URANMALMLEJERNE OG MULIGHEDERNE FOR FREMTIDIG URANPRODUKTION

C. G. FEILBERG

En af erhvervsgeografen's vanskeligste opgaver er at følge med i den stadig skiftende malmproduktion. Gamle miner udtømmes og nye åbnes. Et metal, som tidligere kun var af meget begrænset nytte for menneskeheden, får en dag ved en ny udvikling af teknikken den største betydning, og dets malme bliver genstand for almindelig eftersøgning. Dette sidste har bl. a. været uranets historie. I anden halvdel af 19. århundrede benyttedes uran kun som brunt og gult farvestof i nogle keramiske glasurer, og produktionen var kun på nogle få tons årlig. Da man 1898 opdagede, at radium kunne udvindes af uran, voksede interessen for dette metal stærkt, og efter atombombens udformning under 2. verdenskrig er uran blevet det grundstof, alle stormagter ønsker at besidde.

URANREAKTOREN

Forhåbentlig ligger den store betydning, man nu må tillægge uranforekomsterne, ikke i deres anvendelse til krig, men i det redskab, man i de seneste år har søgt at udarbejde til deres anvendelse som energikilde i stort format: Uranreaktoren. Den simpleste forklaring på denne indretning, hvis virksomme dele for at undgå skadelige virkninger af den radioaktive stråling er lukket inde bag metertykke betonmure, er vistnok den, der nylig blev givet af en korrespondent til et engelsk teknisk-økonomisk tidsskrift: „En reaktor kan betragtes som et ildsted, på hvilket der brændes fissilt materiale (d.v.s. et stof, hvis atomkerner kan undergå spaltning) og frembringes varme, aske og desuden nyt brændsel, der opstår ved omdannelse af ikke-fissilt stof til fissilt. Under denne omdannelse kan mængden af det nye brændsel, der frembringes, være mindre end den forbrugte mængde, men – og i denne henseende er processen enestående – den kan også overgå den mængde af brændsel, der oprindelig blev tilført".

Hovedpunktet er da dette, at Uranreaktoren frembringer store varmemængder, som via kraftmaskiner kan omsættes til elektricitet. Men desuden må vi fastholde et par andre punkter of stor vigtighed. Det råstof, man til-

fører reaktoren, er metallet uran, som består af to modifikationer: uran 238 og uran 235, der udgør henholdsvis 99,3 og 0,7 % deraf. Det er uran 235, der er fissilt og derfor i første omgang fremkalder varmen. Men i forbindelse med denne proces omdannes en del uran 238 til plutonium, som også er fissilt og kan bruges til at erstatte det forsvundne uran 235, dersom det fremkommer i tilstrækkelig stor mængde. Reaktorer, hvori der dannes mere fissilt materiale, end der forsvinder, kaldes „breeder"-reaktorer, og de vil selvfølgelig få uvurderlig betydning for den økonomiske udnyttelse af de eksisterende uranmængder. Endelig er der mulighed for, at grundstoffet Thorium ved indførelse i en uranreaktor omdannes til det fissile uran 233.

Uranreaktoren vil fremkalde ny efterspørgsel efter en række andre stoffer end uranmalm. Det kan eksempelvis nævnes, at til regulering af kernespaltningsprocesserne benyttes grafit, tungt vand og cadmium. Som kølemateriale vil metallisk natrium muligvis få betydning. Til kølerør anvendes nu aluminium. Det vil måske blive erstattet af beryllium eller andre stoffer.

Til belysning af spørgsmålet: hvor store mængder af uran, der er nødvendige for at give vor energiproduktion en væsentlig forøgelse, kan jeg referere et tankeeksperiment, som professor T. Bjerge opstillede for nogle år siden. Han anslog verdens samlede årlige energiproduktion omkring 1950 til brændværdien af ca. 2,500 mill. t kul. Denne energi kunne også præsteres af ca. 300,000 tons uran fordelt på 3000 reaktorer med 100 t uran hver. Samtidig anslog han den årlige produktion af uran til ca. 2000 t. Det ville altså tage ca. 150 år at fylde de 3000 uranreaktorer. Der er ikke taget hensyn til, at i løbet af denne lange periode måtte en del af det uran, der var fyldt i de første reaktorer være brugt op, og heller ikke til at omsætningen af varme til energi i mange dampmaskineanlæg foregår med stort tab. Men vi tør dog slutte, at en produktion af ca. 100,000 t uran i løbet af en ikke alt for lang tid ville sætte den energimængde, der står til vor rådighed, ca. 30 % op.

Det er sikkert af stor betydning for urans anvendelse til fredelige formål, at der står rigelige mængder deraf til rådighed. Den amerikanske geolog George W. Bain fremsætter i denne forbindelse følgende betragtning: „Dersom uran og thorium kun forekommer i begrænsede mængder, der skinsygt må bevogtes, vil de formodentlig blive ved at være dødbringende råstoffer, der kun har betydning for krig. Skulle de derimod forekomme lige så rigeligt som mange af de metaller, industrien benytter, vil de kunne blive produceret for nyttens skyld og blive midlet til at indlede en ny æra i menneskehedens liv".

URANETS GEOLOGI

Der skal i det følgende gives en oversigt over forekomsten af de vigtigste malme og mineraler, der indeholder uran og thorium, og hvorledes de største kendte lejer fordeler sig mellem statssamfundene. Den måde, hvorpå der gives

oplysning om uranforekomster, er ofte temmelig vildledende. Når det for eks. meddeles, at et landområde indeholder flere tusind t uran, behøver dette blot at betyde, at uranmalmen forekommer spredt i en vidtstrakt fjeldmasse. Således indeholder pegmatit, en grovkornet bjergart hvis sammensætning er beslægtet med granittens, ofte spredte korn af uranmalm, sædvanlig mindre end 0,01 % uranilte per ton, hvilket vil sige, at ca. 10,000 t pegmatit efter knusning og behandling ikke levere 1 t uran, et foretagende der sædvanlig betragtes som ret uøkonomisk.

Den moderne geologi, som dels kan bygge sin viden på gennemarbejdningen af talløse malmforekomster, dels kan støtte sig på den fysiske kemi, kan give visse retningslinier for, hvor man skal søge de forskellige metallers malme.

MALMGANGE

Den proces, hvorved malme koncentreres i en malmgang eller malmåre i jordskorpen, kaldes *Mineralisation,* og opfattes nu i meget grove træk således: metaller forekommer i de dybere jordlag sammen med andre stoffer i overhedede vandopløsninger under stærkt tryk. Under disse opløsningers vandring opad gennem jordskorpen aftager tryk og temperatur, og de opløste stoffer afsætter sig efterhånden i jordskorpens sprækker og kløfter. I nogle af disse *hypogent* (d.v.s. „dannet fra neden") dannede malmårer findes uranmalm på primært leje. Desuden indeholder malmgangen, som det vil forstås ud fra dens tilblivelse, mange andre mineraler. Grundmassen kan f. eks. være kvarts, flint, kalkspat eller flusspat. Den uranmalm, der forekommer i malmgange, er sædvanlig uranbegmalm, et mørkt, gråligt, brunligt eller sort mineral med et muslet brud og en fedtet glans. Det er ret hårdt og tungt, vægtfylden ca. tre gange så stor som almindelig stenvægt. Malmens overflade kan somme tider være blæret eller „drueklasseformet". Den kan derfor fremkalde mindet om kogende beg, hvilket har givet anledning til navnet begblende (tysk: Pechblende, engelsk: pitchblende, d.v.s. et stof, der skuffende ligner beg). Uranbegmalm indeholder 76–91 % uranilte[1]. I mange tilfælde forekommer den sammen med malme af kobolt, nikkel, bismuth eller sølv, og brydningen vil da ofte være begyndt for disse malmes skyld.

En malmgang kan have ret vekslende bredde, fra få centimeter til adskillige meter og strække sig som en Spalteudfyldning hundreder af meter ned i klippen. Man har for at give et plastisk forståeligt billede af den sammenlignet den med en kæmpemæssig pandekage, der står på kant. Kun en ringe del af malmgangens bredde er optaget af uranbegmalmen. Procentindholdet af uran er sædvanlig størst i de bredere malmgange. Begblendens tyngde gør det muligt at koncentrere den i det knuste materiale fra malmgangen.

[1] De alm. forekommende uranilter indeholder 85–88 % af metallet uran.

Det er malmårene, der indeholder de største koncentrationer af uranmalm, tilfælde med 12 % uran forekommer, og det er dem, der har leveret det meste af den til dato producerede uran. De berømte uranmalmforekomster ved Jachymov i Czechoslovakiet er således af denne type. Også uranlejerne i det sydligste Belgisk Congo er af gang-typen. Ved Shinkolobwe i dette område er en kiselholdig dolomitbjergart gennemsat af et helt netværk af mindre malmgange (engelsk: stockworks) med betydelige koncentrationer af begblende og dens krystallinske form uraninit.

URAN-OKKERNE

Den prospektor, der ønsker at finde uranlejer, søger imidlertid ikke direkte efter malmgangene. De er sædvanlig skjult af de øvre forvitrede jordlag. Kun i arktiske egne, hvor en nedisning nylig har fjernet de løse jordlag, kan uranbegmalmen træde umiddelbart frem i dagen. I tempererede og navnlig tropiske egne, hvor de nedbrydende kræfter har virket længe, vil de stærkt farvede brune og gule – til tider rivende kanariegule – uran-okkere være vejledere. Deres dannelse er i modsætning til begblendens *supergen* (d.v.s. „dannet fra oven"). Nedsynkende iltholdigt vand trænger ind i malmårens øvre lag. Her forekommer sædvanligvis svovlforbindelser i begblendens nærhed. Der kan da dannes svovlsyre, som opløser begblenden, og ved opløsningens reaktion med andre stoffer opstår uran-okkerne. Der kan også fremkomme små glimmeragtige flager af den flaskegrønne torbernit eller citrongule krystaller af autunit (findes bl. a. ved Autun i det nordvestlige Central-Frankrig). Alle disse sekundære uranmineraler er for prospektoren tegn på, at der kan forekomme uranmalme i nærheden. Han føjer denne oplysning sammen med, hvad han i øvrigt kender til stedets geologi: de forekommende bjergarter, den tektoniske struktur o.s.v., for at finde frem til eventuelle malmårer. Ud fra forholdene ved en malmåres dannelseshistorie, dens geologiske alder og lignende kan der også skønnes om den kommende produktions størrelsesorden.

CARNOTIT

Vidt forskellige fra årerne med uranbegmalm er carnotitlejerne i de næsten ørkenagtige bjergegne i det vestlige U.S.A. i staterne Utah og Colorado. Carnotit er et gult smuldrende mineral, der både indeholder uran og vanadium, og som her forekommer som imprægnering i sandsten fra jura. Den del af denne malm, der kan udnyttes, er koncentreret i uregelmæssigt formede tavler eller cylindre af meget forskellig størrelse, som delvis ligger parallelt med sandstenslagene. Det letter brydningen, at disse malmlegemer er samlet i lejer på 1 til 2 km i diameter. Men man har ingen geofysiske metoder til at opdage dem under dæklag på mere end få fods tykkelse. Gennemsnitsindholdet af uran i

malmlegemerne er 1–2 %. Formodentlig er malmene på et tidspunkt, da sandet nyligt var aflejret, udfældet af gennemsivende surt grundvand, som har indeholdt uran i opløsning. På grund af klimaets tørhed har der ikke kunnet blive tale om udvaskning ved nedsivende regnvand.

URANHOLDIGE OLIESKIFERE

Det har vist sig, at der er en vis tilknytning mellem uran og mineralolier, der jo menes i de fleste tilfælde opstået ved omdannelse af organisk finmateriale, som er aflejret på havbunden på steder, hvor der ikke var adgang for ilt. Et indhold af uran på 0.01 % og derover viser en række olieskifere fra jordens oldtid. Det mudder, rigt på organisk materiale, hvoraf de uranholdige skifere er dannet, synes ophobet meget langsomt i forhold til samtidige lag fra andre lokaliteter, hvorfor uranholdige olieskiferlag gerne er tynde. Desuden er det sædvanligt kun skifere med over 10 % olie, der har et nævneværdigt uranindhold. Sådanne olieskifere strækker sig på visse steder i Sverige, Sovjetunionen og U.S.A. over hundreder af km², og med et indhold af 0.01 % uran må man regne med, at de pr. km² og 1 m lagtykkelse indeholder ca. 225 t uran. Sædvanlig indeholder de tillige lidt thorium. Også fosfataflejringer indeholder ofte uran.

PLACER-AFLEJRINGER

Det er endelig muligt at finde uran i grus- eller sandlag, hvorfra der udvaskes guld eller tinmalm, – en type malmforekomster, som på engelsk sædvanlig kaldes Placer-aflejringer („placer deposits"). Der eksisterer en hel række tungtsmeltelige og tungtopløselige uranmalme, i hvilke uran og thorium forekommer i forbindelse med grundstofferne niobium, tantal, titan og nogle af de sjældne jordarters metaller. På grund af deres egenskaber ødelægges disse mineraler ikke ved nedbrydning af de bjergarter, hvori de forekommer som spredte korn, men føres af det rindende vand bort sammen med det øvrigt løse materiale og aflejres senere i flodlejernes grus og sandlag. Uranmalmenes korn kan på grund af deres større tyngde udvaskes ligesom guld.

THORIUM OG MONAZITSAND

Mærkelig har grundstoffet thoriums skæbne været. Fra det 20. århundredes begyndelse og op til vor tid har det sammen med cerium, et af de sjældne jordarters metaller, haft sin hovedanvendelse til gasglødenet. 1945 kom det frem for offentligheden, at thorium mulig kunne anvendes som kilde til atomenergi, og i de følgende år steg prisen på monazit, det rå mineral hvoraf thorium udvindes, til det flerdobbelte.

Monazit forekommer meget sparsomt fordelt i granit, gneis og pegmatit, altså på en sådan måde, at man måtte formode, at en udvinding var økonomisk umulig. Men også i dette tilfælde foretager naturen selv koncentreringen. Det honninggule mineral er ikke fuldt så hårdt og tungt som begblende, men vægtfylden er dog omtrent den dobbelte af almindelig stenvægt. Hvor der forekommer store områder med monazitholdige bjergarter, føres monazitten ligesom de tungtsmeltelige uranmineraler bort med det rindende vand, når klippen nedbrydes. Gennem floderne føres det finkornede materiale ud til kysterne, og ved bølgernes stadige bearbejdning af materialet her sker en sortering: det lettere kvartssand føres udad, mens monazitsand og andet sand af tunge mineraler aflejres i en bræmme på strandbredden. Tropiske strandbredder, der er udsat for monsunvinde, f. eks. For-Indiens sydvestkyst i Travancore, har vist sig at byde særlig gunstige betingelser for ophobning af monazitsand. Det stadige bølgeslag og en kyst, som ikke hæver eller sænker sig væsentligt, giver mulighed for en langvarig bearbejdning af materialet. I det varme tropiske klima forvitrer og forsvinder jern- og magnesiaholdige tunge sandskorn, så monazitsandet renses for disse bestanddele.

Særlig gunstige for ophobningen af monazit er halvmåneformige bugter, og mængden af monazitsand er størst lige før Pålandsvinden bryder løs. Under Pålandsmonsunen finder den største Erosion af bjerglandet inde bag kysten sted, og i den stille periode, der følger efter, fører bølgerne mest af det lettere kvartssand bort. Der sker altså en stadig fornyelse af monazitsandet langs kysten.

Monazit forekommer, som det kunne ventes, også i områder, hvor der vaskes guld og tinmalm. Foruden thorium indeholder det lidt uran.

URANFOREKOMSTERNES VÆRDI FOR PRODUKTIONEN

De forskellige typer af uranlejer er, som det af ovenstående vil forstås af meget ulige værdi for uranproduktionen. Som allerede nævnt kan man sædvanlig se bort fra en økonomisk udnyttelse af den uranmalm, der forekommer spredt i pegmatit. Kun hvor pegmatitten brydes af andre grunde, f. eks. for at skaffe feldspat eller glimmer, kan der være tale om også at udnytte dens uranindhold. Forøvrigt er de zoner af pegmatitten, der er særlig rige på glimmer ofte tillige uranførende. Også uran-okkerne og beslægtede iltningsprodukter er af ringe betydning for produktionen. Man kendte 1950 kun tre tilfælde, hvor sådanne lejer havde leveret over 25 t uranilte.

De lejetyper, der har leveret eller i fremtiden kan ventes at levere større mængder af uran, bliver da: 1) malmgangene, 2) carnotitlejerne, 3) placeraflejringerne og 4) de olieholdige skifere. Det er dem vi i det følgende særlig vil beskæftige os med. Endda bliver vi for overblikkets skyld nødt til kun nærmere at omtale de mere givtige lejer.

DET BRITISKE COMMONWEALTH

Det britiske commonwealth vil formodentlig i den nærmeste fremtid en overgang vise sig at være verdens største producent af uranmalm.

For en ordens skyld må det omtales, at Storbritannien selv har uranlejer. Uranen forekommer i malmgange, der omgiver granitområdet i Cornwall. I perioden 1890–1926 produceredes her ca. 300 t uranilte. Det har drejet sig om små, uregelmæssige, men ret uranrige malmlegemer i gangene, og de resterende synes så små, at det ikke kan betale sig at bryde dem.

CANADA

Canadas vigtigste uranlejer findes i et tektonisk set ganske veldefineret område. Langs vestranden af det store canadiske grundfjeldsskjold, der omgiver Hudson bugten, forekommer uranførende malmårer i en stribe med hovedretning nordvest-sydøst markeret ved Store Bjørne sø, Store Slave sø og Athabaska søen.

Minedriften begyndte i den nordligste del af denne zone ved Store Bjørne sø. Stedet ligger lige under polarkredsen. Området har udpræget fastlandsklima; gennemsnitstemperaturen i januar ligger under ÷ 30°, mens den i juli når op mellem + 10° og + 15°. Man er syd for skovens nordgrænse, men dog fjernt fra Canadas tættere bebyggede egne. Der er 1000 miles ad luftvejen til Edmonton i Alberta, 1400 miles ad de stærkt slyngede flodveje til Waterways, jernbanenettets nordligste endestation, som ligger langt nordligere end Edmonton.

Begblendeforekomsterne ved Port Radium på østkysten af Store Bjørne sø blev opdaget 1930 af Eldorado Gold Mines, et privat selskab, som tidligere havde udvundet guld i Manitoba. 1932 begyndte minedriften, og 1933 byggedes raffineringsanlægget til behandling af malmkoncentratet ved Port Hope på nordkysten af Ontario søen. Firmaet solgte radium og selvlysende kemikalier. Da dets europæiske marked blev ødelagt ved den tyske invasion i Vest-Europa 1940, måtte det lukke virksomheden. Det menes, at firmaet på dette tidspunkt havde sendt koncentrat med et indhold af ca. 1400 t uranilte til Point Hope. Imidlertid bragte Churchill's og præsident Roosevelt's beslutning på Hyde Park mødet juni 1942 om at begynde arbejdet med atombomben nyt liv i foretagendet. Selskabet fik kontrakt på at levere uran til det amerikanske atomprogram, Manhattan projektet, og den canadiske regering overtog det, idet den købte aktionærerne ud. Det tog navneforandring til Eldorado Mining and Refining, og dets stærkt stigende aktivitet har medført, dels at man har opdaget, at de uranførende malmårer strækker sig videre og dybere end hidtil formodet (ca. 500 m), dels at man har indført en ny behandling af malmen, hvorved der udvindes 90 % i stedet for 70 % af den uranindhold. Mens man

tidligere skilte begblenden fra den knuste malm ved hjælp af dens tyngde, udluder man nu uranen med fortyndet svovlsyre. På grund af de vanskelige transportforhold, der vil gøre det alt for dyrt at sende svovlsyre til Port Radium, har man anlagt en svovlsyrefabrik på stedet. Udludningsanlægget har en kapacitet på 300 t daglig, så man kan behandle ca. 90,000 t materiale om året. Halvdelen af dette materiale er dog affald, der ligger tilbage fra den ældre proces.

Udviklingen i Canada er i øvrigt et eksempel på, hvor vanskeligt det kan være for geologerne at vurdere et lands malmforekomster. I 1950 skrev Bain: „Vurderingen af Canadas malmåre ressourcer tyder på, at nye lejer, der i størrelse og rigdom kan sammenlignes med dem, som er blevet bearbejdet, ikke kan forventes på vest- og sydsiden af skjoldet". Siden denne udtalelse blev fremsat er der i Beaverlodge området i den nordvestlige del af Saskatchewan og i den sydligste del af den nævnte zone af uranførende malmgange fundet forekomster, som skal være større end de ved Port Radium. I eet felt vurderes Reserverne til 2,5–3 mill. tons malm. I et andet regner man med en produktion af 500 t Malm pr. dag, og det er officielt blevet meddelt, at produktionen der vil blive ca. 40 % større end den ved Port Radium. Der gives af sikkerhedsgrunde nu ikke oplysninger om produktionen ved Port Radium. Men man ved, at denne 1940 har været ca. 525 t uranilte. Det er ikke at formode, at denne produktion er gået ned under krigen, mulig kan den være gået ned efter. Drister vi os imidlertid til at gå ud fra dette tal, så ved vi at produktionen fra minerne ved Port Radium er gået $^2/_7$ op ved udludningsprocessen, altså til 675 t. En 40 % større produktion fra Eldorado's mine i Beaverlodge området vil da være 810 t. Dette er endda ikke den eneste forventede produktion i det ny malmfelt. Det ser da ud til, at Canada håber at komme op på en årlig produktion af ca. 1500 t uranilte. Også andre steder i Canada forekommer uranmalme, f. eks. uraninit i nogle guldførende malmårer i British Columbia.

DEN SYDAFRIKANSKE UNION

Man har længe vidst, at der fandtes lidt uran i den malm, hvoraf der udvindes guld i den Sydafrikanske Union, men det var først under 2. verdenskrig, da spørgsmålet om uran af hensyn til atombomben blev højaktuelt, at man fik øjet op for betydningen af dette. 1948 vedtog unionens parlament Atomic Energy Act, ved hvilken staten fik eneret på uranproduktionen. November 1952 åbnedes det første uranværk i Transvaal, og ministeren for minerne udtalte ved denne lejlighed: „Vi vil blive en af de største producenter af uran i verden; den udvikling, her foregår, vil bringe Sydafrika et nyt aktiv af næsten samme størrelse som det guldmineindustrien har repræsenteret tidligere". Den bjergart, hvori de fine guldkorn forekommer, finknuses, og efter at guldet er fjernet, udludes uranen med svovlsyre. Pyrit, der tjener som Rå-

materiale til fremstillingen af svovlsyren, findes også i den guldførende bjergart. Det er af meget stor betydning for den kommende uranproduktion, at den kan støtte sig til den allerede indarbejdede guldminedrift ved Witwatersrand, der behandler ca. 60 mill. t malm årlig. Der er endvidere mulighed for, at man kan åbne nye miner på malm, hvis guldindhold hidtil har været anset for at være for ringe til økonomisk drift, når der også kan udvindes uran af den. Foreløbig sælges uranen til U.S.A. og Storbritannien, der financierer de nye uranværker.

Der er ikke givet tal for den sydafrikanske produktions størrelse. Men Dr. D. F. Malan har i en tale ved åbningen af det første uranværk sagt, at man ventede, at den årlige bruttoindtægt af uranen i det mindste ville blive på £ 30 mill. Senere er det meddelt, at man venter, at Uranproduktionen vil sætte den sydafrikanske guldmineindustris årsindtægter op fra £ 140 til 200 mill. i løbet af de næste ti år. Den pris, Sydafrika får for sin uran, holdes hemmelig. Prisen på uran har varieret meget. Under 2. verdenskrig regnede man med ca. £ 10,000 per t uran (20 $ per Pound), i 1952 er nævnt £ 30,000 per t (35 $ per pound. Det engelske £'s kurs er i mellemtiden sunket). Regner man med den sidste pris, som dog vistnok er en toppris, og går ud fra £ 30 mill som indtægten for Sydafrikas uran, får man en forventet produktion på ca. 1000 t uran årlig. Nu er det vistnok således, at Sydafrika ikke sælger helt renset uran, ligesom det også er muligt, at man regner med en lavere pris. Den forventede produktion vil da være tilsvarende større. Og forskellige foreliggende oplysninger tyder snarest på, at man venter at komme op over de 1500 t årlig.

AUSTRALIEN

I over 50 år har man vidst, at der forekom Monazitsand på Australiens østkyst ved grænsen mellem New South Wales og Queensland. I South Australia skulle forekomme ca. 90,000 t Malm med ca. 0,2 % uran, og uran produceres bl. a. fra Radium Hill Uranium Mine sydvest for Broken Hill. I løbet af de sidste år synes imidlertid en ny forekomst af langt større betydning at være opdaget. Fra havnen Port Darwin i Arnhem Land på Australiens tropiske nordkyst løber en bane et stykke ind i fastlandet. Ved Rum Jungle ca. 100 km sydpå langs banelinien opdagede man i 1949 tilfældigt uranmalm. I de øvre løse jordlag træffes de gule og grønne iltede uranforbindelser, men dybere nede drejer det sig om malmgange med begblende. En moderne minearbejderby Bachelor med 700 indb. er allerede groet frem i nærheden. Man må byde arbejderne særlig gode vilkår for at få dem til at slå sig ned i det fugtigvarme tropiske klima. Endnu flere uranlejer er allerede opdaget i omegnen.

Som sædvanlig gives ikke produktionstal. De noget vage oplysninger går ud på, at uranilte i løbet af få år ventes at blive et af Australiens vigtigste dollarindtjenende produkter, at uranværket er indstillet på at behandle mange

tusinde t malm årlig, og at en t uranmalm kan indeholde ca. 10 pounds uranilte, d.v.s. knap 0,5 %. Anslår man derefter beskedent malmproduktionen til ca. 20,000 t årlig, vil det svare til ca. 100 t uranilte.

INDIEN

Indien er på grund af sin i forhold til det store folketal beskedne forsyning med energikilder meget interesseret i udviklingen af atomkraften, hvorfor Nehru 1948 i parlamentet bebudede, at landet ville udvikle atomkraft til fredelige formål. Regeringen ville oprette et særligt departement for atomenergi, som skulle sortere direkte under ham. Indiens vigtigste forråd af fissilt materiale er Monazitsandet på sydvestkysten i Travancore. Her blev i perioden 1910–48 udvundet ca. 50,000 t Monazit. 1948 forbød regeringen eksport på grund af thoriums betydning som energikilde. August 1950 dannedes Rare Earth Co., af hvis aktier Indiens regering har de 55 %, staten Travancore 45 %. Det ventes, at oparbejdningen af 1500 t årlig kan tilfredsstille $^1/_3$ af verdensmarkedets efterspørgsel efter de sjældne jordarters metaller og levere thorium til atomkraft. Reserverne af Monazitsand på Travancores kyst skal vistnok ikke vurderes højere end 100,000 t. Monazitsand regnes at kunne give godt 8 % thorium og en procentdel uran. På Indiens østkyst findes nogle mindre Monazitlejer.

I provinsen Bihar i det nordøstlige Indien produceres noget uranmalm i forbindelse med glimmer fra pegmatit.

Malaya's tinvaskerier vil også kunne levere betydelige mængder af Monazit. Endelig kan der blandt områder med mulighed for Monazitproduktion indenfor det britiske commonwealth nævnes: *Ceylon* og mange flodlejer i det tropiske *Øst-Afrika* samt tinminer i *Nigeria*.

BELGISK CONGO

Karakteren af uranmalmlejerne i Katanga i den sydligste del af Belgisk Congo er allerede omtalt. Shinkolobwe menes at have de rigeste malmgange, som rummer over halvdelen af områdets uranmalm.

Lejerne blev opdaget 1915 og blev efterhånden verdens største producent af uran. Produktionen for året 1942 opgives til 700 t, senere er den formodentlig øget. Belgisk Congo har leveret hovedparten af det uran, der hidtil er brugt i England og U.S.A. Men Belgien er nu også selv begyndt en uranindustri. I 1950 regnedes forrådene af uranilte i malm af tilsvarende kvalitet som den hidtil brudte til 25,000 t.

U. S. A.

U.S.A. producerede i 1942 32 t uran. Den vigtigste kilde til uran har hidtil været carnotitlejerne på Coloradoplateauet i Rocky Mountains, især i de egne

hvor staterne Utah og Colorado støder til hinanden samt i det nordlige Arizona og New Mexico. Den vigtigste vej til fremtidig produktion af uran i U.S.A. synes at være et nøje geologisk studium af de egne hvor carnotitkoncentrationerne forekommer. Endvidere findes der olieskifere med uran flere steder i Mississippiflodsystemts opland. Det er ikke usandsynligt, at det drejer sig om reserver på ca. 800,000 t uranilte, men kun 10 % af disse kan betragtes som helt sikre. Uran i fosfatlejer vil antagelig også få betydning.

Monazit forekommer i ringe mængde i titanholdigt sand i florida, men meget rigeligt ved enkelte flodløb. Malmårer med begblende findes flere steder, bl. a. i Colorado, i Utah og i de dybere dele af den sølvproducerende Sunshine Mine i Coeur d'Alene distriktet i Idaho. Flere af Coloradomalmgangene har midlertidigt produceret uran, og i Utah er der begyndt en produktion af denne art.

SOVJETUNIONEN OG FOLKEDEMOKRATIERNE

Allerede i czartiden begyndte der i Rusland en omfattende eftersøgning af uranmalme foranstaltet af det kejserlige videnskabernes akademi. De områder, der indgik i programmet, var Ural, Kaukasus, Transkaukasien, Sibirien og Ferghanadalen, der fra Vest-Turkestan skyder sig mod øst ind mellem Centralasiens bjergkæder. Efterhånden koncentrerede man sig om Ferghana og Regionen omkring Baikal i Sibirien som de mest lovende områder, og i disse egne har under sovjetstyret videnskabernes akademis regeringsinstitut især fortsat arbejdet. Ruslands fremstilling af radium i mellemkrigsårene synes ikke at antyde en meget stor uranproduktion.

Det volder selvfølgelig særlig vanskelighed at vurdere Sovjetunionens malmforekomster. Jeg skal her kort referere Bain's opfattelse, der er bygget på studiet af russisk geologisk litteratur og almindelig viden om de geologiske betingelser for uranforekomster. Samtidig minder jeg om, at man i et så uhyre område, som det her drejer sig om, selvfølgelig kan komme ud for betydelige overraskelser. Alle typer af uranlejer er repræsenteret i Sovjetunionen, men gennemgående med ret lav uranprocent. Bjergarter med 0,01–0,05 % uran forekommer ret rigeligt, men enten i egne, hvor stor vandfattigdom eller hvor stor vinterkulde (der jo vanskeliggør arbejdet i åbne brud) hæmmer produktionen. I grundfjeldskjolde og krystallinske massiver (østranden af det fennoskandiske skjold, det centrale Ural, Taymyrhalvøen m. m.) er pegmatitzoner og tungtsmeltelige uranmineraler meget udbredt, hvilket gør forekomsten af rige uranførende malmgange usandsynlig. Uranholdige olieskifere forekommer flere steder, bl. a. i Leningradregionen, i Vest-Turkestan og Ferghana. Endvidere forekommer adskillige placer-aflejringer af radioaktive malme, f. eks. i Transkaukasien ved Floden Tchorup, der udmunder ved Batum, og i vaske-

guldlejer i Sibirien øst for Jennissei. Carnotit og beslægtede mineraler forekommer i Ferghana, der har ørkenklima, og i en zone, som herfra strækker sig mod nordøst langs grænsen mod det kinesiske rige. Iltede uranmineraler forekommer bl. a. i Ferghana.

Når man gør op, hvad der med rimelige omkostninger kan produceres i Sovjetunionen, skulle carnotitlejerne og de iltede mineraler nogenlunde nemt kunne producere opimod 1000 t uranilte, mens yderligere ca. 10,000 t uranilte findes i malme med et uranindhold af 0,01–0,02 %. Olieskiferne kan i hvert fald producere 45,000 t, tager man hensyn til forekomster med ringe uranindhold måske 1 mill. t. Vaskeguldproduktionen kan formentlig levere ca. 3000 t monazit årlig. Man kan da resumere situationen således, at Sovjetunionen, dersom den vil sætte et betydeligt arbejde ind på at udnytte malme med et lavt uranindhold, vil høre til de lande, der er ganske godt forsynet med uran.

Dertil kommer, at flere stater i Øst-Europa, som er nært knyttet til Sovjet, også vil kunne levere uran. Således findes ved Gothen i *Bulgarien* en mindre forekomst.

Kendt fra gammel tid er malmgangene med uran i Erzgebirge i det nordvestlige *Czechoslovaki* og *Østtyskland*. De producerende lokaliteter ligger i to zoner, som krydser hinanden ved Jachymov (St. Joachimsthal). Den ene har nord-syd retning og strækker sig fra Freiberg i Sachsen (omtrent midtvejs mellem Chemnitz og Dresden) til Wölsendorf i Bayern i Vesttyskland. Den anden løber fra Schneeberg og Johanngeorgenstadt ved Mulde i Sachsen i østlig retning til et stykke hinsides Jachymov. Den rigeste malmåre indeholder ca. 1,6 % uranilte, men gennemsnittet synes at ligge under 0,2 %. Man regner, at hele regionen, da produktionen begyndte, havde ca. 1000 t uranilte, som det kunne betale sig at udvinde. Dersom man sætter arbejdskraft ind uden hensyn til omkostningernes størrelse, kan dette tal måske øges til 1500 t. I 1940 var i det mindste 680 t fjernet. Når det nu hedder, at man har sat store arbejdsstyrker – over 100,000 mand – ind i dette område, og at der produceres ca. 1800 t uranmalm om dagen, er det vanskeligt at drage sikre slutninger heraf, da det kan dreje sig om en meget lavprocentig malm. Nye miner skal dog også være åbnet.

ANDRE LANDE

Braziliens tropiske kyst fra Cap Frio ca. 1800 km nordpå til Recife har ret store mængder af monazitsand. En moderat vurdering regner med, at de rigeste strækninger tilsammen har reserver på 50–100,000 t. Desuden kan der endnu være ukendte muligheder for malm i det store delvis meget tyndt befolkede land.

Madagascar har i sit højland en pegmatit lidt rigere på uranmalm end sædvanlig, rigt uranholdigt sediment og nogle lejer med monazitsand. Pegmatitten har leveret ca. 100 t tungtsmeltelige uranmineraler.

I det nordlige *Portugal* ved Urgeirica syd for Duoro's nedre løb findes en lille gruppe malmgange med uran, som har leveret et par hundrede t af dette metal og stadig udnyttes.

Sverige synes at være en potentiel uranproducent af høj rang, idet svenske alunskifere og andre skifere indeholder betydelige mængder uran.

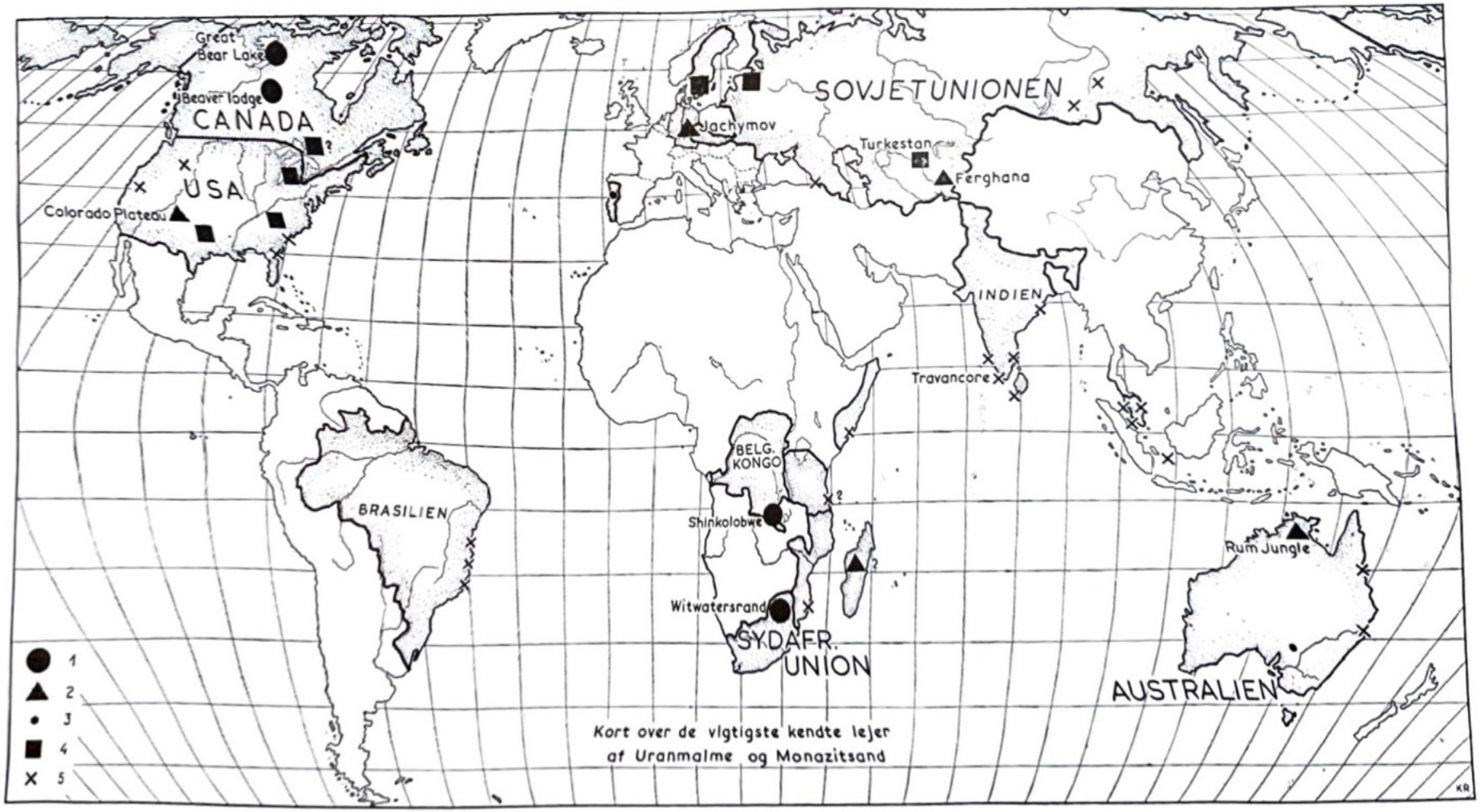
Flere steder, f. eks. i *Frankrig* og *Vest-Tyskland,* findes små uranlejer med en produktion, efter al sandsynlighed, på under 10 t om året.

FREMTIDEN OG RESERVERNE

Vil man forsøge at danne sig et skøn over uranproduktionen i det kommende tiår, er det rimeligt at begynde med de tre lande, som ventes at blive de største producenter. Ifølge vurderinger fra forskellig side skulle rækkefølgen efter produktionens størrelse blive: 1) Den Sydafrikanske Union, 2) Belgisk Congo, 3) Canada. Vore beregninger ud fra opgivelser om produktionsanlæggenes størrelse og de forventede indtægter, gav som resultat, at produktionen i Sydafrika ville blive mindst 1000 – formodentlig over 1500 – t uran årlig, i Canada ca. 1500 t. Det er da rimeligt at formode, at de største producenter venter hver at få en årsproduktion, der ligger nær de 1500 t, så de tilsammen producerer over 4000 t uran årlig. Bain har foretaget nogle beregninger over, hvor meget uran der kan komme fra tunge uranmalme i placer-aflejringer og fra monazitsand, men han udtrykker sig så uklart, at det er vanskeligt at få et tal ud deraf. Dog er det måske ikke urimeligt at regne med et tusind tons på denne konto. Når dertil kommer en produktion fra Australien på ca. 100 t, produktionen fra carnotitlejerne i U.S.A., fra Portugal, Madagascar og en række små producenter, forekommer det mig sandsynligt, at uranproduktionen i det kommende årti kan nå op over de 6000 t. Dertil vil yderligere kunne lægges en produktion på over 1000 t thorium. Sovjetunionens produktion er ikke medregnet.

Med hensyn til reserverne må man altid erindre, at opgørelserne er ufuldstændige som følge af selve det princip, hvorefter de foretages. Det gælder af hensyn til minens drift at vide, hvor man skal bryde malm 5–10 år frem i tiden, og undersøgelserne føres så langt frem, at man er dækket for denne periode. Til disse „sikre" reserver kommer så altid de „sandsynlige".

Bain regnede 1950 med 25,000 t uranilte i de kendte malmgange med nogenlunde rigeligt uranindhold, hovedsagelig i Belgisk Congo. Siden er noget af denne malm brudt, men nye malmgange af stor betydning er fundet i Canada og Australien, så tallet kan formodentlig nu ganges med 1½ eller 2. Lejerne af carnotittypen i U.S.A. og Sovjetunionen vurderede Bain til ca.



1) Store lejer, forventet årsproduktion over 500 t uran. 2) Mellemstore lejer eller grupper af lejer, forventet årsproduktion 50–150 t uran. 3) Mindre lejer (små lejer af uranmalm f. eks. uran i Pegmatit i Norge og Syd-Tyskland ikke medtaget). 4) Uranholdige olieskifere. 5) Monazitsand.

40,000 t. Uranreserverne i Sydafrikas guldminer og i placeraflejringerne har jeg ikke tal for, men lægges de til de allerede nævnte reserver må de 100,000 t være langt overskredet. Endelig har man fra forskellig side vurderet de udnyttelige resourcer af uran i olieskiferne til nogle hundredtusind t, de sandsynlige til 2 à 3 mill. t.

Udviklingen i en fjernere fremtid vil formodentlig – som ved så megen malmproduktion – følge den linie, at man går fra de mere koncentrerede, men sjældnere malmforekomster til de mindre koncentrerede, der forekommer i større mængde. Med en årsproduktion på ca. 3000 t uran fra malmgangene i Belgisk Congo, Canada og Australien, kan de bedste malme formodentlig være brudt på mindre end 20 år. Det er allerede et skridt i den omtalte retning, når de fattige malme i Sydafrika går ind i produktionen. I tidens løb vil en stor produktion fra olieskiferne rimeligvis blive resultatet.

LITTERATUR

C. F. Davidson: A Prospector's Handbook to Radioactive Mineral Deposits. London 1949.
Times Review of Industry.
Minerals Yearbook 1949.
C. F. Davidson: A Prospectors Handbook to Radioactive Mineral Deposits. London 1949.
(Læsere, der ønsker nærmere oplysninger om atomenergi kan henvises til T. Bjerge: „Atomenergi" i „Forskning og Fremskridt" (København 1952) samt „Ingeniøren" 12. marts 1955).