© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SKIVRASBRYTNING VID LKAB - PROBLEM OCH MÖJLIGHETER

Håkan Selldén, LKAB

Sammanfattning

Efter mer än 40 års tillämpning av skivrasbrytning inom LKAB finns det fortfarande problem med att få fram tillräckliga mängder med lågfosformalm och upprätthålla höga utbyten.

Den ständiga jakten på kostnader har medfört uppskalning av såväl maskiner som brytningsmetod. Detta har gjort det ännu svårare att på ett optimalt sätt bemästra brytningsmetoden. För att inhämta kunskap om skivrasets funktion i dagens skala genomfördes mellan 1996 - 1997 bland annat storskaliga prov med att placera markörer i malmen vilka sedan samlades in under utlastningsprocessen. Resultaten från dessa prov pekar nu mot att förändringar av metoden, till varianter som provades redan under första halvan av 1970-talet, kan erbjuda nya möjligheter för skivrasbrytningen.

Det grundläggande problemet är att uppnå tillräckligt bra fragmentering. Ofullständig fragmentering medför störningar i malmflödet och därmed lastning av gråberg och malm av annan kvalitet än den senast skjutna, samtidigt som annan malm lämnas kvar för alltid. Bättre fragmentering kan åstadkommas genom att borrplanen förändras från dagens solfjäder till en med nära parallella sprängborrhål. Skillnaden i sprängämnesfördelning mellan dagens och framtidens borr- och laddplan har kvantifierats.

Inledning

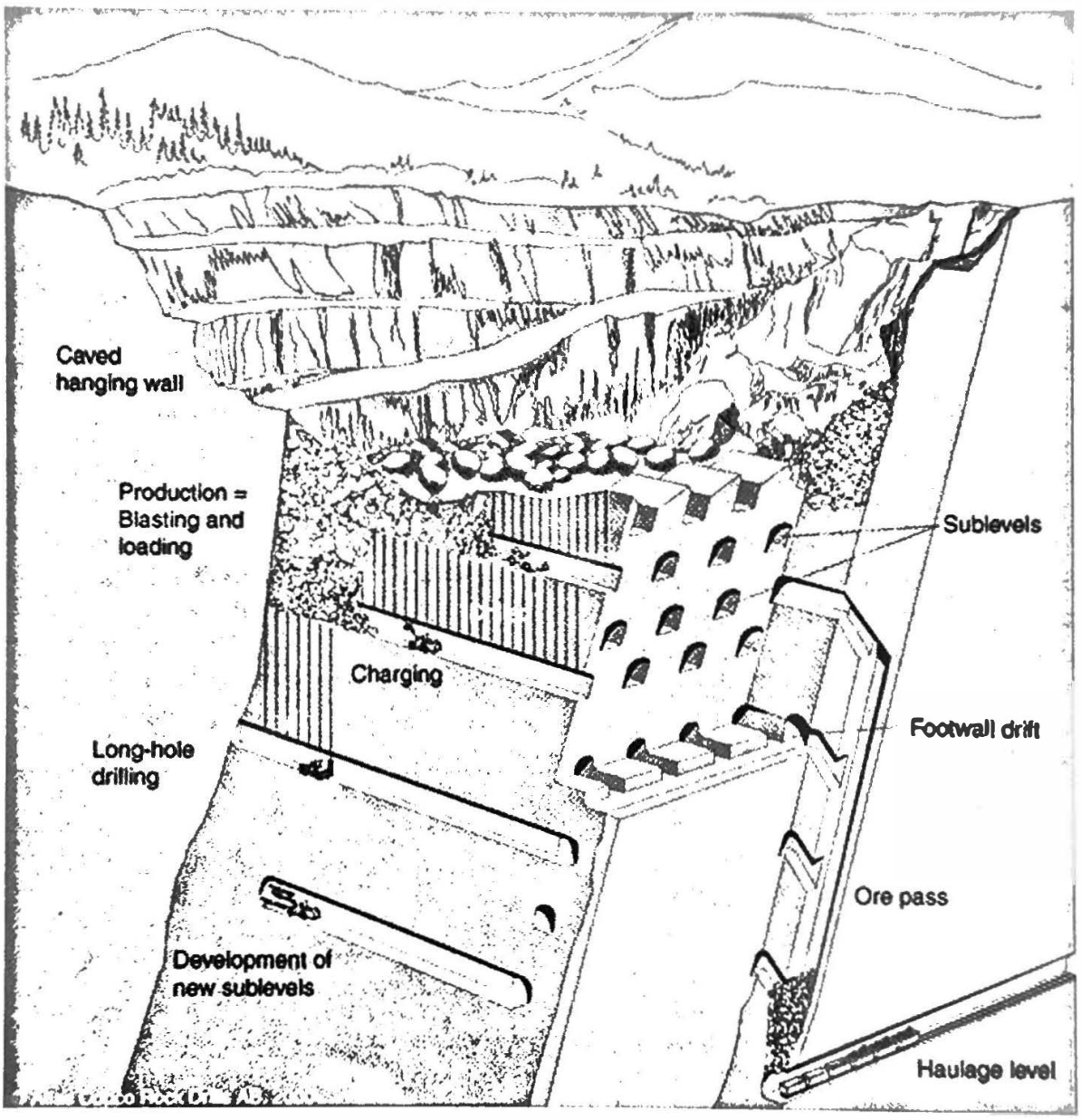
De första försöken med skivrasbrytning gjordes redan på 1940-talet i Koskullskullegruvan, då en del av det tjeckiskägda Bergverks AB Freja och sedermera införlivad i LKAB Malmberget. Metoden användes sedan i gruvor inom Malmberget och infördes därefter i Kirunavaara när man gick under jord 1962. Under åren har man testat både olika varianter av skivrasbrytning och även helt andra metoder, men idag bryts nästan all malm med skivrasbrytning. Efter så lång tid kan man tycka att kunskaperna om metoden borde vara mycket goda hos samtliga medarbetare och att utbyten, dvs. andel utvunnen malm av totalt tillgänglig, ständigt skulle ha förbättrats.

Det visar sig emellertid att så inte är fallet utan utbytet har istället försämrats. Detta beror säkerligen på att kraven på kostnadssänkningar har drivit fram en allt större skala hos brytningsmetoden. Med skala förstås här avstånd mellan orter i höjd- och sidled och därmed borrhålslängd och –diameter. Denna uppskalning bjuder på nya utmaningar för laddning och borrningsprecision, men även på nya fenomen som har direkt med brytningsmetoden att göra.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Beskrivning av Skivrasbrytning

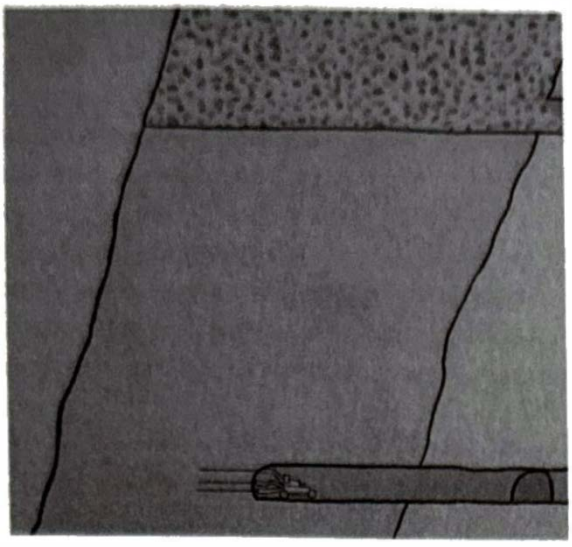
Nedan återfinns en beskrivning av skivrasbrytning, ungefär så som metoden tillämpas i LKABs gruvor.



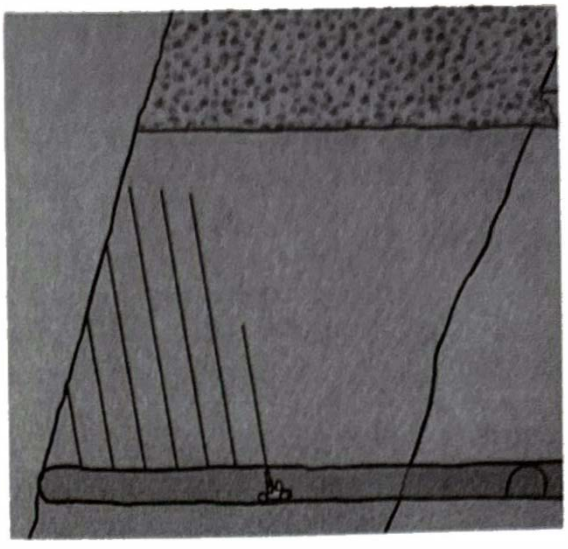
Figur 1. Perspektivskiss över Skivrasbrytning

Man skaffar sig först tillträde till malmen genom tillredning. Detta innebär drivning av en fältort i liggväggen parallellt med malmen. Från denna drivs sedan med jämna intervall, ortavstånd, tvärorter in i malmkroppen (Fig. 2). När tillredningen är klar på en nivå har man tillrett en skiva. Under tiden har man också drivit en snedbana nedåt till nästa skiva. Det vertikala avståndet mellan två skivor kallas skivhöjd. Centrumlinjen i en tvärort på en skiva ligger mitt emellan två centrumlinjer (C_L) på ovanliggande skiva (Fig. 4). På så sätt blir det möjligt att sedan nå hela den vertikala malmarean med sprängborrhål.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

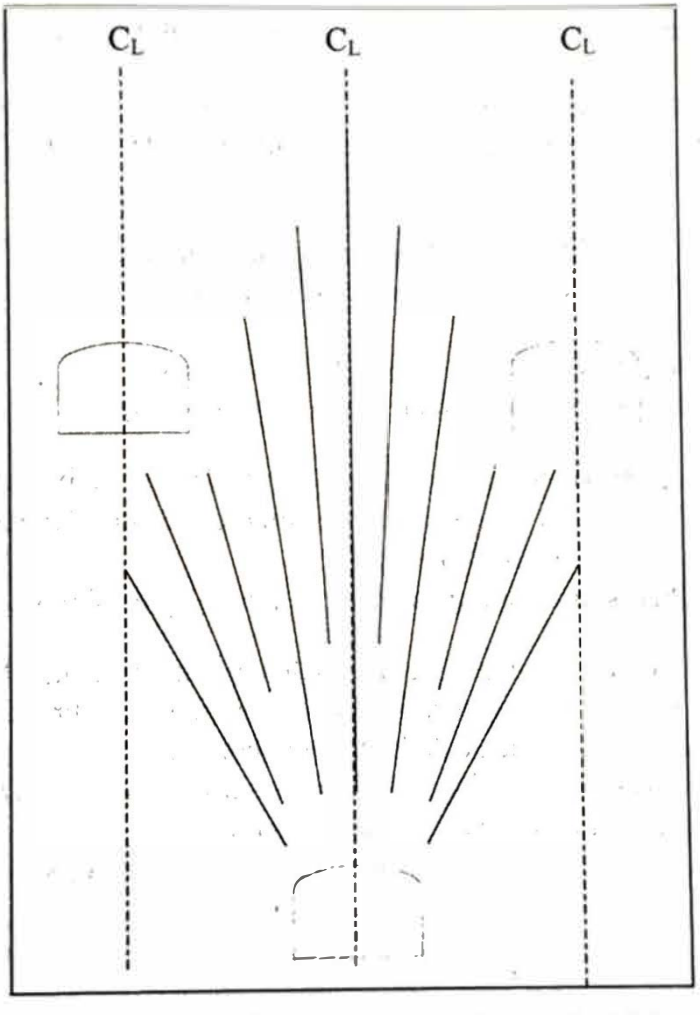


Figur 2. Tillredning i Skivrasbrytning



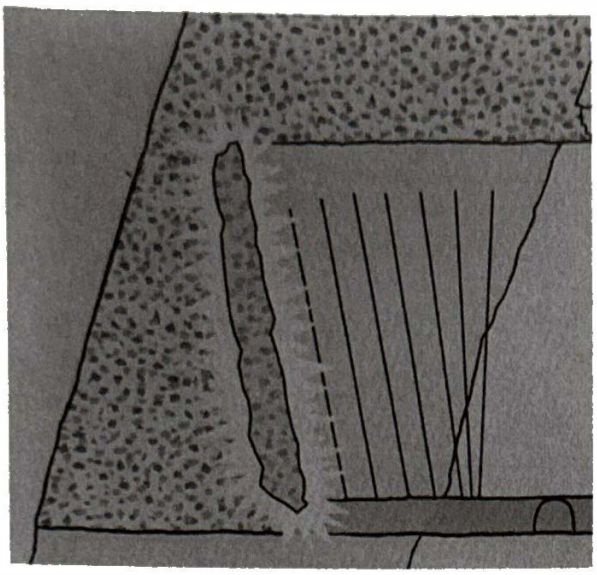
Figur 3. Rasborrning i Skivrasbrytning

Nästa steg är produktionsborrning där sprängborrhålen borras (Fig 3). Dessa placeras i ett s. k. solfjädermönster där hålen är vinklade i förhållande till varandra (Fig. 4). Ortavståndet överstiger vida tvärortens bredd och för att fördela sprängämne över hela arean måste borrhålen vinklas på detta sätt.

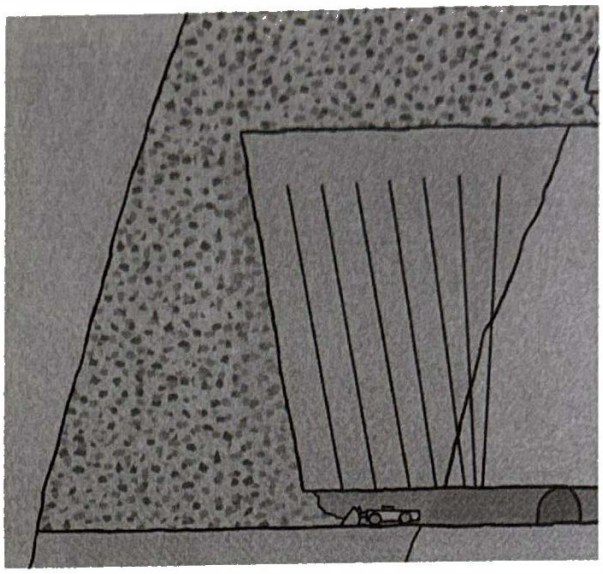


Figur 4. Typisk borrplan i dagens skivrasgeometri. Ortavstånd 25 m och skivhöjd 29 m.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 5. Sprängning i Skivrasbrytning



Figur 6.. Lastning i Skivrasbrytning

När ett tillräckligt antal tvärorter på en skiva är uppborrade kan produktionen starta. Produktionsfasen består av laddning, sprängning och lastning. Normalt har man laddat två till fyra borrkransar bakom den senast sprängda innan nästa sprängs (Fig. 5). Sedan lastas denna krans ut (Fig. 6) varefter det åter är klart laddning och sprängning.

Skivrasbrytning är en enkel brytningsmetod som går bra att mekanisera. Samma tvärort in i malmen används för såväl produktionsborrning som laddning och lastning. Olyckriskerna kan anses lägre än för många andra metoder då man arbetar i orter som står under längre tid och därför kan förstärkas permanent. Dessutom lämnas inga öppna rum.

Järnmalm torde vara särskilt lämpad för brytning med denna metod då det finns några faktorer som underlättar beslut om när en salva är slutlastad:

- Järnmalm är svart medan gråberg oftast har ljusa färger
  - Järnhalt/Gråbegsinblandning kan skattas med blotta ögat.

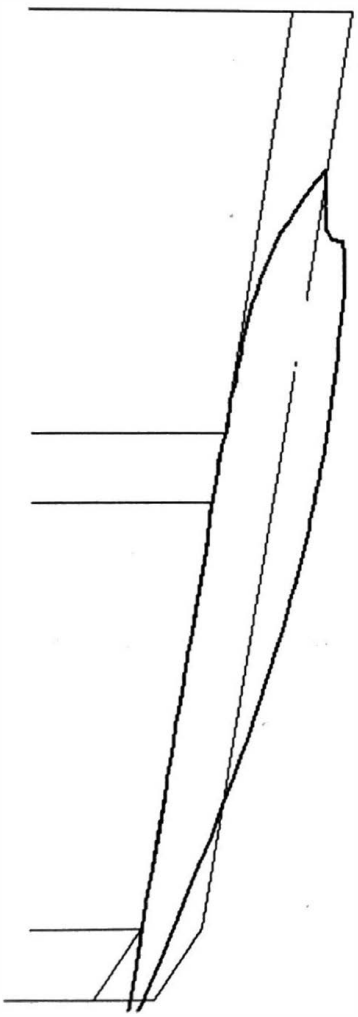
- Järnmalm är tung, densiteten är typiskt 4,5 ton/m^3 jämfört gråbergets 2,8 ton/m^3.
  - Operatören känner en tydlig skillnad i lastmaskinens uppförande mellan hög järnhalt och hög gråbergsinblandning.
  - Järnhalt/Gråbergsinblandning kan skattas med hjälp av skopvåg

Järnmalmen består i huvudsak av magnetit som är starkt magnetisk, vilket medför en högre toleransnivå för den höga gråbergsinblandning vid skivrasbrytning. Det är nämligen förhållandevis billigt och enkelt att sovra bort en stor del av gråbergs-inblandningen före sekundärkrossning och framför allt före malning. Det inblandade gråberget behöver därför inte malas, vilket är kostsamt.

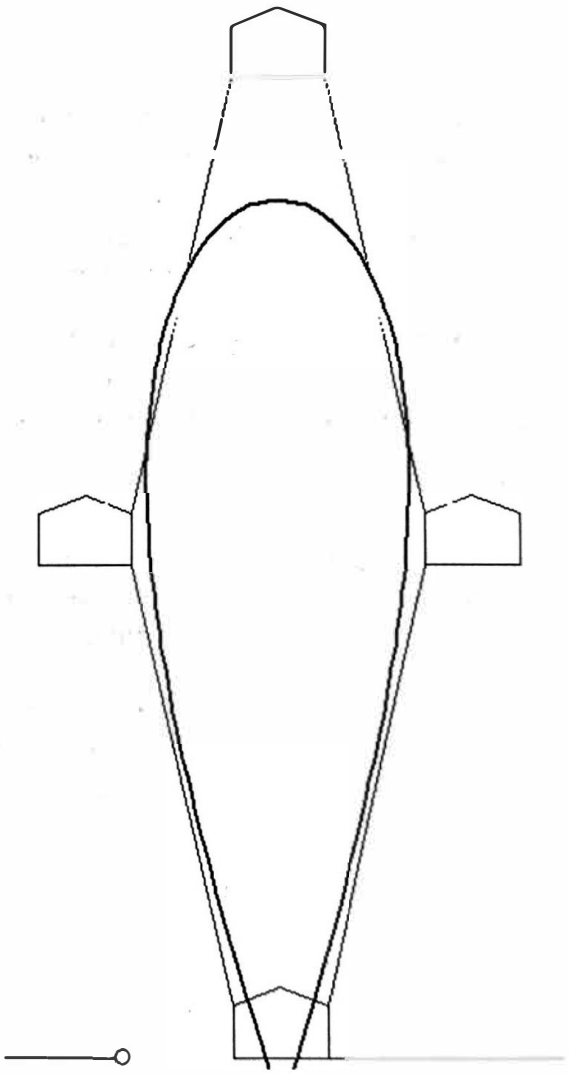
© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Lite om gravitationsflöde

Vid tunneldrivning lastar man ut exakt det berg man nyss har sprängt lös. Samma sak gäller för de flesta gruvbrytningsmetoder, men inte för skivrasbrytning. Där sprängs malmen lös och ligger sedan i kontakt med nedrasat gråberg och malm som är kvar från tidigare salvor. Gravitationen transporterar malmen ner till dragpunkten allt eftersom det berg som lastas bort ger plats för närmast ovanliggande berg att falla ner. Detta fenomen kallas gravitationsflöde eller rasflöde och har studerats ingående i såväl analytiska som numeriska och fysikaliska modeller. Fullskaliga fältförsök är däremot få och resultaten från dessa är inte enkla att tolka.



Figur 7a. Idealiserad dragkropp vid 105% utlastningsgrad sedd från sidan med salvans ursprungliga läge indikerad



Figur 7 b. Idealiserad dragkropp vid 105% utlastningsgrad sedd i tvärortens längdriktning

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

För att kunna uppskatta innehållet i det utlastade berget behöver man veta varifrån det kommer. Varje sten i en lastad skopa har en ursprunglig position i den fragmenterade bergmassan ovanför bröstet. Denna position motsvarar läget omedelbart efter sprängning. I en modell är det enkelt att bestämma denna. En dragkropp innehåller alla de stenar som lastats ut från en salva vid en viss utlastningsgrad (Fig. 7).

Med utlastningsgrad förstås kvoten mellan utlastad bergmängd från en salva och det teoretiska innehållet av malm och ev. gråberg i samma salva. Malmförlusten dras ifrån det teoretiska innehållet, medan gråbergsinblandningen läggs till och kvar blir utlastad bergmängd. Optimal utlastningsgrad är normalt högre än 100% eftersom man är beredd att ta en högre gråbergsinblandning för att begränsa malmförlusten.

Modellen är användbar för att teoretiskt uppskatta gråbersinblandning, järnhalt, utbyte och för att studera skillnaderna i dessa vid olika förhållanden mellan ortavstånd, skivhöjd och försättning. När man ritar in en sådan dragkropp ser man hur mycket malm och gråberg som kan förväntas vid utlastning av en salva.

Det allmänna utseendet hos raskroppen i figuren (Fig. 7) är i stort sett detsamma i analytiska, numeriska och fysikaliska modeller. Tyvärr visar det sig vid fältförsök, där man placerat markörer i den fragmenterade bergmassan, att det blir det mycket stora avvikelser från modellernas enkla dragkroppsform. Den huvudsakliga orsaken till detta torde vara att modellernas material som har en väl definierad, snäv siktkurva.

I en verklig salva varierar fragmenteringen från milimeterstora korn upp till block på några meter. Det torde inte vara förvånande att de stora blocken inte rör sig lika fort mot lastgluggen utan är benägna att hänga upp sig, särskilt när flera samverkar.

Problem

Det stora problemet med skivrasbrytning är malmförlusten, vilken borde vara högre än för många andra metoder. Lägre gråbergsinblandning skulle medföra lägre kostnader, men det har inte visat sig vara lönsamt att byta metod av detta skäl.

I Kiirunavaara har malmen olika fosforhalt i olika delar av malmkroppen. Den kan delas upp i partier med markant högre respektive lägre fosforhalt. Dessa två varianter av malmen hålls separerade efter lastning genom att tippas i skilda störtschakt och förblir åtskilda ända in i sovringsverket.

Genom kärnborrning, provtagning i ort och kartering får man indata på kemiskt innehåll som järnhalt, fosforhalt etc. till en blockmodell. Malmkroppen har delats in i block som är 8 m djupa, 16 m breda och 16 m höga. Dessa block tillskrivs halter beroende på avstånd från provtagningspunkter. Med hjälp av denna modell kan innehållet i varje salva kan prognosticeras. Sedan kan man relativt enkelt provta och analysera fosforhalten i den lastade berget för att kontrollera utfallet.

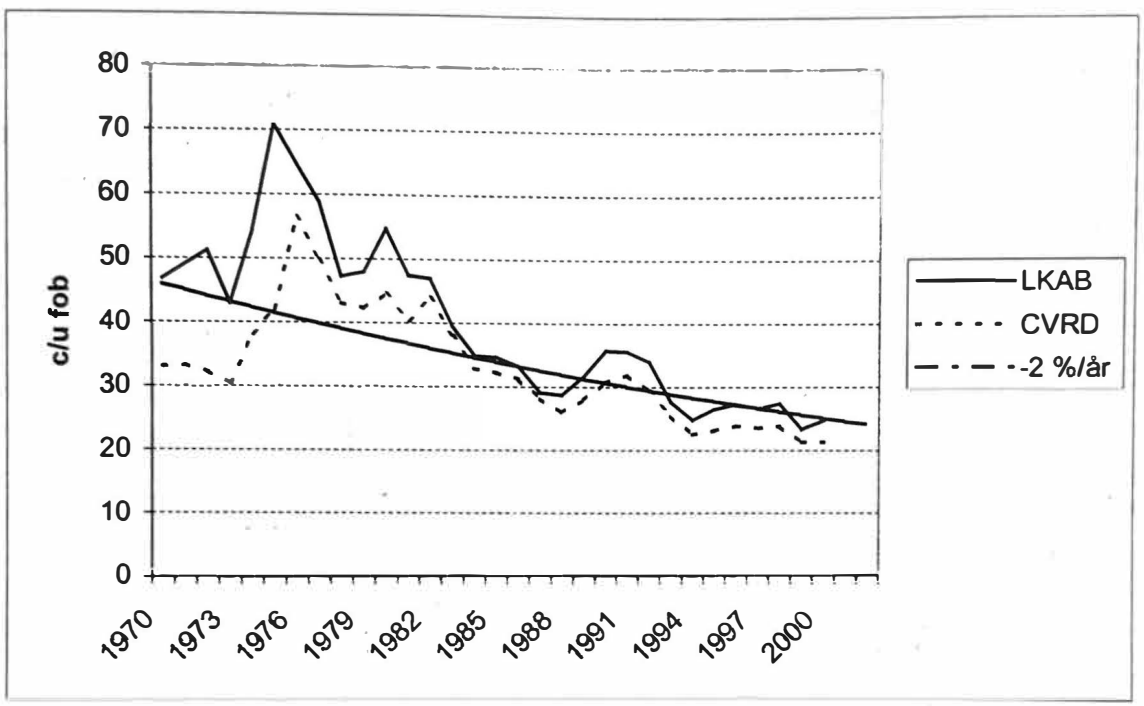
När man därefter jämför blockmodellens prognos med resultaten från provtagning finner man avsevärda avvikelser. Det sker tydligen en inblandning av både gråberg och av malm med en annan försforhalt från tidigare sprängda salvor. Det som kommer ut är

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

i vissa fall alltför mycket av en blandprodukt som varken är hög- eller lågfosfor. Denna produkt är lyckligtvis fullt användbar, men måste hållas åtskild från de båda andra av processtekniska skäl. Därför får man en tredje uppsättning störtschakt, krossar och fickor för att klara detta.

Problem uppstår när denna blandprodukt "stjäl" en del av den lågfosformalm som finns in situ och som är enda möjliga råmaterial till s. k. lågfosforfines. Tidvis medför detta stora problem eftersom produktionen av lågfosfor fines begränsas.

Järnmalm är en hårt konkurrensutsatt bulkvara på världsmarknaden. Prisutvecklingen har varit negativ med en minskning på 2% per år realt under de senaste 30 åren (Fig. 8). I figur 8 nedan ses prisutvecklingen för LKABs största produkt under hela perioden jämförd den viktigaste konkurrentens motsvarande produkt.



Figur 8. Prisutvecklingen för Sinterfines från LKAB och från CVRD i Brasilien räknat i fast penningvärde med KPI i USA som deflator.

Detta ställer höga krav på LKABs förmåga att ständigt sänka kostnaderna.

Den väg som valts inom underjordsbrytning har varit att öka skalan hos såväl brytningsmetod som maskiner. Som exempel på maskinutveckling kan nämnas att lastmaskinernas kapacitet har ökat från 8 ton/skopa till dagens 25 ton/skopa.

Brytningsmetodens geometri har förändrats från 11 m skivhöjd och 11 m ortavstånd i början av 1970-talet till dagens 25 m x 29 m. Den förändrade skalan ger en dramatisk minskning i behovet av tillredda ortmeter. Vid samma malmproduktion blir minskningen från mer än 60 km till 15 km ort per år. Tillredning är den dyraste deloperationen vid underjordsbrytning i LKAB, så en minskning där ger en synbar sänkning av kostnaderna.

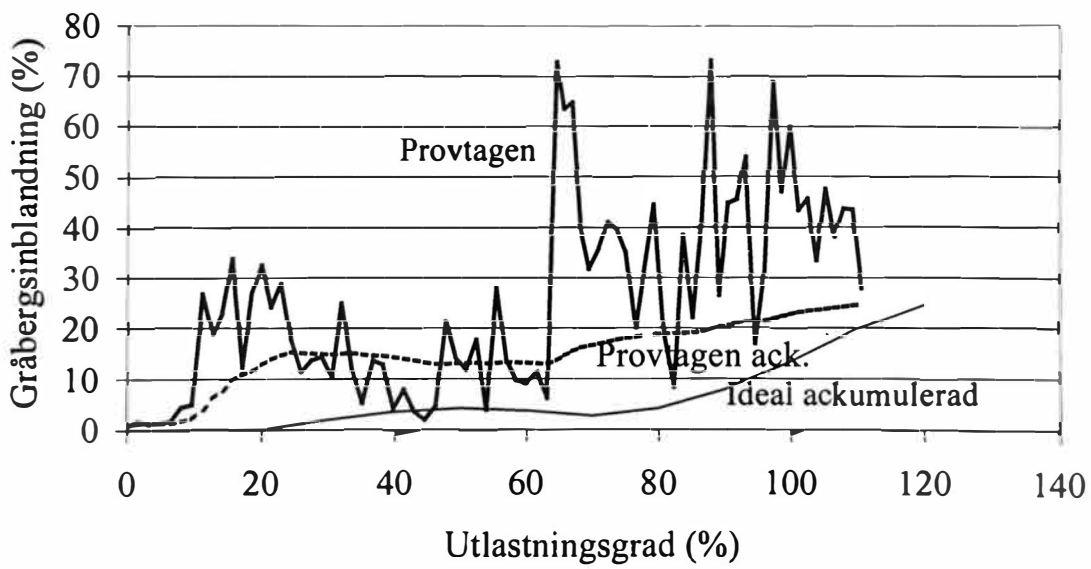
© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Det har tyvärr visat sig att denna uppskalning har medfört ökade problem i form av minskat utbyte och sämre selektivitet, dvs. förmåga att skilja på råmalm med hög resp. låg fosforhalt redan vid lastning. Utbyte definieras normalt som kvoten mellan utvunnen malm och förbrukad malmbas. Selektivitet kan på liknande sätt definieras som kvoten mellan utvunnen och förbrukad lågfosformalmbas.

Projekt Skivras 2000

De direkta orsakerna till försämringen av utbyte och selektivitet innehåller också svaret på vilka förändringar som ger möjlighet till förbättringar. Därför initierades projekt Skivras 2000 i mitten av 90-talet för att närmare studera dessa orsaker. I projektet ingick två aktiviteter med inriktning på kunskapsinhämtning rörande utbyte och selektivitet. Den ena var intensiv provtagning där var femte skopa provtogs på gråbergsinblandning och fosforhalt. Den andra aktiviteten var ett fullskaleförsök med markörer.

Med den intensiva provtagningen fick man klart för sig att såväl högfosformalm som gråberg lastas betydligt tidigare i salvan än vad modellerna indikerar. Det är alltså en ännu mindre del av den senast sprängda salvan, som kan lastas helt utan inblandning, än förväntat. Dessutom fanns ett samband mellan inbrott av gråberg och av malm med högre fosforhalt.



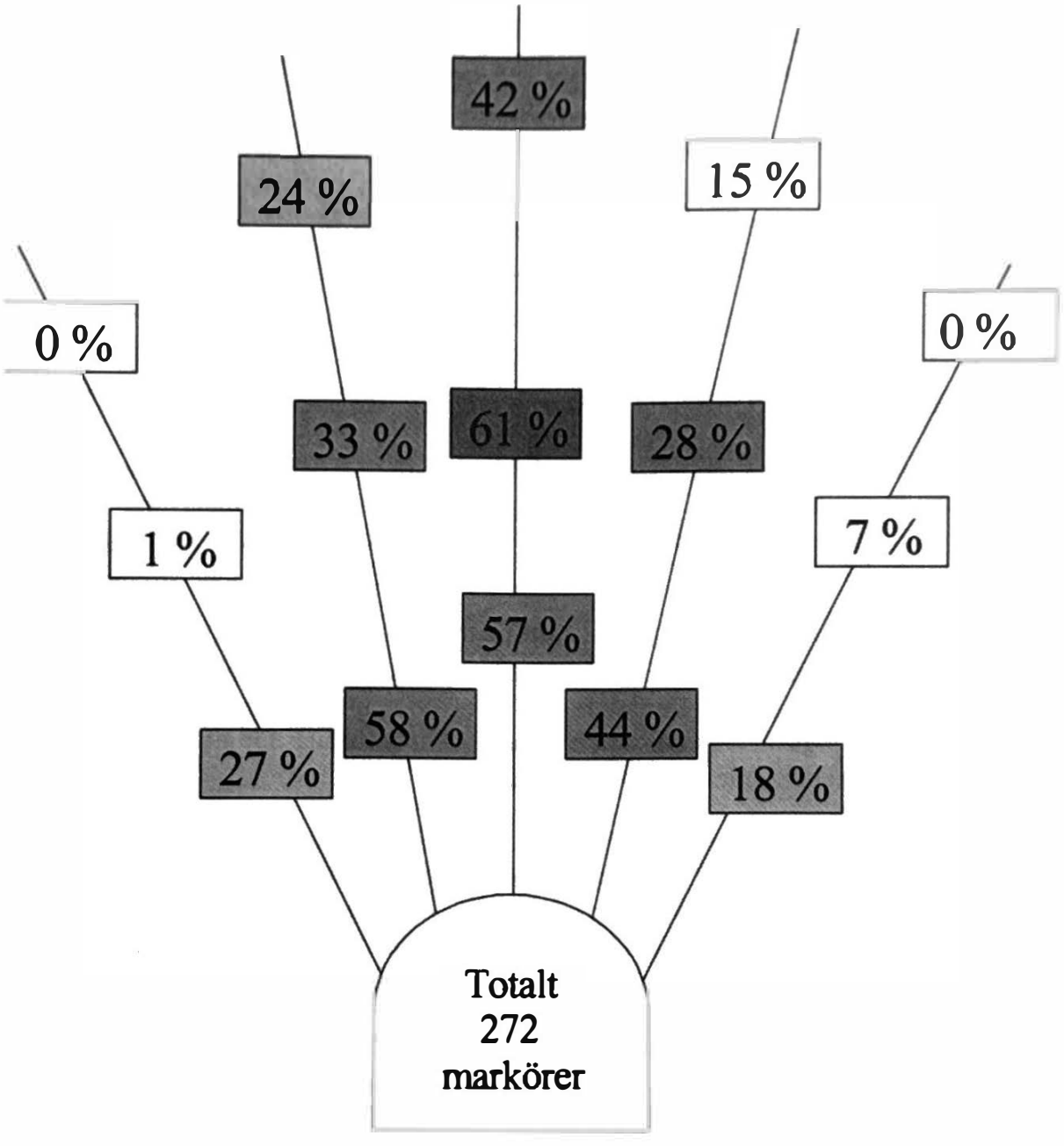
Figur 9 Gråbergsinblandning som funktion av utlastningsgrad.

Enligt den analytiska modell som utvecklats av Leif I Nilsson vid LKAB i Malmberget kommer det första gråberget in vid drygt 20% utlastningsgrad, vilket framgår av kurvan "Ideal ackumulerad" (Fig. 9). Som framgår av kurvan "Provtagen" syns ett gråbergsinbrott redan före 10% utlastningsgrad.

Försöken med markörer har utförts i fyra orter (346, 348, 351, 353). I varje ort har sex femhålskransar borrats. Kransarna har placerats mitt emellan sprängkransarna. I de fem

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

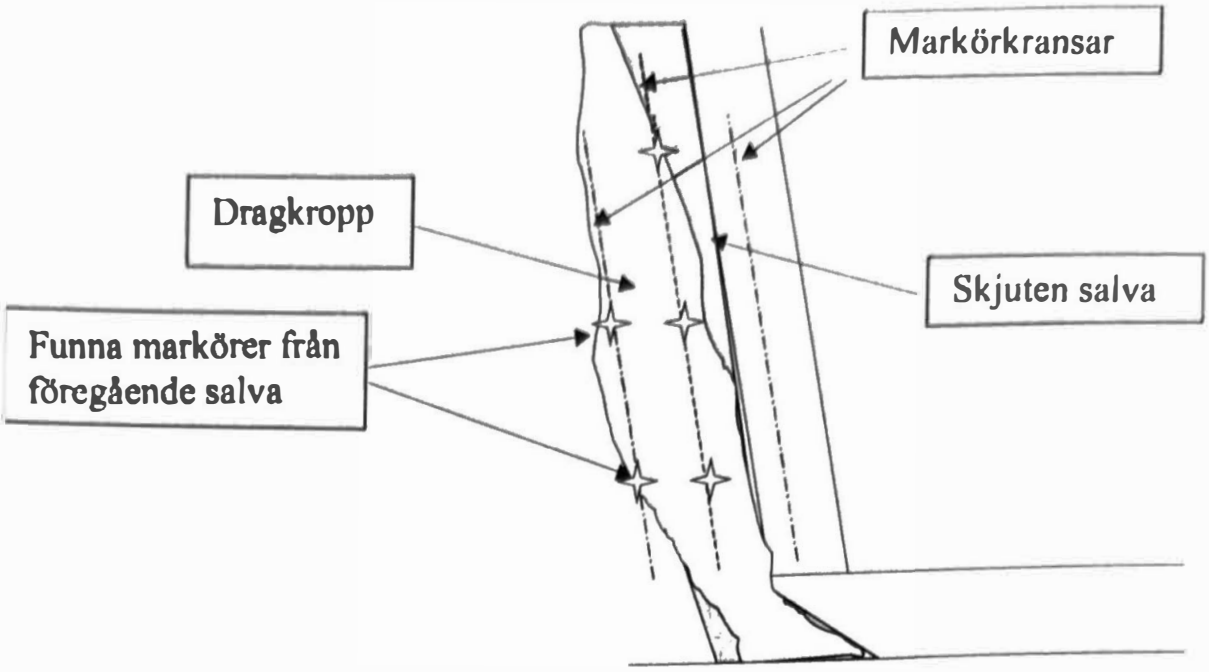
hålen har sedan ett antal "markörer" installerats. Markörerna, som tillverkats av högspänningskabel i en-meterslängder, har fått ett identitetsnummer och platsen för markörens läge har dokumenterats. När markörerna senare återfunnits vid utlastningen har en rekonstruktion av dragkroppen kunnat göras. Här har förutsatts att berget som omger markörerna, rör sig lika fort som markörerna under utlastningen.



Figur 10. Resultat från samtliga markörkransar. Återfunna markörer i % av insatta i vart och ett av de 15 olika markörlägena.

Fullskaleförsöken med markörer visar tydligt på två avvikelser från teoretisk dragkropp. Den verkliga dragkroppen är nästan vertikal från ortbredden och uppåt (Fig. 10). De yttersta hålen i kransen lutar 60° från horisontalen, medan det inte finns någon bergrörelse under 70°. Man kan också se att avgjort färre av de högre placerade markörerna har återfunnits.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 11. Dragkroppens lutning mot rasmassan. Utlastning av ort 348, krans X6227.

När man sedan ritar upp en sidovy genom centrum av flera salvor i rad visar det sig att dragkroppen även lutar framåt (Fig. 11). Det ljusare partiet (Fig. 11) motsvarar dragkroppen medan det mörkare ovanför inte lastas ut med denna salva. Lutningen är ofta flackare än 70°.

Båda dessa fenomen kan förklaras med ofullständig fragmentering. I fallet med sidohålen så lutar de yttersta hålen och måste därför lyfta upp malmen. De är också de mest inspända hålen i kransen. Dessutom kan hålmynningarna vara täckta av rashögen och därför inte möjliga att återfinnna och spränga. Allt detta talar för att fragmenteringen faktiskt blir dålig intill sidohålen.

De längsta hålen mitt i salvan (Fig. 4) har den största hålavvikelsen, vilket medför problem med fragmentering. Vid samma effektiva hålavstånd vid hålbotten blir hålavstånden närmare orttaket så små att risken för överslag, dödpressning eller rivning är stor även om en korrekt avladdning kan göras. Emellanåt kan det också vara så att man inte lyckas fylla hålet med sprängämne ända upp.

I värsta fall är det till och med så att ovanför dessa långa hål finns den ofullständigt fragmenterade zonen med sidohål, borrade och laddade från närmast ovanliggande skiva. Detta försvårar fragmentering ytterligare.

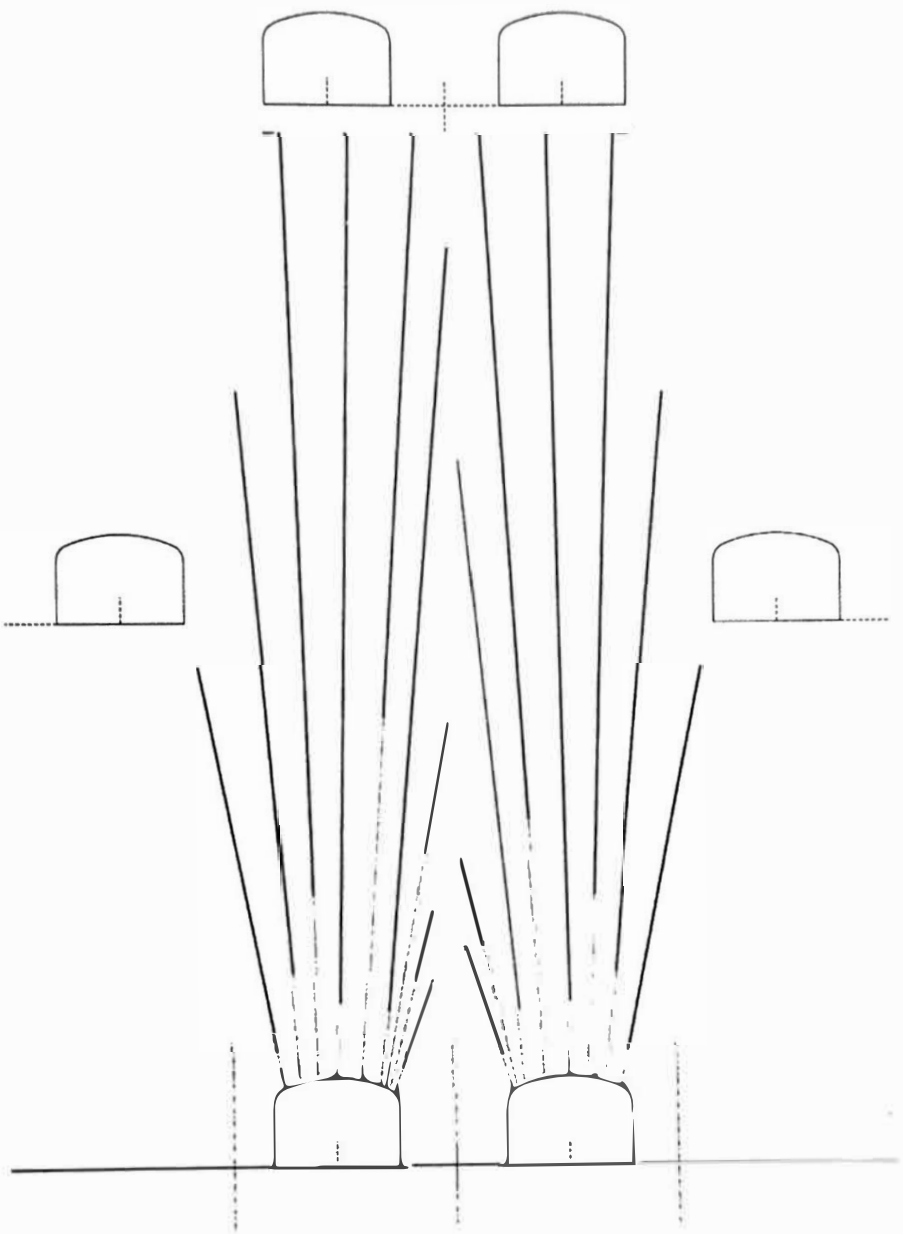
När den mer eller mindre ofragmenterade malmen inte faller ner då den utlastade malmen under lämnar utrymme för detta, så bryter istället malm eller gråberg in från föregående salva. Om man studerar en utlastningskurva (Fig. 9) ser man att detta sker tidigt.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Möjligheter

Varje problem bär på en möjlighet till förbättring. När vi nu har kommit fram till tänkbara orsaker till våra problem kan vi fortsätta med att se vilka förändringar som är önskvärda. Nästa steg blir sedan att bedöma om dessa förändringar i sin tur kan medföra nya problem som är större än de vi försöker eliminera.

Det är nog uppenbart att borrplanen bör ändras så att den liknar den verkliga dragkroppen. Detta innebär att till sidohålen tas bort och ersätts av långa, nära vertikala och parallella hål.



Figur 12. Föreslagen ny skivraslayout med dubbelort. Den tjockare delen av linjerna (borrhålen) visar hur stor del av hålen som är tänkta att laddas. Ortavstånd 13 och 37 m, skivhöjd 29 m.

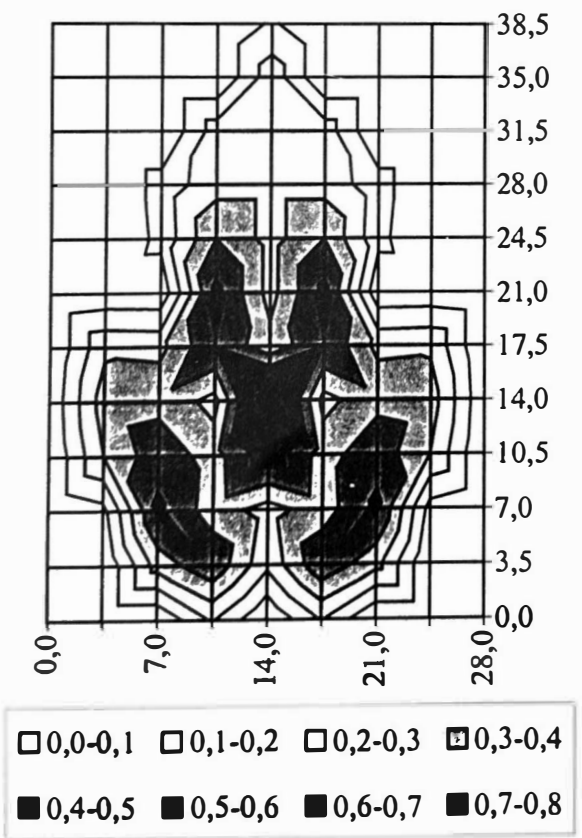
© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

För att motverka de häng som uppträder i dagens smala dragkropp breddas denna genom att två tvärorter paras ihop (Fig. 12) med en liten pelare lämnad mellan. Avståndet mellan två par blir pelaren desto större. På så sätt får man en bredare dragkropp och motverkar uppkomsten av häng.

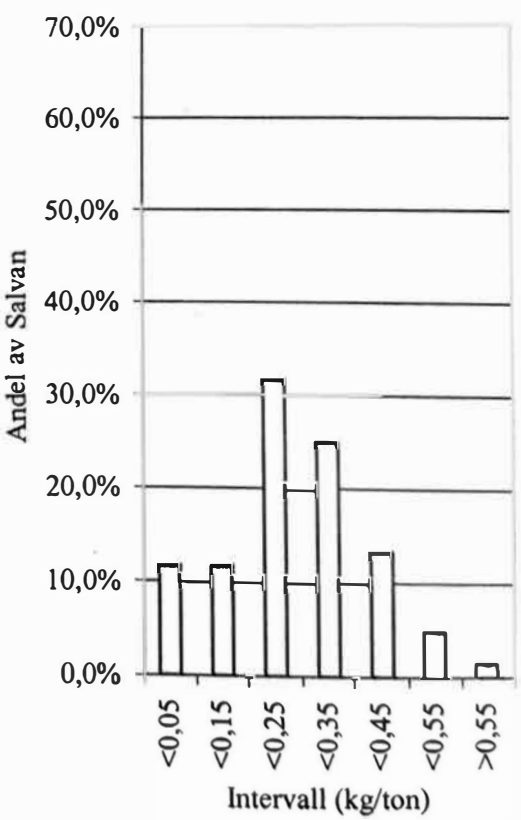
Denna förändring innebär att man måste utveckla tekniken för att klara laddning av upp till 60 m långa, vertikala ϕ 115 mm sprängborrhål. Idag anses gränsen vara 45 m långa hål och borrplanen är anpassad till detta. Eftersom hålavvikelsen ökar med längden på hålet måste man också skaffa sig bättre kunskap om detta och utveckla precisionen.

Kärnfrågan är dock hur mycket fragmenteringen kan tänkas påverkas med den nya borrplanen. Vi förutsätter att fördelningen av sprängämne över salvan ger en uppfattning om hur fragmenteringen förändras. I detta syfte delades salvan upp i 3,5 x 3,5 m stora rutor och laddad längd borrhål i varje ruta uppmättes. För ett visst sprängämne, försättning och håldiameter fås då den specifika laddningen uttryckt som kg/ton för varje ruta.

Konturdiagram respektive histogram över fördelning av den specifika laddningen har konstruerats för nuvarande borrplan (Fig. 13 och 14). Där syns en tydlig förbättring från nuvarande till den föreslagna nya layouten. Ideal specifik laddning är 0,32 kg/ton, så man bör vara nära detta tal i så stor del av salvan som möjligt.

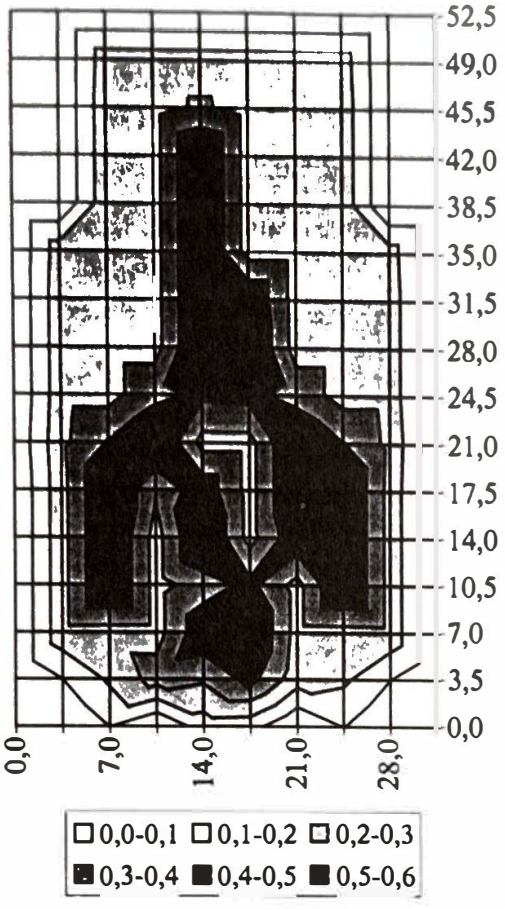


Figur 13 a. Konturdiagram över specifika laddningens fördelning över nuvarande borr- och laddplan (Fig. 4).

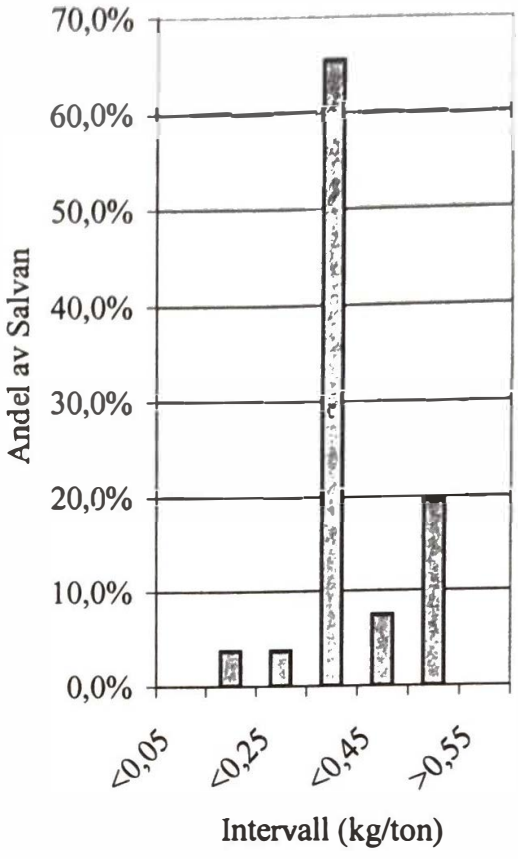


Figur 13 b. Histogram över specifika laddningens fördelning över nuvarande borr- och laddplan (Fig. 4).

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 14 a. Konturdiagram över specifika laddningens fördelning över ny borr- och laddplan.(Fig. 12).



Figur 14 b. Histogram över specifika laddningens fördelning över ny borr- och laddplan.(Fig. 12).

Konturdiagrammen (Fig. 13 a och 14 a) ger det allmänna intrycket av större variation i laddningsfördelning hos nuvarande borr- och laddplan än hos den föreslagna. Histogrammen (Fig. 13 b och 14 b) kvantifierar skillnaden och visar att hälften så stor andel (31%) av salvan har en specifik laddning mellan 0,25 och 0,35 kg/ton hos nuvarande borr- och laddplan jämfört med den föreslagna (66%).

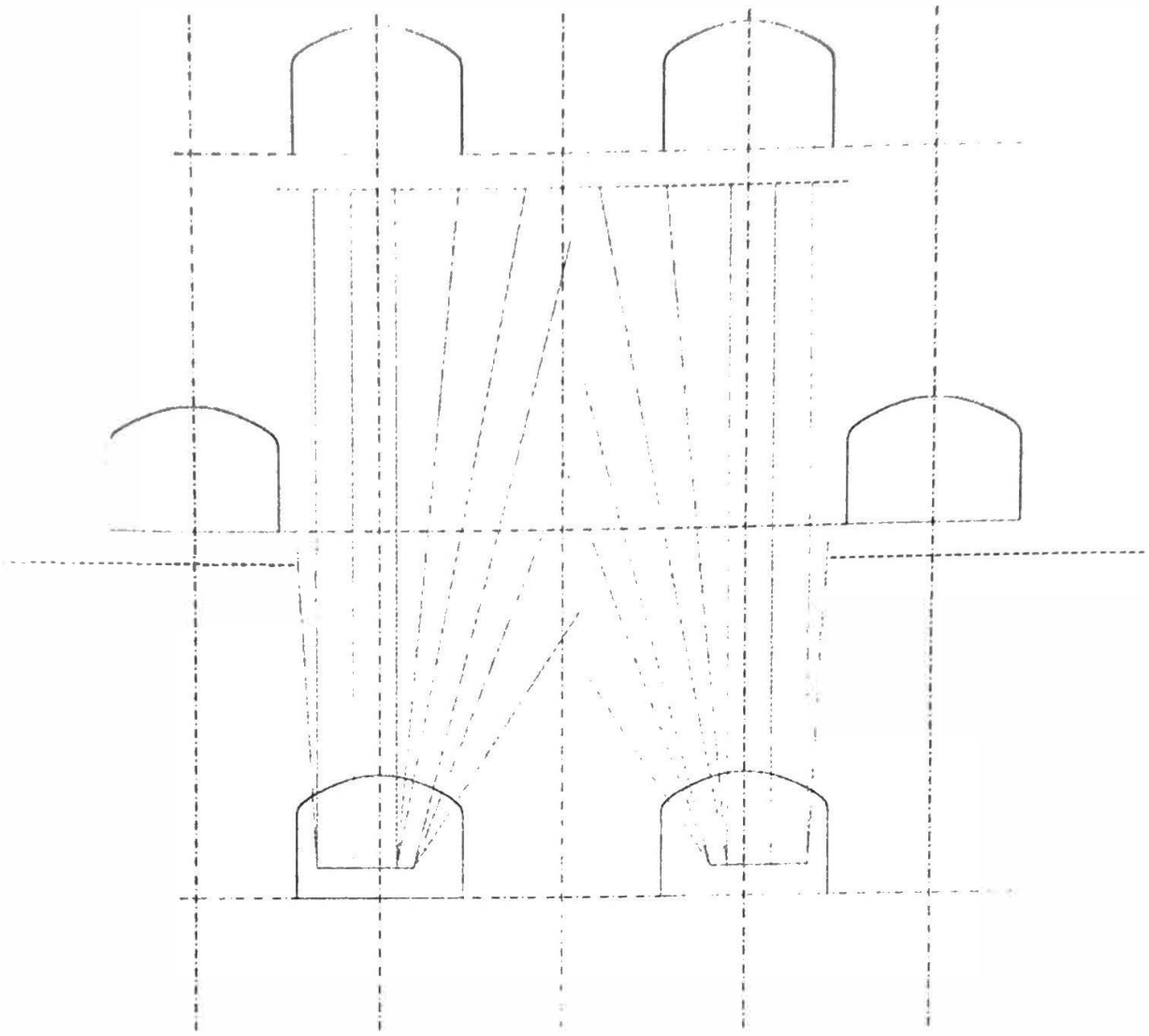
För låg specifik laddning innebär otillräcklig fragmentering, medan för hög innebär att närliggande hål kan skadas så att de inte detonerar vilket också leder till otillräcklig fragmentering.

Slutsatsen blir att fragmenteringen kan förväntas bli avsevärt bättre med den föreslagna borr- och laddplanen än med dagens.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Nyhet?

En fråga man bör ställa sig är om den föreslagna layouten är ny eller om något liknande har provats förut. Snabbt hittar man då ett antal rapporter som behandlar något som kallades högrasbrytning och provades före mitten av 1970-talet. Det visar sig att detta upplägg var i stort sett identiskt med det nu föreslagna, så när som på skalan (Fig. 15).



Figur 15. Schematisk layout och borrplan för dåtidens Högrasbrytning. Ortavstånd 11 och 22 m samt skivhöjd 11 m.

Då var huvudsyftet med att använda denna layout att klara ventilationen av tvärorterna. Man strossade bort pelaren mellan de två tvärorterna närmast bröstet allteftersom man sprängde kransarna parallellt i båda tvärorterna. På så sätt fick man ett hål mellan tvärorterna och kunde blåsa in luften i den ena och släppa ut den i den andra. Det sammanhängande bröstet blev då 22 m brett och man fick stora stabilitetsproblem. För i stort sett varje skjuten salva föll ett stort block ut och gjorde laddningsarbetet riskabelt.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Den precision man hade i ortdrivning ledde till stora avvikelser i både höjd och sida mellan två intilliggande tvärorter. Avvikelserna ledde till problem i sprängning av både rassalvor och pelarstrossning. Sammanfattningsvis var resultatet mätt i malmfångst mycket bra, men den eftersträvade förbättringen i ventilation var osäker och arbetsförhållandena bedömdes vara oacceptabla så metoden övergavs.

Idag har precisionen i såväl planering som utförande av ortdrivning, produktionsborrning och laddning utvecklats avsevärt. Ventilationen har också förändrats till blåsande i varja tvärort. Vad gäller laddning behövs, som tidigare nämnts, ytterligare ett steg i utvecklingen och ett projekt med har nyligen initierats för att genomföra detta.

Nästa steg blir sedan att genomföra ett prov i full skala inom en avgränsad del av gruvan. Slutresultaten från detta prov kommer att föreligga först om 4 till 5 år och då kanske det finns skäl att återkomma till detta forum med en avrapportering.