

PÅ SPOR AF SJÆLDNE METALLER I SYDGRØNLAND

IV. BERYLLIUM-EFTERFORSKNING

Af mag. scient. *John Hansen* og civilingeniør *Leif Løvborg*

Beryllium er et særdeles værdifuldt metal. Markedsprisen ligger i dag på ca. 1000 kr. pr. kg metal med en renhedsgrad på 98 %. Til sammenligning kan anføres, at sølv koster ca. 325 kr. pr. kg og guld ca. 8500 kr. pr. kg.

Beryllium-mineraliseringer har derfor i allerhøjeste grad geologernes interesse.

I sommeren 1964 blev der påvist lovende forekomster af berylliumminerale i Ilímaussaq-området. En detaljeret undersøgelse af disse forekomster blev påbegyndt i 1965, dels ved hjælp af geologiske metoder, dels ved hjælp af et beryllometer konstrueret på Risø's elektronikafdeling.

Ilímaussaq-områdets mineralforekomster har tidligt interesseret geologerne. Der blev således allerede i forrige århundrede, som omtalt i en tidligere artikel, gjort forsøg på at udnytte mineralet eudialyt på grund af dets indhold af metallet zirconium. Zirconium anvendes blandt andet til stålforædling, smeltedigler, keramik og svejseelektroder. Det er imidlertid endnu ikke lykkedes at finde anvendelse for eudialyten fra Ilímaussaq, da man hidtil har kunnet udvinde zirconium billigere fra andre mineraler.

I den sidste halve snes år har interessen samlet sig om uran og thorium, og fra 1965 desuden om beryllium og niobium. Uran, thorium og niobium vil blive behandlet i senere artikler (se iøvrigt seriens første artikler i „Grønland“, april, maj og juni 1966).

Beryllium.

Grundstoffet beryllium med det kemiske symbol Be er et metal. Det er et af de letteste grundstoffer med en vægtfylde på kun 1,85 g/cm³. Det er denne lave vægtfylde, der først og fremmest gør stoffet efterstræbt.

Beryllium udgør 0.0006 % af jordskorpen. Det findes ikke gedigent i naturen, men forekommer i mere end 30 forskellige oxid- og silikatminerale. Det økonomisk vigtigste mineral er beryl, der fra de ældste tider har været anvendt som ædelsten på grund af stor hårdhed og smukke farver. Berylvarietetten smaragd er grøn,

mens aquamarin er blå til blågrøn. Beryl findes overvejende i pegmatiter, hvor det kan danne op til meter-store krystaller.

Beryllium blev opdaget i 1797, isoleret 1828, men først i 1920-erne blev det muligt at fremstille tilstrækkeligt materiale til en nærmere undersøgelse af stoffets egenskaber. Det rene metal kom først på markedet i 1930.

Beryllium har usædvanlige egenskaber både som metal, oxid og legering.

Det rene metal har forholdsvis begrænset anvendelighed. Det bruges blandt andet til vinduer i røntgenrør, da det er let gennemtrængeligt for røntgenstråler, samt til spejlbelægning, hvor man ønsker stærk tilbagekastning af kortbølget lys.

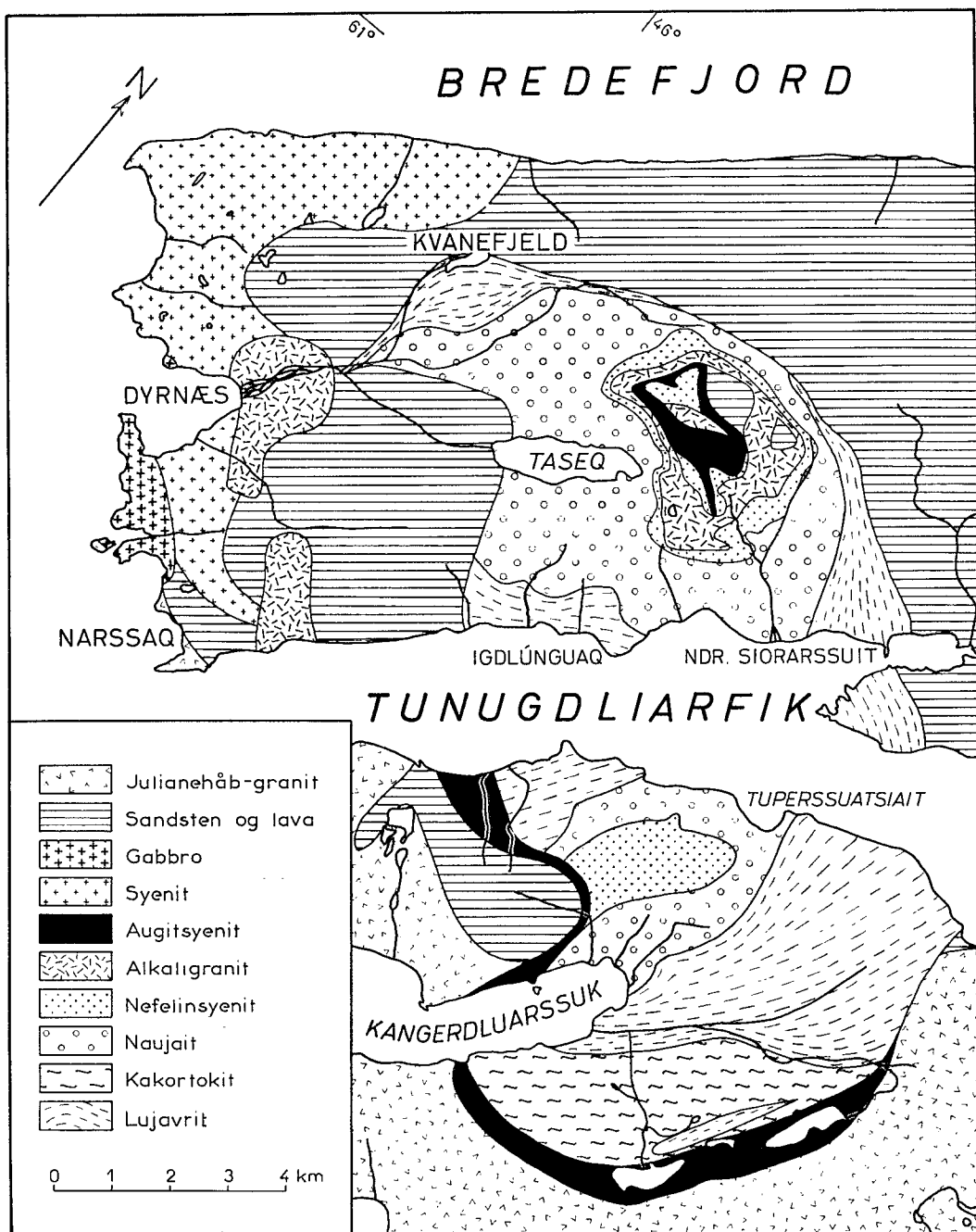
På grund af gode neutronsprende egenskaber anvendes såvel berylliummetal som berylliumoxid som moderator og reflektor i atomreaktorer. I DR 2 reaktoren på Risø er således benyttet reflektorelementer af berylliummetal. Beryllium kan desuden anvendes til indkapsling af uranbrændstof i brændselselementer til reaktorer.

Beryllium har først og fremmest betydning som legeringsmetal.

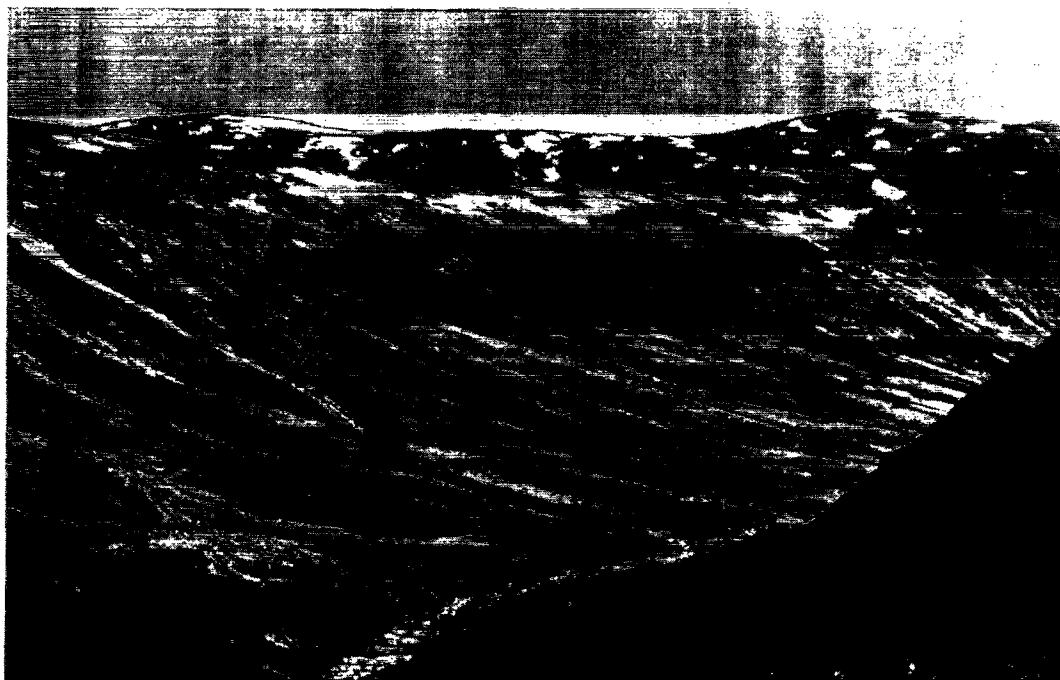
Ved at tilsætte en ringe mængde beryllium til andre metaller, kan disses egenskaber forbedres i eminent grad. Indtil sidst i 1950-erne var legeringer af beryllium og kobber langt den vigtigste anvendelse af beryllium. Disse legeringer har høj elektrisk ledningsevne, stor modstand mod korrosion og stor styrke. Beryllium-kobber legeringer anvendes for eksempel i fjedre, elektriske kontakter og maskindele til fly og skibe, blandt andet skibsskruer. Beryllium-nikkel legeringer har lignende egenskaber som rustfrit stål, men bevarer modsat dette egenskaberne ved høj temperatur. Et ringe indhold af beryllium hæver smeltepunktet af aluminium, der derfor kan anvendes ved højere temperatur end normalt.

Oxidet har højt smeltepunkt, stor styrke og hårdhed; det er meget temperaturbestandigt og har ekceptionel god varmeledningsevne. Berylliumoxid anvendes blandt andet som konstruktionsmateriale til ovne og til isolatorer inden for højfrekvensteknikken.

Det er imidlertid inden for luft- og rumfart, man drager størst nytte af berylliums egenskaber, først og fremmest den lave vægtfylde. For hvert kg, vægten af et fly reduceres, sparer man årligt mellem 1000 og 4000 kr., afhængig af flyets hastighed. Besparselsen er meget større i raketter. En speciel enhed, der i stål koster 4000 kr., vil med de samme egenskaber i beryllium koste 6000 kr. Medens udgiften til at sende den første raketenhed i kredsløb om jorden andrager over 100.000 kr., koster det på grund af den mindre vægt kun 20.000 kr. at opsende den anden enhed. Udgiften til materiale er således sekundær i forhold til andre udgifter. Rumpiloterne er under nedturen skærmet mod gnidningsvarmen af et skjold af berylliumoxid, der er valgt på grund af stoffets store varmeabsorption og ringe vægt.



Geologisk kort over Ilímaussaq-intrusionen
 tegnet på grundlag af de af N. V. Ussing og John Ferguson udarbejdede geologiske kort.
 Berylliummineralerne findes i naujait og „lujavrit“ på Kvanefjeldsplateauet



*Taseq-skråningen, hvorpå den største kendte
berylliummineralisering findes. I bunden Narssaq elv.*

Foto: John Hansen

Berylliumoxid er desuden på grund af sin store hårdhed et fortrinligt materiale som værn mod meteorbombardement.

Trods en meget kort udviklingsperiode har beryllium vist sin uovertrufne anvendelighed til mange vidt forskellige formål. Der er ingen tvivl om, at beryllium er et af de mest lovende metaller. Efterspørgslen efter beryllium vil uden tvivl vokse stærkt, da stoffet ganske givet vil blive anvendt til flere og flere formål, hvor det drejer sig om at spare i vægt, først og fremmest i fly og raketter. Geologerne har derfor et vågent øje for berylliummineraliseringer.

Ilímaussaq's berylliummineraler.

Beryllium findes i uhyre ringe mængde i alle magmaer (se seriens tidligere artikler). Da metallet ikke indgår i de mineraler, der først krystalliserer ud, når et magma størkner, koncentrerer det i restsmelten. Ved størkning af et stort magmakammer som det, hvorfra Ilímaussaq er dannet, er det derfor muligt at få en restsmelte, der er ekstremt beriget på beryllium.



*Chkalovit krystaller (lige over blyanten) i ussingitåre.
Krystallerne er op til 20 cm store.*

Foto: John Hansen

I restsmelten koncentrerer sig også flygtige forbindelser som chlor, fluor og vand, hvilket bevirker, at trykket stiger under krystallisationen. I de fleste intrusioner i verden er de flygtige stoffer sivet ud i revner og sprækker under medrivning af blandt andet beryllium. I Ilímaussaq har den overliggende lava imidlertid forhindret stofferne i at undvige. Vi har derfor her fået en sidste restsmelte med et usædvanlig stort indhold af beryllium (samt uran, thorium og niobium). Af denne smelte er ved størkning dannet årer med berylliumminerale.

Man har i flere år kendt berylliumminerale fra Ilímaussaq. Professor H. Sørensen har således her påvist et helt nyt berylliummineral, tugtupit, der er opkaldt efter findestedet Tugtup Agtakôrfia nord for Tunugdliarfik, samt en del forekomster af mineralet chkalovit, som hidtil kun var kendt fra Kolahalvøen i Sovjetunionen. Det har dog drejet sig om små forekomster, der nok har stor videnskabelig interesse, men er uden økonomisk betydning. Under ekspeditionen i 1964 blev der imidlertid såvel på Kvanefjeldsplateauet som på skråningen mellem Taseq-søen og Narssaq elv (i det følgende betegnet som Taseq-skråningen) fundet større berylliummineraliseringer. Den sidstnævnte mineralisering blev fundet af den russiske mineralog, professor E. I. Semenov.

De berylliumførende mineraler findes i hyvide og svagt rødlige årer, der overvejende består af mineralerne ussingit, analcim, natrolit og feldspat.

På Kvanefjeldsplateauet findes årerne især i de stærkt radioaktive bjergarter, men de er også fundet i andre bjergarter. Endog i de nederste lag af de lavaer, der dækker Ilímaussaq-intrusionen er fundet årer med berylliummineraler. De berylliumførende årer er fra få millimeter til ca. 20 centimeter brede med en enkelt på ca. 1 meter. De er fra få centimeter til adskillige meter lange. Især de tynde årer kan have et meget uregelmæssigt forløb.

Den største mineralisering, der hidtil er fundet, findes på Taseq-skråningen. Årerne findes i naujait, der skæres af lujavritårer. De berylliumførende årer er her fra få millimeter til ca. 2 meter brede og fra få centimeter til adskillige meter lange. Langt den overvejende del af årerne er dog kun få centimeter brede og ca. 1 meter lange.

Det vigtigste berylliummineral er chkalovit. Lokalt findes større koncentrationer af tugtupit. Af andre berylliummineraler, der dog kun er fundet i ringe mængde, kan nævnes sorensenit, bertrandit, beryllit, epididymit og eudidymit (se tabel nedenfor).

Chkalovit indeholder ca. 12 % BeO. Mineralet beryl, hvorpå næsten hele verdens produktion af beryllium i dag er baseret, indeholder samme mængde BeO. Tugtupit indeholder ca. 5 % BeO. Mineralet kendes kun fra Ilímaussaq og Kolahalvøen.

Berylliummineraler fundet i Ilímaussaq-komplekset

Mineral	Formel	% BeO
Bertrandit	$\text{Be}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2$	40–43
Beryllit	$\text{Be}_3\text{SiO}_4(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}$	40
Chkalovit	$\text{Na}_2\text{BeSi}_2\text{O}_6$	11–13
Epididymit	$\text{Na}(\text{BeSi}_3\text{O}_7)(\text{OH})$	11
Eudidymit	$\text{Na}(\text{BeSi}_3\text{O}_7)(\text{OH})$	11
Genthelvin	$\text{Zn}_8(\text{BeSiO}_4)_6\text{S}_2$	11–14
Leucophan	$\text{NaCa}(\text{BeSi}_2\text{O}_6)\text{F}$	10–12
Sorensenit	$\text{Na}_4\text{SnBe}_2\text{Si}_2\text{O}_{16}(\text{OH})_4$	7–8
Spherobertrandit	$\text{Be}_5(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_4$	40–43
Tugtupit	$\text{Na}_8\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}(\text{Cl}_2, \text{S})$	5



Foto: John Hansen

*Naujait (lys) gennemsat af lujavritårer.
Naujaiten er på lokaliteten albitiseret og indeholder chkalovit. Pindene markerer borehuller.*

og blev beskrevet på nøjagtig samme tidspunkt fra disse to forekomster i af hinanden helt uafhængige afhandlinger. Sorensenit, der er opkaldt efter professor H. Sørensen, er opstillet 1965. Mineralet, der indeholder ca. 8 % BeO, kendes kun fra Ilímaussaq.

Såvel fordelingen af de berylliummineraliserede årer i bjergarterne, som indholdet af berylliumminerale i årerne, er meget varierende. Indholdet af beryllium er imidlertid af en sådan størrelsesorden, at det efter hjemkomsten fra Grønland i 1964 blev besluttet at foretage en indgående undersøgelse af mineraliseringen. En sådan undersøgelse omfatter blandt andet en detaljeret geologisk kortlægning kombineret med petrografiske og mineralogiske undersøgelser.

Som led i undersøgelsen skal der foretages et stort antal bestemmelser af berylliumindholdet i mineral- og bjergartsprøver. Disse analyser kan foretages som kemiske analyser på indsamlede prøver, men metoden er ikke særlig velegnet i forbin-

delse med et omfattende prospekteringsarbejde, fordi de kemiske analysemetoder til bestemmelse af beryllium er besværlige og tidskrævende og derfor kostbare.

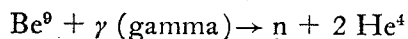
Fra kernefysikken kendes imidlertid en spaltningsproces, fotoneutronprocessen, på grundlag af hvilken der kan udvikles et måleinstrument, det såkaldte beryllometer, som foruden at være nøjagtigt og simpelt at betjene udmærker sig ved at kunne gøres transportabelt, således at arbejdet med indsamling af prøver kan begrænses til et minimum.

Atomenergikommissionen og G.G.U. blev enige om at anskaffe et beryllometer til undersøgelsen. Der fandtes kun på markedet en enkelt type, som imidlertid ikke var hensigtsmæssig til det foreliggende formål på grund af for stor vægt (ca. 60 kg) og utilstrækkelig strålingsbeskyttelse. Da A.E.K. gennem adskillige år har bidraget til den geologisk-mineralogiske virksomhed i Grønland, navnlig i forbindelse med udforskningen af Ilímaussaq, var det naturligt, at Risø påtog sig at udvikle et beryllometer.

Beryllometeret blev udviklet på Risø's elektronikafdeling i foråret 1965 af mag. scient. J. Thomas i samarbejde med laboratoriemekaniker E. Johannsen, der senere assisterede G.G.U. ved beryllometermålingerne i Grønland som deltager i ekspeditionen til Ilímaussaq.

Beryllometermetoden.

Grundlaget for beryllometermålinger er, at beryllium, som det eneste grundstof, afgiver neutroner, når det udsættes for gamma stråling (radioaktiv stråling), hvis energi ligger mellem to bestemte grænser. Antallet af de givne neutroner er proportionalt med mængden af beryllium i det bestrålede materiale. Processen kan skrives:



En berylliumkerne spaltes således af et gammakvant^{1*} i en neutron og to heliumkerner. Tilsvarende processer kendes i andre grundstoffer, men reaktionen foregår i beryllium ved en gammaenergi (1,67 MeV²), der er mindre end den nødvendige gammaenergi for nogen anden fotoneutronproces. Efter beryllium er deuterium (tung brint) det grundstof, som lettest spaltes ved en fotoneutronproces. Den nødvendige gammaenergi er her 2,23 MeV. Bestråler man et materiale med gammastråler, hvis energi er større end 1,67 MeV, men mindre end 2,23 MeV, og får man derved udløst neutroner, vil disse derfor være en specifik indikation for tilstedeværelsen af beryllium i materialet. Som gammakilde anvendes i beryllometeret den radioaktive isotop³ antimon-124, der fremstilles ved reaktorbestråling af naturligt

* Tallene henviser til forklaringen side 256.



Foto: Th. Lundgaard

*Beryllometeret i brug. Måletiden kontrolleres ved hjælp af stopur.
De to forlængede bærehåndtag benyttes ved transport over korte afstande og til at fastholde
instrumentet ved måling på skrå flade.*

antimon. Antimon-124 er valgt, fordi en væsentlig del af den udsendte gammastråling har en energi mellem 1,67 og 2,23 MeV, samtidig med at halveringstiden⁴ er rimelig lang (60 døgn). For at få et tilstrækkelig stort neutronudbytte må styrken af kilden være temmelig stor (ca. 0,1 curie⁵). Dette nødvendiggør, at kilden under transport må være forsynet med en afskærmningsanordning af hensyn til strålingsfaren. Som afskærmningsmateriale benyttes bly, og det bliver i høj grad vægten og den mekaniske udformning af afskærmningen, der kommer til at bestemme håndterligheden af et beryllometer til feltbrug.

Til detektering af de udsendte neutroner benyttes en såkaldt bortrifluoridtæller, der består af et tyndvægget lukket metalrør (katode), hvis indre er fyldt med gasarten bortrifluorid (BF_3) ved et tryk på 40–70 cm kviksølv og en koaxialt isoleret ophængt metaltråd (anode). Når neutronerne trænger ind i tælleren, vil nogle af dem reagere med bor under dannelse af lithium og helium:

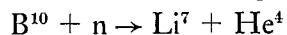




Foto: John Hansen

*Sørensenit krystaller (hvidt strålet) i analcimåre
i den radioaktive bjergart på Kvanefjeldsplateauet. Mineralet er opkaldt efter lederen
af de geologiske undersøgelser i Ilímaussaq komplekset, professor Henning Sørensen.*

De dannede partikler vil på grund af deres elektriske ladning kunne tælles, når man sætter en elektrisk spændingsforskel af størrelsesordenen 2000 volt mellem anode og katode i BF_3 -tælleren. Impulserne forstærkes elektronisk og registreres med en tælleranordning.

Når et beryllometer skal benyttes til bestemmelse af berylliumindholdet i prøverne, sker dette ved en sammenligning af neutronudbyttet fra en standard (det vil sige et emne med kendt berylliumindhold) med neutronudbyttet fra prøveemnet.

Beryllometeret er et ideelt analyseapparat, da man får en hurtig bestemmelse med en god nøjagtighed praktisk talt uden at forbruge stof. Nøjagtigheden af målingerne afhænger af måletiden. Forlanger man en maksimal relativ usikkerhed på 2 %, må der måles 10 minutter med det på Risø konstruerede instrument. Metodens følsomhed udtrykt ved den mindste mængde beryllium, som kan bestemmes i måleobjektet, er 10–20 ppm BeO (1 ppm = 0,0001 %).



*Professor E. Semenov fra Sovjetunionen (t. v.)
og professor Henning Sørensen ved den af Semenov i 1964 fundne forekomst.*

Foto: John Hansen

Udseendet af det benyttede beryllometer fremgår af billedet side 251. Instrumentet er placeret i en beholder af rustfrit stål. Forneden findes den radioaktive kilde og bortrifluorid-tællerne, medens elektroniken og akkumulatorbatteri til strømfor- syningen af denne er anbragt foroven. Antimon-124 kilden befinder sig normalt i centrum af en blyafskærmning; når der skal måles drejes kilden 180° ved hjælp af en nøgle til en position tæt op ad prøveemnet. Når kilden er i måleposition, kan nøg- len ikke fjernes fra instrumentet. For at kunne foretage flytninger af beryllomete- ret med kilden i måleposition, er der fremstillet to forlængede håndtag, hvormed to personer kan flytte instrumentet uden at komme dette nærmere end én meter. Start og stop af målingerne samt aflæsning af måleresultatet foretages fra en kontrol- kasse, som er forbundet til beryllometeret med et to meter langt kabel. Under for-

sendelse er beryllometeret anbragt i en aflåset trækasse, medens det under transport i felten bæres i en rygsæk.

De mineraliserede årer er som nævnt ujævnt fordelt i bjergarterne, ligesom indholdet af berylliummineraler i årerne er stærkt varierende. Der blev derfor i 1965 foretaget et stort antal målinger på udvalgte typeområder. Det samlede antal målinger er langt over 1000.

De større mineraliserede årer fremtræder ofte med en meget ujævn overflade, der bevirker, at målingerne ikke kan foretages i kontakt med bjergarten. Chkalovit forvitrer lettere end bjergarternes andre mineraler, hvorfor der ofte er huller, hvor chkalovitkornene har siddet. Da tælltallene reduceres med ca. 15 % pr. centimeter luft, der er mellem beryllometeret og målestedet, vil målingerne derfor ofte give et for lavt berylliumindhold. Dertil kommer, at man med beryllometeret kun måler til en ringe dybde. For at finde en relation mellem det indhold, man bestemmer ved hjælp af beryllometeret og bjergarternes egentlige berylliumindhold, er målingerne derfor blevet kombineret med opsamling af støv fra borer til ca. 30 centimeters dybde. I nogle af borehullerne er der foretaget sprængninger for at få friske prøver til mineralogisk bearbejdelse.

Det fremgår af det geologiske kort, at store dele af Ilímaussaq har samme geologiske opbygning som Taseq-skråningen. Man kunne derfor forvente, at berylliummineraliseringen ikke var et lokalt fænomen, men findes over store dele af området. En beryllometer-rekognoscering ved bl. a. Tuperssuatsiait og Ndr. Siorrarssuit henholdsvis syd og nord for Tunugdliarfik bekræftede denne formodning. Der er desuden fundet berylliummineraliserede årer langs Narssaq elv i op til 900 meters højde, ligesom man allerede i 1957 fandt berylliummineraliserede årer ved Igdlúnguaq, Tugtup agtakôrfia og bunden af Kangerdluarssuk.

Berylliummineraliseringen i Ilímaussaq er således ikke noget lokalt fænomen, men der kendes dog endnu ikke andre mineraliseringer af samme størrelse som mineraliseringen på Taseq-skråningen.

Det indsamlede materiale bearbejdes i øjeblikket. Som led i denne undersøgelse er der foretaget et stort antal målinger på de indsamlede prøver med et beryllometer, der er opstillet på Københavns Universitets Mineralogisk-geologiske Institut. Der er fundet god overensstemmelse med resultaterne af analyser udført på Risø's kemiafdeling.

Vi har fået mange oplysninger om berylliummineraliseringen, men det er endnu ikke muligt at afgøre, om forekomsten vil kunne udnyttes.

De hidtidige resultater er imidlertid så lovende, at samarbejdet mellem G.G.U. og Risø's elektronikafdeling er blevet fortsat med henblik på videregående undersøgelser i Ilímaussaq i sommeren 1966. Forfatterne til denne artikel har gennemgået de



Foto: Bjarne Leth Nielsen

*Boring med den transportable kerneboremaskine,
der kan bore til 60 meters dybde. Borehastigheden er gennemsnitligt 1 meter pr. time.*

i 1965 opnåede resultater og har på baggrund heraf planlagt en videreudvikling af beryllometeret med hensyn til optimalisering af målegeometri og følsomhed. Det vil ligeledes blive tilstræbt at gøre instrumentet lettere og mere velegnet til feltbrug. Der vil desuden i år blive foretaget boreriger med en i 1965 erhvervet transportabel kerneboremaskine, der kan bore til 60 meters dybde. Boremaskinen blev i 1965 anvendt til boreriger i de radioaktive bjergarter på Kvanefjeldsplateauet.

Når man skal vurdere mulighederne for en eventuel udnyttelse af forekomsten, er det væsentligt for det første at mineraliseringen ikke er et meget lokalt fænomen, for det andet at forekomsten ikke skal udnyttes særskilt, men i forbindelse med uran-thorium og eventuelt niobium. En oparbejdning vil således kunne foretages i samme fabrik. En anden væsentlig ting er, at forekomsterne vanskeligt kunne ligge bedre på Grønland, idet der fra Kvanefjeldsplateauet kun er ca. 5 km til fjorden med de bedste muligheder for anlæggelse af en havn.

Forklaring til teksten.

1. γ -stråling er kortbølget elektromagnetisk stråling, der hyppigt udsendes ved sønderdeling af radioaktivt stof.
2. MeV forkortelse for million elektronvolt. 1 elektronvolt er den energi, en elektron opnår ved at gennemløbe et spændingsfald på 1 volt.
3. Atomkerner er sammensat af neutroner og protoner. Antallet af protoner er konstant for et bestemt grundstof, medens antallet af neutroner kan variere. Kerner med samme antal protoner, men forskelligt antal neutroner kaldes isotoper. Der kendes både stabile og radioaktive isotoper.
4. Et radioaktivt stofs halveringstid er den tid, indenfor hvilken aktiviteten halveres.
5. 1 curie = $3,7 \times 10^{10}$ henfald pr. sekund, hvilket er ækvivalent med kildestyrken af 1 gram radium.

Resumé:

A survey of uranium, thorium and niobium mineralisation in the Ilímaussaq alkaline complex, South-West Greenland has been extended in 1965 to include a survey of beryllium mineralisation. In this survey a portable beryllium detector (beryllometer) constructed at the Research Establishment of the Danish A.E.C. (Electronics Department) was used.

The Ilímaussaq complex is an intrusion dominantly built up of nepheline syenites (an agpaïtic suite consisting mainly of naujaïtes, kakortokites and lujavrites). The rocks have been formed from a magma derived by extreme differentiation of a gabbroic parent magma.

The beryllium minerals are generally found in late hydrothermal veins consisting of albite, analcime, natrolite and ussingite but beryllium minerals are also found disseminated in the naujaïte, especially where it is albitised. Most of the veins are found in the naujaïtes, but some are found in the lujavrites on the Kvanefjeld plateau.

The most important beryllium mineral is chkalovit, but several other beryllium minerals have been found (see p. 248).

In the same veins there are niobium minerals. These will be described in the september number of „GRØNLAND“.

It is suggested that the mineralisation is due to extreme differentiation during which the resulting fluids were concentrated and trapped under an impermeable roof of lavas.

The beryllometer (fig. p. 251) is based on the photodisintegration process in the Be-nuclei, a well-established method in the assay of Be-bearing ores. The γ -source used is 100 mCi (millicuries) Sb-124 mounted in a moveable lead shield arrangement, the neutrons released being detected by means of two BF₃-counters in a paraffin wax moderator. The counting rate of the neutrons is 1.2 cpm/%BeO/mCi Sb-124, and a sensivity of 20-30 ppm has been estimated. The weight of the instrument is 41 kg.