© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SMALMALMSBRYTNING - ETT SVENSKT KONCEPT PROVAS I ZINKGRUVAN

Mats Olsson, SveDeFo, Stockholm
Hans Thorshag, Tyréns Företagsgrupp AB, Stockholm

1. Bakgrund

Under de senaste årtiondena har både metod- och maskinutvecklingen inom sektorn underjordsbrytning i huvudsak varit fokuserad på storskalighet.
Denna trend har bevisligen varit till fördel för många gruvor där massbrytning har kunnat appliceras.
Emellertid, när det gäller små och speciellt smala malmer, har denna utveckling blivit ett stort hinder för dessa malmers exploatering. Smala, kompakta och ofta rika mineraliseringar har därför lämnats, både i "gamla" gruvor, som malmrester, och i oexploaterade fyndigheter, som icke malm. Huvudproblemet är att den på marknaden tillgängliga utrustningen kräver brytningsbredder som överstiger den ekonomiska gränsen för brytbarhet.

För att kunna utnyttja dessa kvarlämnade malmrester i existerande gruvor samt för att öka möjligheten till att exploatera "nya" fynd, i takt med att det blir svårare och dyrare att öppna stora gruvor, har det visats ett ökande intresse för utveckling av speciellt anpassad småskalig gruvutrustning. Därför startades redan 1984, i SveDeFo:s regi, ett utredningsprojekt som hade till syfte att definiera och föreslå lämplig teknik för brytning av smala malmer. Resultatet av utredningen presenterades på Bergsprängningskommitténs årsmöte 1985/1/, samt i en SveDeFo-rapport "Teknikutveckling för smalmalmsbrytning (DS 1985:4)/2/. Sammanfattningsvis utmynnade utredningen i en rekommendation att starta ett brytningsförsök i Zinkgruvan baserat på skivpallmetoden. Denna metod visade sig ha den största ekonomiska potentialen.

Efter ingående diskussioner mellan gruvföretag, konsulter och maskintillverkare beslutades 1986 att genomföra det föreslagna försöket i Zinkgruvan. Projektet "Teknikutveckling för smalmalmsbrytning(skede 2)", nu i BeFo:s regi, startade under sommaren 1986 med planering och uppföljning av den i Zinkgruvan dominerande igensättningsmetoden. Avsikten med detta arbete var att erhålla en referensmodell att jämföra med resultatet från provbrytningen.

2. Målsättning - "Det svenska konceptet"

Den övergripande målsättningen för projektet är att verifiera att det föreslagna konceptet, dvs skivpallbrytning med klenhål, är ur

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

totalekonomisk synpunkt ett lämpligt system för utvinning av smala, brantstående malmer.

Viktiga förutsättningar för det svenska konceptet är:

- Hög mekaniseringsgrad, små maskiner med litet utrymmesbehov.

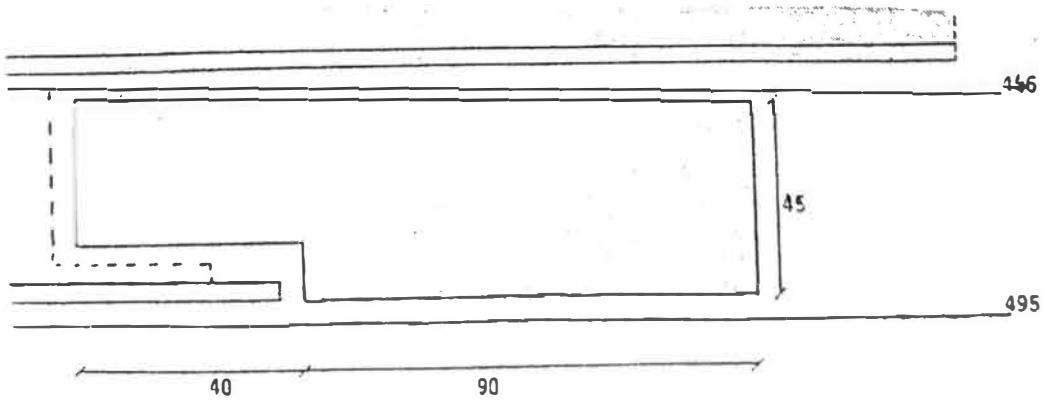
- Hög borrprecision för långa och klena hål (10 m och 38 mm).

- Skonsam sprängning i både ortdrivning och pallsprängning.

3. Försöksområde

Provområdet ligger ostört av annan verksamhet längst österut i huvudmalmen, mellan 495 och 446 m avv. Tillträde till området finns på båda niåerna genom de existerande spårinbyggda orterna. Området karaktäriseras av en tydlig skiktbildning i stryknings- och stupningsriktningarna med distinkta malmgränser. Mineraliseringen är relativt oregelbunden, som är så vanligt hos smalmalmer. Mäktigheten varierar mellan ett par decimeter till ett par meter, men är ändå sammanhängande inom hela malmblocket. Mineraliseringen utgörs av dels en kompaktmalm bestående av zinkblände (15,2% Zn) med impregnationer av blyglans (1,4% Pb) och silver (50g/t Ag) samt dels av en leptitbergart med skiktad zinkimpregnation. Sidoberget närmast malmen består på liggväggen av en kalkskarn-skiktad leptit med kloritfyllda slag. Hängväggen utgörs av en homogen gnejsig leptit av god hållfasthet. Den s k parallellmalmen ligger ca 4-10 m längre ut i hängen. Bergmassan är varken extremt sprickfattig eller genomsatt av förkastningar. Etaget ovanför malmblocket (+446 m avv.) är utbrutet, liksom delar av den västra begränsningszonen i huvudmalmen, se figur 1. Bergtryckssituationen bedöms därför vara representativ för en pågående gruvdrift. Den största huvudspänningsriktningen anses vara horisontell och vinkelrät mot malmen och relativt hög.

Försöksområdet är ca 130 m långt och 50 m högt samt den genomsnittliga bredden ca 1,3 m. Sidostupningen är i snitt uppskattad till 74°. Det totala malmblockets volym är beräknad till 7640 m³, vilket motsvarar ett malminnehåll av ca 23000 ton.



Figur 1. Provområdet

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

4. Projektorganisation

Projektet bedrivs inom BeFo:s ramprogram, där BeFo aktivt deltar som projektledare och samordnare. Övriga deltagare är Vieille-Montagne Sverige i Zinkgruvan, Atlas Copco MCT som ansvarar för framtagning av ny borrutrustning, Sandvik Rock Tool som tagit fram klenborrstål för långhålsborrning, Nitro Nobel för framtagning av lämpligt spräng- och tändmedel samt laddutrustning, SveDeFo som svarar för borr- och laddplaner samt uppföljning av sprängresultat, Tyréns som svarar för övergripande gruvplanering, uppföljningsinstruktioner, sammanställning av resultat samt utvärdering och avrapportering.

5. Förundersökningar

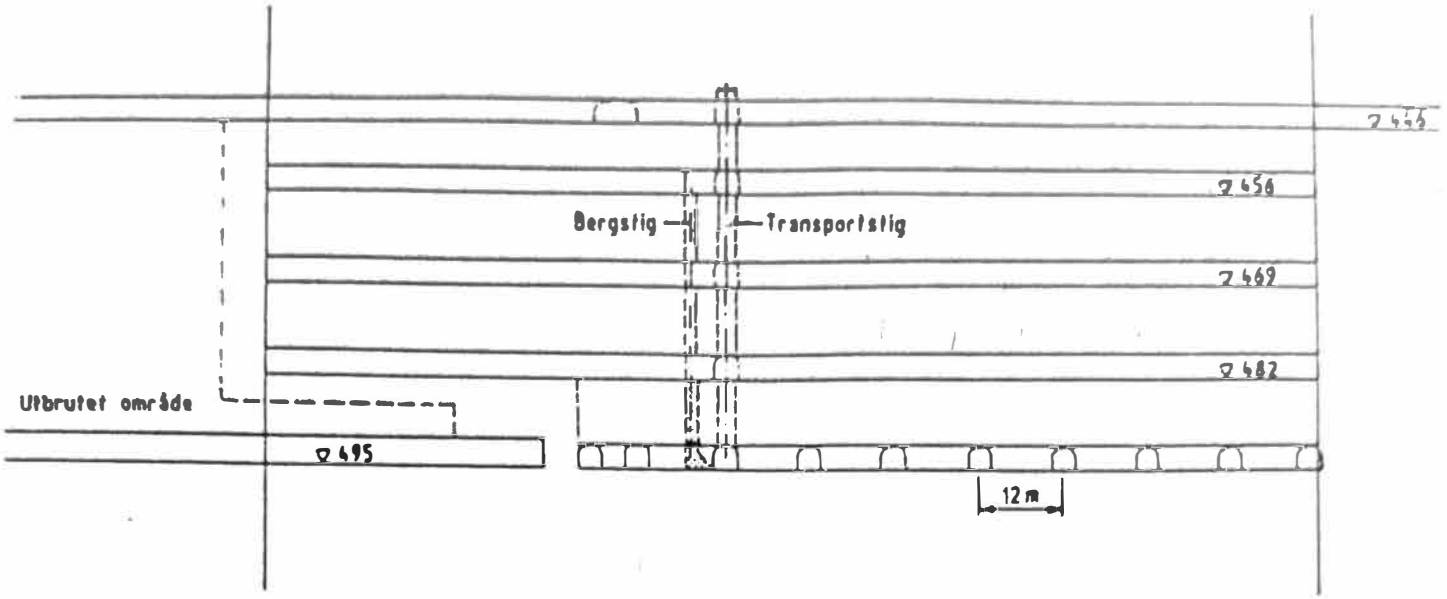
Med tanke på vald brytningsmetod var den tillgängliga malminformationen otillräcklig och därmed var malmkonfigurationen för osäker för att kunna fastställa en brytningslayout. Därför genomfördes en kompletterande förundersökning enligt följande:

- Sammanställning av malm- och strukturgeologiska profiler över provområdet, baserat på fyra kärnborrhål från 446 m avv.
- Ytterligare kärnborrning för att klarlägga malmgeometrin. Endast ett nytt diamanthål blev borrat från 446 m avv.
- Förlängning av transportorten på 495 m avv., plus tillredning av hela bottennivån. Detta utfördes innan layouten fastställdes.
- Dokumentation av provområdets bergmekaniska situation och bedömning av brytningssekvenser och förstärkningsbehov.
- Till förundersökningen kan även inräknas uppföljningen av igensättningsbrytningen i rum 24/500.

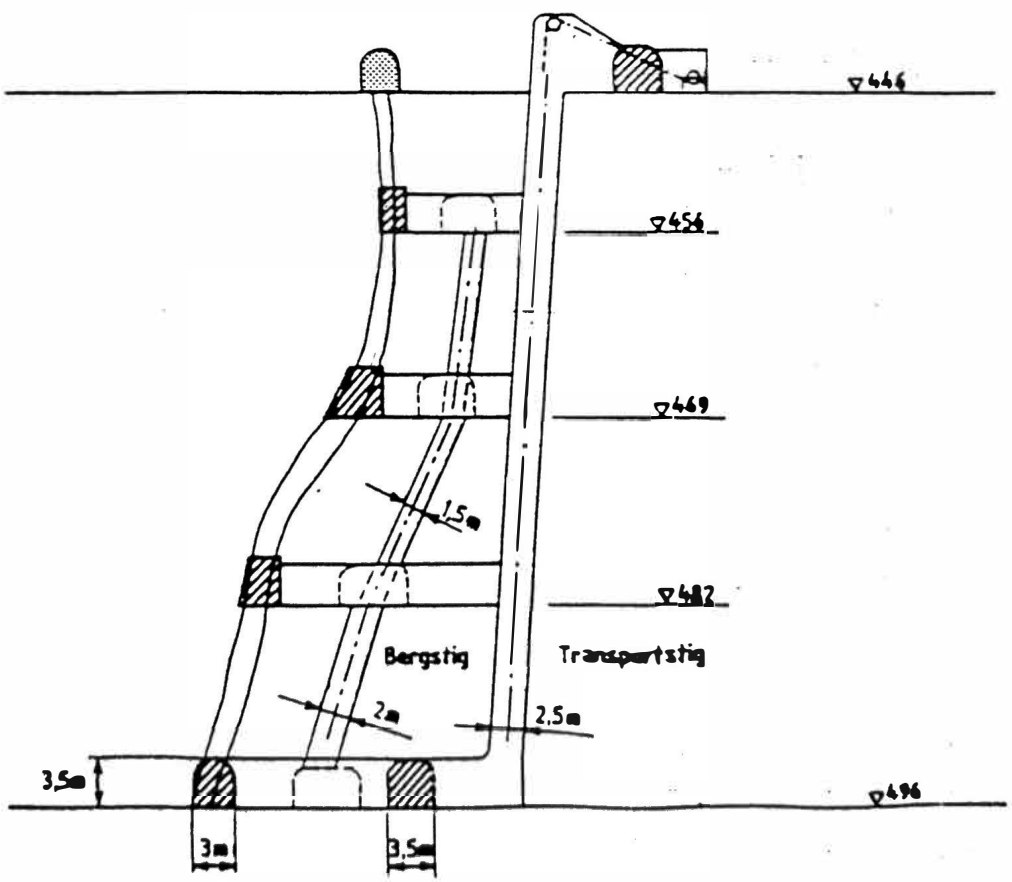
6. Brytningsplan

Med resultatet från förundersökningarna tillgängliga upprättades en brytningslayout över provområdet. Se figur 2 och 3. Skivhöjden fastställdes till 13 m och antalet skivor till tre, vilket ger en max. hållängd på ca 9 m. Bottennivån utformades som ett spårfritt tvärortslastningssystem, för att magasinerande brytning med effektiv utlastning skulle vara möjlig. Vidare valdes schakt som förbindelse mellan de tre skivorna och utlastningsnivån. Beräkningar visade att den brytbara malmmängden var för liten för att bära kostnaden av en brytningsramp i lutning 1:6. Schaktet som är en Alimak-stig med sektionen 2,5x2,5 m² är avsett för person- och materialtransport. Särskilda bergstigar mellan skivorna planerades i liggen mellan schaktet och malmen. Den bergmekaniska modelleringen visade att en 5 m tjock takpelare bör avsättas mot den utbrutna malmdelen ovanför 446 m avv.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 2. Längdprofil av provområdet.



Figur 3. Tvärprofil av provområdet.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Den brytbara malmvolymen, med skivorterna inkluderade, blir ca 9000 m³ eller 26000 ton. På grund av takpelaren erhålls en malmförlust på 13% och på grund av skivorternas bredd erhålls en gråbergsinblandning på ca 24%. Detta utgör alltså utgångsläget inför provet och den primära uppgiften blir att så långt som möjligt förhindra ytterligare gråbergsinblandning.

Den totala tillredningsmängden inom provområdet är:

- Orter i malm = 480 m eller 4200 m³ (ingår i 9000 m³ ovan)
- Orter i gråberg = 285 m eller 3275 m³
- Stigar = 50+30 m eller 385 m³

Brytningsplanen omfattar också ett förslag till brytningssekvens. Den gällande brytningsordningen är framtagen med hänsyn till dels den bergmekaniska modellsimuleringen dels för att erhålla så få maskinflytt mellan nivåerna som möjligt.

7. Maskinutrustning

En genomgång och bedömning av maskinbehovet för hela provet utfördes vilket sedan jämfördes med Zinkgruvans tillgängliga maskinpark. Följande utrustningar befanns vara lämpliga att använda.

- Atlas Copco Promec T463; borrning, ortdrivning 495
  GHH LF 7; lastning, ortdrivning 495

- Alimak el-hiss; stigortdrivning 495-446

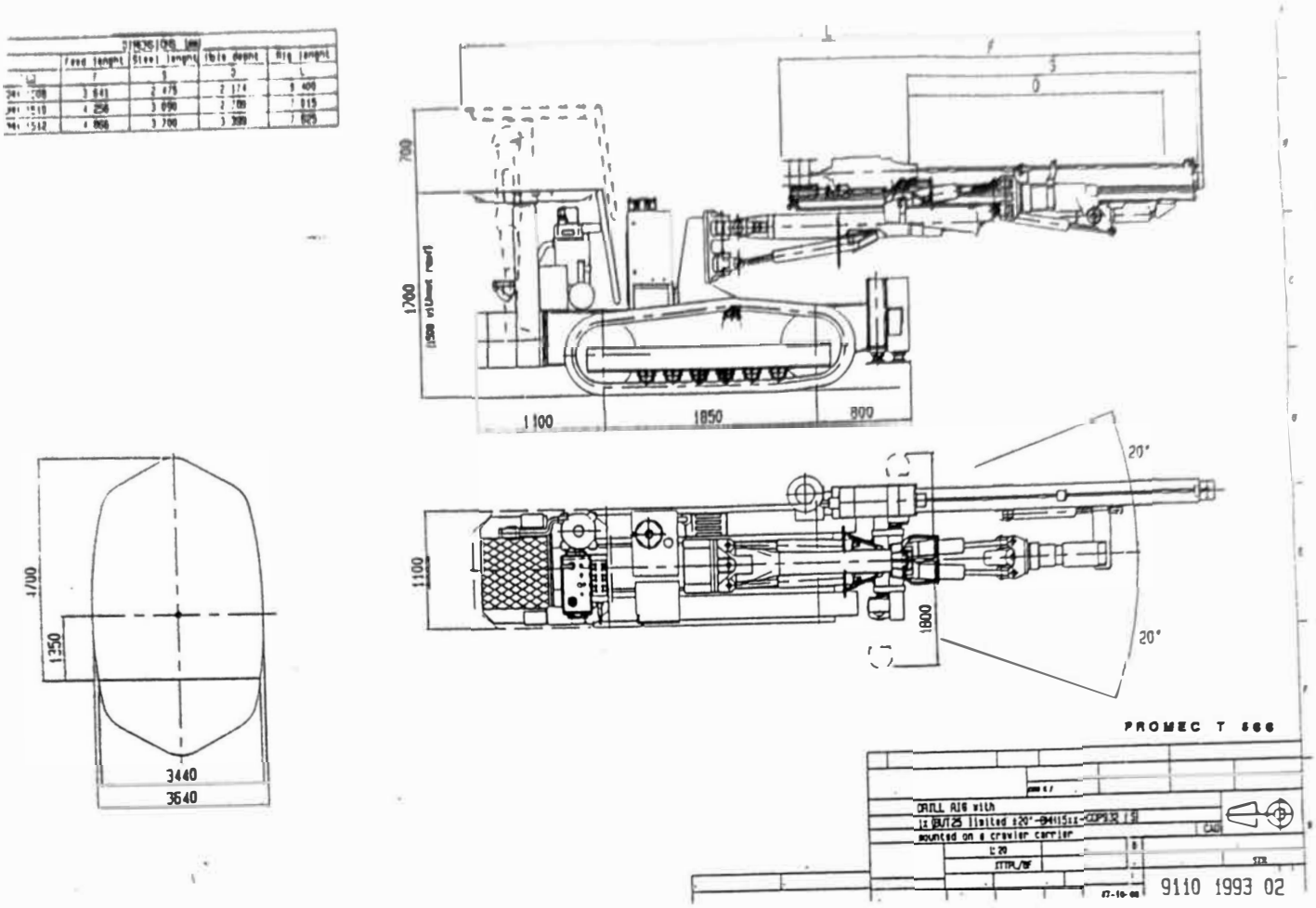
- ARA TORO 150E; lastning,

- Nitro Nobel Jetanol 150; laddning

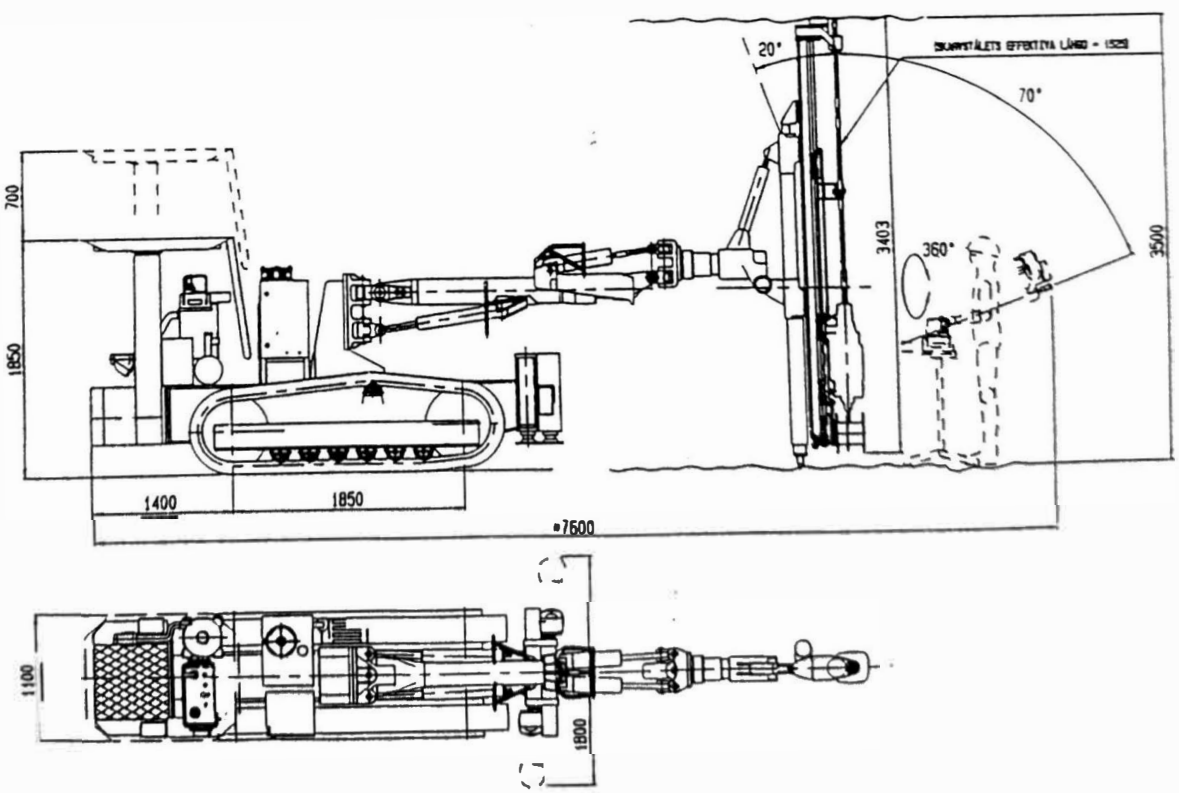
Borrutrustning för såväl skivortdrivning som produktionsborrning saknades. Atlas Copco fick i uppgift att ta fram ett universalaggregat med ca 1 m bredd, tryckluftsdrivet och byggd för högsta möjliga borrprecision. Resultatet blev en ny, mycket kompakt konstruktion, baserad på befintliga komponenter, kallad TRAKKER 526. Bäraren är av "crawler"-typ (ROC 402), dock avsmalnat till endast 1100 mm totalbredd. Riggen är utrustad med en borrbom av typ BUT 25 och en hydraulisk teleskopmatare av typ BMHT 1512 för 3,7 m borrstål (eff. håldjup 3,4 m) med en tryckluftsmaskin av typ COP 932FS. Se figur 4. Vid uppåtriktad långhålsborrning skiftas matare/borrmaskin till BMH 1505/COP 932MS. Se figur 5.

Parallellt med projektet har Atlas Copco utvecklat en helt ny typ av borr-rigg, Boomer H104, utrustad med en ny hydraulisk borrbom kallad BUT 4. Den här bommen klarar inte bara horisontell borrning utan kan också utföra vertikalborrning, t ex takfällning. Riggen har en totalbredd som överensstämmer med en 1-cu.yard LHD, eller 1220 mm. Höjden är 1600 mm i basversionen, dvs utan skyddstak. Riggens sidor lutar inåt ca 15 grader, vilket, beroende på malmstupningen, kan vara en stor fördel i smala orter eller brytningsrum då det skapar möjlighet att komma närmare hängväggen. Se figur 6. Bommen är dessutom så konstruerad att borrmaskinen alltid kan vändas mot bergväggen på båda sidor, så

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

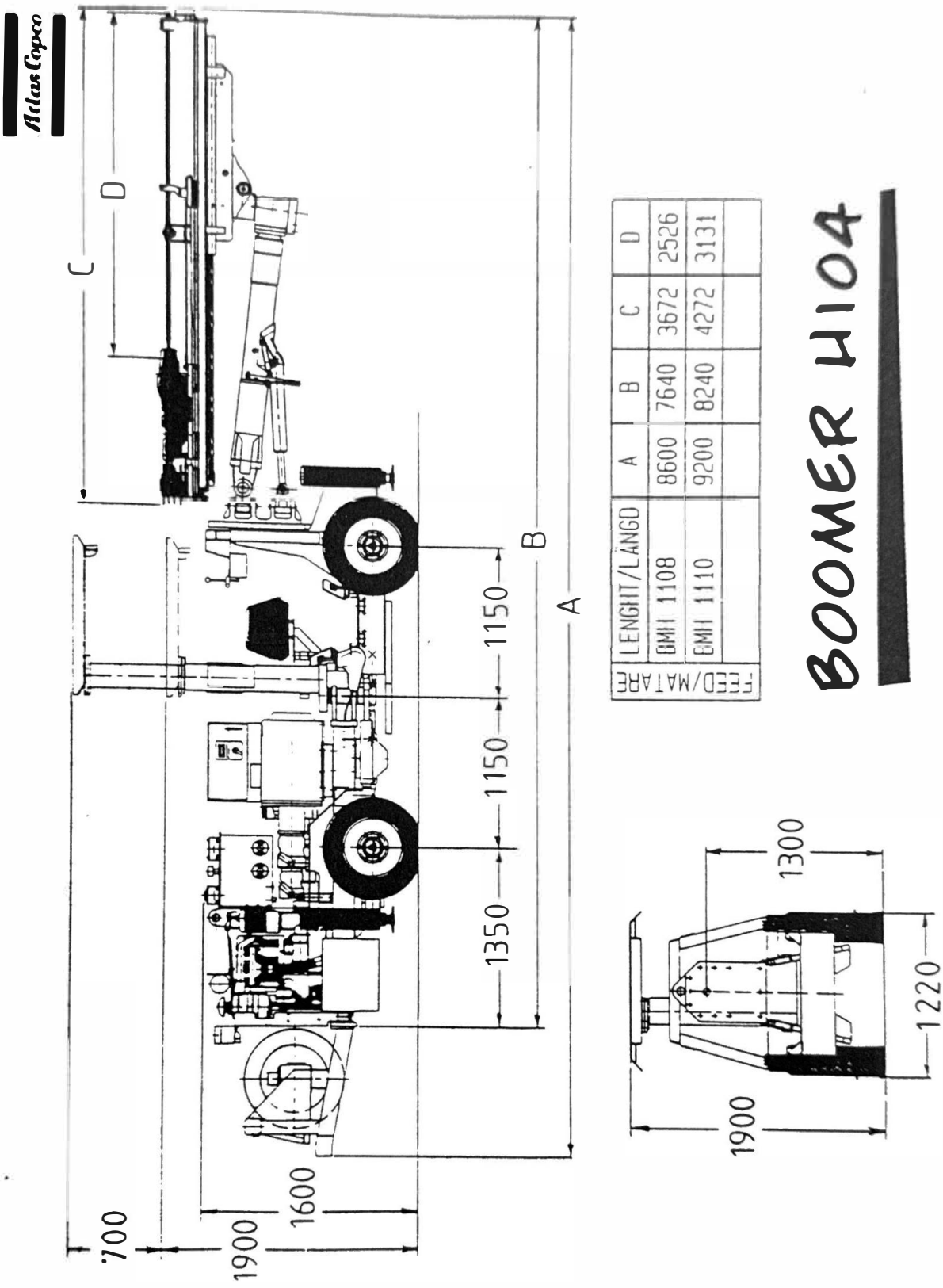


Figur 4. Trakker 526 för ortdrivning.



Figur 5. Trakker 526 för långhålsborrning.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare



FEED/MATARE LENGHT/LÄNGD	A	B	C	D
BMH 1108	8600	7640	3672	2526
BMH 1110	9200	8240	4272	3131

Figur 6. Boomer H 104.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

att konturhålen hamnar nära väggen för minimal stickningsvinkel. En matare för 3,0 m borrstål har valts för detta projekt. Teleskopmatare finns också tillgänglig för att klara den vertikala bultborrningen. Borrmaskinen är i detta fall en COP 1032, hydraulmaskin med 7,5 kW effekt. Riggen i Zinkgruvan är en av två prototyper, den andra går i Kanada.

Sandvik Rock Tool har i samarbete med Atlas Copco tagit fram ett skarvborrstål för 38 mm håldiameter. Efter ett omfattande testprogram i Sandviks egen gruva, Bodås, valdes ett system baserat på "MF-rod"-modellen. Se även avsnitt 10.

För precisionsinriktning av produktionshålen har Atlas Copco i samarbete med det norska företaget DIRECTOR utvecklat ett avancerat mätinstrument som inte bara avläser hålvinklarna utan också har förmågan att helt automatiskt flytta borrmataren från ett hål till nästa. Man kan säga att instrumentet "navigerar" borrkronan från hål till hål enligt ett inprogrammerat borrmönster. Mer om detta i avsnitt 10.

8. Uppföljning

Huvudsyftet med uppföljningen är att dokumentera väsentliga parametrar som påverkar, dels den oavsiktliga gråbergsinblandningen dels uppkomna malmförluster. Dokumentationen består av tre huvudområden för varje enhetsoperation, nämligen:

- tidsstudier (från personalens tidkort)
- prod.kostnader (från gruvans saldolistor)
- produktion/produktivitet (från uppföljningskort)

Malmgeologi/geometri inhämtas successivt med ökad informationsmängd, baserat på gruvans egna inmätningar och karteringar.

Ansvarig för uppföljningen, liksom för avrapporteringen, är BeFo. Den dagliga uppföljningen ombesörjs både av gruvans egen personal vid provområdet och av elever från Bergskolan i Filipstad. Sammanställning och utvärdering av dokumentationen från provbrytningen utförs av Tyréns och SveDeFo.

9. Utförande - Ortdrivning

9.1 Kommentarer

Förberedelse- och tillredningsarbeten avslutades i höstas (Nov.- 90). Transportschaktet med nivåpåhugg och bergstigar utfördes på entreprenad. Resten av bergarbetena utfördes med gruvans egen personal.
Förutom att tjäna som borrorter ger skivorterna information om malmgränsernas läge samt dessutom en betydande del av malmfångsten (ca 45-50%). Därför var det särskilt viktigt att under ortdrivningen kartera malmgränsernas läge i sulan, salva för salva. Takkartering utfördes när hela orten var driven.
En annan mycket viktig faktor att vara observant på under drivningsfasen är att minimera ortbredden för att reducera den metodbundna gråbergsinblandningen. Härvidlag kom

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

lastmaskinen (Toro 150E) att bli dimensionerande. Dess maskinbredd på ca 1.4 m kräver en ortbredd av 2.4 m med föreslagen ortprofil, se figur 7. Takhöjden i skivorten dimensionerades av borriggens matarbalk som i vertikal position mätte 3,6 m. Den planerade ortsektionen sattes därför till 2,4x3,8 m². Den verkliga ort-arean utföll genomsnittligt till 2,6x4,0 m². Den större medelbredden förklaras av att lastmaskinens totallängd krävde större plats där orten kurvade. Därmed ökade den beräknade gråbergsinblandningen i ortdrivningen från 46% till 50%. Motsvarande siffror räknat på den totala brytbara malmmängden blir från ca 24% till 27%. En smalare lastmaskin, lika med Boomer 104:ans bredd, hade möjliggjort en ortsektion med 2,0 m bredd, se figur 8, och därmed reducerat den totala gråbergsinblandningen till 20%.
Den förstorade ortsektionen kan emellertid inte belastas av felborrningar eller sprängskador; ortsalvorna har i stort gått ut bra med en medelindrift per salva runt 3,0 m. Olika borrhålsplaner och sprängmedel har testats. Se följande avsnitt 9.2.

9.2 Prov med skonsam sprängning

I samband med ortdrivningen på nivå-469 testades olika spräng-ämnen för att i konturen åstadkomma en fin slutkontur. Syftet med detta var naturligtvis att reducera gråbergsinblandningen som vid tillredningen kan bli hög.

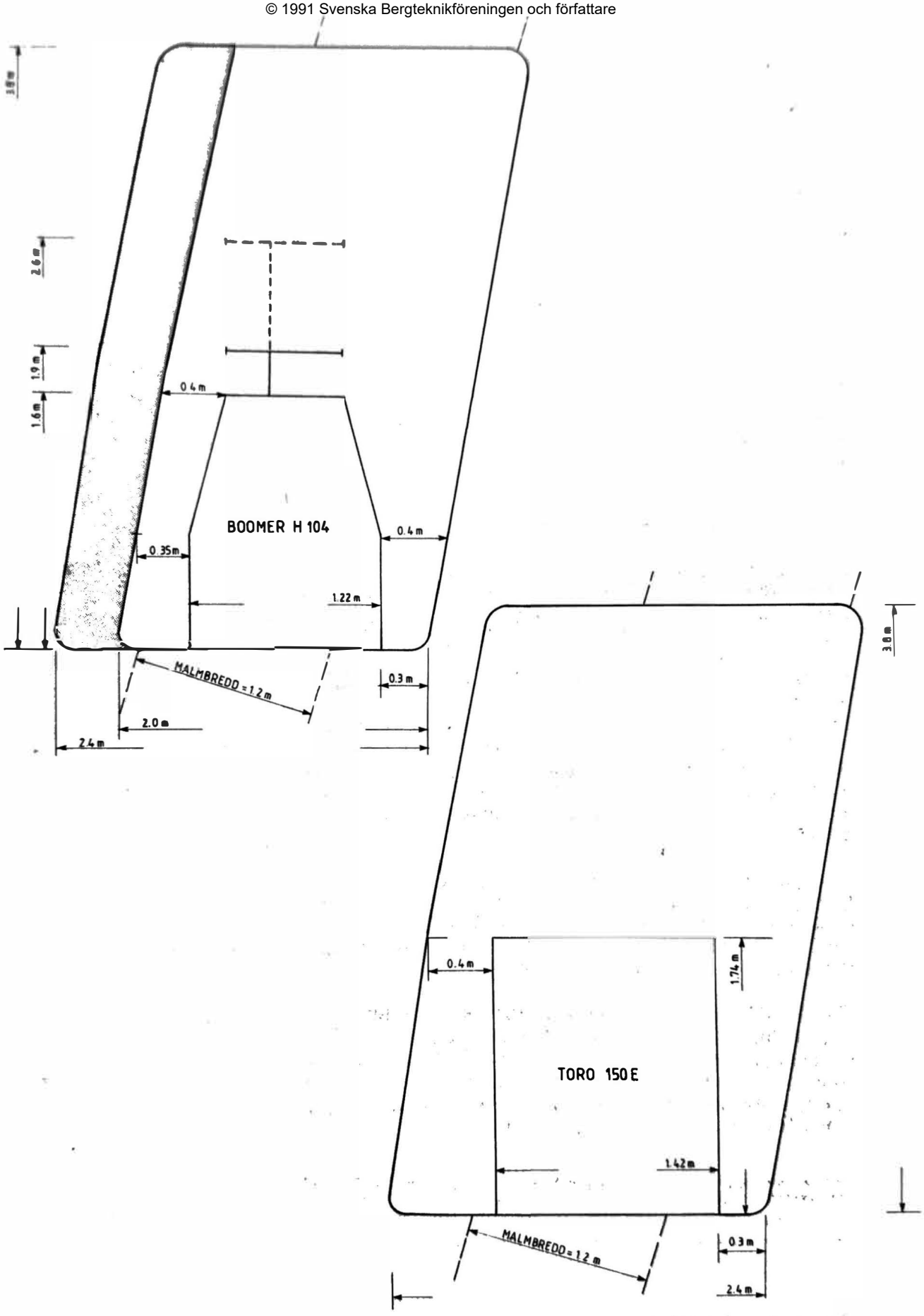
SveDeFo hade ansvaret för detta prov, liksom för borr- och sprängplaner i hela projektet. För provet med skonsam sprängning valdes en borr-layout bestående av 18 konturhål, 30 strosshål och 4 sulhål samt 1 öppningsgrovhål, se figur 9. Provet omfattade test av 3 olika konturspräng ämnen, Kimit, Emulet och slev-ANFO. Varje sprängämne skulle testas i 5 salvor, vilket ger totalt 15 salvor. Standardsprängämnet för kontursprängning i gruvan är Kimit 22.

Emulet är ett nytt sprängämne som utvecklats av Nitro Nobel. Emulet, som är blåsbart, består av ANFO, styropor och en mindre mängd emulsion. Emulet går också att ladda i uppåtriktade hål. Emulet 30 och 50 provades. Siffrorna anger sprängstyrkan i procent i förhållande till ANFO.

Slev-ANFO är en laddmetod, utvecklad i Grängesberg /3/, avsedd att reducera sprängstyrkan i horisontella hål /4/. Laddutrust-ningen är densamma som för ANFO fast nu med en s k slev påskruvad längst fram på laddslangen. Sleven, se figur 10, består kort-fattat av en uppslitsad, förstyvad, laddslang som vid laddning fördelar ut ANFO i en sträng längs hålet.

Figur 10: Laddslev

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 7 och 8. Maskinbreddens betydelse för ortutformning.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

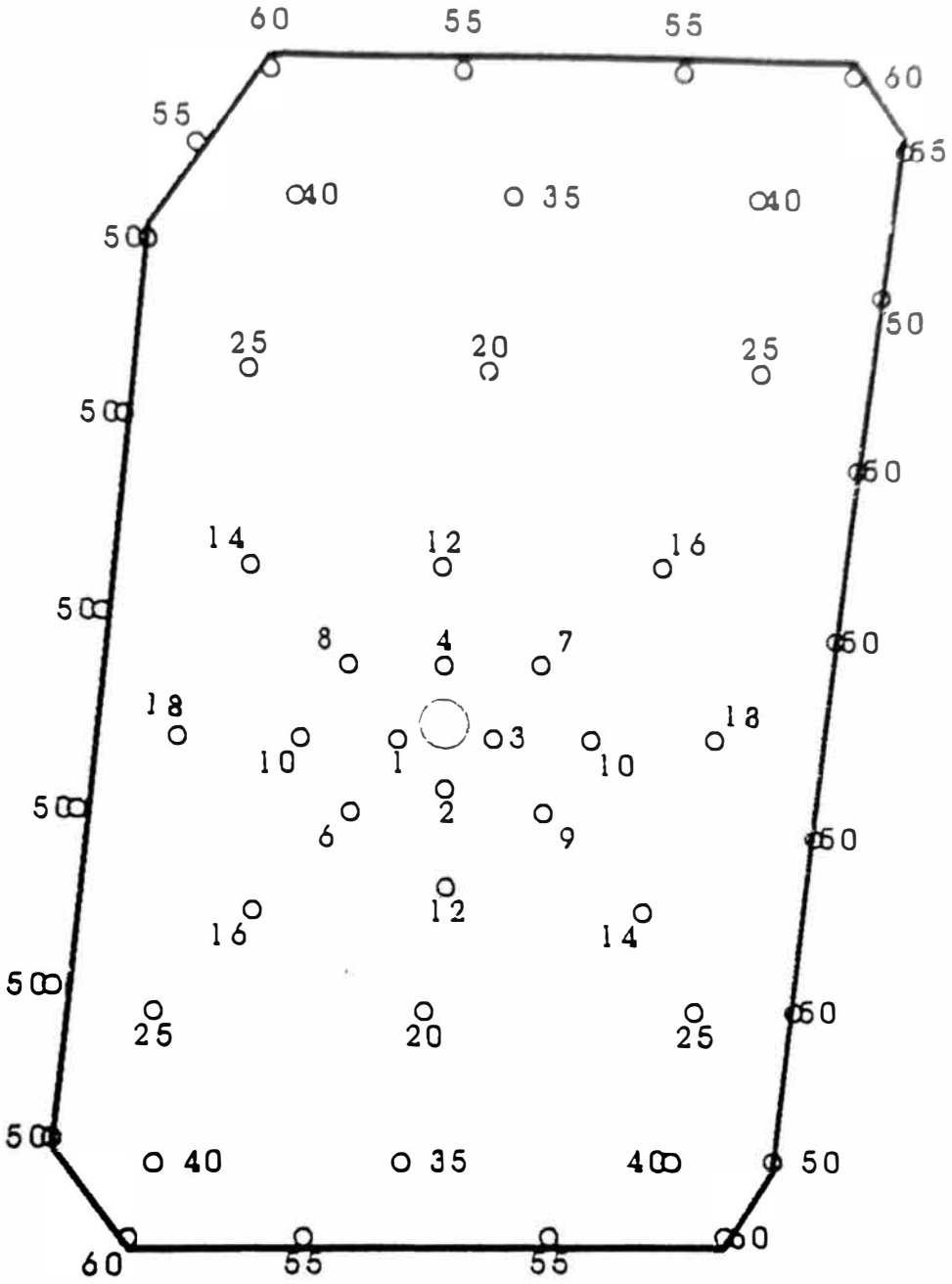


Fig. 9. Borr-laddlayout

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

I 38 mm hål gäller följande för dessa sprängämnen:

Spräng-ämne	Laddning kg/m	Viktstyrka rel ANFO	Densitet kg/l	Det.hast. m/sek.
Kimit 22	0.4	0.8	1.13	4400 /5/
Slev-ANFO	0.25	1.0	0.85	2300 /4/
Emulet 50	0.57	0.9	0.50	2650 /6/
Emulet 30	0.37	0.8	0.33	1850 /6/

I öppningshål och strosshål användes Prillit och sulhålen laddades med Dynamex M. Nonel GT/T sprängkapslar användes för initiering.

Uppföljning av skonsam sprängning är svårt. Det gäller att hitta en rimlig nivå på insatserna. Vi valde här att kartera synliga, dvs halva borrpipor och kvarstående hela borrpipor. Salvorna fotograferades före och efter sprängning och indrifter registrerades. Speciella uppföljningskort för provet togs fram.

En sammanställning av alla salv- och uppföljningskort ger andel synliga borrpipor och kvarstående hål samt indrifter, antal gräv (dvs antalet lastmaskinsskopor som använts vid utlastning av salvan) och antal bult.

I figur 11 visas i stapelform andelen synliga pipor och kvarstående hål för de olika sprängämnena. Slev-ANFO är det sprängämne som i detta prov visar det bästa resultatet. Slev-ANFO har den högsta andelen synliga borrpipor följt av Kimit och Emulet 30. Slev-ANFO och Emulet 30 har också en högre andel kvarvarande hål, vilket beror på att de är svagare sprängämnen. Laddning med slev-ANFO är också mycket enkelt och medför att samma sprängämne kan användas i alla hålen. Slev-ANFO blev därför mycket omtyckt av laddarna. Indriften blev också bäst med slev-ANFO.

Kimit, som är ett patroniserat sprängämne, har också fungerat mycket bra. Dock kunde man ibland på berghögen hitta utslängda Kimit-stavar.

Emulet 30 provades endast i två salvor och därmed gott resultat. Emulet 50 var för starkt sprängämne i detta prov.

En utförligare rapport, "Skonsam sprängning av smala orter i Zinkgruvan", SveDeFo DS 1990:2 /7/, finns utgiven.

Vid smalmalmsbrytning är det mycket viktigt att hålla nere gråbergsinblandningen. Skonsam sprängning är en förutsättning för detta. Dessutom kan förstärkningsinsatserna reduceras vid skonsam sprängning, vilket bör leda till en säkrare arbetsplats och även en snabbare framdrift. Dessa fördelar kan vara svåra att uttrycka i ekonomiska termer. I SveDeFo-rapporten "Teknikutveckling för smalmalmsbrytning /2/ är konsekvenserna av gråbergsinblandningen undersökta. En sänkning av den totala gråbergsinblandningen med 1% medför i denna malm en vinstökning på ca 5 SEK/ton. Detta innebär alltså en vinstökning på 450 SEK per ortsalva. Kostnadsökningen för skonsam sprängning bör alltså intjänas genom en säkning av gråbergsinblandningen.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SKONSAM SPRÄNGNING

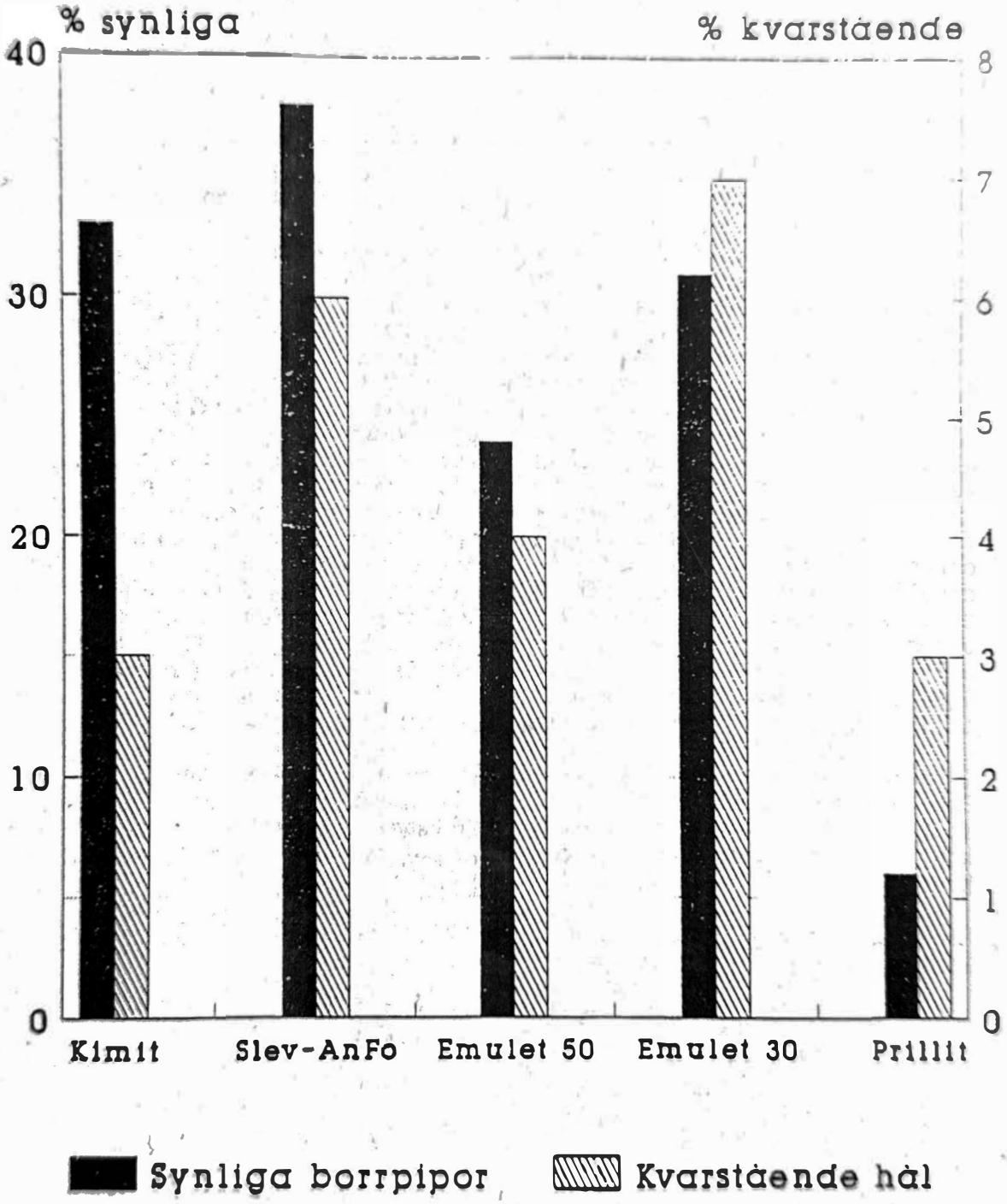


Fig.11. Fördelningen av synliga pipor och kvarstående hål.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ortdrivningen är nu helt avslutad i smalmalmsprojektet. Nu återstår pallborrning innan själva brytningen kan starta.

10. Utförande - Pallborrning

En nivå är nu helt färdigborrad för pallsprängning. Hållängden är ca 9 m, försättningen är 0.8 m och den för långhålsborrning ovanliga håldimensionen 38 mm. Denna diameter valdes i syfte att ge en låg laddningskoncentration, kort skadezon och därmed en fin slutkontur med låg gråbergsinblandning. För detta utvecklade Sandvik i samarbete med Atlas Copco nya borrstål som, förutom att ge raka hål, även skulle ge god borrstålsekonomi och god borrsjunkning.
Valet blev 1.5 m skarv-stål, typ "MF-rod", med R 25 gänga och H 28 sektion. Nack-adaptrar är av hontyp. Detta innebär att den första stången i borrsatsen blir ett extensionsstål med utvändiga gängor i båda ändar. Pallen borras med Atlas Copco:s TRAKKER 526. Atlas Copco har tillsammans med det norska bolaget DIRECTOR utvecklat ett avancerat hålinriktningsinstrument för att ge exakt påhuggsriktning vid pallborrningen. En målad linje i taket tjänstgör som referenslinje. Två lampor på denna del av utrustningen inriktas mot linjen och vinkeln mellan riggen och referenslinjen kan därmed bestämmas. Datorn håller nu reda på denna vinkel. Rigginriktningen i orten saknar betydelse. Mataren flyttas nu till önskad påhuggspunkt och riktning, allt enligt borrplan varvid sido- och framåtlutning kan avläsas på en display. Genom att "knappa in" hålavstånden (från referenslinjen till respektive hål i raden) och hålriktning kan datorn automatiskt flytta mataren med hög precision från hål till hål. Hålprecisionen har också varit bra. Merparten av hålen har varit ljusraka. En annan stor fördel är att utsättningen begränsats till en syftlinje plus markering av varannan hålrad.

I några olika omgångar har provsprängning i pallen utförts. Emulet och ANFO (Prillit) har testats. En rad består oftast av 3 st hål. Planerna var att använda den svagare varianten Emulet i konturhålen för att reducera gråbergsinblandningen. Brytningsbredder ner mot 1.2 m har sprängts med framgång.

Provbrytningen planeras att avslutas till sommaren 1991. Därefter kommer en slutrapport att utges av BeFo.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

11. REFERENSER

1. Olsson, Mats
   Thorshag, Hans
   Brytning av smala malmer.
   BK-85.

2. Olsson, Mats
   Thorshag, Hans
   Teknikutveckling för smalmalmsbrytning.
   SveDeFo rapport DS 1985:4.

3. Rådman, Bengt
   Tano, Christer
   Reducerad ANFO med "slevmetoden".
   Intern rapport, SSAB Grängesberg, 1988.

4. Niklasson, Bengt
   Olsson, Mats
   Fältmätningar med slev-ANFO.
   SveDeFo rapport DS 1989:3G.

5. Kimit AB
   Samtal med Torbjörn Naarttijärvi.

6. Engsbraaten, Björn
   Rocmec 2000 och Emulet - två nya produkter från Nitro Nobel AB.
   BK-90.

7. Olsson, Mats
   Karlsson, Lena
   Skonsam sprängning av smala orter i Zinkgruvan.
   SveDeFo rapport DS 1990:2.