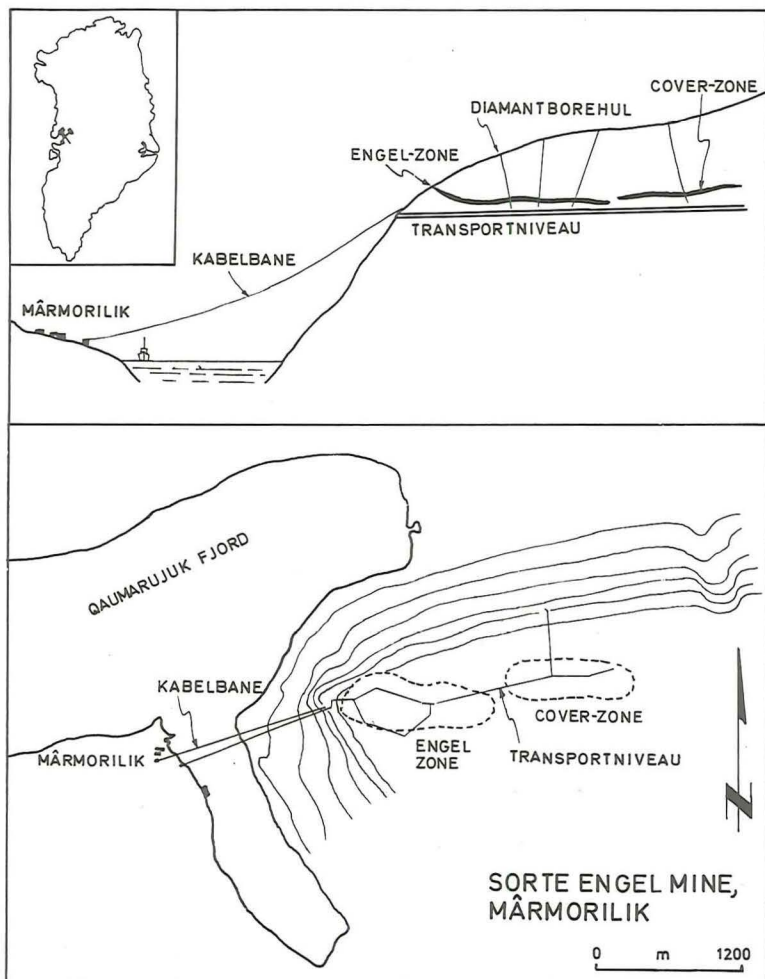


# SORTE ENGEL

af Frank D. Pedersen og Kurt Christensen.

Grønlands eneste igangværende mine, bly- og zinkminen "Den Sorte Engel" ved Marmorilik, ligger på vestkysten på 78° 8' nordlig bredde, cirka 600 km nord for polarcirklen. Fra lufthavnen i Søndre Strømfjord tager det med helikopter godt tre timer at flyve de cirka 560 km til Marmorilik.



Figur 1. Kort over mineområdet ved Marmorilik. Øverst ses et lodret snit gennem Sorte Engel Fjeldet. (reproduceret fra Can.Min.Jour. aug. 1972).

Bjergarterne i Marmorilik området er beskrevet i en tidligere artikel (Varv 1, 1976). Her skal vi se nærmere på selve bly-zink minen, dens geologi og den brydningsteknik der anvendes under udvindingen af malmen.

## MINENS HISTORIE

Sorte Engel fjeldet, der fra havniveau rejser sig næsten lodret til en højde af godt 1100 meter, ligger overfor det tidligere marmorbrud ved Marmorilik i Umanak distrikt (se figur 1). På den øverste halvdel af en af klippevæggene ses den mørke, englelignende aftegning der har givet fjeldet navn, og som har tjent som kendingsmærke for den grønlandske fangerbefolkning gennem generationer (se figur 2).



Figur 2. Den Sorte Engel set fra Marmorilik. Malmen er den rustne stribe der ses over selve Englen. De fire huller i fjeldet til venstre for Englen er kabelbaneterminalerne.

De første antydninger af en malmforekomst i fjeldet fik man, da en grønlandser i 1938 fandt mineraliserede løsblokke i raskeglerne under Den Sorte Engel. Dette fund blev fulgt op af videnskabelige undersøgelser i 1939, og konklusionen blev, at malmblokkene var meget rige på bly, zink og jern, og at de sandsynligvis stammede fra den mørke aftegning, der danner Den Sorte Engel. På grund af det høje metalindhold i blokkene og det betragtelige areal, som Englen repræsenterer, foretog man yderligere undersøgelser i 1947 og 1949. Herved blev det konstateret, at malmblokkene ikke kunne stamme fra selve Englen, men at de måtte stamme fra en tynd rusthorisont over denne. Dette medførte at der i en årrække ikke blev foretaget yderligere i området, da rusthorisonten lå utilgængeligt og blev bedømt til at være for lille efter datidens forhold.

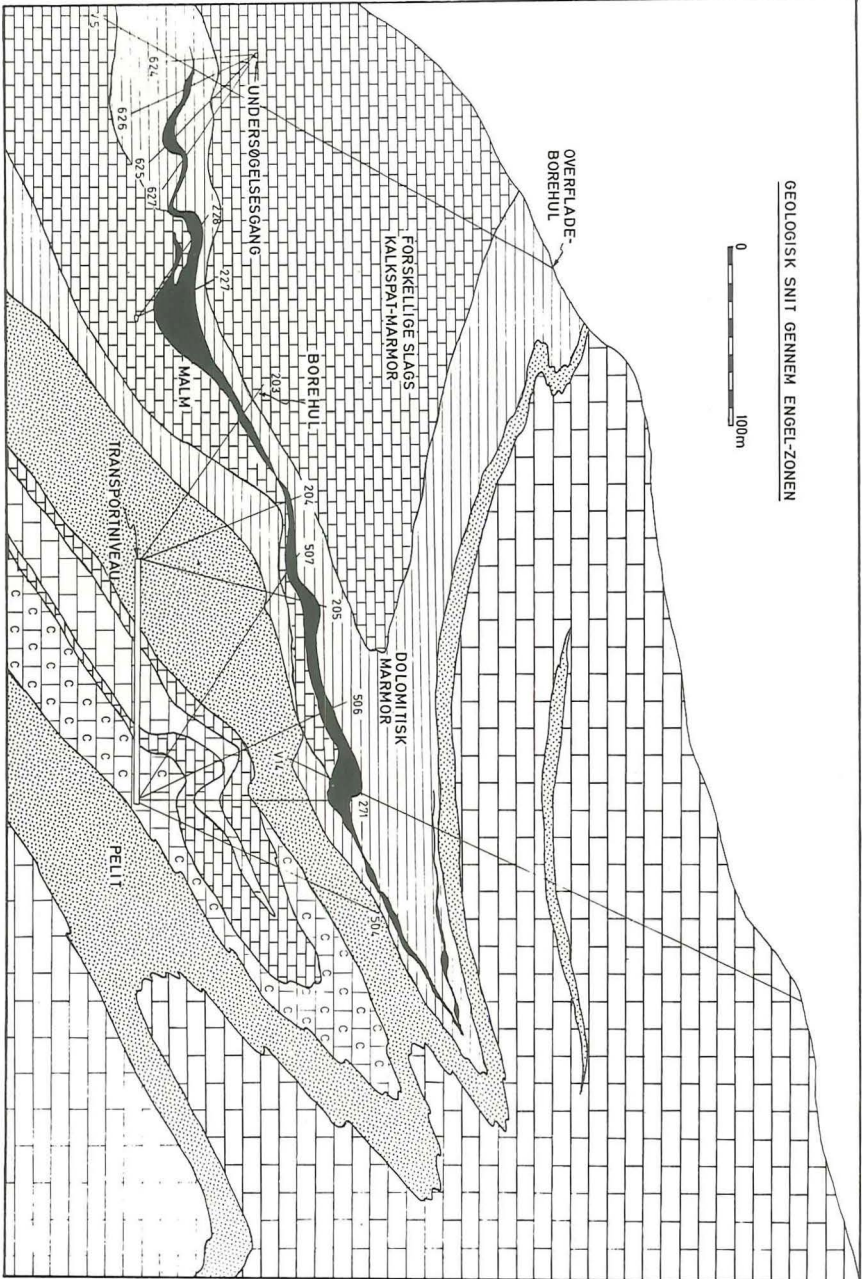
Først i 1962 tog udviklingen fart med udstedelsen af en efterforskningskoncession til to canadiske mineralefterforskere. Sammen med blandt andet det canadiske mineselskab Cominco Ltd. dannede de i 1963 et selskab, der i to omre ved hjælp af bjergbestigere undersøgte malmlagene på fjeldsiden. Resultaterne var så lovende, at det førte til oprettelse af firmaet Greenex A/S, der i 1965 fik udstedt en efterforskningskoncession på Marmorilik området. I 1966 og 1967 blev undersøgelserne udvidet til også at omfatte diamantboringer fra fjeldets top ned gennem de malmførende lag, og disse boringer førte til opdagelsen af to malmlegemer der lå tæt på hinanden i en højde af cirka 600 meter over havet. Det vestligste malmlegeme, hvorfra de omtalte løsblokke ved fjeldets fod stammede, blev døbt "Engel-zonen", og det østligste "Cover-zonen" (den overdækkede zone), fordi den ikke er blottet på fjeldvæggen.

Den malmtonnage, der kunne beregnes på grundlag af overfladeboringerne, var af en sådan størrelse, at en direkte undersøgelse af malmlegemerne inde i fjeldet var påkrævet. Dette skete i 1971, efter at Greenex A/S havde fået udnyttelseskoncession på området, og det første "angrebspunkt" blev valgt på fjeldsiden umiddelbart under Engel-zonen. Svejtiske bjergbestigere blev sænket ned fra fjeldets top med reb, og i 700 meters højde byggede de en træplatform, der skulle tjene som helikopterlandingsplads. Fra denne blev udstyr hejset ned til det sted, hvor man havde valgt at starte de første minegange, og i løbet af 1971 og 1972 blev disse fuldført af canadiske minearbejdere, samtidig med at den første kabelbane blev etableret mellem minen og Marmorilik. En prøvebrydning af malmen var så positiv, at man i 1972 påbegyndte bygningen af det egentlige bjergværk, herunder endnu en kabelbane til malmtransport, og allerede i 1973 startede produktionen fra Engel-zonen. Brydning fra Cover-zonen begyndte i 1977, og i dag er Den Sorte Engel en af Europas største enkeltleverandører af bly- og zink-koncentrater.

---

Figur 3. Typisk lodret snit gennem Engel-zonen. Det ses at diamantborehullerne er boret i vifter op gennem malmen fra transportniveauet. Yderst til venstre en undersøgelsesgang der er drevet op over malmen.

GEOLOGISK SNIT GJENNEM ENGEL-ZONEN





Figur 4. Hvid og båndet kalkspat-marmor som den ses i minegangene under Engel-zonen.

## MINENS BJERGARTER

Malmlegemerne i Den Sorte Engel findes i de øverste dele af Marmorilik-formationen, en foldet og metamorfoaseret Prækambrisk lagfølge af kalksten (se Varv 1, 1976).

De bjergarter man finder i minen er derfor hovedsagelig marmor, men flere steder skærer minegangene igennem de pelitiske (omdannede, oprindelige lerholdige siltbjergarter) bjergarter, der danner aftegningen af Den Sorte Engel på fjeldvæggen. Endelig er der de massive malmlag, der er en bjergart i sig selv, og som danner grundlaget for minedriften (se figur 3).

Marmorbjergarterne kan opdeles i to hovedtyper efter mineral-sammensætning. Kalkspat ( $\text{CaCO}_3$ ) marmor findes i størst mængde mod nord og vest i minen og er her værtsbjergart for malmen (se figur 4). Marmoren er hvid og massiv og svarer nøje til den type, der i sin tid blev solgt fra marmorbruddet i Marmorilik. Foruden kalkspat indeholder den små mæng-



Figur 5. Skarp kontakt mellem malmen (øverst) og lysegrå, finkornet marmor. Øverst i malmen ses en kraftig bånding udviklet, her og der ses afrundede indslutninger af marmor og flint.

der kvarts, glimmer og feldspat, og flere steder findes desuden op til 50 meter tykke lag af anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ ) og gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Den anden hovedtype er præget af magnesium og består overvejende af dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), og den er værtsbjergart for malmen i den sydlige og østlige del af minen. Marmoren er grå, finkornet og båndet og danner en overgangsbjergart til de pelitiske lag, der er en sort, meget finkornet bjergart. Mineralogisk består pelitten af kvarts, feldspat, glimmer, grafit og små mængder svovlkis, og dette mineralselskab viser, at den oprindelige bjergart har været en leret siltsten med en del kulholdigt materiale, der kan have været af organisk oprindelse.

Malmlagene består næsten udelukkende af metal-svovl forbindelser, såkaldte sulfider, og de eneste "urenheder" er små linser af flint og marmor, der udgør mindre end 10 % af malmhorisonterne (se figur 5). På trods af foldningen og metamorfosen, der har påvirket malmhorisonterne, kan man mange steder i minen se, at de oprindeligt har dannet lag, der sandsynligvis er afsat samtidigt med den sedimentære kalksten.

Man må derfor forestille sig, at det geologiske miljø, der har hersket på malmenes dannelses-tidspunkt, var en forholdsvis lavvandet havbugt i et område med varmt og tørt klima. Det omgivende landområde har været stærkt nederoderet, og på et senere tidspunkt er havbugten blevet isoleret fra havet, en inddampning har kunnet finde sted, og anhydrit og gips er udfældet sammen med kalkstenen. På samme tidspunkt er dannelsen af sulfiderne sket, og flere ting tyder på, at bakterier spillede en vigtig rolle i udfældningen. Adam Garde har i sin artikel i Varv 1, 1976 givet en gennemgang af denne proces.

## MALMENE

Som nævnt kendes i dag to malmlegemer i Sorte Engel fjeldet. De har begge en udstrækning på cirka 400 meter x 1200 meter og tykkelsen er de fleste steder mellem 1 meter og 5 meter – men med store lokale variationer. Tykkelsesvariationerne skyldes den foldning, områdets bjergarter har været udsat for. Det østlige malmlegeme, Cover-zonen, er det simpleste, det har form af et fladtliggende skålformet lag, der ud over hyppige tykkelsesvariationer ikke viser væsentlige tegn på deformation. Det vestlige malmlegeme, Engel-zonen, er derimod kraftigt foldet i den nordlige del, hvilket har resulteret i at det her er meget uregelmæssigt (se figur 3). Tykkelsen varierer fra nogle få meter til godt 35 meter over ganske korte afstande, og i form minder det på mange måder om aftegningen af Den Sorte Engel på fjeldets overflade. Dette er sikkert ikke nogen tilfældighed, da de to bjergartstyper, pelit og sulfider, kan forventes at opføre sig nogenlunde ens under en foldning.

Alt i alt er malmen i det nordlige område forholdsvis fladtliggende, hvilket har stor betydning for den brydningsmetode, der kan anvendes. I de sydlige dele ligner Engel-zonen den mindre komplekse Cover-zone, når der ses bort fra et stejlt parti omtrent midt i malmen (se figur 3). Her er malmlegemet flere steder blevet strakt så meget, at tykkelser helt ned til 10 centimeter er almindelige.

Indholdet af bly og zink i den massive sulfidmalm fra Sorte Engel udgør tilsammen cirka 25 %, og malmen hører således til blandt de rigeste i verden af sin art. I tabel I er vist sammensætningen af den såkaldte malmreserve, det vil sige den del af malmen, der er brydeværdig. Der er i beregningen taget hensyn til, at man under brydningen tager lidt af den omgivende marmor med, hvilket naturligvis sænker metalprocenterne, således at summen af bly- og zinkindholdet bliver under de omtalte 25 %. De dele af malmen der ikke er med i malmreserven er enten for tynde eller indeholder for lave metalprocenter.

Malme af Sorte Engel typen har sædvanligvis en forholdsvis simpel mineralogi, og tabel II viser de mineraler, der indtil nu er identificeret – flere følger nok senere, men af tabellen fremgår det, at langt størstedelen kun optræder i meget små mængder, og at hovedmineralerne er svovlkis, zinkblende og blyglans.

Antal tons	bly	zink	jern	sølv	kobber	cadmium	guld	svovl
4.540.000	4,8%	14,1%	15,5%	26ppm	0,03%	0,085%	spor	24,2%

Tabel I. Sammensætningen af malmreserven for 1976, ppm angiver "parts per million" eller gram pr. ton.

Hovedminerale:	Sporadisk forekommende minerale.
svovlkis ( $\text{FeS}_2$ )	kobberkis ( $\text{CuFeS}_2$ )
zinkblende ( $\text{ZnS}$ )	stannit ( $\text{Cu}_2\text{SnFeS}_4$ )
blyglans ( $\text{PbS}$ )	tennantit-tetrahedrit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_3.25\text{-Cu}_3\text{SbS}_3.25$ )
	polybasit ( $(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}(\text{As}, \text{Sb})_2\text{S}_{11}$ )
	arsenkis ( $\text{FeAsS}$ )
	markasit ( $\text{FeS}_2$ )
	magnetkis ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ )
Tabel II	machinawit ( $\text{FeS}$ )
	rutil ( $\text{TiO}_2$ )
	grafit (C)

## BRYDNINGSTEKNIK

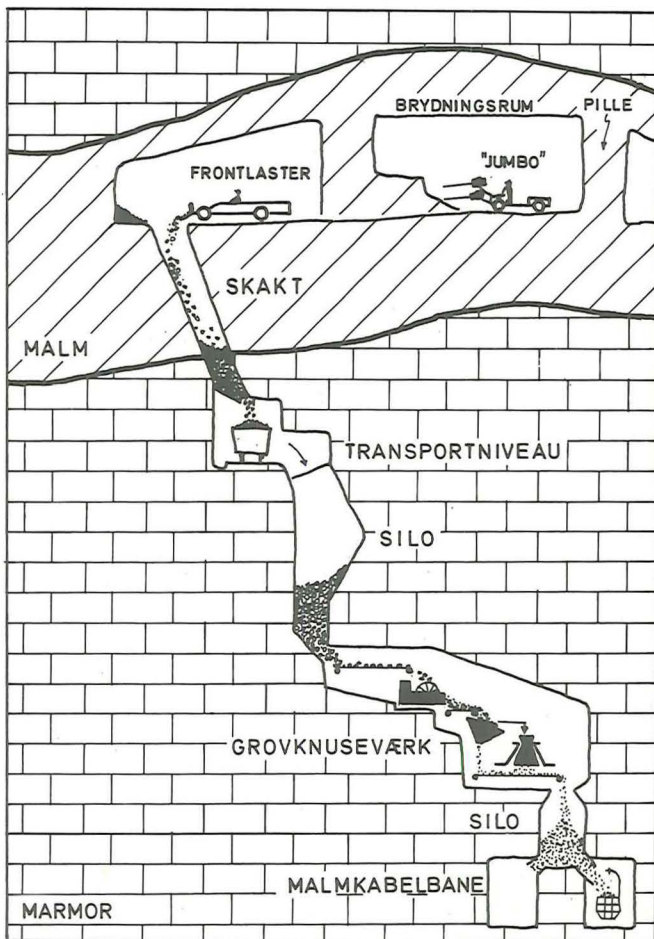
De første undersøgelsesgange, der blev påbegyndt af de svejtsiske bjergbestigere fra fjeldvæggen, var alle vandrette og ligger i en højde af 600 meter over havet. Dette niveau i minen er senere blevet udvidet med et stort antal sporlagte minegange og tjener nu som transportniveau (se figur 6). Selve malmlegemet (Engel-zonen) ligger 25 til 150 meter over transportniveauet, og man kommer op til malmen via gange, der snor sig op gennem fjeldet i spiraler.

Før selve brydningen af malmen kunne påbegyndes i 1973, måtte man indhente detaljerede oplysninger om malmlegemets form og beliggenhed. Dette blev gjort ved hjælp af diamantboringer op gennem malmen fra det senere transportniveau. I første omgang borede man et antal huller i vifter med 100 meters mellemrum på tværs af malmlegemets formodede retning, og mellem disse vifter borede man senere sektioner med 50 og 25 meters mellemrum.

Boringerne gav de forventede oplysninger om malmens struktur og danner grundlaget for en opdeling af malmlegemet i mindre blokke, beregning af malmreserverne og planlægningen af brydningen.

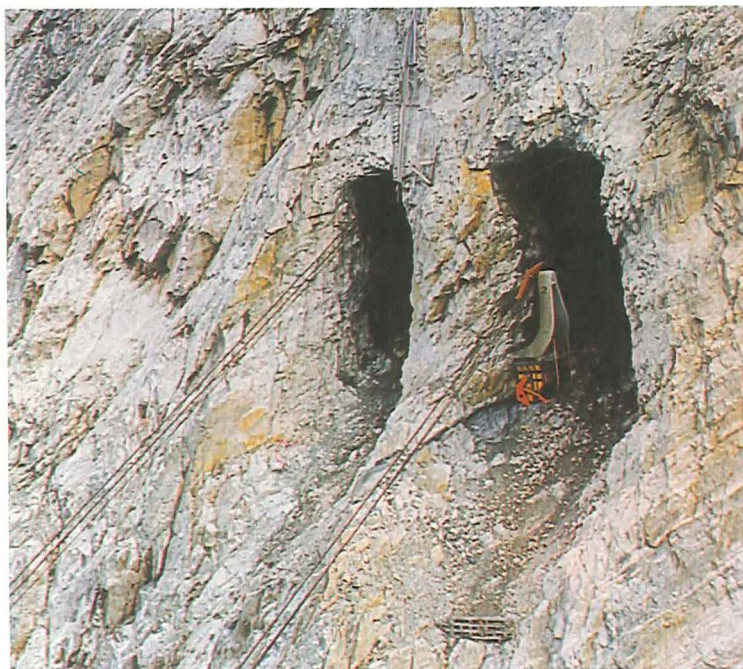
Brydningen af malmen foregår efter et system der på engelsk kaldes "open stopes and pillars". Det er baseret på en opdeling af malmlegemet i rektangulære brydningsrum ("stopes") og under brydningen fjerner man gradvist malmen i disse og efterlader piller mellem rummene til understøttelse af taget. Det areal pillerne dækker, udgør cirka 15 % af hele malmens areal.





Figur 6. Brydningsmetodikken ved mekaniseret brydning (øverst). Den nederste del af figuren viser de processer malmen skal igennem før den føres med malmkabelbanen til videre forarbejdning i Marmorilik.

Den brudte malm fyldes i skakter, der går ned til transportniveauet, hvor den tappes over i tipvognet (se figur 6). Disse kører malmen videre til en stor silo, der er sprængt ud i klippen under transportniveauet, og ved bunden af denne ligger grovknuseværket i en højde af 550 meter over havet. Her knuses malmen ned, så de største klumper er under 5 centimeter i diameter, og den føres videre til malmkabelbanen, der transporterer den over fjorden til Marmorilik. Den sidste forarbejdning foregår i minebyen, hvor malmen separeres ved en kemisk proces i et bly- og et zinkkoncentrat, der i sommermånederne sejles med tankskibe til smelterierne i i Europa (se figur 7).



Figur 7. Malnkabelbane-terminalerne på fjeldvæggen under Englen. De to huller er godt 35 meter høje og 15 meter brede. Til højre er en kabelvogn netop på vej ned med en ladning grovkornet malm.



Massiv pyrit-zinkblende malm fra den nederste del af Engel-zonen. I billedet ses en grovkornet marmorindeslutning.

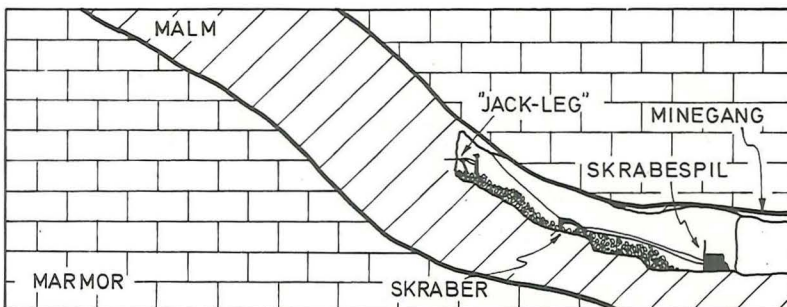
## "JUMBO OG JACK-LEGS"

Malmlegemernes komplekse struktur medfører, at man må operere med både håndboremaskiner ("jack-legs") og selvkørende, hydrauliske boremaskiner ("jumbo's") under brydningen. Ved begge metoder drives først en minegang langs malmens øvre kontakt parallelt med strygningsretningen, og fra denne gang udgår brydningsrummene.

I de fladtliggende områder af malmen anvendes den mekaniserede brydningsmetode. Malmen bores op med jumbo (se figur 6) og efter sprængningen køres den til en malmskakt med frontlaster ("scoop-tram"). Som sprængstof anvendes en kunstgødning (ammoniumnitrat) blandet med dieselolie, og antændelsen sker ved hjælp af en detonator. En forudsætning for, at mekaniseret brydning kan finde sted er, at gulvet i brydningsrummet hælder mindre end cirka  $10^{\circ}$ , idet frontlasteren ellers ikke kan fylde skovlen. Brydningsrummene er normal 16 meter brede og op til 100 meter lange, langs begge sider efterlades piller på  $7 \times 7$  meter med mellemrum på cirka 10 meter.

Hælder malmen mere end  $10^{\circ}$  anvendes i stedet håndboremaskine under brydningen. Man starter nederst i brydningsrummene, der er lagt vinkelret på malmens strygningsretning, og arbejder sig op i disse langs malmens øvre kontakt. Den løssprængte malm skræbes ned med en skovl, drevet af et elektrisk spil (se figur 8), og den videre transport foregår normalt med frontlaster. Brydningsrummene er ved denne metode også 16 meter brede og op til 80 meter lange, men pillerne mellem rummene er 4 meter tykke i hele rummets længde grundet den større belastning, de er udsat for.

Da produktiviteten ved den mekaniserede brydningsmetode er langt større end ved brydning med håndboremaskine, forsøger man naturligt nok at anvende de hydrauliske boremaskiner, hvor det er muligt. Det er grun-



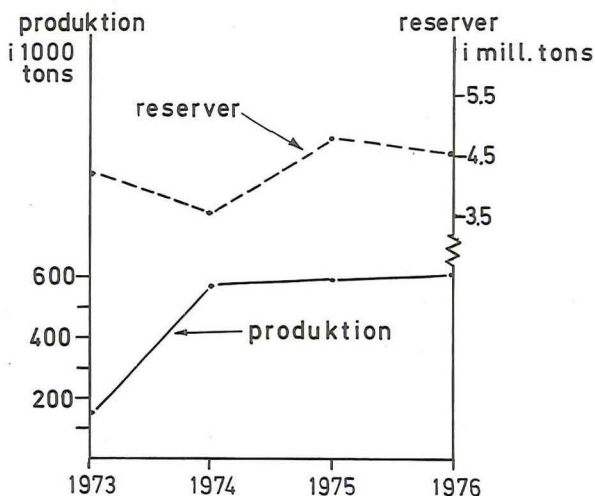
Figur 8. Brydningsmetodikken ved skræbespil-brydning. Skræbeskovlen er hængt op i stålwirer og kan føres op og ned i brydningsrummet ved hjælp af det elektriske spil nederst. Malmen transporteres videre ad minegangen til højre med frontlaster.

den til, at man i den senere tid er begyndt at anvende en ny brydningsmetode, hvor man i stejltstående malmpartier arbejder mekaniseret i brydningsrum, der er lagt parallelt med malmens strygning. De foreløbige resultater er meget opmuntrende, og det forudses at denne metode snart vil gøre skræbepilsbrydningen næsten overflødig.

## MINENS LEVETID

Samtidig med at den egentlige malmproduktion finder sted, foregår der en udbygning af minen, så nye områder af malmen hele tiden gøres klar til produktion. Det sker ved, at man driver nye minegange ind i malmens yderområder på en måde, så de kommende brydningsrum kan blive så vandrette som muligt. I øjeblikket laves der cirka 200 meter nye gange om måneden, hvilket er tilstrækkeligt til at holde trit med produktionen.

For at forøge malmreserverne i minen foretages der til stadighed efterforskning udenfor den kendte del af malmlegemerne. Dette gøres ved diamantboringer, dels fra minegange, der drives ud under nye områder af malmen, dels fra Sorte Engel fjeldets overflade. I 1977 blev der således ialt diamantboret cirka 30.000 meter og drevet 1000 meter undersøgelsesgange. Efterforskningerne skulle gerne give som resultat, at man hvert år finder lige så meget ny malm, som der brydes - hvilket svarer til 600.000 tons, og som figur 9 viser, er dette mål hidtil blevet nået.



Figur 9. Malmproduktionen og udviklingen i minens malmreserver siden starten af brydningen i 1973. Som det fremgår er der på trods af produktionen sket en mindre øgning i minens reserver frem til 1976.



Udsigten over Marmorilik fra en af personkabelbane-terminalerne. Yderst i fjorden ses Nugssuaq, en afstand på godt 250 km.