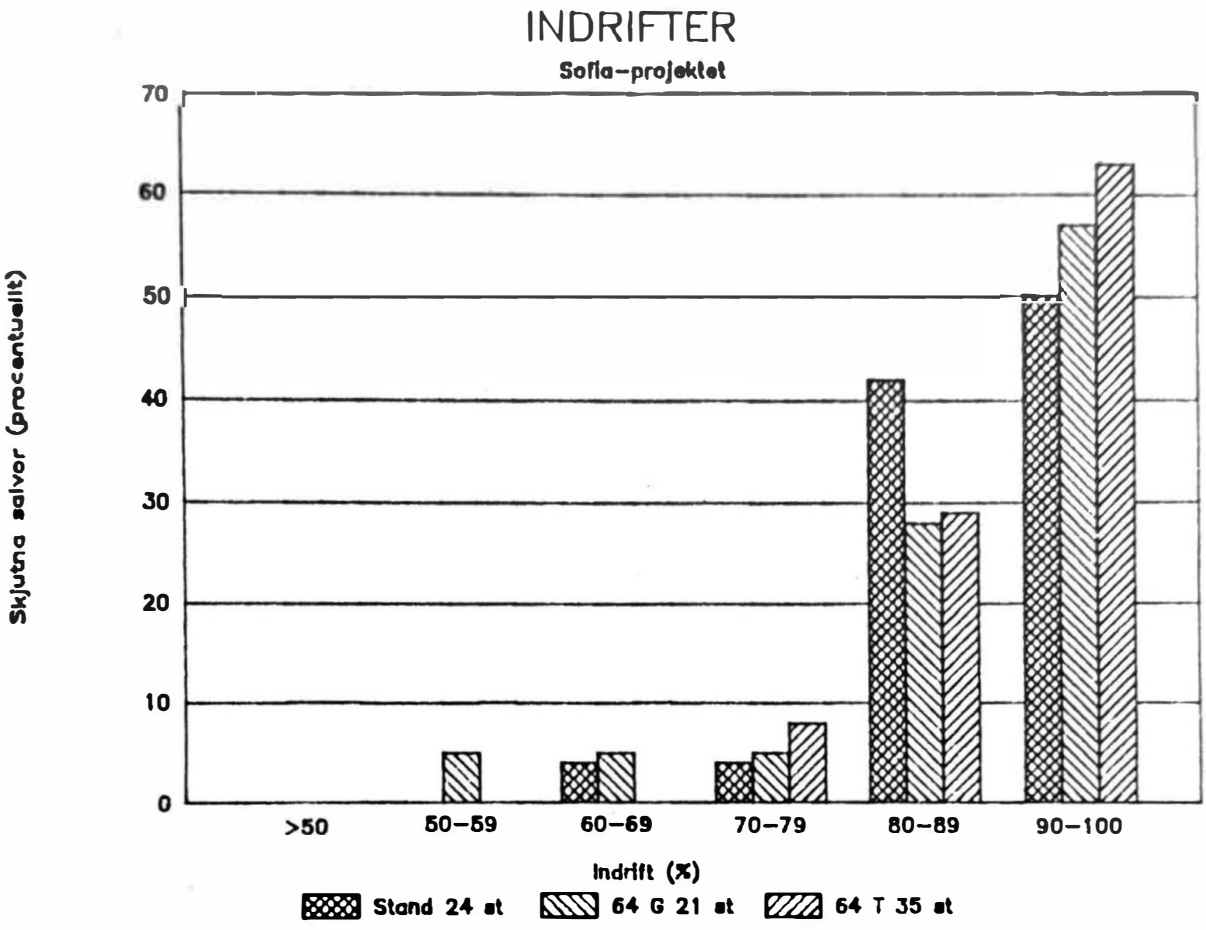
Speciella mätningar har gjorts på:

- hålriktningar i öppningen
- stickningsvinklar
- skrotad indrift
- ortprofilmätning
- skadezoner i tak
- borrsjunkning
- kronslitage
- funktionskontroll av initieringen i öppningen

RESULTAT

Samtliga resultat är ännu ej färdigställda. Indrifter, andel halvpipor i konturen, skrotad indrift och funktionskontrollmätningarna presenteras i detta föredrag.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare



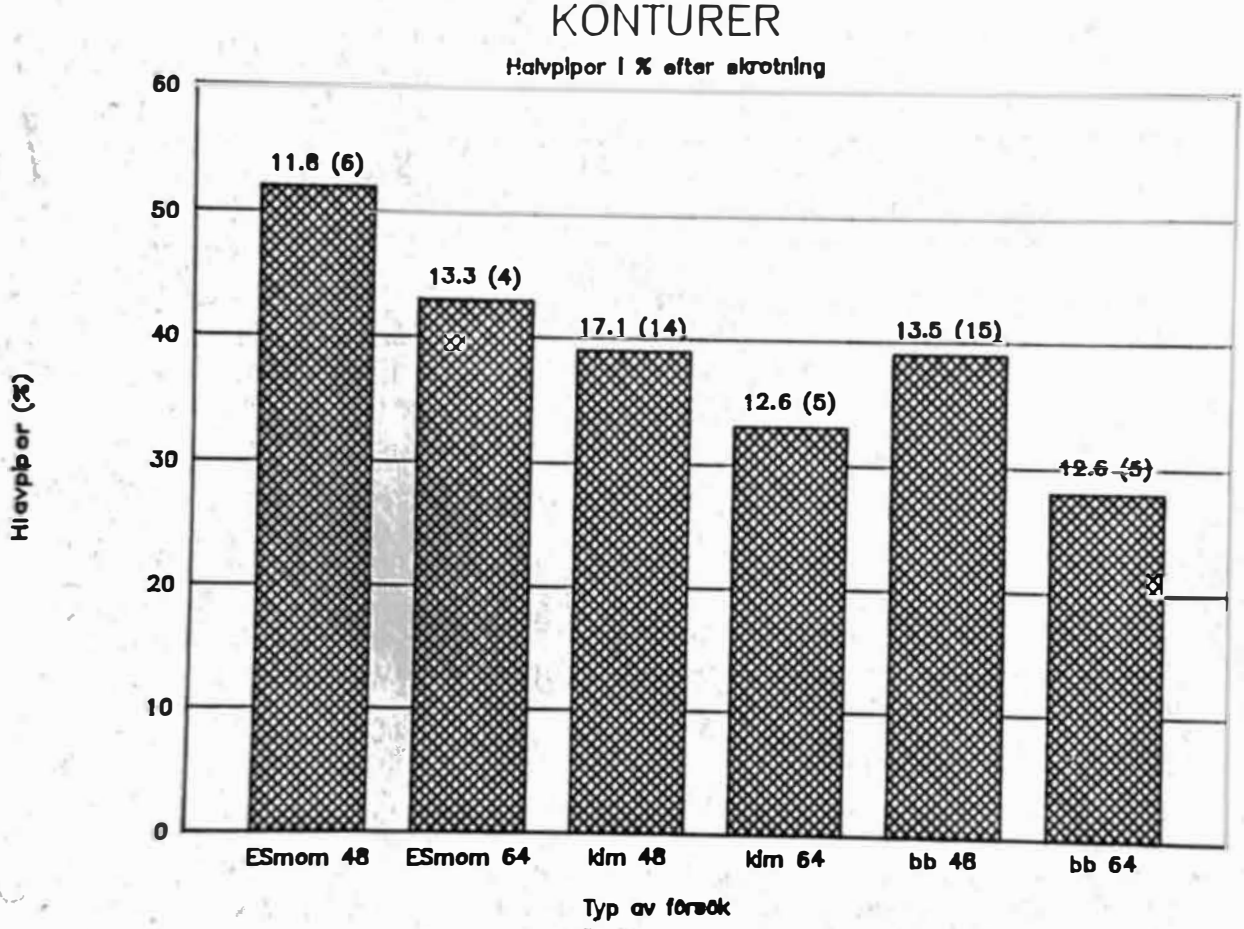
Figur 7. Av figuren framgår spridningen av indrifterna från figur 6

Andelen halvpipor i konturen

Andelen halvpipor synliga i konturen i förhållande till borrad längd är ett mått som används för att beskriva resultatet av kontursprängningar. Det finns andra som är knepigare att mäta, t ex ortprofilmätningar. Sådana mätningar görs även inom projektet men presenteras senare. Andelen halvpipa korrigeras med avseende på indriftslängden. Figur 8 visar resultaten från sex olika kontursprängningsvarianter. Ovanpå staplarna anges standardavvikelsen och antalet salvor för respektive försök. ESMOM 48 längst till vänster står för momentan initiering med elektroniksprängkapseln i 48 mm håldiameter. Laddningen är både bakblåst ANFO och Kimulux 22 mm rör. ESMOM 64 i andra stapeln är detsamma i 64 mm hål. Tre av dessa är bakblästa och en laddad med Kimulux 22 mm rör. Endast fem salvor finns. Tredje

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

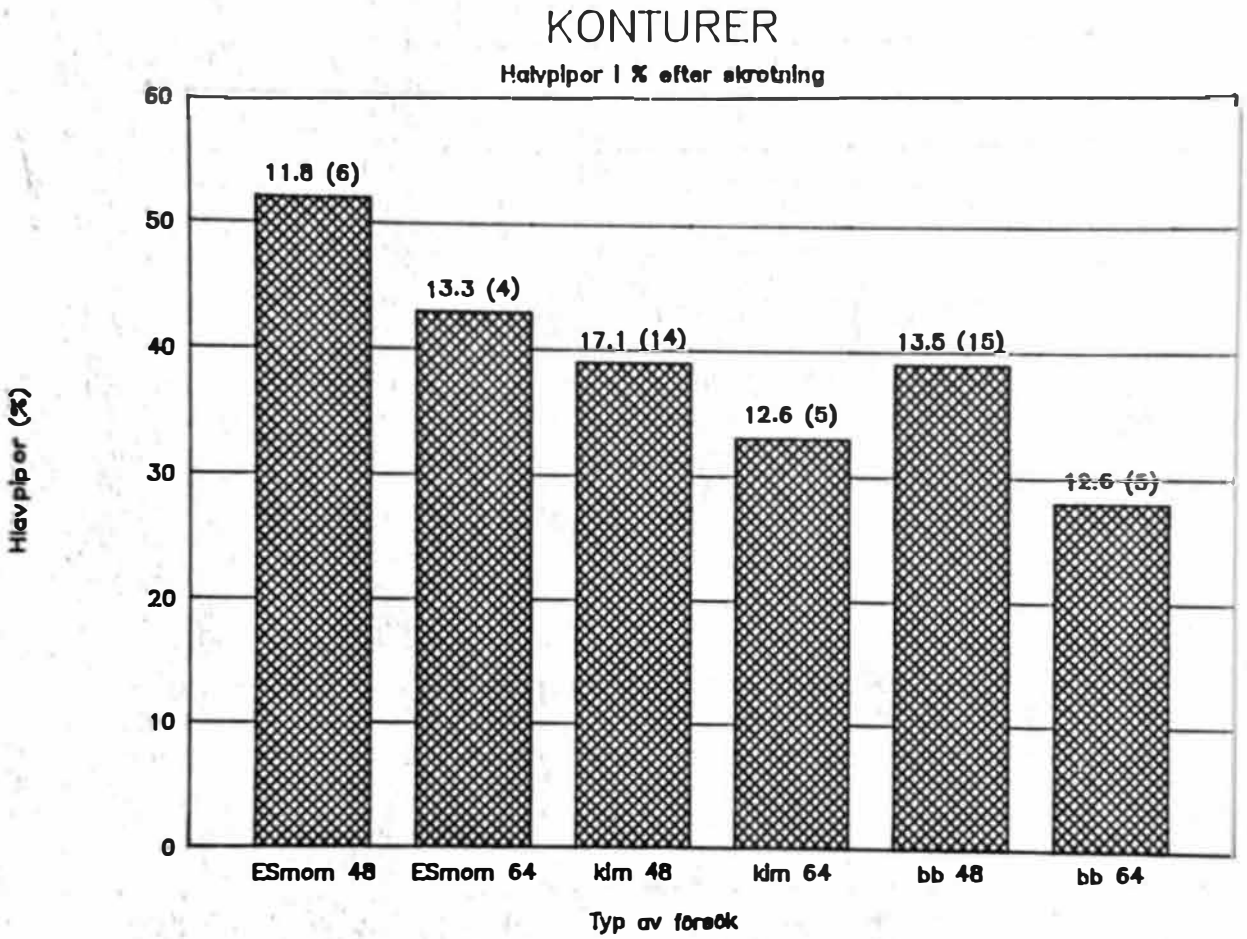
stapeln är konturen i standardsalvorna, nämligen Kimulux 22 mm rör i 48 mm hål. Fjärde är dubbla Kimulux 22 rör i 64 mm hål. Femte är bakblåst ANFO i 48 mm hål och sista stapeln är bakblåsning i 64 mm hål. Som syns i figuren har ESMOM det bästa medelvärdet och bakblåst ANFO i 64 mm hål det sämsta. Spridningen är ungefär lika i de olika försöken. Figur 9 visar spridningen för bakblåsning i 64 mm hål.



Figur 8. Figuren redovisar andelen halvpipor för sex varianter av konturspräng**ningsförsök**

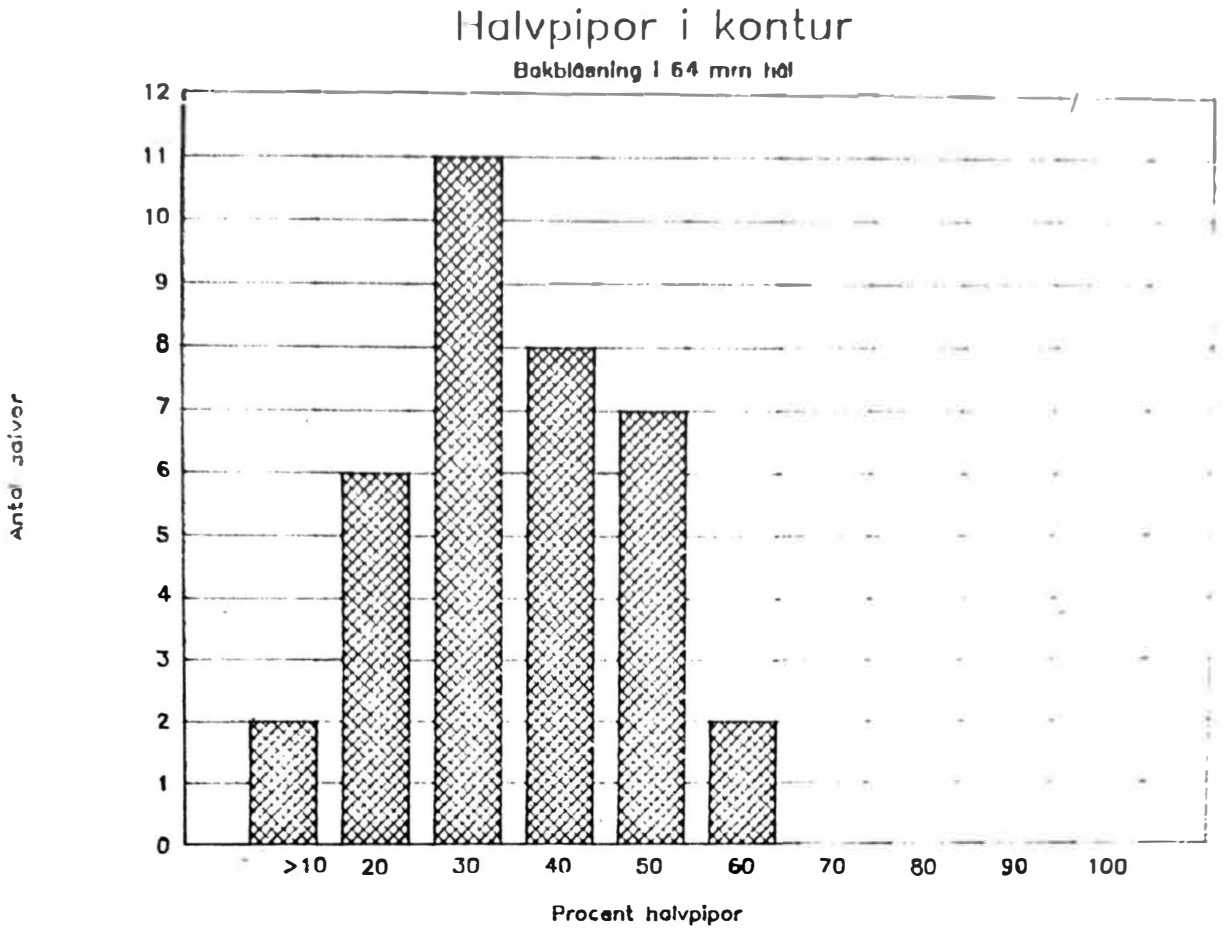
© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

stapeln är konturen i standardsalvorna, nämligen Kimulux 22 mm rör i 48 mm hål. Fjärde är dubbla Kimulux 22 rör i 64 mm hål. Femte är bakblåst ANFO i 48 mm hål och sista stapeln är bakblåsning i 64 mm hål. Som syns i figuren har ESMOM det bästa medelvärdet och bakblåst ANFO i 64 mm hål det sämsta. Spridningen är ungefär lika i de olika försöken. Figur 9 visar spridningen för bakblåsning i 64 mm hål.



Figur 8. Figuren redovisar andelen halvpipor för sex varianter av konturspräng ningsförsök

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 9. Figuren visar spridningen av konturspräng-ningsresultatet vid bakblåsning i 64 mm hål

Funktionskontroll

Ca 28 st mätningar är genomförda för att mäta funktionen av öppningar. En öppning är tänkt att fungera så att ett antal hål initieras i en förutbestämd tidsföljd för att låta de olika försättningarna evakueras ut i jämn följd så att ingen stockning uppstår i den trånga öppningen. Ofta fungerar inte initieringssekvensen. Laddningar rivs, dödpressas, initieras i förtid eller till och med blåser ur hålet innan laddningens uppgift är utförd. Av samtliga mätningar som gjorts på de olika öppningarna har 41 % fungerat hundraprocentigt. Tabell 1 visar felfunktioner av några öppningstyper som ingått i proven. Mätningen omfattar de första 8 hålen i öppningen.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SOFIA

ÖPPNINGSTYPER

	STANDARD 48 mm	64 mm + GROVHÅL	64 mm + 2*64 tom
ANTAL FELAKTIGA HÅL	1,6	1,33	0
STANDARDAVVIKELSE	1,55	2,01	0
ANTAL	15	6	3

Tabell 1. Tabellen visar resultatet av funktions-kontrollmätningarna av initieringssekvensen i öppningar

DISKUSSION

Som tidigare sagts har ett av de stora målen i arbetet med kortsalvorna varit att få bort det dyrbara grovhålet. Detta kostar pengar, dels direkt i och med att en grov diameter används, men även för att de stora slitagen på nackar och stål kommer från grovhålet. I en framtida automatisering av borrningsarbetet är det önskvärt att en och samma borrhålsdiameter används i hela salvan.

Arbetet med att få bort grovhålet har lyckats. En väl fungerande öppning har tagits fram. Den har även provats, ca 5 - 10 salvor, vid drivningen av väg 25 i Kuj. Ortarean är 40 kvm och borrdjupet 5 meter. Rampen drivs i gråberg. Goda indrifter rapporteras.

Att stort arbete lagts på att få fram en borrplan för 64 mm håldiameter beror delvis på försöken med skarvborrning. För att få en styv borrsträng då borrlängder upp till 7.5 meter borras bör 1 1/2 tums stål R 38 användas. Skarvningen av de bägge stålen kräver en skarvhylsa som blir ca 56 mm i diameter. Detta gör att minsta håldiameter hamnar på 64 mm. En annan anledning är givetvis att med dagens borrmaskiner och övrig borrutrustning krymper kostnadsökningen då ett nummer större håldiameter väljs.

Vid övergången från 48 till 64 mm borrplan reducerades antalet hål med 20 - 30 %. Specifika laddningen reducerades inte. Borrsjunkningen med det äldre aggregatet

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

med COP 1238 maskiner var ca 50 % högre med 64 mm än med 48. Ca 80 cm/min mot 120 cm/min. Borrtiden per salva var då ca 25 % längre. De första borrningarna med Boomer 186 och COP 1440 maskiner visar på borrtider under 2 min/hål för 64 mm mot 5 min för Strömnesriggen. Beräknade borrtider per gavel är 1 timme 10 min för en borrort på 19 kvm och 1 tim 30 min för en fältort på ca 28 kvm.

Problemet med 64 mm salvor ligger i konturen. Av de varianter av konturssprängämnen och laddningsmetoder som provats har ingen visat sig bra i 64 mm konturhål. Borrplanen med 64 mm hål har inneburit att antalet tak och vägghål i konturen endast reducerats med något eller några hål. Hålavstånden är alltså något längre än för standardsalvorna. Däremot har försättningarna ökat, av två anledningar. Dels gör det minskade antalet hål att försättningen måste öka men kanske viktigast är att hjälparhål av 64 mm diameter inte får komma för nära konturen av skadeskäl. Lösningen på problemet ligger alltså i reducerad laddning i hjälparhålen samt en rätt avpassad laddning i konturraden. De rörladdningar för konturhål som finns idag är för klena. Bakblåsning med ANFO i 64 mm hål har inte lyckats lika bra som i 48 mm hål. Se figur 8. Laddningsmängden och fördelningen av sprängämnet i hålet är okontrollerat jämfört med rör-laddningar eller fulladdade hål. I 48 mm diameter är detta ej kritiskt då mängderna är relativt små. En fulladdad botten på 0.5 - 0.7 meter är ingen katastrof. Men i ett 64 mm hål blir följderna av detta kännbara för det kvarstående taket. Av denna anledning måste bakblåsningstekniken i 64 mm hål vidareutvecklas. Inom projektet kommer grövre rörladdningar och sprängämnen med reducerad sprängstyrka att provas.

Ur resultaten från slätsprängningsförsök, som utförts i G 2000 projektet Skonsam Sprängning /2/, framskymtar en framtida teknik där en exakt momentan initiering av vägg och kontur kan klara stora försättningar men med mindre sprängämne än vad som används idag. Detta kan i praktiken innebära att dagens 22 mm rörsprängämnen kan användas även i 64 mm hål intill den dag då pumpbara reglerbara sprängämnen används i hela salvan.

Av funktionskontrollmätningarna som hittills är utförda kan konstateras att den arbetshypotes som vi arbetat efter och som går ut på att ju glesare hålen sitter i en öppning ju bättre fungerar initieringssekvensen, forfarande håller. Standardöppningen, där hålen sitter tätast, har störst felfrekvens medan de glesare öppningarna fungerar bättre trots större laddning. Avståndet mellan hålen är alltså viktig inte bara ur brytningssynpunkt utan även ur funktionssynpunkt. Arean på första kvadranten i standardöppningen är 0.045 kvm. För 64 mm med grovhål är arean 0.210 kvm och för 64 mm

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

med två 64 mm tomhål 0.160 kvm. Arean efter två kvadranter är för respektive 0.30, 0.81 och 0.81 kvm.

Projektet har löpt bra. De försök som var planerade har genomförts och målen har nåtts utom i ett fall, nämligen att finna en bra kontursprängningsmetod i 64 mm hål. Detta är delvis ett produktteknisk problem som är överlämnat till sprängämnestillverkarna.

Nästa stora uppgift för projektet är att förlänga salvorna upp till 7.5 meter vilket bör vara klart innan semestern 1991.

REFERENSER

1. Hedin J-O. Geologisk rapport om Sofiamalmen på 598 m:s borr och 650 m:s lastnivå. LKAB, Kiruna. Januari 1991.

2. Niklasson B. Karlsson L. Intervalltidens inverkan på sprängningsresultatet vid slätsprängning i pall. Sprängteknisk konferens 15 - 16 Januari, Visby. Nitro Nobel AB.