

2005

geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 1

MINERALSKE RÅSTOFFER

Mineralske råstoffer skal udgøre
en vigtig indtægtskilde for det
grønlandske samfund

MILJØ I GRØNLAND

Råstofudvinding påvirker
det omkringliggende miljø

MINERALSKE RÅSTOFFER I GRØNLAND

KARSTEN SECHER

Seniorgeolog, GEUS
(kse@geus.dk)

Grønlands Hjemmestyre har som mål, at mineralske råstoffer skal udgøre en vigtig indtægtskilde for det grønlandske samfund, på linie med fiskeri og turisme. Derfor gøres der en stor indsats for at foretage geologisk kortlægning og videnopbygning, og for at gøre mineindustrien interesseret i Grønland. Igennem mere end 100 år spillede kryolit-minen i Ivittuut en afgørende rolle for Grønlands økonomi. Blandt andre forekomster som er blevet udnyttet, kan nævnes kul på Disko og bly/zink/sølv ved Maarmorilik og ved Mestersvig. Udover disse er der påvist en lang række forekomster, som kan udnyttes i fremtiden, hvis fx prisen på råstofferne stiger. I 2004 blev Grønlands første guldmine åbnet nær Nanortalik. Desuden knytter der sig i disse år stor interesse til diamanter i Vestgrønland, og til guldforekomster i egnen ved Godthåbsfjorden – og til en lang række andre råstoffer. Det er dog ikke uden problemer at udnytte mineralske råstoffer i Grønland. Det er vigtigt, at affaldet håndteres og deponeres på en måde, så man minimerer forurening af miljøet. Derfor skal det lokale miljø kortlægges inden minedrift går i gang.

GRØNLANDS RÅSTOFFER FØR OG NU

Råstofudnyttelse har stået højt på ønskesedlen i Grønland fra kolonitidens begyndelse. De to foregående århundreder var succesrige i den henseende. Stilstanden efter 1990, hvad angår aktiv minedrift, har givet anledning til frustration i råstofkredse, selvom der gradvis siden etableringen af den systematiske geologiske undersøgelse i 1946 er skaffet bedre og bedre råstofgeologisk viden. En netop åbnet guldmine i Sydgrønland kan blive det troværdige led til det nye årtusinde, hvor minedriften kan blive et centralt emne i Grønlands råstofverden.

Grafit var det mineralske råstof, der blev først udnyttet den første gang, der var tale om egentlig minedrift. Det blev brudt i 1845 på Langø ved Upernavik og på flere mindre forekomster i 1850 på Storøen i Uummannaq Fjord. Ivittuut området blev det næste centrum for råstofudnyttelse. Kryolitbrydning blev påbegyndt i 1854,

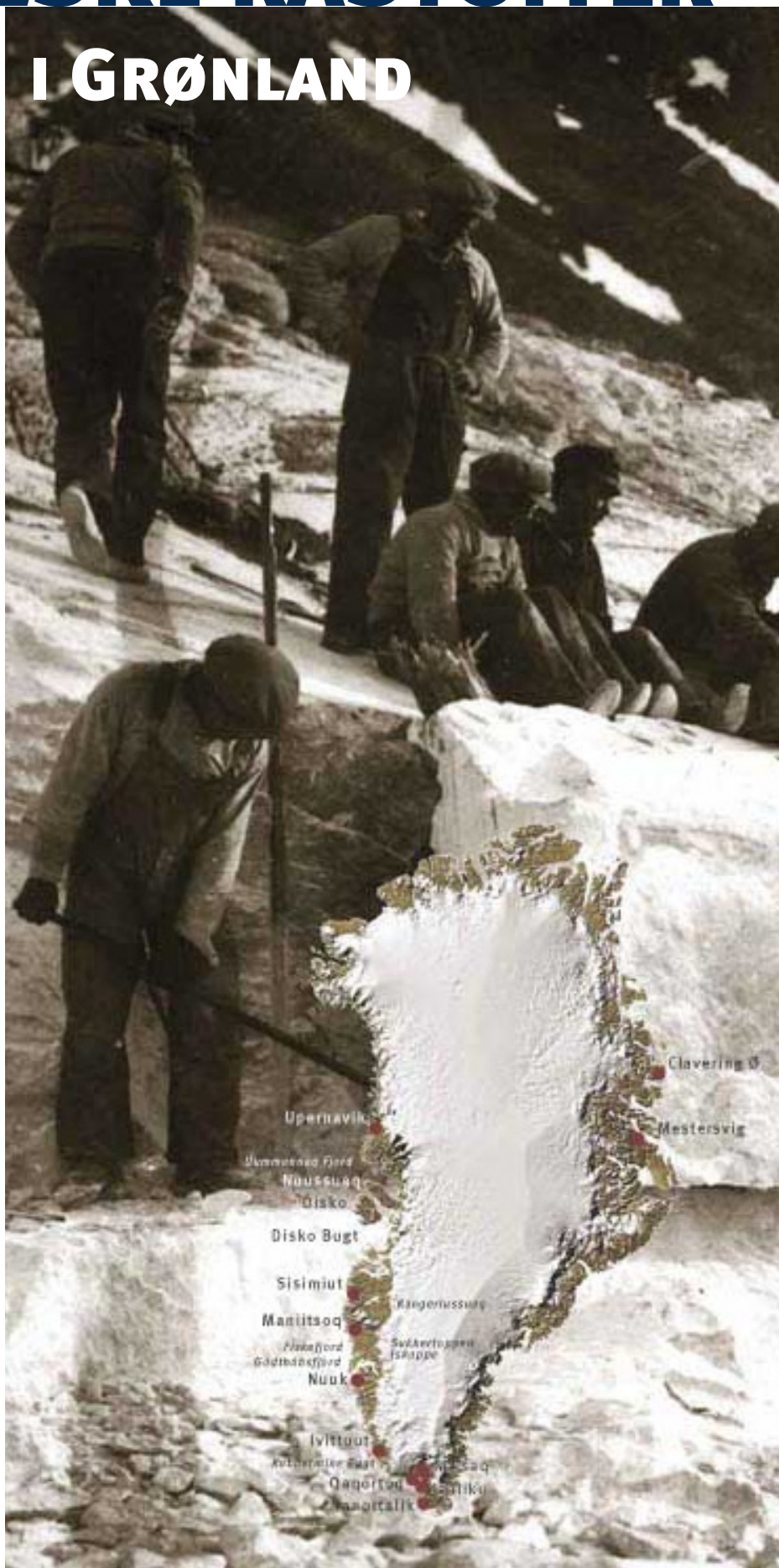




Foto: GEUS Arkiv

I 1934 påbegyndte Grønlands Styrelse forsøgsbrydning af marmor på øen Appat ved Uummannaq. Marmorblokke frigøres her i bruddet i 1935. Minen blev i 1936 flyttet til Maarmorilik omkring 50 km mod øst.



Foto: B. Thomassen, GEUS

Ved Qullissat på østsiden af Disko blev kulminen åbnet i 1924 og kulminedrift var her en realitet de næste 50 år. Minen blev lukket i 1972, og i dag ses kun rester af kulbunker og de tekniske installationer.

idet materiale hjembragt i 1853 havde vist sig egnet til udnyttelse. Kobberminedrift havde været forsøgt i nærheden, ved Josva Mine i perioden 1852-55 og i 1851 ved Frd. Vlls Kobbermine ved Qaqortoq. Det sjældne metal zirkonium, kendt fra en forekomst nær Narsaq i Sydgrønland, blev forsøgsvis brudt i 1888-89 og igen i 1900. Bortset fra kryolitbrydningen havde mine- driften mere karakter af forsøgsdrift og småskaladrift – en driftsform karakteriseret ved den norske bjergværksterm 'skjerp' (dansk version: 'grøft', 'grøftning'), hvor få personer med enkelt udstyr gennemfører den ønskede udnyttelse.

En særstilling indtog udnyttelse af kul i Grønland, idet råstoffet kunne anvendes direkte som brændsel. Disko Bugtens kulforekomster havde været genstand for brydning allerede 1782-1833 ('Kulbrækkeriet på Disco'), det senere 'Ritenbenk Kulbrud'. Kulbrydning foregik i hele tidsrummet på flere mindre kullag i området,

og i mange tilfælde var der mere tale om boplads- og bygdeforsyning end struktureret brydning. Først i 1905-09 begyndte statens kulbrud ved Qaarsuarsuk på nordsiden af Nuussuaq at organisere en mere moderne brydning på et sted, hvor lokalbefolkningen længe havde indsamlet kul. Denne aktivitet stod på indtil 1924, hvor minen blev flyttet til Qullissat på østsiden af Disko, og hvor kulminedrift var en realitet de næste 50 år. Qullissat minen blev lukket i 1972 efter beslutning af grønlandsadministrationen; angiveligt efter talrige år med driftsunderskud.

STATSLIG MINEDRIFT

Tiden havde samtidig modnet statens lyst til at forsøge sig med andet end kulminedrift. I 1934 påbegyndte Grønlands Styrelse derfor en forsøgsbrydning af marmor på øen Appat ved Uummannaq. Minen flyttedes i 1936 til Maarmorilik ikke langt derfra, og forventningerne til

LOKALITET	RÅSTOF	AKTIVITET	BRUDT MALM
'Kulbrækkeriet på Disco'	Kul	1782-1833	? ton
Langø, Upemavik	Grafit	1845; 1905; 1914	130 ton
Frd. VII Kobbermine, Qaqortoq	Kobber, sølv	1852; 1905; 1912	18 ton
Josva Mine, Kobberminebugt	Kobber,(guld)	1852-1854; 1905-1914	2252 ton
Ivittuut, Arsuk Fjord	Kryolit	1854-1987	3700000 ton
Kringleme, Ilimmaassaq	Zirkonium	1888-1889; 1968	160 ton
Qaarsuarsuk, Nuussuaq	Kul	1905-1924	25000 ton
Eqalussuit, Gl. Egedesminde	Grafit	1912	50 ton
Utoqqaq, Sisimiut	Grafit	1914	80 ton
Amitsoq, Nanortalik	Grafit	1915-1924	6000 ton
Qullissat, Disko	Kul	1924-1972	570000 ton
Auspicietaleen, Clavering Ø	(Guld), Jern	1933	5 ton
Appat, Uummannaq	Marmor	1934-1936	621 ton
Maarmorilik, Uummannaq	Marmor	1936-1940; 1966-1971	3949 ton 5000 ton
Mestersvig, NØ-Grønland	Bly, zink	1956-1963	545000 ton
Kvaneffjeld, Narsaq	Uran	1958-1962; 1978-1981	11000 ton
Isukasia, Godthåbsfjord	Jern	1965-1971	150 ton
Sorte Engel, Maarmorilik	Bly, zink, sølv	1973-1990	11300000 ton
Itlililup Qeqertaa, Evighedsfjord	Olivin	1995-1996	300 ton
Nalunaq, Nanortalik	Guld	2004-	153000 ton

driften var optimistiske. Besættelsesårene satte dog en stopper for aktiviteten, da afsætningen gik i stå. Anlægget blev demonteret under krigen og efter krigen var der ikke ressourcer til en genetablering i statsligt regi. Fra 1966-71 kom der atter aktivitet på stedet, idet en københavnsk fabrikant genoplivede minen, med det resultat at grønlandsk marmor var tilgængeligt i Danmark indtil langt ind i 1980'erne. Grønlands Styrelse støttede også geologen Lauge Kochs forsøg på i 1933 at åbne en guldmine på Clave-

ring Ø i Nordøstgrønland. Projektet var nok en smule forhastet, for guld mængden var ikke som forventet og minen blev opgivet samme år.

Statens engagement i råstofudnyttelsen blev genoptaget i 1950'erne. Nordisk Mineselskab A/S blev oprettet i 1951 med en statslig aktieandel på 27,5%, med det formål at forestå driften af en kommende blymine ved Mestersvig i Nordøstgrønland. Blyforekomsten var fundet under Lauge Kochs offentligt finansierede ekspedition i 1948. Minen var aktiv fra 1952 indtil 1963, hvor

den måtte lukke, da malmen var opbrugt. Etableringen af minen nødvendiggjorde store udgifter til anlæg af by, havn og lufthavn. Ved minens lukning blev det opgjort, at de samlede udgifter og indtægter gik lige op.

STRATEGISK RÅSTOFUDNYTTELSE

Samtidig besluttede staten i 1955 sig for at igangsætte uranundersøgelser med centrum omkring Ilimmaasaq-intrusionen i Sydgrønland. Det blev indledningen til et langt samarbejde mellem GGU/GEUS, Københavns Universitet og Atomenergikommisionens Forsøgsanlæg Risø. Den forskningsbaserede mineralefterforskning medførte hurtigt, at en del af de karakteristiske andre grundstoffer i intrusionen blev inddraget i overvejelserne om udnyttelse og mulig minedrift. Dette medførte forsøgsbrydning i 1968 af zirkonium i samarbejde mellem Risø og Superfos A/S. Uranefter søgningen førte i to omgange til forsøgsminedrift på Kvaneffjeld i perioderne 1958-62 og 1978-81. Den i 1985 vedtagne lov om forbud mod kernekraft i Danmark kølnede hurtigt disse overvejelser, mens de øvrige råstoffer på stedet fortsat har økonomisk interesse.

VIGTIGE RÅSTOFFER

Råstoffernes betydning i Grønland tiltog efter 2. Verdenskrig. Allerede i 1940 dækkede afgifter fra kryolitbrydningen til staten alle udgifter til koloniadministrationen. Omkring 1980 oplevede byen Uummannaq et økonomisk opsving pga. indtægter fra den nærliggende bly-zinkmine Sorte Engel. I 1990'erne blev der i Grønland formuleret en vision om, at råstofferne skulle være ét af fremtidens tre bæredygtige ben (sammen med fiskeri og turisme) – et ønske som også i dagens selvstyresammenhæng understreges. I et socioøkonomisk perspektiv skabte mineaktiviteter i Qullissat (kul) og Maarmorilik (bly-zink) lokale ekspertsamfund. Den manglende kontinuitet i åbningen af nye miner resulterede dog i, at ekspertisen ikke kunne overleve.



Foto: GEUS Arkiv.

Uranefter søgning førte i to omgange til forsøgsminedrift på Kvaneffjeld i Sydgrønland i perioderne 1958-62 og 1978-81. Til kampagnen i 1958 blev der etableret en tovbane til transport af materiel og brudt malm.



Fotos: Råstofdirektoratet

Guldminen ved Nalunaq i Sydgrønland åbnede i 2004 efter mere end 10 års målrettede geologiske og tekniske undersøgelser. Der foregår nu minedrift i tre underjordiske niveauer med indgang på fjeldsiden, hvorfra malmen køres til udskibning fra havneanlæg, ikke langt fra minebyen i dalbunden. Til venstre ses et nærbillede af et stykke guld-malm på ca. 4 x 4 cm.



Fotos: S. M. Jensen, GEUS.



Selskabet bag guldminen – Crew Development Ltd – har nu opnået en udnyttelsestilladelse, som hurtigt kan føre til åbningen af den næste mine i Grønland. Industrimineralet olivin skal udvindes fra en forekomst ved Seqi i Vestgrønland, ikke langt fra Nuuk. De første prøveboringer i forekomsten er netop gennemført.

Foto: Crew Development Ltd.



AKTUEL MINEDRIFT I GRØNLAND

Guldminen ved Nalunaq i Sydgrønland åbnede i 2004 efter mere end 10 års målrettede geologiske og tekniske undersøgelser. Det er håbet, at der er tilstrækkelig malm til at sikre en levetid på mindst 5-10 år. Området har et stort potentiale for flere forekomster med guld-malm, som vil kunne forlænge minens levetid. En aktiv guldmine er det bedste udgangspunkt landet kan have efter næsten 15 års stilstand i minedrift, hvis økonomien skal præges af en bæredygtig udnyttelse af mineralske råstoffer. Ægte guld har altså overtaget pladsen fra det 'hvide' guld (kryolit) - der indledte Grønlands karriere

som mineland. I skrivende stund er det netop blevet offentliggjort, at selskabet bag guldminen – Crew Development Ltd – har opnået en udnyttelsestilladelse, som i nær fremtid kan

føre til åbningen af den næste mine i Grønland, idet industrimineralet olivin skal udvindes fra forekomsten Seqi i Vestgrønland, ved Fiskefjord ikke langt fra Nuuk.



Efterforskning af råstoffer i Grønland er afhængig af moderne logistik. De største helikoptere tages ofte i brug når nødvendigt udstyr og mandskab skal bringes til en fjern position. Det kan også være fastvingede fly, som har fået monteret særligt udstyr til luftbårne geofysiske undersøgelser og kortlægninger.

RÅSTOFFER OG FORSKNING

Grønlands råstofpotentiale er i dag en del af den internationale råstofverdens bevidsthed. Den nationale geologiske og mineralogiske udforskning, i dag samlet i Geocenter København, har været en vigtig støtte for at nå dertil og i det samspil der har udviklet sig mellem alle aktørerne. Forskningens resultater har fra tidlig tid været formidlet på internationale sprog i Meddelelser om Grønland og GGU/GEUS' tidsskrift-serier, og oftere og oftere i internationale tidsskrifter.

Da GGU/GEUS i 1965 opnåede status som en permanent offentlig institution var de geologiske forudsætninger i Grønlands undergrund efterhånden kendt i store træk, og nu kunne den systematiske kortlægning af forholdene fortsætte i faste rammer. En lang række mineralforekomster var allerede påvist og adskillige søgt udnyttet, med vekslende held. Først med den gradvise oparbejdning af systematisk geologisk viden, blev det dog muligt at udnytte den geologiske sammenhæng til at finde nye forekomster og til at forbedre kendskabet til de allerede kendte. Samtidig lykkedes det efterhånden også at tiltrække internationale aktører – mine- og efterforskningselskaber med erfaring og finansiering fra udlandet. Denne indsats blev hjulpet godt på vej efter en reorganisering af råstoflovgivningen i 1991, hvorefter samspelet mellem forskningsresultaterne og brugerne heraf – mineselskaberne – blev styrket. I 2004 er man gået et skridt videre, idet Grønlands Råstofdirektorat har vedtaget en selvstændig mineralstrategi for den fremtidige råstofhåndtering. Vidensopsamlingen gjorde det muligt at målrette råstofefter-søgning til bestemte områder med særlige geologiske miljøer. Eksempler herpå er den øgede aktivitet i Grønland, som fulgte fundet af en ny lovende forekomststype i 1994 i Canada: Voisey's Bay nikkel-kobolt forekomst, eller den interesse der opstod i Vestgrønland, da man i samme periode fandt diamantførende bjergarter i Canada. I dag er råstofefterforskningen præget ikke alene af danske og grønlandske selskaber, men også af indsats fra lande som Canada, Norge,



Diamanterne i Grønland kommer fra lokaliteter i områderne syd-øst for Maniitsoq og lige nord for Sukkertoppen Iskappe. Hovedparten (95 %) er 'mikrodiamanter', dvs. mindre end 1/2 mm i tværsnit på den længste led. De to diamanter er på godt 1/2 mm og de blev hentet blandt 125 andre fra en samlet prøve på ca. 1 ton (de hvide sække på række) ikke langt fra Maniitsoq.



DIAMANTER

Diamanter er kulstof, som er krystalliseret under meget høje tryk og temperaturer et par hundrede kilometer nede i jordens kappe. Diamanter forekommer i kimberlit, en særlig vulkansk bjergart, der under eksplosive udbrud er trængt op nær jordens overflade. Diamanter er sjældne ved jordens overflade, og når de findes i fast fjeld, er det som indeslutninger i bjergarter, der stammer fra et sted dybt i kappen. Kimberlit optræder hovedsagelig i to former: som stejltstående sprækkefyldninger (gange), og som tragtformede, lodretstående legemer (pipes). Med andre ord er kimberlit at sammenligne med et transportbånd, der samler diamanterne op fra deres dybtliggende kilde og fører dem op til den øverste del af jordskorpen, hvor de vil findes som indeslutninger i gange eller pipes.

Grønland har været mål for intens diamantef-

terforskning siden begyndelsen af 1990'erne, men aktivitetsniveauet har været støt faldende siden kulminationen i 1997. På det tidspunkt var stort set hele den isfri del af Grønlands vestkyst (omkring 60.000 km²) dækket af efterforskningstilladelser. Ved udgangen af 2004 dækker de diamantrattede tilladelser kun omkring 10% af dette areal, men der anes en ny stigende interesse fra selskabernes side.

Der er til dato påvist i alt omkring 900 diamanter i Grønland. De kommer fra lokaliteter i området sydøst for Maniitsoq og området lige nord for Sukkertoppen Iskappe. Hovedparten (95%) er 'mikrodiamanter' (mindre end 1/2 mm på den længste led og uden værdi), og selvom de er en indikation på, at også 'makrodiamanter' (større end 1/2 mm) i teorien kan findes, er der endnu ikke fundet nok til, at detalundersøgelser er sat i gang.

England og Australien.

GRØNLANDS GEOLOGI OG RÅSTOFPOTENTIALE

Den isfrie del af Grønland (se kort side 19) kan som grundlag for de økonomisk geologiske muligheder opvise en komplet geologisk tidssøjle, hvor de nederste arkæiske lag gemmer nogle af

jordens ældste dannelser med aldre op mod 3,8 milliarder år. Dernæst følger palæoproterozoiske lag, og tilsammen udgør de grundfjeldet mod vest, sydvest og sydøst, Grønlands ældste krystalline bjergarter, dvs. grundfjeldet udgør mere end 2/3 af den tilgængelige overflade. Palæozoiske og mesozoiske sedimentære og magmatiske provinser fortsætter lagsøjlen, bl.a.

Diamanterne på forrige side stammer fra en godt 1,5 m bred gang (dvs. sprækkeudfyldning) af bjergarten kimberlit nær ved Maniitsoq. Gangen ses her som brune masser i det lyse grundfjeld af gnejs. Geologens røde rygsæk som kan ses i den hvide ring, kan tjene som målestok.

Foto: J. Laurrup, GEUS.

som regionale bassiner mod nord og øst, ofte påvirket af jordskorpebevægelser og senere indgået i dannelse af foldebælter. Den geologiske historie i det faste fjeld blev afsluttet i Palæogen-tiden med vulkansk aktivitet og mægtige lag af basaltlava, som nu dækker væsentlige dele af de centrale områder i øst og vest. GEUS' nyere aktiviteter inden for økonomisk geologi udnytter det opnåede overblik til at gennemføre regionale råstofvurderinger, ofte kombineret med detaljerede undersøgelser af særligt komplekse eller forskningsmæssigt udviklende råstofindikationer. Der tegner sig et billede af et potentiale i Grønland, som dækker de fleste af de gængse eftertragtede råstoffer, og endda flere – i verdenssammenhæng – sjældne og usædvanlige råstofftyper. Råstoffer og forekomster mærket med (*) i det følgende er i særlig grad resultat af viden fra den offentlige geologiske undersøgelse og forskning.

I området nær Kangerlussuaq lufthavn blev der for et par år siden observeret en kimberlitisk gang, som med en tykkelse på 20 m antagelig er en af verdens største af slagsen. Geologen er ved at studere gangens kontakt til grundfjeldet. Selvom gangen indtil videre ikke har afsløret evt. diamanter, er dens tilstedeværelse vigtig information om diamanbjergarternes udbredelse i Grønland.

Foto: S. M. Jensen, GEUS.



NORD- OG VESTGRØNLANDS GRUNDFJELD: DIAMANTER, GULD, JERN, KROM OG NIOBIUM

Grundfjeldsområdet i Vest- og Nordgrønland har været genstand for intens mineralefterforskning. Sammen med den ældste, arkæiske del i det centrale Vestgrønland, repræsenterer de den østlige fortsættelse af det canadiske skjold, som er kendt for utallige mineralforekomster. Der har længe været kendt forekomster af jernmalm (Isukasia), *chromit (Qeqertarsuaat / Fiskerhøjsset), ædelmetaller (Nuup Kangerlua / Godthåbsfjord) som alle har været detaljeret undersøgt og vurderet for mulig udnyttelse.

I nyere tid har netop relationen til Canadas

geologi resulteret i et helt nyt mineralemne: diamanter. I starten af 1990'erne fandt man en i Canada hidtil ukendt type af diamanførende struktur i grundfjeldet. Lighedspunkterne til Grønland var store og snart var der også her gjort diamanfund, som bestemt er positive. Inspirationen fra Canada støttede den viden, der allerede eksisterede om diamanførende og beslægtede bjergarter: *kimberlit og *karbonatit, der som yngre vulkanske dannelser findes over et stort område i Vestgrønlands grundfjeld (Kangerlussuaq–Maniitsoq). De beslægtede bjergarter huser også de aktuelle stoffer *niobium og sjældne jordarters metaller og eftersøgningen af disse, og især diamanter, pågår i disse år.





NIOBIUM

Niobium (Nb) er et metal, placeret som grundstof nr. 41 i det periodiske system. Den tekniske anvendelse er som legeringsmetal sammen med jern til fremstilling af specialstål. Niobium brydes på verdensplan (Brasilien og Canada) i lødigheder på 1 til 5% Nb. Niobium findes i naturen mest som mineralet pyrochlor. I Grønland findes niobium i forskellige magmatiske geologiske dannelser, der alle er i kategorien alkaline bjergarter. Især to forekomster har påkaldt sig interesse. Nær *Sarfartoq i Vestgrønland er pyrochlor knyttet til en såkaldt karbonatit-intrusion, med en udstrækning på 90 km² på jordoverfladen. Karbonatit er kalksten dannet i jordens dyb, som ved vulkansk aktivitet er bragt op nær jordoverfladen. Den anden forekomst er i Sydgrønland, hvor pyrochlor indgår som en væsentlig bestanddel i *Motzfeldt Sø intrusionen af syenitiske bjergarter (bjergarter der er undermættede, dvs. med et lavt kisel-syreindhold). I begge tilfælde er lokaliseringen af forekomsterne et resultat af GEUS' råstofforskning.

Ved Sarfartoq ses forekomsten som et linseformet legeme på 10 x 100 m i overfladen. Selvom dybden ikke kendes, er det dog klart, at der er tale om en lille forekomst. Niobium-lødligheden her er gennemsnitlig på 10% Nb, men kan være så høj som 40% Nb, og der er altså tale om malm med meget høj lødlighed. Flere selskaber har undersøgt forekomsten inden for de seneste 20 år, dog uden at det på nuværende tidspunkt har resulteret i udnyttelse.

Ved Motzfeldt Sø er forekomsten af en helt anden karakter. Lødligheden er lav (op til 1% Nb), men til gengæld er den samlede mængde malm (tonnage) meget stor, idet den på overfladen findes i et område på 15 x 20 km. Ved Motzfeldt Sø følges niobium af et tilsvarende legeringsmetal, tantal (Ta) (grundstof nr. 73 i det periodiske system), der her findes i så store mængder, at forekomsten er en af verdens største. Detailundersøgelser udføres for tiden af et mineselskab.

Foto: K. Secher, GEUS.

Nær Sarfartoq i Vestgrønland er niobiummineralet pyrochlor knyttet til en såkaldt karbonatit-intrusion. Karbonatit er kalksten dannet i jordens dyb, som ved vulkansk aktivitet er bragt op nær jordoverfladen. Den smeltede kalksten har påvirket grundfjeldet i omgivelserne, som er blev opsprækket og kemisk omdannet (oxidret) med markante rustbrune farver til følge.

SYD- OG VESTGRØNLANDS GRUNDFJELD: KOBBER, GULD OG SJÆLDNE GRUNDSTOFFER

I Sydgrønlands yngre grundfjeld har der længe været kendt forekomster af *uran, *zirkonium, *beryllium og *sjældne jordarters metaller (lilmaasaq), *tantal-niob (Motzfeldt Sø) og kob-

ber (Kangerlua/Kobbermine Bugt), som alle har været intensivt undersøgt eller sågar udnyttet. Guld har også været kendt fra flere mindre forekomster (Taartoq), og intens eftersøgning i de seneste 10 år har resulteret i flere guldfund (Napasorsuup Qoorua/Kirkespirdalen samt *Kangerluluk). Især ved Napasorsuup Qoorua nær

Nanortalik viste der sig en stor forekomst, som nu er blevet til Grønlands første guldmine: Nalunaq.

Aktuel er forekomster af guld i Nuuk-området, hvor de senere års arbejde i regi af mineselskaber og GEUS har afdækket et omfattende system af grønstensbælter med talrige guldmine-



Foto: P. Appel / K. Secher, GEUS.

Flere af de allerede kendte råstofforekomster i Grønland undersøges med jævne mellemrum i takt med at nye oplysninger og metoder dukker op. Foto (a + b) viser Storø guldforekomstens rustne lag og et geofysikerhold under opmåling i Godthåbsfjord. Foto (c) demonstrerer geologlejr i en helt anden terræntype af grønsten ved guldforekomsten nær Taartoq i Sydgrønland. Foto (d) er fra Ilimmaasaq-itrusionen i Sydgrønlands yngre grundfjeld, som længe har været kendt for forekomster af sjældne grundstoffer. Store områder her er egnede til geologiske undersøgelser baseret på brug af rejsekuttere.

raliseringer. Især har en lokalitet på Storø i Godthåbsfjord påkaldt sig interesse. Boringer og detalundersøgelser har for nyligt vist, at flere lokaliteter har så meget guld i malmen, at guldet bliver synligt på overfladen. Undersøgelserne vil fortsætte de kommende år og kan måske resultere i en brydeværdig forekomst nær Grønlands centrale by Nuuk. Licensen til råstofrettigheden ejes i øvrigt af et grønlandsk selskab, NunaMinerals A/S.

GRUNDFJELDETS RANDOMRÅDER: ZINK OG BLY

Ses der på råstofmulighederne i det proterozoiske område på nordflanken af det ældste grundfjeld, har der kun været kendt få forekomster ud over bly-zink-minen ved Maarmorilik. Mere bly og zink har været eftersøgt og flere fund er gjort, dog oftest tæt på den tidligere mine. Guld har også været ihærdigt undersøgt i området, ikke mindst i den nordlige Disko Bugt

(Eqi), men også i relation til sulfidforekomster nord for Maarmorilik.

Inspireret af Voisey's Bay fundet i Canada har de palæoproterozoiske områder i Vest- og Østgrønland været detailundersøgt for lignende forekomster i grønstensbælter, men indtil videre med få resultater. Dette arbejde fortsætter.

I det nordligste Nordvestgrønlands proterozoiske dannelser er der i *Inglefield Land flere indikationer på massive sulfider, som endnu be-



Foto: B. Thomassen, GEUS.

høver detaljeret undersøgelse. I denne region er kun en mindre forekomst af *titanholdigt sand nær Moriasaq blevet nøjere undersøgt.

Hele det nordlige Nordgrønland udgøres geologisk af en stor foldebælte-struktur, der direkte er en forlængelse af en tilsvarende i Canada. Forekomster af bly og zink (*Washington Land) har stærk lighed med tilsvarende dannelser i kalksten i Canada. Nordgrønlands logistisk vanskelige beliggenhed kan nok forklare de få kendte råstoflokaliteter, men én zink-blyforekomst i skiferlag i det dyreste nord tiltrækker sig opmærksomhed: Citronen Fjord. Detaljerede undersøgelser og borer i løbet af 1990'erne var længe årsag til forventninger om udnyttelse.

FOLDEBÆLTE I ØSTGRØNLAND: BLY, ZINK OG GULD

Det nordlige Østgrønland udgøres af endnu et regionalt foldebælte, det kaledonidiske foldebælte, der med navnet henviser til forbindelse med Skotland og Skandinavien. I nedre palæozoisk tid blev en mægtig lagfølge omdannet til en bjergkæde, der skabte adskillige muligheder for dannelse af mineralske forekomster, at dømme efter tilsvarende forhold i Skandinavien. En del af området er detaljeret undersøgt for råstofmuligheder i henhold til en særlig koncession, der var gældende omkring blyminen i

Mestersvig. Der er rapporteret et meget stort antal indikationer og forekomster over et bredt spektrum af mineralske råstoffer, fordelt over et område større end Danmark, hvoraf fund af wolfram, antimon, uran, zirkonium, guld, kobber og bly har gennemgået omfattende undersøgelser. *Bly-zink forekomsten ved Mestersvig resulterede i syv års minedrift, og en guld-wolfram forekomst på Ymer Ø påkaldte sig opmærksomhed i mange år.

VEST- OG ØSTGRØNLANDS YNGRE MAGMATISKE DANNELSER: GULD, PLATIN OG NIKKEL

Som de yngste geologiske dannelser med registrerede indhold af mineralske råstoffer kan gennemgangen afsluttes med omtale af magmabjergarter fra Palæogen tid. Der er i Østgrønland tale om dybbjergarter med begrænset udstrækning. En imponerende forekomst af molybdæn (Malmbjerg) gennemgik yderst detaljerede undersøgelser fra 1956-75, og den er atter i søgelyset pga. stigende priser på molybdæn. De sydligere beliggende forekomster af molybdæn (Flammefjeld), guld og platin (Kap Edvard Holm og Skærgaard) har også været genstand for omfattende undersøgelser. Især forekomsten ved *Skærgaarden, der i en periode på flere år i begyndelsen af 1990'erne – og atter i det

Bly-zinkminen ved Maarmorilik (1973-90). De fleste af minens 10 malmrige zoner findes i fjeldet bag stejl-væggen. Mineindgangen blev etableret i 600 meters højde, hvorfra der var forbindelse med tovbane til havn og mineby i det tidligere marmorbrud. Udsigten fra mineåbningen giver her et vinterkig, kort før minen lukkede.

nye årtusinde – har været udset til at blive den næste bæredygtige forekomst, blev velkendt pga. et meget stort indhold af guld og platin i en hidtil ukendt geologisk sammenhæng. Lødheden af den kendte malmtype er lav, mens malmængden er stor, og de aktuelle aktører er optimistiske mht. mulig udnyttelse.

De palæogene lavadækker i den centrale del af Vest- og Østgrønland er undersøgt for mulige nikkel- og platinforekomster. Det har vist sig, at opblanding af lavaerne med de underliggende sedimenter, bortset fra dannelsen af tellurisk (metallisk) jern, stedvis har resulteret i sulfidforekomster med markante forøgelse af *Nikkel-Platin-indhold, som det fx er tilfældet ved Illukunnguaq og Hammer Dal på Disko. Aktuelle undersøgelser sigter mod at lokalisere sulfidholdige strukturer under lavadækket.

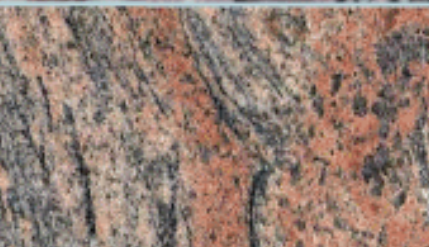
Østgrønlands Palæogene intrusiver indeholder forekomster af guld og platinmetaller. Især forekomsten ved Skærgaarden har i en periode på flere år i begyndelsen af 1990'erne – og atter i det nye årtusinde – været grundigt undersøgt. Ekspeditionsskibe med helikopterplatform har været meget nyttige i det seneste arbejde, hvor der simpelthen udsaves sammenhængende prøver til kemisk analyse af de metalholdige lag.



Fotos: S. Bernstein, GEUS.



Foto: K. Secher, GEUS.



Fotos: H. K. Olsen, GEUS.

På tværs af geologiske strukturer og sammenhænge kan der også være brugbare råstoffer i form af iøjnefaldende bjergarter (facadesten). I Sydgrønland har der været flere forsøg på at anvende den plettede lgaliku-sandsten til udsmykning. Anvendelsen af facadesten er atter i fokus og flere nye bjergartstyper af gnejs og anorthosit undersøges netop nu, (til venstre). Rustne maskindele minder om den tidligere minedrift ved Amitsoq, hvor industrimineralet grafit blev udnyttet fra 1915-25.

INDUSTRIMINERALER OG FACADESTEN

På tværs af geologiske strukturer og sammenhænge kan der også være brugbare råstoffer i form af iøjnefaldende bjergarter (facadesten) eller stenmaterialer som industrimineraler. Det mest kendte eksempel herpå er marmorbrydningen ved Maarmorilik. I Sydgrønland har der været flere forsøg på at anvende den plettede lgaliku-sandsten til udsmykning. Anvendelsen af facadesten er atter i fokus og flere nye bjergartstyper undersøges netop nu.

Forekomsten af industrimineralet olivin ved Itilliup Qeqertaa nær Evighedsfjord har for nylig været udnyttet i lille skala. En lignende, men væsentlig større, olivinforekomst kaldet Seqi ved Fiskefjord er ved at blive klargjort til udvinning. Grafit var et af de første erkendte råstoffer i Grønland, og flere forekomster blev tidlig undersøgt og udnyttet. Mest markant er dog grafitforekomsten, der blev udnyttet ved minedrift 1915-25 (Amitsoq) i Sydgrønland. Det må også bemærkes, at den til dato mest profitable minedrift i Grønland omfattede industrimineralet kryolit.

KRYOLITMINEN I IVITTUUT

Grønlands største mineaktivitet har ubetinget været kryolitbrydningen i Ivittuut, drevet siden 1940 under navnet Kryolitselskabet Øresund A/S med staten som hovedaktionær. Fra starten i 1854 var der en jævn produktion indtil 1886, hvor kryolit næsten udelukkende blev anvendt til fremstilling af soda. På det tidspunkt blev der patenteret en proces, hvor aluminiumudsmeltning ved tilsætning af kryolit kunne gøres industriel gennemførlig – altså et vendepunkt i efterspørgslen af kryolit, som fuldstændig ændrede perspektiverne for kryolitminen. Gradvist som aluminium fik indpasning i industriudviklingen fik det indflydelse på minen i Ivittuut. Især efter mellemkrigsårene og frem til lukningen i 1987 udviklede minen sig økonomisk yderst gunstigt. Lukningen skyldtes en kombination af aftagende malmængde og en stigende konkurrence fra syntetisk fremstillet kryolit. Exit Kryolitselskabet Øresund. Mineralet kryolit har formelen: Na_3AlF_6 , dvs. natrium-aluminium-fluorid.

Kryolitminen i Ivittuut (1854-1987) blev hurtigt til et regulært åbent brud. Kraftige maskiner var nødvendige og allerede i 1920'erne (a) blev dampdrevne gravemaskiner indsat. Lige inden lukningen af minen blev de sidste malmbunker samlet på kajen, klar til udskibning (b). Det 'hvide guld' kan stadig ses på stedets kirkegård, hvor kryolitgrus markerer gravene (c).



Foto: GEUS arkiv

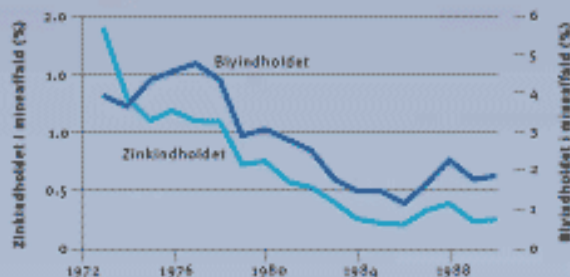
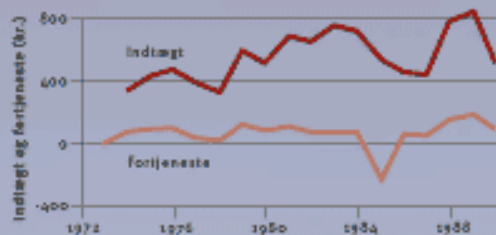


Foto: F. Schjøth, GEUS.



Foto: K. Secher, GEUS.

BLY-ZINK-MINEN I MAARMORILIK

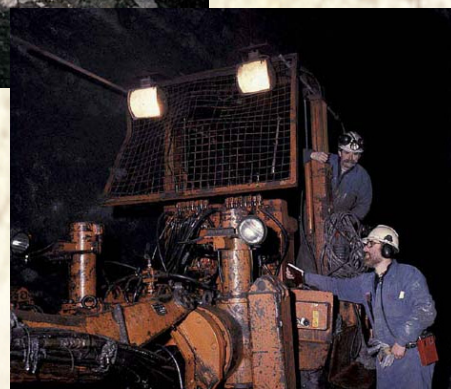


Finansielle og miljømæssige nøgletal ved minedriften i Maarmorilik. Figuren illustrerer de modsatte interesser omkring udvikling og produktion versus miljøinteresser. Tungmetalindholdet i affaldet er et problem, fordi affaldet efterlades og givet anledning til forurening af tungmetaller. Når indholdet af tungmetaller i affaldet falder i perioden 1973-90, skyldes det tiltag til at forbedre oparbejdningen af malmen – en gevinst for både mineselskabet og miljøet.

Bly-zinkminen ved Maarmorilik i Nordvestgrønland var aktiv fra 1973–90 i den mørke geologiske struktur, som havde kælenavnet 'Den Sorte Engel'. Mine og oparbejdningsanlæg var placeret på den modsatte side af en lille fjord i det tidligere marmorbrud, og var fra havniveau til 600 meter over havet forbundet med en 1700 m kabelbane. Minedriften foregik under jorden, hvor der opstod store åbne rum efterhånden som malmen blev fjernet.



Mægtige støttepiller af massiv malm måtte efterlades inde i minen for at modvirke sammenstyrting.





MILJØ OG TUNGMETALLER

BO ELBERLING

Lektor, Geografisk Institut

(be@geogr.ku.dk)

Råstofudvinding påvirker det omkringliggende miljø. Derfor er miljøundersøgelser en naturlig del af nutidens råstofforvaltning. De sidste 100 års minedrift i Grønland viser dog, at miljøforhold ikke altid har haft en central plads i råstofforvaltningen. En konsekvens har været alvorlig forurening af nærmiljøet fx ved Ivittuut, Mestersvig og Maarmorilik. Forkerte antagelser om naturgivne forhold i kolde egne som i Grønland, har været en medvirkende årsag til miljøproblemerne. Således har man antaget, at det kolde klima i Grønland kun ville føre til en lille omsætning og transport af miljøfremmede stoffer – specielt om vinteren. Denne artikel beskriver resultaterne af nyere undersøgelser, der viser, at forvittringsprocesser, frigivelse og ikke mindst transport af tungmetaller kan være betydelig året rundt. Fremtidig minedrift bør derfor ledsages af detaljerede undersøgelser med fokus på kortlægning af miljøforhold før, under og efter en mineaktivitet. Desuden er det væsentligt at kortlægge forureningskilder og naturlige spredningsveje. I fremtiden synes der også at være et behov for at udvikle metoder til mere entydigt at kunne vurdere de biologiske og miljømæssige aspekter ved frigivelse af miljøfremmede stoffer.

MILJØFORHOLD OMKRING EN MINEDRIFT

Tungmetaller findes i alle naturlige økosystemer, men tungmetaller observeres ofte i højere koncentrationer ved brydning og den efterfølgende oparbejdning af sulfidmalm. Sulfidmalme er eftertragtede pga. indholdet af metaller som fx zink, bly og sølv. Ved minedrift produceres et koncentrat med værdifulde metaller, som typisk udskibes, mens hovedparten af malmen ender som et affaldsprodukt, der stadig indeholder små mængder af tungmetaller. Som en del af processen blottes og nedknuses malmen, hvilket betyder at det overfladeareal, som er til rådighed for naturlig forvittring øges voldsomt. Desuden deponeres mineaffald ofte på en måde, så der i perioder er tilgang af ilt og vand. Det større overfladeareal kombineret med tilgangen

Foto: B. Elberling, Geografisk Institut.



af ilt medfører, at hastigheden, hvormed tungmetaller frigives, mangedobles. Deponeringen af mineaffald sker desuden ofte på en måde, så frigivne tungmetaller efterfølgende kan spredes til omgivelserne. Spredning sker som støv med vinden eller som opløst og suspenderet stof i nedsivende vand, som løber til vandløb, søer og fjorder. En ikke uvæsentlig spredning sker desuden i form af uheld med koncentrat, som er særlig problematisk, fordi høje koncentrationer

af tungmetaller pludselig findes et sted, hvor det er vanskeligt eller omkostningsfuldt at fjerne forureningen – fx på bunden af en fjord eller i kystzonen. I det følgende beskrives miljøforhold omkring tungmetaller og minedrift i Grønland; velvidende, at også andre miljøforhold er knyttet til minedrift herunder bl.a. forstyrrelse af fugle, pattedyr og plantesamfund. Desuden kan andre miljøfremmede stoffer end tungmetaller være problematiske, hvilket i høj grad af-



Udstyr til indsamling af sedimenter på fjordbunden.

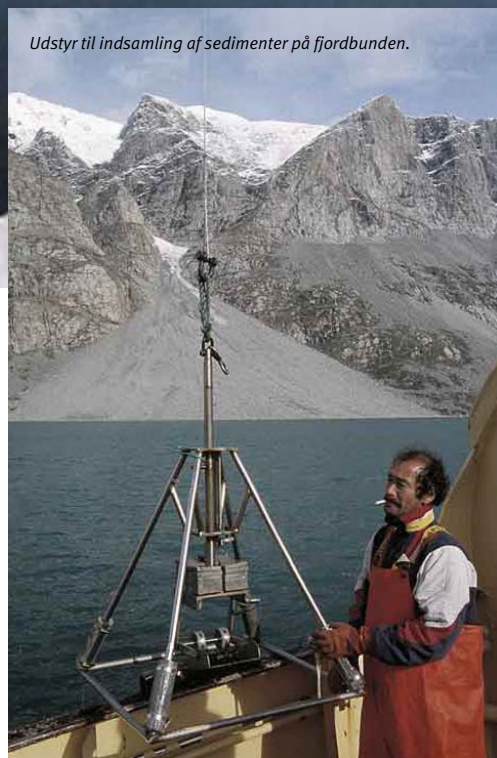


Foto: B. Eberling, Geografisk Institut.

Qaamarujuk - fjorden ved Maarmorilik som er blevet forurenet med tungmetaller.

hænger af, hvilken type minedrift der er tale om.

MILJØVURDERINGER

I alle faser af en minedrift er miljøvurderinger en forudsætning for at kunne beskrive og vurdere forventede effekter på miljø. Dette gælder under råstofefterforskningen, etableringen af minedrift, produktionen, nedlukningen og efterlukningen. Vidensgrundlaget skal om muligt pege på tiltag til at begrænse miljøeffekterne.

Sideløbende med efterforskningen af råstoffer er der behov for såkaldte base-line undersøgelser med det primære formål at vurdere miljøforholdene før en aktivitet påbegyndes samt at forudsige sandsynlige effekter af en given aktivitet. Et nyere eksempel på dette er gennemført ved Citronen Fjord i Nordgrønland (se boks side 18).



Deponering af mineaffald på land ved Maarmorilik.

Foto: B. Elberling, Geografisk Institut.

OPBEVARING AF MINEAFFALD

Når malmen er brudt, nedknust og hovedparten af de værdifulde metaller fjernet, står man tilbage med et affaldsprodukt, som fylder langt mere, end hvad der kan fyldes tilbage i minegangene. Desuden er det ofte upraktisk af fylde minegangene under den fremadskridende minedrift, idet minegangene anvendes som transportveje. Derfor skal der deponeres store mængder mineaffald med tungmetaller i nærheden af minen. Det billigste er ofte at efterlade affaldet direkte på landjorden, hvor der er stor risiko for forurening.

Opbevaring af affald under vand kan være en effektiv måde at begrænse tilgangen af ilt og dermed den kemiske forvitring af mineaffald. Det gælder specielt i områder med permafrost, hvor de vandmættede frosne sedimenter desuden kan virke som en barriere mod nedsivning og videre transport af miljøfremmede stoffer. Deponering af mineaffald under vand blev i praksis gennemført ved Maarmorilik.

Før minedriften i Maarmorilik var sulfidmalmen omgivet af marmor i fjeldet, og der blev ikke frigivet nævneværdige mængder af tungmetaller. Da minedriften var en realitet, gav de danske myndigheder tilladelse til at deponere mineaffald i en nærliggende relativ lukket fjordarm, Affarikassaa, som via en lavvandet tærskel står i forbindelse med den ydre fjord. Affaldet blev pumpet ud i fjorden i rør langt under vandoverfladen og under niveauet for tærsklen. Man håbede derved, at den naturlige sedimen-

tation efterhånden ville begrave affaldet, så det lå beskyttet. Desværre tog man fejl, og efter kort tid kunne man konstatere en opblanding af vandmasser og en transport af metaller fra den lukkede fjordarm til den ydre fjord. Efter nogle år lykkedes det at optimere oparbejdningen af malmen, så tungmetallindholdet i affaldet blev nedbragt, men forureningen fortsatte. Miljøundersøgelser ti år efter minedriftens ophør har vist, at frigivelsen af tungmetaller fra affaldet nu var aftaget betydeligt, men omvendt blev det dokumenteret, at spredningen af tungmetaller i den ydre fjord fortsatte, og at raten hvormed der akkumuleredes tungmetaller omkring ti km fra affaldet stadig var stigende.

Årsagerne til de uventede miljøproblemer er fortsat ikke helt klarlagte. Blandt andet fordi det er svært at skelne mellem tungmetaller frigivet fra bunden af den lukkede fjordarm, opløste metaller fra affaldsbunker på land, støv og uheld med håndtering af koncentrat. Men set i bakspejlet kunne indledende forundersøgelser have dokumenteret, at de blyholdige sulfidminerale var opløselige i havvand, og at der skete en væsentlig naturlig opblanding af vandmasser over tærskelen om vinteren. Meget tyder på at strøm, bioturbation og resuspension af sedimenter på fjordbunden er hovedårsager til den fortsatte spredning af tungmetaller.

Løbende undersøgelser af miljøforholdene både under og efter en minedrift giver mulighed for at erkende uforudsete problemer, at gribe ind og efterfølgende lære af fejltagelserne. Af

samme grund planlægger Danmarks Miljøundersøgelser nu en sidste større miljøundersøgelse ved Maarmorilik i sommeren 2005. Undersøgelserne har bl.a. til formål at beskrive den rumlige fordeling af tungmetaller i nærmiljøet omkring Maarmorilik og forudsige fortsatte effekter på miljøet. Oprindeligt forventede man, at der 14-15 år efter minedriftens afslutning ikke vil være flere miljøproblemer. I dag må man erkende, at miljøeffekterne har en betydelig længere tidshorisont, men at der ikke er flere penge fra den miljøpulje, der blev afsat ved minedriftens ophør.

BIOLOGISKE EFFEKTER

Desværre indeholder de fleste undersøgelser af miljøforhold omkring minedrift kun studier af totale koncentrationer af tungmetaller. Set fra et biologisk synspunkt er dette et mindre interessant mål for miljøbelastningen. De fleste tungmetaller findes nemlig bundet eller tilknyttet andre stoffer på forskellig vis, som på karakteristisk måde kan transporteres, akkumuleres og ophobes i levende dyr og planter. Desuden er der stor forskel på den biologiske giftighed af disse mange stoffer. Bly er et godt eksempel. Bly (Pb) findes bl.a. bundet sammen med klor (PbCl_2) og som frie ioner (Pb^{2+}). Den andel af bly, der findes som Pb^{2+} , afhænger af en række miljøfaktorer (for eksempel saltholdighed, surhedsgraden og iltforholdene) og netop den frie bly-ion transporteres let, optages let i fødekæder og virker overordentlig skadelig på



Det grønlandske forskningsskib Adolf Jensen ved Maarmorilik.

Foto: B. Elberling, Geografisk Institut.

GEOKEMISKE FINGERAFTRYK OG KILDESPORING

Nyere undersøgelser viser, at tungmetaller fra minedriften i Maarmorilik kan spores. Der findes nemlig fire forskellige stabile former for bly (isotoper), med lidt forskellige atommasse. Fordelingen af de stabile isotoper ændres ikke med tid (i modsætning til radioaktive isotoper, som f.eks. ^{210}Pb), men er et resultat af de naturgivne forhold under dannelsen. Selv meget små

forskelle i de relative forhold mellem blyisotoper kan bestemmes. Data fra Maarmorilik viser, at bly i sedimenterne fra fjordbunden stammer fra dels en naturlig del og dels fra minedriften med hver deres geokemiske fingeraftryk. Det entydige fingeraftryk af "bly fra minedriften" kan i fremtiden spores ved at analysere organer eller blod fra levende organismer, også menne-

sker. Analyser af stabile blyisotoper vil dermed kunne bidrage til at fastslå, hvor stor en andel af et givent blyindhold, der stammer fra en bestemt kilde. Den slags entydig kildeporing kan blive en vigtig del af fremtidige miljøundersøgelser.

alt levende. At kende det totale indhold af bly i et sediment siger således ikke nødvendigvis meget om, hvor skadeligt blyindholdet er for det omgivende miljø.

Som alternativ kan der bruges biologiske indikatorer, dvs. målinger direkte på hvordan dyr og planter har det. Problemet her er at finde en god indikator-organisme, som findes i store mængder (så der kan laves statistik på datagrundlaget), som ikke flygter pga. forureningen, og som har en kort livscyklus, så ændringer i miljøtilstanden forholdsvis hurtigt giver anledning til biologiske ændringer. Bentiske foraminiferer er små skalbærende slimdyr, som optræder talrigt, lever i kort tid, og som lever stationært på fjordbunden og efterlader skalmateriale i sedimentet. Dyregruppen er desuden kendt for at være følsom over for miljøændringer. Dette viser sig som ændringer i artsfordelingen, antal arter og individer eller som stress, der kan medføre deformationer af skallen. Foraminiferer fin-

des stort set i alle marine miljøer og ofte med mere end 100 individer i 100 gram mudder, hvilket også er tilfældet for fjordene omkring Maarmorilik. Både artssammensætningen og deformationsgraden af foraminiferer er blevet bestemt i kernerne fra Maarmorilik. Specielt en art, *Melonis barleeanus*, er tilsyneladende særlig følsom overfor bly, hvorfor mere end hver tiende individ udviser markante deformationer. Omkring 90% af den variation, som blev konstateret med hensyn til deformationer i forskellige dybder, kan forklares alene ud fra variationer i blyindholdet. Det viser, at graden af deformationer blandt foraminiferer med fordel kan anvendes som en forureningsindikator. Når tilstedeværelsen af bly i overfladesedimentet med tiden aftager til et niveau svarende til før minedriften, kan det forventes, at det vil kunne ses som færre deformationer og formentlig et fald til et niveau svarende til forholdene før minedriften.

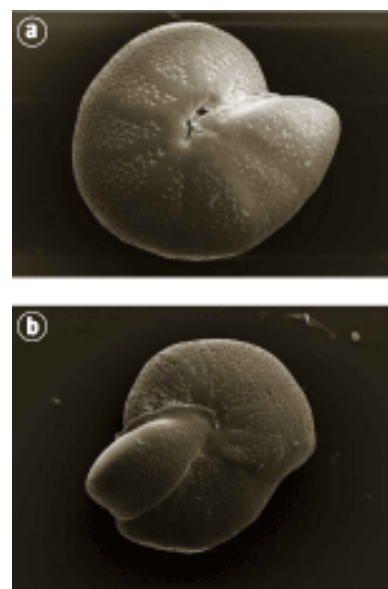


Foto: P. H. Kristensen, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

Skaller af foraminifer - arten *Melonis barleeanus* fra havbunden ved Maarmorilik. Størrelse ca. 1/3 mm. Billede a: Udeformeret. Billede b: Deformeret.



Gossan ved Citronen Fjord.

Foto: B. Elberling, Geografisk Institut.

CITRONEN FJORD

Mineselskabet Platinova A/S har mellem 1993 og 1997 efterforsket mulighederne for en zinkmine i Nordgrønland. En af årsagerne til at forekomsten blev opdaget var, at dele af malmlegemet er blottet på terrænoverfladen. Dette giver anledning til iøjnefaldende og farverige gossans. Gossans opstår ved forvitring (iltning) af sulfidminerale i malmen. De lovende fund af primært zink i området medførte, at der blev igangsat flere studier omkring de miljømæssige forhold. Danmarks Miljøundersøgelser har ud-

ført analyser af ferskvand, og påvist et naturligt højt indhold af især zink. Den årlige frigivelse af bl.a. zink fra området er så stor, at man kan tale om 'naturlig forurening'. Set fra et miljøsynspunkt er forvittringsmaterialet fra gossans interessant, fordi det på mange måder ligner mineaffald; det er knust og består af både store blokke og finkornet materiale, samt indeholder store mængder af sulfidminerale. Detaljerede studier af materialet viser, at iltforbruget, forsuren og frigivelsen af tungmetaller er høj, og

at processerne er betinget af kuldetolerante bakterier. Konklusionen af ovenstående undersøgelser er, at på trods af det barske klima i Citronen Fjord, så kan frigivelsen af tungmetaller fra mineaffald forventes at være i samme størrelsesorden som ved en tilsvarende minedrift i andre dele af verden. Desuden står det klart, at nærmiljøet i Citronen Fjord allerede er påvirket af den naturlige frigivelse af tungmetaller.

FREMTIDIG MILJØOVERVÅGNING OG AFFALDSHÅNDTERING

Hovedkonklusionen er, at de naturlige miljøforbedrende processer ved Maarmorilik er langsomme, og at de miljømæssige følgevirkninger af minedriften derfor har en betragtelig tidshorisont. I dag 14-15 år efter minedriftens afslutning i Maarmorilik synes det ikke praktisk muligt at gøre andet end at overvåge spredningen af forureningen. Men anvendelse af stabile blyisotoper til kildesporing og biologiske forureningsindikatorer kan i fremtiden bidrage til en mere nuanceret miljøovervågning i Maarmorilik.

Det er formentlig ikke sidste gang, at man ta-

ger fejl med hensyn til forudsætningerne for en given miljøpåvirkning, og at man på baggrund af en senere metodeudvikling og ny viden ønsker at kunne træffe nye beslutninger. På grundlag af erfaringerne fra Maarmorilik kan man konkludere, at marin deponering af mineaffald indeholdende vandopløselige tungmetaller i fremtiden bør undgås, og at en eventuel fremtidig marin deponering af mineaffald kun bør ske efter særdeles omhyggelige forberedende undersøgelser af fysiske, kemiske og biologiske forhold af betydning for miljøet. Ved enhver af-

faldsdeponering i havet eller i fjorde er det i praksis umuligt at foretage miljøforbedrende reguleringer, hvilket ikke er tilfældet ved deponering på land, hvor det ofte er både økonomisk og praktisk muligt at gribe ind med modforanstaltninger i tilfælde af uforudsete miljøproblemer. Det er dog heller ikke problemfrit at deponere mineaffald på land og slet ikke i tilfælde, hvor mineaffald udgør et reelt miljøproblem, som det fx er tilfældet for sulfidholdigt affald.





GEOCENTER KØBENHAVN

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) samt Geologisk Institut, Geografisk Institut og Geologisk Museum – alle tre en del af Københavns Universitet. Geocenter København har til formål at skabe et center for geovidenskabelig forskning, undervisning og rådgivning på højt internationalt niveau.

HER KAN MAN LÆSE VIDERE

BAILEY, J. 1998:

Kryolitforekomsten i Ivittuut (Ivigtut) - opbygning og dannelse.

Varv 1/1998, 17-39.

ELBERLING, B. 2001:

Blyforurening og kildesporing i forbindelse med minedrift i Grønland.

Naturens Verden 2001/8, 32-43.

ELBERLING, B. 1999:

Minedrift i Arktis.

Naturens Verden 1999/9, 22-33.

JOHANSEN, P., ASMUND, G., GLAHDER, C. H., AASTRUP, P. & SECHER, K. 2001:

Minedrift og miljø i Grønland.

Tema-rapport fra DMU 38/2001: 56 sider.

LANGDAHL, B.R., JENSEN, S.M., KRAGH K., & ELBERLING, B. 1998:

'Naturlig forurening' ved Citronen Fjord i Nordgrønland og bakteriers rolle i forvitring af metalsulfidholdige bjergarter.

Naturens Verden 1998/2, 61-69.

NIELSEN, B.L. & SECHER, K. 1979:

Grønlands mineralrigdomme.

Grønland 2/1979, 44-51.

SECHER, K. 2004:

Det hvide guld og det ægte guld - minedrift og råstoffer i Grønlands

20. århundrede. GEUS, København. 64 sider. (med omfattende litteraturliste)

SECHER, K. & OLSEN, H.K. 2000:

Grønlands mineralske råstoffer, i:

Topografisk Atlas Grønland, Kgl. Geografiske Selskab, 22-25.

UDGIVER

Geocenter København

REDAKTION

Geoviden - Geologi og Geografi er redigeret af geolog Ole Bennike (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med redaktionsgrupper på institutionerne.

Geoviden - Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Finn Preben Johansen, tlf: 38 14 29 31, e-mail: fpj@geus.dk eller på www.geocenter.dk hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

ISSN 1604-6935

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Schultz Grafisk A/S.

Forsidebillede: Nalunaq guldminen i Sydgrønland.

Foto: Sven Monrad Jensen, GEUS.

Illustrationer: Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

DANMARKS OG GRØNLANDS

GEOLOGISKE UNDERSØGELSE (GEUS)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 38 14 20 00

E-mail: geus@geus.dk



GEOLOGISK INSTITUT

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 35 32 24 00

E-mail: info@geol.ku.dk

GEOGRAFISK INSTITUT

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 35 32 25 00

E-mail: info@geogr.ku.dk



GEOLOGISK MUSEUM

Øster Voldgade 5-7

1350 København K

Tlf: 35 32 23 45

E-mail: rcp@savik.geomus.ku.dk