

URAN I KVANEFJELD

af Emil Sørensen.

Trods alle omskiftelser i vurderingen af verdens energibehov i den nærmeste fremtid og debatten om atomenergiens betimelighed overhovedet synes der stadig at være en positiv interesse i offentligheden for uranet i Kvanefjeld. Interessen har måske været forbundet med en lidt romantisk forestilling om kræfterne i bjergets dunkle dyb, men de undersøgelser, som i årenes løb har fundet sted, har hele tiden sigtet mod muligheden af en økonomisk gennemførlig uranudvinding med henblik på energiproduktion (se den historiske oversigt i Varv 1977, 4 side 122).

Uranmineraliseringer er ikke almindelige, og derfor består områder af interesse ofte af meget specielle bjergarter opbygget af lige så specielle mineraler. Læseren vil også i det følgende møde sjældne mineraler, og for den særligt interesserede er de pågældende mineralers formler bragt efter artiklen.

Forekomsten i Kvanefjeld udgøres af forskellige typer af bjergarten lujavrit. Som de øvrige bjergarter i Ilimaussaq er den ikke helt mættet med silicium, men til gengæld rig på alkalimetallerne kalium og natrium. Det vil sige, at den ikke kan indeholde kvarts, derimod nok feldspater som albit og mikroklin, men især de mere alkaliske aluminiumsilikater, analcim, natrolit og sodalit. Mørke jernholdige mineraler findes også rigeligt, især repræsenteret ved arfvedsonit (beslægtet med hornblende). Derudover er lujavriten karakteriseret ved et varierende indhold af flere sjældnere mineraler som eudialyt og pyroklor. Grundstoffet calcium er der meget lidt af, og derfor har de betydelige fluormængder ikke kunnet finde calcium nok til at danne mineralet flusspat (CaF_2). Da samtidig dannelsen af kryolit er udelukket i det alkaliske miljø, må fluor binde sig med metallet natrium til villiaumit (NaF). Dette mineral er vandopløseligt og udvaskes hele tiden, således at søer og vandløb i Ilimaussaq-intrusionen er meget rige på fluor, oftest over 1 ppm. Til gengæld ses villiaumit ikke i bjergartsprøver fra overfladen, men kun i borekerner. Her har det en iøjnefaldende rød farve.

Radioaktiviteten er mest knyttet til mineralet steenstrupin, et fosfor-silikat af de sjældne jordarters metaller og natrium, hvori også mange andre grundstoffer finder plads. Her interesserer vi os særligt for uran, som indeholdes i mængder på op til 1% samt cirka 3 gange så meget thorium. I Varv 1978 side 5 er vist en veludviklet steenstrupinkrystal, men i almindelighed forekommer mineralet i små næsten mikroskopiske korn. Ydermere optræder det i flere ikke særlig velafgrænsede varianter samt omdannelsesprodukter heraf.

Forekomsten i Kvanefjeld har et uranindhold, der overvejende ligger mellem 100 og 500 ppm (parts per million = gram per ton). Det er så lavt, at lujavrit næppe kan karakteriseres som malm i traditionel forstand, omend den ofte benævnes sådan for nemheds skyld.

Tonnagen, forstået som den totale mængde uran i bjergarten, kan kun defineres i forbindelse med et såkaldt "cut off level", det vil sige, det laveste indhold, som man fastsætter, at der må være i den malm, man vil interessere sig for.

Sammenhængen vil fremgå af nedenstående tabel:

cut off level	tons U	gennemsnitsindhold
50 ppm U	44000	210 ppm U
250 - -	27000	346 - -
300 - -	21000	375 - -
350 - -	13000	414 - -

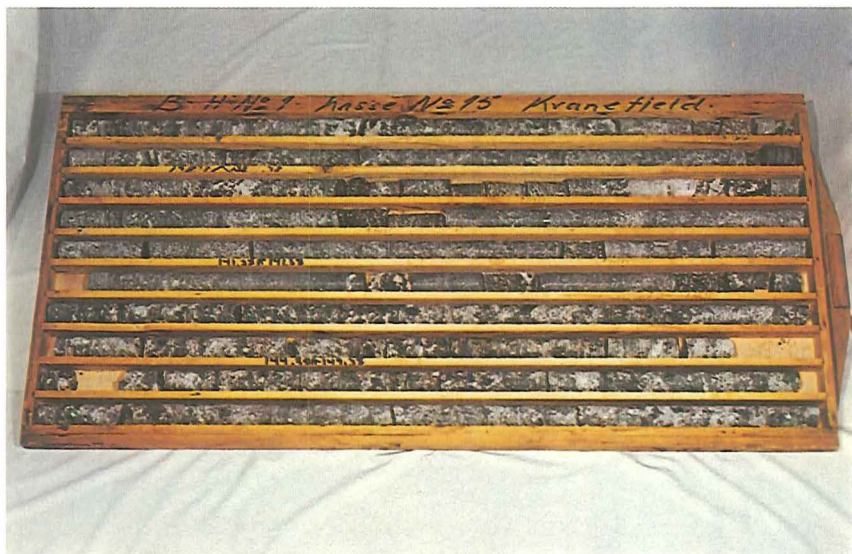
Til sammenligning kan anføres at råfosfat til gødningsfremstilling oftest indeholder 100-150 ppm U, medens de malmkvaliteter, hvoraf man for tiden udvinder uran, kun undtagelsesvis ligger under 800 ppm.

Da der i Kvanefjeld findes 2-3 gange så meget thorium som uran, er radioaktiviteten cirka dobbelt så høj som i en bjergart med samme uranindhold alene.

Fra et udvindingssynspunkt er den første opgave at få uranet i opløsning og skilt fra de øvrige bestanddele, hvorefter det ved en egnet proces skal udskilles af opløsningen i fast form. Til det formål er standardfremgangsmåden, at man bryder malmen og knuser den tilstrækkelig fint, hvorefter den udtrækkes med en væske, som skal være billig, og som opløser uranet effektivt. Valget står i praksis mellem en svovlsyre- eller sodaopløsning (natriumkarbonat). Den første er sædvanligvis mest effektiv og har langt den største anvendelse, men karbonatekstraktion kommer i betragtning ved behandling af basiske bjergarter, som ville forbruge alt for meget syre. Derfor er karbonat også det logiske valg til udludning af uran fra lujavrit, men det angriber i ret ringe grad steenstrupin, hvori det meste uran sidder.

Man har beskæftiget sig en del med modifikationer af de nævnte metoder for at få forhøjet uranudbyttet, men derved bliver processerne mere komplicerede og kostbare.

Den sulfaterende ristning, som er omtalt i Varv 1978 side 10, er således en anden måde at gennemføre svovlsyrebehandlingen på. Et lille pilotanlæg har kørt på Risø efter denne metode og produceret "yellow cake" (urankoncentrat), men det har været svært at styre, og uranudbyttet bliver for lavt, især fra den del af forekomsten, som udgør den store forøgelse i 1977.



Kasse med borekerner fra Kvanefjeld.

Af denne grund er karbonatekstraktionsprocessen taget op igen for om muligt at blive gjort mere effektiv.

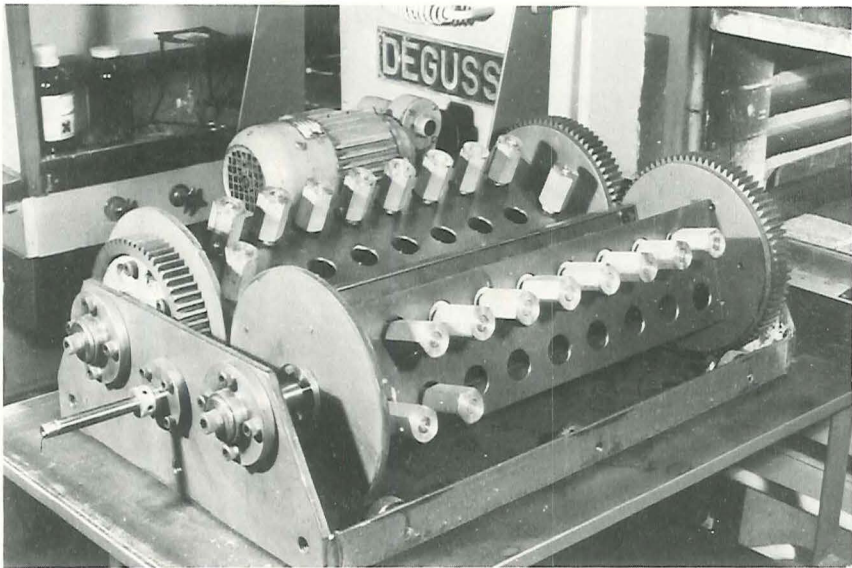
I geokemien spiller kulsyre en stor rolle, også for dannelsen af uranmalme. I primære mineraler er uran oftest til stede i en form, hvori det ikke kan opløses som karbonat, men ved indvirkning af ilt, vand og kulsyre, som er næsten allestedsnærværende, kan der over geologisk set beskedne tidsrum ske en udvaskning af uran fra primære forekomster og siden, ved ændrede kemiske betingelser, ske en genudfældning andetsteds, eventuelt i mere koncentreret form. Derved er de fleste af de lejer opstået, som nu udnyttes kommercielt.

De geokemiske processer stiller krav til tålmodigheden, men med et mineral som steenstrupin skulle der kunne vindes megen tid ved at gå op til temperaturer nær de hydrotermale betingelser, som bjergarten er dannet under, og hvor selv vand bliver et aggressivt stof.

Ved cirka 250°C i en stærk opløsning af natriumkarbonat og -bikarbonat bliver steenstrupinkorn nedbrudt på få minutter under afgivelse af det meste af uranet.

I laboratoriet anvendes et antal små nikkelaugklaver som vist på billedet næste side. Herved kan man hurtigt behandle mange prøver fra alle dele af malmforekomsten.

Udbyttet viser sig at variere efter prøvens oprindelsessted fra 70-90%. Hvorfor en del af uranet forbliver uopløst, og hvordan det sidder,



Op til 34 prøver kan behandles ad gangen med karbonatopløsning under tryk. De små autoklaver opvarmes i ovnen, mens de roteres for at omrøre indholdet.

er ikke så let at opklare, da det jo nu er meget små mængder, det drejer sig om.

Imidlertid gør de allerede opnåede resultater metoden økonomisk interessant. En af de største tekniske komplikationer er det betydelige tryk cirka 60 atmosfærer, som kræves, dels for at holde ekstraktionsmidlet i væskeform ved den angivne temperatur, dels for at indføre den nødvendige ilt.

Til alt held er der for nylig i Tyskland udviklet en simpel, kontinueret metode til udludning af malme under tryk. Den går ud på at pumpe en opslemning af pulveriseret malm i ekstraktionsmidlet gennem et meget langt rør, hvori opvarmningen foregår. Hastigheden er så stor, at en voldsom omrøring samtidig finder sted. Røret skal være så langt, at den nødvendige reaktionstid opnås under passagen. Gennem den sidste del af røret er diameteren stærkt indsnævret, så at opslemningen kan tabe overtrykket, inden den løber ud på et filter og skilles i uranholdig lud og fast affald. Muligvis kan luden genanvendes nogle gange og derved tre- eller firedoble det beskedne uranindhold, inden den oparbejdes til fast koncentrat.

Denne sidste del af processen er for øvrigt et problem for sig. Almindeligvis anvendes en metode, der kaldes ionbytning, en art filtrering,

hvorved filtret, ionbytteren tilbageholder uran. Her er vi imidlertid nødt til at arbejde med så stærk en opløsning af natriumbikarbonat, at uranet bogstavelig talt bliver konkurreret ud af ionbytteren.

Derfor arbejdes der nu i stedet med en proces analog med den, som forløber nogle steder, hvor uran udskilles i jordskorpen, nemlig overførsel gennem reduktion til en form, hvor uranet er uopløseligt som karbonat. Processen kan i naturen ske ved, at opløsningen kommer i kontakt med sulfidminerale eller organisk materiale. I teknikken er det bekvemt at bruge brint under tryk, dog klarer man sig her med 15 atmosfærer. På billedet side 8 ses et apparatur, der er udviklet på Risø. Produktet er omtrent sammensat som mineralet uraninit.

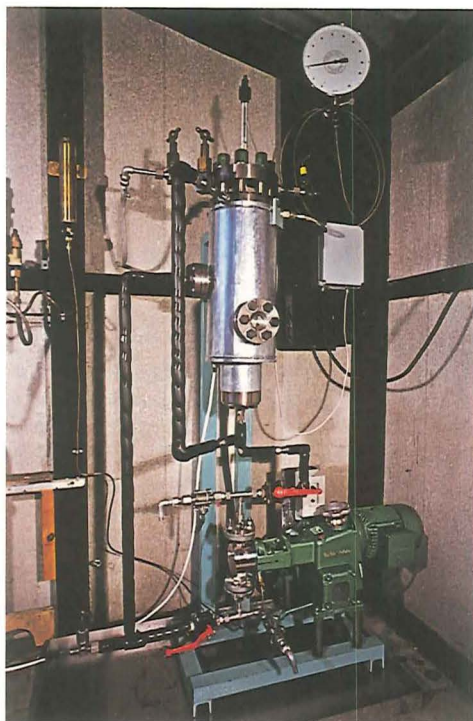
Før en egentlig uranproduktion fra forekomsten i Kvanefjeld kan besluttes, må man naturligvis have en tilfredsstillende løsning på de foran nævnte problemer samt gennemprøve den i et pilotanlæg. Dertil vil der kræves prøvebrydning i en minegang, som såvidt muligt skal gå igennem de lujavrittyper, der udgør hovedparten af malmen. Herved kommer man måske til at bryde 1 km gang, hvis indhold beløber sig til meget mere, end der er brug for ved forsøgene. Der må altså allerede nu findes et sted, hvor det er acceptabelt at anbringe det stenmateriale, som bliver tilovers. Yderligere skal der tages hensyn til de regler, der gælder for minebrydning i en radioaktiv bjergart, selv om den endelige virksomhed kommer til at arbejde i åbent brud. Specielle faktorer som det opløselige fluormineral må også tages i betragtning.

Om der efter eventuelt vellykkede pilotforsøg kan blive tale om at anlægge et bjergværk vil især blive et økonomisk spørgsmål.

En hel del væsentlige omkostninger afhænger ikke meget af den valgte proces. Det gælder således brydning, knusning og formaling samt affaldsdeponering, som netop for en så fattig malm er af stor vægt. Endvidere en række nødvendige anlæg som veje, varmecentral, værksteder, kantine og administration. Når man har et nogenlunde sikkert skøn over uranudbyttet pr. ton behandlet malm (fra pilotanlægget) samt den pris det producerede uran kan sælges for, lader det sig beregne, om der også er råd til selve procesanlægget (se side 9).

Resultatet af overvejelserne om affaldsdeponering griber tilbage i beslutningerne om brydningsprogram og placering af fabrik. Det er efterhånden klart uantageligt at placere affaldet over mod Narssaq i nærheden af det økologisk følsomme elvsystem. Andre muligheder er 1) på plateauets nordskråning, 2) på bunden af Sermilikfjorden, 3) i den forladte del af bruddet. Alle tre forslag bliver dyrere, da de kræver en affaldstransport opad, med mindre fabrikken placeres ret højt og derved bliver dyrere at bygge og forsyne.

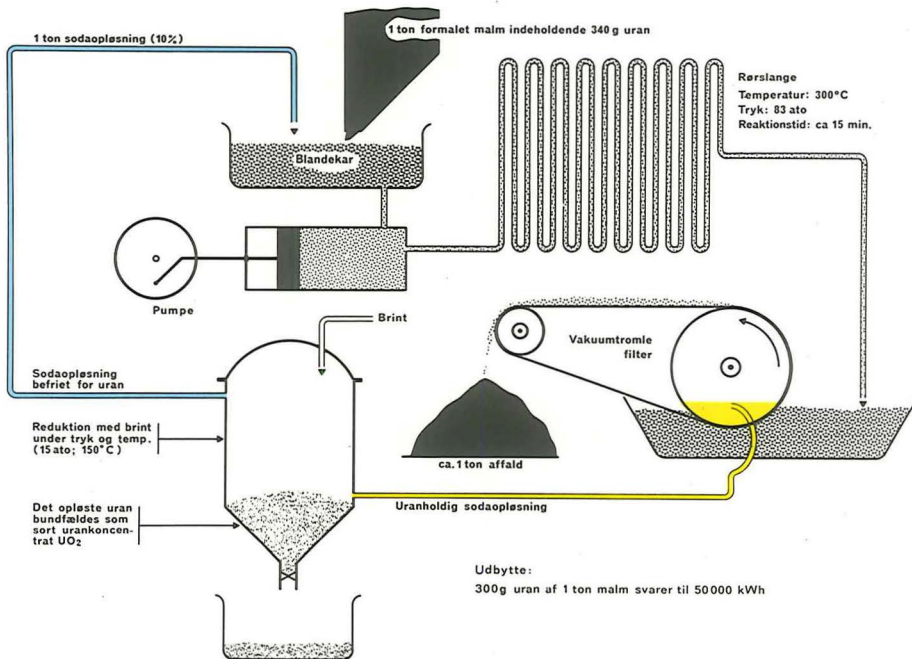
Karbonatprocessen har den fordel, at den ikke bringer meget andet end uran i opløsning, således at der efter udvaskning af affaldet til genvinding af natriumkarbonat kun vil ske udsivning af en smule karbonat, som



Brintreduktionsautoklave til udskillelse af UO_2 fra en uranylkarbonatopløsning.

er relativt fredeligt. Det gælder dog kun til man når de villiaumitholdige lag fra cirka 70 m under den nuværende overflade. Der kan godt tænkes at være 40 millioner tons malm med mindst 1% villiaumit svarende til 400.000 tons NaF, hvoraf 45% er fluor. Muligvis vil fluoret blive udvundet som biprodukt, men selv da vil 20% tabes. (Det regner jo også i brudet under driften). Det svarer til 4000 tons NaF om året ved en antaget levetid af værket på 20 år. Hvis det kommer ud i dalen, vil det ende i elven med en vandføring på cirka 30 millioner kubikmeter pr. år. Derved vil fluorindholdet kunne stige fra nuværende 1 ppm til 60 ppm med uoverskuelige konsekvenser. I Sermiliks mere end 4×10^9 m³ vand vil det derimod næppe kunne mærkes. Desuden vil fluorid ret hurtigt udskilles af havvand.

Radium, som efterlades i affaldet, er nok selv i uopløselig form, men afgiver den radioaktive luftart radon. Den vil fortyndes i atmosfæren til en umåelig lille koncentration, men hvis man alligevel ikke kan lide tanken, så løses i alt fald det problem ved en havbundsdeponering.



Processkema over det tænkte pilotanlæg.

Dette var nogle tekniske og økonomiske aspekter ved en mulig uran-udvinding af Kvanefjeld-lujavrit. De politiske og sociale er ikke glemt, men det tilkommer andre at behandle dem.

Herunder er anført formler for de omtalte mineraler i lujavrit fra Kvanefjeld - bemærk især dominansen af alkalimetallet natrium (Na). For nogle mineralers vedkommende er sammensætningen varierende - det gælder blandt andet Steenstrupin, hvortil uranet især er knyttet.

Albit	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Analcm	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Arfvedsonit	$\text{Na}_3\text{Fe}_2\text{FeSi}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Eudialyt	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Fe})\text{Zr}(\text{Si}_3\text{O}_9)_2 \cdot (\text{OH}, \text{Cl})$
Mikroklin	KAlSi_3O_8
Natroлит	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_5\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Pyroklor	$(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F}, \text{O})$
Sodalit	$\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2$
Steenstrupin	$\text{Na}_2\text{Ce}(\text{Mn}, \text{Ta}, \text{Fe}^{3+})\text{H}_2(\text{Si}, \text{P})\text{O}_6$
Villiumit	NaF