© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

FÖRÄNDRING AV BRYTNINGSMETOD OCH ÅTERFYLLNADSSYSTEM I ZINKGRUVAN

Gunnar Nyström, Zinkgruvan Mining AB

Inledning

Zinkgruvan Mining AB, Sveriges tredje största gruvföretag, är ett helägt dotterbolag till Rio Tinto Ltd. Zinkgruvan Mining AB levererar zinkkoncentrat (55 % Zn) och blykoncentrat (73 % Pb och 1400g/ton Ag) till smältverk i norra Europa.

Zinkgruvans historia börjar 1857 och gruvan har sedan dess haft en kontinuerlig malmproduktion. Årsproduktionen av malm är idag ca 835.000 ton samt 185.000 ton gråberg från förberedande arbeten.
Zinkgruvan Minings malmreserv motsvarar drygt 15 års produktion med totalt 11,2 Mton med 9,3 % zink, 4,3 % bly och 107 g/ton silver. Dessutom har en kopparmineralisering på 3,5 Mton med 3,1 % koppar och 49 g/ton silver lokaliserats under mitten av 90-talet.

Metodutveckling i Zinkgruvan

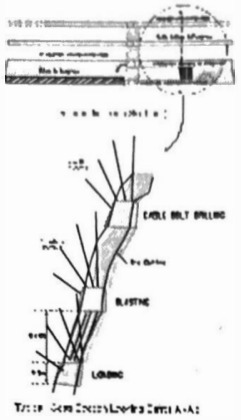
Från produktionsstarten i mitten av 1800 talet fram till mitten av 1980-talet var uppåtgående igensättningsbrytning den dominerande brytningsmetoden. Då brytningen startade på 650 metersnivån i Nygruvan började de första bergspänningsproblemen att uppdagas. Detta resulterade i stegrande förstärkningsinsatser för att klara brytningen. Då brytningen kommit till 566 meters avvägning bestod förstärkningen av ingjuten kamjärnsbult (1 * 1 meters mönster), kabel och nät. Brytningen stoppades då den överliggande skivan efter denna avvägning påbörjades, av den anledningen att bultarna inte gick att montera i de deformerade bulthålen.

Extra långa bulthål borrades och kontrollerades sedan med borrhålskikare, varvid man kunde konstatera att taket var horisontellt uppsprucket 6 meter ovan orttaket. I detta läge övergavs igensättningsbrytning som brytmetod p g a bristande säkerhet, och de första försöken med pallbrytning påbörjades.

Under åren från mitten av 80-talet har produktionsmetoden kontinuerligt utvecklats, i första hand beroende på höga bergspänningar. Pallmetoden har också medfört att inga rum/orter där personal skall vistas behöver drivas bredare än 7 meter.

Pallbrytningen har under dessa år utvecklats från enkel pall (s.k. Singel Lift Bench), (Fig. 1). Den utbrutna pallen återfylls med hydraulfyll innan nästa överliggande pall tas. Vertikala pelare i malmen avsättes för att avlasta omgivande berg.

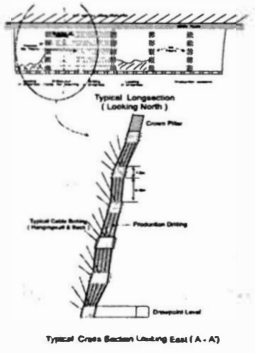
© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



•Geometry	- drift height	-4,5 m
	-bench height	8 - 15 m
	-width	4 - 15 m
•Drilling	-downward	
	-51 mm bit (cables)	
	-74 mm bit (production)	
•Loading	-remote controlled	
	-drawpoints	
• Backfilling	-after each bench	
•Fill type	- hydraulic fill	

Figur 1

Utvecklingen fortsatte mot multipel pall, vilket är en storskaligare pallmetod än enkel pall och som ytterligare förbättrar bergspänningssituationen, (Fig. 2).



•Geometry	-drift height	-4,5 m
	-bench height	8 - 15 m
	-stope height	18 - 70 m
	-width	4 - 15 m
•Drilling	-upward/downward	
	-51 mm bit (cables)	
	-74 mm bit (production)	
•Loading	-remote controlled	
	-drawpoints	
•Backfilling	-after each bench	
	-total filling of the stope	
•Fill type	-waste rock	
	-hydraulic fill	

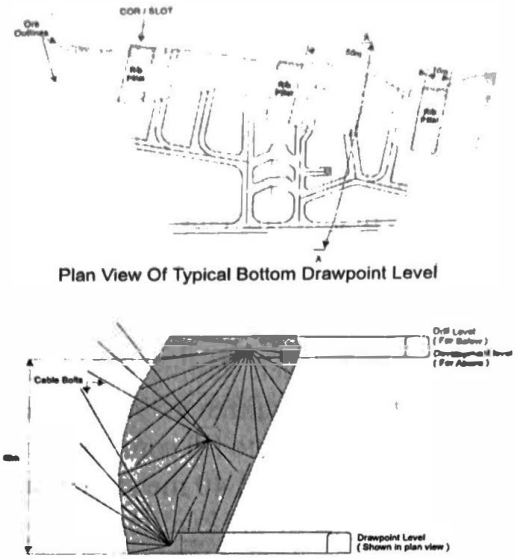
Figur 2

Multipel pall som produktionsmetod fungerade alldeles utmärkt i Nygruvan, där sidoberget är av extremt god kvalitet, malmen är homogen med distinkta malmgränser samt att stupningen är > 75 grader. De öppna rum som skapas efter det att pallen är utlastad har följande mått: höjd upp till 70 m, bredd 15 m och längd 50 m. Efter utlastning gjutes lastgluggarna igen och rummen återfylls med hydraulfyll.

Vid öppnandet av en ny malmkropp, Burklandsmalmen, i mitten av –90 talet, som bergkvalitetsmässigt och geometriskt skiljer sig avsevärt gentemot tidigare malmkroppar, initierades ett projekt med målet att hitta en brytningsmetod för malmer med svagare hängvägg samtidigt som man behåller pallbrytningens fördelar.

Projektet skedde i samarbete med de dåvarande australiensiska ägarna, North Ltd. Den produktionsmetod som i det läget ansågs mest lämpad för de nya förhållandena var Sublevel open stoping, se (Fig. 3).

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

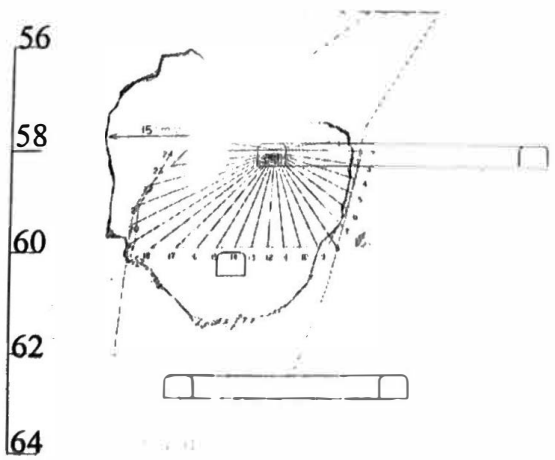


Figur 3

De öppna rummen har efter utlastning måtten: höjd 40 m, bredd 50 m och malmbreddens djup (upp till 30 meter). Pelare avsätts mellan varje stope för att stödja upp hängväggen. Pelarens tjocklek är ca 10 meter, vilket innebär att 16 % av malmen avsätts som pelare.
Efter det att första stopen brutits ut, hösten -98, kunde följande konstateras:

- Kvalitén på hängväggen sämre än förväntat
- Inras från hängväggen
- Inras från taket
- Hög gråbergsinblandning
- Svårt att återfylla rummet då berget, främst i pelare, är uppsprucket

CMS inmätning av den första stopen, Bu 650 stope 814, med sublevel open stoping, (Fig. 4).



Figur 4

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Förändrad brytningsmetod och återfyllnadssystem

Förändring av brytningsmetod

Under det utredningsarbete som gjordes innan övergången till sublevel open stoping var arbetet under en viss del av projektet inriktat på panel stoping och paste fill. Anledningen till att man inte valde det alternativet vid det tillfället var i stor utsträckning den stora investering som en paste anläggning medför samt den ökade produktionskostnaden för cementtillsatsen.

Parallellt med utredningen om sublevel open stoping skedde en pre-feasibility studie på den kopparmineralisering som påträffats i mitten av 90-talet. I pre-feasibility studien rekommenderades att panel stoping med paste fill som återfyllning bör användas då bredden på kopparmineraliseringen är upp till 40 meter och pelaren mellan zinkmalmen och kopparmineraliseringen är liten och av låg kvalité.

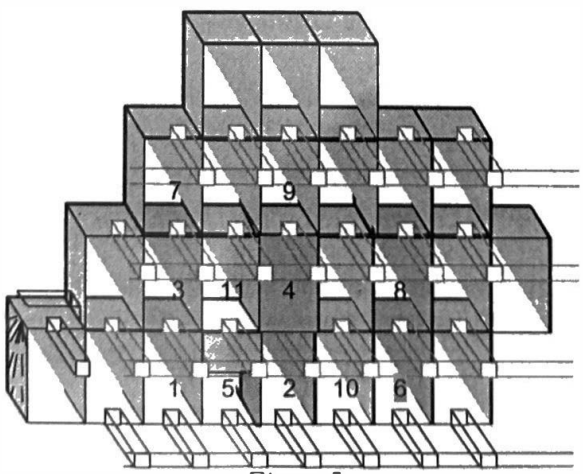
Utifrån dessa studier togs beslutet, senhösten -98, att konvertera Burklandsmalmen till panel stoping och att fortsätta med en feasibility studie på paste fill.

Det första området som helt konverterades till panel stoping var Burkland 450. De två första primära stoperna var utlastade i oktober 2000.

Panel stoping

Panel stoping, även kallat primär/sekundär brytning, innebär i huvudsak att man delar upp malmkroppen i boxar, och i första steget bryter man ut ett antal primära stoper enligt ett speciellt mönster. Efter utlastning fylls dessa rum med paste fill, cementstabiliserad tjockfyll, varvid man kan bryta den stope som ligger mellan två nu återfyllda rum, (Fig. 5). Beroende på höjd och djupförhållandet i en primär stope kan man laborera med cementhalten i fyllen. Ett högt och brett rum kräver högre cementandel än ett lågt och smalt rum.

Efter det att den sekundära stopen lastats ut så kan den återfyllas antingen med gråberg från tillredningen och/eller fyll med en lägre cementhalt i och med att de sekundära stoperna ej har något stabilitetskrav. Anledningen till att cement blandas i fyllen till en sekundär stope är att man vill slippa dräneringsvattnet.

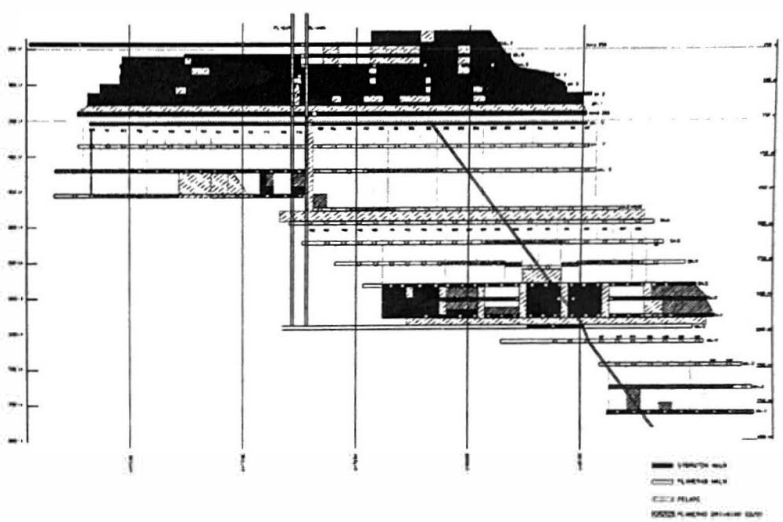


Figur 5

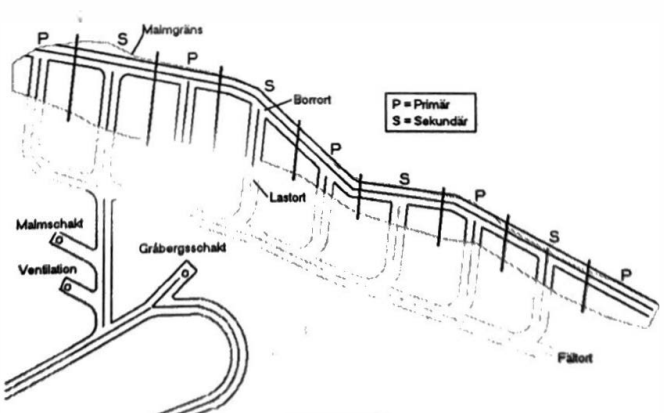
© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Burklandsmalmen

Designen av stoperna i de övre nivåerna i Burkland var i stort bestämd av den tillredning som redan var gjord då beslutet om konvertering från sublevel open stoping till panel stoping togs. Nivåerna var redan tidigare indelade i 100 meters etager, och utifrån detta anpassades höjden av stoperna till ca 37 meter. Bredden på stoperna designades till ungefär halva den rumslängd som gällde för sublevel open stoping.
De primära stoperna designas till 20 meters längd, medan de sekundära designades till 25 meter. Vid designarbetet togs hänsyn till att mindre bredd på den primära stopen påverkar cementförbrukningen positivt.
Figur 6 visar en vertikalprojektion av Burklandsmalmen uppdelad i stopes medan figur 7 visar en typisk layout för en brytningsnivå.



Figur 6



Figur 7

Bergförstärkning

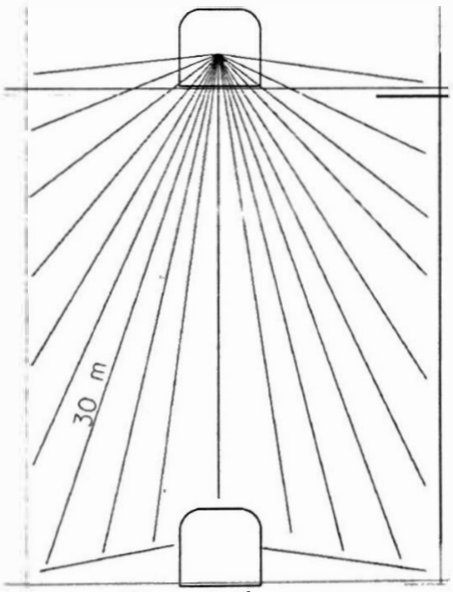
Stoperna kabelförstärks utifrån borrorten i stopens botten och stopens topp. För kabling används 15,7 mm kabel med max draghållfasthet på 265 KN, kablarna förspänns.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

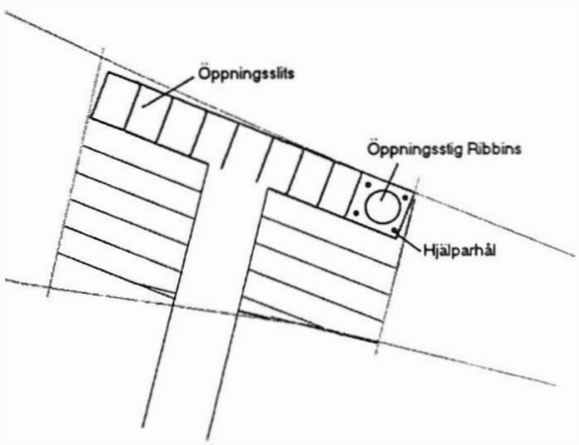
Kabelförstärkningen är i första hand till för att förhindra eventuellt utfall att vandra uppåt till nästkommande stope i likhet med det som inträffade i stope 814 Burkland 650. Lastorterna kablas intill liggväggens malmkontakt för att säkra det bryn som uppstår då pallen är under utlastning.
Lastorterna betongsprutas med fiberarmerad betong, och i vissa fall sprutas även borrorten i malmen beroende på bergets kvalité. För närvarande används torrsprutning som sprutmetod.

Produktionsborrning

Fyra stycken långhålsriggar står för all produktions- och kabelborrning i gruvan. Stoperna produktionsborras från borr- och lastorten på den övre nivån. Borrningen sker nedåt. Pallen öppnas mot en raiseborrad öppningsstig (diameter 1200 mm) med öppningsslitsen placerad längs hängväggen. Pallen skjutes sedan in mot öppningen Skjutningen sker i etapper med utlastning från den undre nivån mellan skjutningarna. En schematisk borrplan visas i (Fig. 8).



Figur 8, frontvy



Figur 8 topvy

Jämförelse mellan multipelpall och panel stoping

Produktionsdata	Multipelpall	Panel stoping
Hållängd kabelhål	Upp till 15 m	Upp till 30 m
Håldiameter kabelborrning	54 mm	54 mm
Specifik borrning, kabel	0,08 bm/ton	0,06 bm/ton
Hållängd produktionshål	Upp till 16 m	Upp till 35 m
Håldiameter produktionsborrning	70 mm	76 mm
Försättning	1,9 m	2,2 m
Hålavstånd	2,4 m	2,8 m
Specifik borrning, produktion	0,16 bm/ton	0,11 bm/ton
Specifik laddning, Emulsion	0,45 kg/ton	0,42 kg/ton

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Sprängmedelskostnad	4,80 kr/ton	4,0 kr/ton
Borrstålskostnad	2,60 kr/ton	2,30 kr/ton

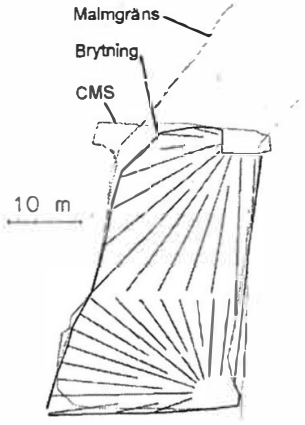
Övergången till panel stoping har bidragit till sänkta produktionskostnader (exklusive fyllkostnader) för pallproduktionen.

Pallmetoderna multipelpall och sublevel open stoping kräver båda att pelare avsätts för att skapa rum som sedan skall återfyllas så att hängväggen stabiliseras.
Pelaravsättningen för dessa två brytningsmetoder är ca 16 %. Panel stoping kräver dock i normalfall ingen pelaravsättning, då paste fillen fungerar som stabiliseringselement av hängväggen vid brytningen av sekundärstoperna.
Konverteringen till panel stoping innebär att den tidigare planerade pelaravsättningen kan räknas in i malmreserven. Dessa 16 % motsvarar ca 800.000 ton malm.

Resultat

Resultatet av de första primära stoperna är mycket bra. De två stoperna på Burkland 450 har CMS mätts, och från detta material framgår att borrning och skjutning av stopen följt malmgränsen enligt plan.

De två utlastade stoperna ligger i samma zon av dåligt sidoberg som stope 814 på Burkland 650. De inras från hängvägg och tak som skedde i det området har ej återkommit på Burkland 450. Detta tyder på att en stope-bredd på 20 meter klarar den bergkvalité som råder i området. Inmätningen visas i figur 9. Borrplanen, CMS mätningen och malmgränsen är inlagd i bilden.



Figur 9

Förändrat återfyllningssystem

Hydraulfyll

Hydraulfyll introducerades i Zinkgruvan under början av –70-talet, då anrikningsverket flyttades till Zinkgruvan från Åmmeberg. Hydraulfyllen var under många år en del av produktionscykeln, då ingensättningsbrytning och enkelpall var den dominerande

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

brytningsmetoden. Med övergången till multipelpall och sublevel open stoping uppstod svårigheter att fylla de öppna rummen med hydraulfyll. Den största svårigheten ligger i att få fyllväggarna täta mot det söndersprucka berget i lastgluggarna samt att de pelare som ur stabilitetssynpunkt lämnas kvar spricker upp och släpper igenom fyllen.
Med dessa svårigheter att kontrollera fyllen har vissa utbrutna rum ej återfyllts, då risken för en fyllkollaps bedömts högre än en kollaps av hängväggen i de öppna rummen.

Paste fill projektet

Inledningsvis utfördes en pre-feasibility studie av en kanadensisk konsult, Robert Currie, P.Eng, för att utröna vilken fyllmetodik som skulle användas. Följande alternativa fyllsystem studerades:

1.	Hydraulfyll med cement	ca 50% fast del
2.	Paste fill med cement	70-76% fast del
3.	Hög densitetsfyll med cement	>76% fast del

Då beslutet fattats om att konvertera brytningen till panel stoping valde Zinkgruvan att gå vidare med alternativ 2 och inledde hösten –99 en feasibility studie med hjälp av Golder Paste Technology i Kanada.

Resultatet av feasibility-studien visade på tre möjliga varianter att avvattna anrikningssanden för att framställa paste fill:

- Deep cone thickener
- Vacuumfilter
- PPSM (Paste Production Storage Mechanism)

Våren –00 lades den slutgiltiga projektplanen fram för styrelsen, som godkände projektet och beviljade investeringen. Investeringen av paste verket inklusive rörmontage under jord uppgår till ca 45 miljoner kronor.
Vid denna tidpunkt var de första primära stoperna i gruvan redan utbrutna, och fyllning var möjlig. En hektisk konstruktions- och upphandlingsperiod startade, då tidplanen för byggnationen av paste verket var hårt pressad. Detaljkonstruktion, ritningsunderlag, upphandling och byggnation skulle ske på totalt 10 månader.

Golder Paste Technology togs in som projektpartner. Deras uppdrag bestod i att, tillsammans med Zinkgruvans personal, leda design, konstruktion och byggarbetena för hela anläggningen inklusive distributionssystemet i gruvan samt att ansvara för igångkörningen och utbildningen av Zinkgruvan Minings personal.

Genom att lägga upp projektet på detta sätt har Zinkgruvan Mining under hela projektets gång varit med och påverkat utformningen och valet av utrustning, så att det överensstämmer med den standard som finns inom landet och företaget.

Designkriterier, paste fill

Designen av stopestorlekarna beslutades utifrån de redan tillredda nivåerna i Burklandsmalmen. Pasteverket var redan från början bestämt att placeras i anslutning till anrikningsverket, vilket innebär att fyllen måste transporteras 1,4 km i horisontalled

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

för att fyllning skall kunna ske i Burklandsmalmen. Utifrån detta fastslogs därmed kriteriet för pumpbarheten av fyllen.

Två kanadensiska konsulter, Robert Currie och BLM Bharti Engineering Inc, har oberoende av varandra utfört hållfasthetsberäkningar av fyllen med de givna kriterierna. De resultat som de två konsulterna presenterade har i sin tur granskats av Sitka Corp. Resultatet av de beräkningar som utförts visar på att fyllen måste ha en minsta hållfasthet på 0,35 Mpa för att klara en fristående höjd av 40 meter.

För att definiera cementtalet för att åstadkomma en fyll med 0,35 Mpa tryckhållfasthet har ett stort antal enaxiella trycktester samt triaxiella trycktester utförts. En andra faktor som kommer att bestämma cementtalet är pumpbarheten av fyllen då den skall pumpas 1400 meter horisontalt till Burklandsmalmen. För att utröna detta utfördes pumptestet "loop test" under försommaren 2000. Ur denna test fastslogs även fyllkonsistensen för primära respektive sekundära stoper för fyllning av Nygruvan respektive Burkland, det så kallade slumptalet.

Resultatet av de enaxiella trycktesterna och pumpbarhetstestet fastslog följande:

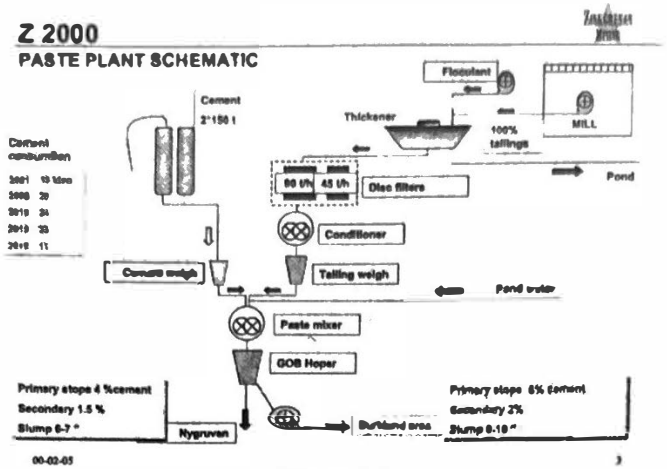
Paste fill till Nygruvan	Primär stope	4 % cement
	Sekundär stope	1,5 % cement
	Slumptal	150-180 mm
Paste fill till Burkland	Primär stope	6 % cement
	Sekundär stope	2 % cement
	Slumptal	200-250 mm

Paste processen

En stor fördel med användandet av paste fill är att all anrikningssand kan deponeras i gruvan. För att få en god kvalité på pasten krävs att alla fraktioner av sanden används. Tidigare med hydraulfyllen cyklonerades finandelen bort och pumpades till sandmagasinen, varvid endast ca 50 % av anrikningsverkets restprodukt återfördes till gruvan.

All anrikningssand kommer att pumpas till en förtjockare, där sanden avvattnas till 60-65 % fastandel. Sanden pumpas sedan till ett batteri med diskfilter, där sand på nytt avvattnas till ca 85 % fastandel. Den avvattnade sanden återfuktas därefter till rätt vattenmängd (70-75 % fastandel) innan den vägs och går in i Paste blandaren (cementblandare). Cement vägs till rätt mängd och tillförs sanden i blandaren. Materialet är sedan klart för distribution. Schematiskt flödesschema figur 10.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 10

Distributionssystemet under jord

Distributionen av fyllen ner i gruvan sker genom två stycken borrhål, ett för fyllning av Nygruvan (165 mm, gravimetrisk fylldistribution) och ett för fyllning av Burkland (300 mm, fyllen pumpas med en högtryckspump). Fyllhålen är borrade från dagen ner till 350 meters nivån. Fyllning kommer endast att ske till ett område i taget.

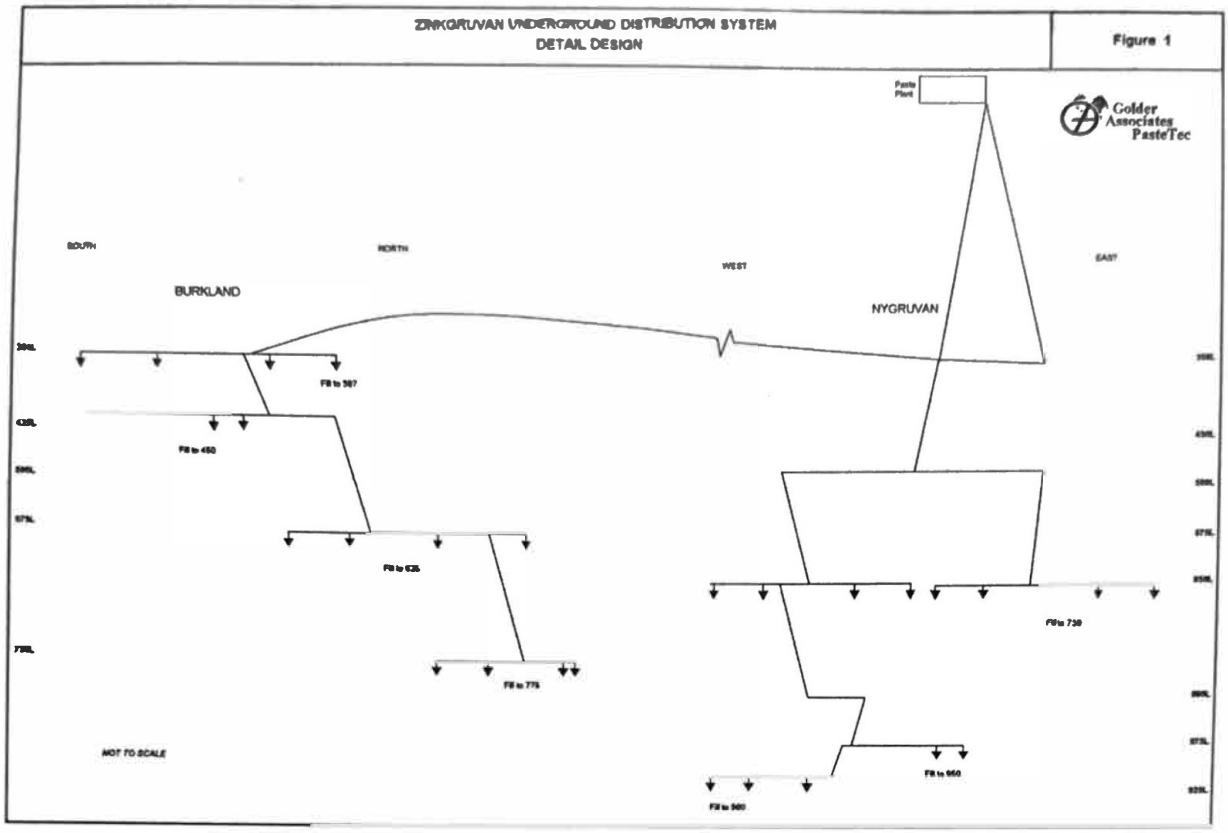
På de nivåer som fungerar som distributionsnivåer kommer fyllen att transporteras genom 6" stålrör med tryckklass ASTM schedule 80 kvalité (högtrycksrör) och ASTM schedule 40 kvalité (standardrör), och vid uttag från stamledningen för fyllning av rum kommer plaströr att användas, detta gäller generellt för fyllsystemet. Vid extremfall kan högsta arbetstrycket i ledningen uppgå till 100 bars tryck.

Totalt kommer att installeras:

- 2400 meter 6" stålrör ASTM schedule 80
- 1100 meter 6" stålrör ASTM schedule 40
- 1000 meter plaströr

Principskiss över fyllsystemet visas i figur 11.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 11

Sammanfattning

Sedan mitten av 80 talet har det skett en kontinuerlig utveckling av produktionsmetoderna i Zinkgruvan beroende på förändrade bergegenskaper, förändrad malmbild och de lokala spänningsförhållandena. Brytningsmetoderna har stegvis anpassats till de nya och förändrade bergförhållandena.

Det senaste steget i utvecklingen innebär en övergång till panel stoping med paste fill som återfyllning. Konceptet innebär ökade kostnader, framförallt för paste fillen, men alternativet är ökad pelaravsättning, vilket innebär minskad malmbas.

Fördelar med panel stoping och paste fill:

- Metoden är arbetsmiljömässigt, med avseende på exponering under samtliga bergarbeten, att föredra framför tidigare metoder
- Minskad pelaravsättning leder till ökad malmbas
- Flexibiliteten ökar - fler fronter i samtidig produktion - haltutjämning / lägre känslighet för störningar
- Kräver ingen byggnation av fyllväggar
- Dräneringsvatten i samband med fyllning minskas radikalt, leder till minskad vattenpumpning
- Ökade möjligheter att fylla äldre ofyllda rum, vilket med hydraulfyll är en stor risk

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Nackdelar:

- Högre kostnader än konventionell hydraulfyll
- Täta fylledningar/borrhål kräver mer insatser

Genom den kontinuerliga utvecklingen av pallbrytningsmetoden i Zinkgruvan har övergången till panel stoping gått enligt plan. Utmaningen i det nya konceptet är paste fill teknologin.

Initialt kommer fokuseringen att kretsa kring den organisation som skall styra, bevaka och underhålla fyllsystemet.

På längre sikt kommer fokus att inriktas på optimeringen av vatten/cementtalet i paste fillen. Reducering av cementandelen kommer att påverka kostnaderna på ett positivt sätt.