

# URAN

+ Oplysning om  
uranudvinding

Hvad er uran og  
hvad bruges det til?

Miljø og sundhed

URAN SOM  
ENERGIKILDE

HVAD ER  
RADIOAKTIVE  
STOFFER?

URANFOREKOMSTER  
I GRØNLAND



Kvanefjeld  
Puissattaq  
Illorsuit  
Sarfartoq  
Randbøldal

**'Information og fakta om udvinding af uran i Grønland'**

Per Kalvig, Karsten Secher og Gert Asmund.

Udgivet af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland – GEUS

ISBN: 978-87-7871-287-5

Design og layout: Carsten Egestal Thuesen, GEUS

Illustration: Carsten Egestal Thuesen, Benny Scharck & Henrik Klinge Pedersen, GEUS

Teknisk redaktion: Jane Holst & Lars Lund Sørensen, GEUS

Tryk: Rosendahls – Schultz Grafisk A/S

2. oplag (juli 2012)

© GEUS

Der er anvendt billeder fra følgende institutioner og personer: Geologisk Museum, GEUS Arkiv, Institut for geografi og geologi, RISØ. Henning Sørensen, Jakob Lautrup, Karsten Secher, Lars Lund Sørensen, Ole Johnsen, Svend Nielsen & Peter Warno-Moors.

Denne publikation findes også i en udgave på grønlandsk.

**Forfatterne****Seniorrådgiver (geolog/GEUS) Per Kalvig:**

Har arbejdet med Kvanefjelds geologi og råstofudnyttelse fra 1982–85 og fra 2001-2010. PK har specialiseret sig i industrimineralers geologi, som har været praktiseret i flere sammenhænge i Grønland. PK har i flere omgange været engageret i relevante råstofgeologiske opgaver i Afrika. Har i lange perioder beskæftiget sig med råstofadministration og koordinering.

**Specialkonsulent (geolog/GEUS) Karsten Secher:**

Har arbejdet med radioaktive stoffers geologi i Grønland (især Sarfartoq) fra 1974–89 og fra 2000-2010), bla. kortlægning af strålningsniveauet i Grønland. KS har specialiseret sig i mineraler og mineralske råstoffers forekomst og historie i Grønland. Særlig ekspertise inden for ædelmetaller og diamanters geologi. KS har i en periode især beskæftiget sig med forskningsadministration.

**Seniorforsker (kemiingeniør/DMU) Gert Asmund:**

Har arbejdet med Kvanefjelds råstofsituation og miljø siden 1968 og har siden 1972 koncentreret sig om miljøundersøgelser i relation til nuværende og kommende minedrift i Grønland. GA har specialiseret sig i kemiske sporstoffers fordeling i miljøet. GA har været rådgiver for offentlige instanser i Danmark og Grønland.



GEUS

**Indhold**

- 3 Oplysning om uranudvinding**
- 4 Hvad er uran og hvad bruges det til?**
  - 4 Uran og strålingsfysik
  - 6 Strålningsniveauet i Grønland
  - 7 Uran – hvad bruges det til?
- 8 Uranforekomster i Grønland**
- 12 Uranefterforskning – lidt om metoderne**
- 13 Brydning af uranmalm og udvinding af uran – lidt om metoderne**
  - 15 Hovedprodukt eller biprodukt ved minedrift
- 16 Miljø og sundhed**
  - 16 Hvor farlige er de radioaktive stoffer?
  - 17 Miljø og sundhed ved uranbrydning og -udvinding
  - 18 Hvordan udvindes uran fra malmen?
  - 18 Radon og radium
  - 18 Andre forurenende stoffer
- 20 Kontrol med produktion og eksport**
- 21 Når minen lukker – hvad så?**
  - 21 Tailingsdepoter
  - 21 Radon i luften over tailingsdepotet
  - 21 Radium og andre radioaktive stoffer i vand
- 22 Kvanefjeld – Grønlands mest kendte uranforekomst**
  - 22 Hvor meget uran findes der i Kvanefjeld?
  - 23 Miljøforhold ved minedrift på Kvanefjeld
  - 24 Sundhedsmæssige forhold ved minedrift på Kvanefjeld
  - 25 Strålningspåvirkninger
- 26 Erfaringer fra uranminer i andre lande**
  - 26 Eksempel på uranmine under opstart
  - 26 Eksempel på producerende og ophørte uranminer

**Forside**

Håndstykke af uranholdig malm fra Kvanefjeld.



## Oplysning om uranudvinding

Uranudvinding kan måske blive et emne i fremtidens Grønland. I dette informationshæfte vil man illustrere mange af de forhold, der har betydning ved udvinding af radioaktive mineraler.

Grønlands undergrund gemmer mineraler, som på et tidspunkt vil kunne danne grundlag for minedrift. Nogle af disse mineraler indeholder de radioaktive grundstoffer uran og thorium. Især uran har i de senere år fået stigende betydning, da det kan være en kilde til fremstilling af energi med lav udledning af CO<sub>2</sub>. Der er derfor internationalt en stærkt øget interesse for verdensforekomster af uran. Den teknologiske udvikling har gjort det muligt at udvinde uran fra bjergarter med meget lavt indhold. Grønland er derfor blevet interessant hos de selskaber, der leder efter nye uranforekomster.

Siden 1985 har den gældende praksis i Grønland ikke givet mulighed for at lede efter eller udvinde uran. Råstofdirektoratet udarbejdede i 2004 og 2009 strategier for, hvordan udviklingen af mineralefterforskning i Grønland kan blive til størst mulig gavn for det grønlandske samfund. Uranefterforskning indgik ikke i disse strategier. I 2008 havde Landstinget en diskussion om de samfundsmæssige aspekter af efterforskning og brydning af uran i Grønland, hvori også indgik de forskellige problemer, en sådan produktion kan medføre. Diskussionen om, hvorvidt Grønland skal ændre praksis og tillade efterforskning og minedrift af uran, er især blevet aktuel i forbindelse med efterforskningen på Kvanefjeld nær Narsaq af en række sjældne, og efterspurgte grundstoffer. Disse vil ikke kunne udvindes, uden at uran kommer med som biprodukt. Diskussionen i Landstinget (Inatsisartut) afspejlede forskellige holdninger til de muligheder og problemer, som er knyttet til udvinding af uran.

Selvstyret har ønsket at orientere befolkningen om de forhold, der er af betydning ved evt. minedrift af uran – hvad enten dette sker som biprodukt eller som hovedprodukt - som oplæg til en bred diskussion om, hvorvidt denne lovgivning skal ændres. Eksempelvis kunne det blive tilladt at bryde uran som biprodukt ved brydning af andre råstoffer.

Denne folder søger at pege på forhold, som er vigtige i diskussionen om tilladelse til at udnytte radioaktive stoffer i Grønland. Forhold af betydning for brydning af uran er beskrevet generelt. Desuden er der en oversigt over de kendte uranforekomster i Grønland. Forholdene ved Kvanefjeld er beskrevet lidt mere detaljeret, da denne forekomst er den bedst kendte i Grønland. Ved at bruge Kvanefjeld som eksempel er det muligt at illustrere mange af de forhold, der har betydning ved udvinding af radioaktive mineraler.

De særlige forhold for miljø og sundhed i forbindelse med uranminedrift gennemgås, og der gives en række eksempler på erfaringer fra uranminer, der er i drift, og nogle, som har stoppet produktionen.

Der er information om uran, radioaktivitet, radioaktive mineraler og om de største uranminer.

Endelig er der givet en række henvisninger til hjemmesider, som er centrale for emnet. Blandt disse kan også findes henvisninger til special litteratur.

*Uranholdig borekerne.*

## Hvad er uran og hvad bruges det til?

Uran er et radioaktivt grundstof, som findes i naturen i alle slags bjergarter, jord og vand, men normalt optræder det i meget små mængder. Der er tydelige forskelle i niveauet af den naturlige stråling som følge af de forskellige bjergarters radioaktivitet.

### Uran og strålingsfysik

Radioaktive stoffer findes naturligt i vores omgivelser (i jord, fjeld, mv.) og bidrager til den naturlige baggrundsstråling. Ligeledes er der en naturlig radioaktiv stråling i atmosfæren. Den radioaktive stråling varierer således fra sted til sted, afhængig af de naturlige geologiske forhold. I Grønland varierer den naturlige radioaktive stråling betydeligt. Den er størst i de områder, hvor der forekommer mange granitter, mens den er mindst de steder, hvor undergrunden består af fx gamle vulkanske bjergarter eller sedimenter. Men der findes ingen steder, hvor den naturlige radioaktive stråling er nul.

**Uran.** Uran er et grundstof, som findes i naturen i alle slags bjergarter, jord og vand – men normalt i meget små mængder. I granitbjergarter er der omkring 4-5 gram uran per ton granit og i sandsten kun omkring det halve; i bjergarter er uran altid bundet til nogle få uranminerale, og de øvrige af bjergartens mineraler indeholder ikke uran. Der findes mange forskellige uranminerale, hvoraf uraninit er det mest almindelige. I Grønland er uraninit og steenstrupin de vigtigste uranminerale.

### URAN

Uran er et grundstof, som findes i små mængder i naturen, både i jord, bjergarter og vand. Det er et gråligt, svagt radioaktivt metal; det er tungt med en massefylde på 19 kilo pr. liter. Kemiske forbindelser med uran, særligt såkaldte uranylforbindelser, er opløselige og regulært giftige.

Naturligt uran består af mere end 99 % af uran med atomvægt 238, kaldet uran-238 (eller <sup>238</sup>U), og lidt under 1 % af uran med atomvægt 235, også kaldet uran-235 (eller <sup>235</sup>U). Det er det sjældne uran-235, som bruges i kernekraftreaktorer og i kernevåben. Det uran, der udvindes fra uranminer, kan ikke bruges som det er, hverken til kernekraft eller kernevåben, da det indeholder for lidt uran-235. For at kunne udnytte uran-235, skal naturligt uran derfor først gennemgå en proces, som ændrer på forholdet af isotoper – det bliver 'beriget' – og får derved et højere indhold af uran-235. Uran, der benyttes til kernekraft, skal indeholde mindst 3 % uran-235, og til kernevåben skal det indeholde mere end 85 % uran-235. Berigningsproces-



Uranholdigt malmskud.

### Uranindhold i forskellige materialer

Havvand	0,003 gram per ton vand
Brød og fisk	0,0035 gram per ton
Jordens yderste skorpe - gennemsnit	2,8 gram per ton bjergart
Sandsten	2 gram per ton sandsten
Granit	4-5 gram per ton granit
Uranmalm med meget lille indhold uran (Namibia)	100 gram per ton malm
Uranmalm fra Kvanefjeld (omtrentlig værdi)	360 gram per ton malm
Uranmalm med lille indhold uran	1000 gram per ton malm
Uranmalm med meget uran	20 000 gram per ton malm
Uranmalm med meget højt uranindhold (Canada)	200 000 gram per ton malm



sen er kompliceret og kræver industrielle anlæg og stor teknisk ekspertise. Kun få lande råder over denne teknologi. Derimod kan næsten alle lande, der har uranmalm i deres undergrund, bryde uranmalm og udvinde den naturligt forekommende uran fra de uranholdige mineraler.

**Radioaktivitet.** Byggestenene til alt stof i Universet er atomer. Nogle atomer er ustabile, og der sker en spontan ændring af de enkelte atomer, som skyldes, at atomkernen ikke er i balance, idet der er et misforhold mellem antallet af neutroner og protoner i kernen. Det er

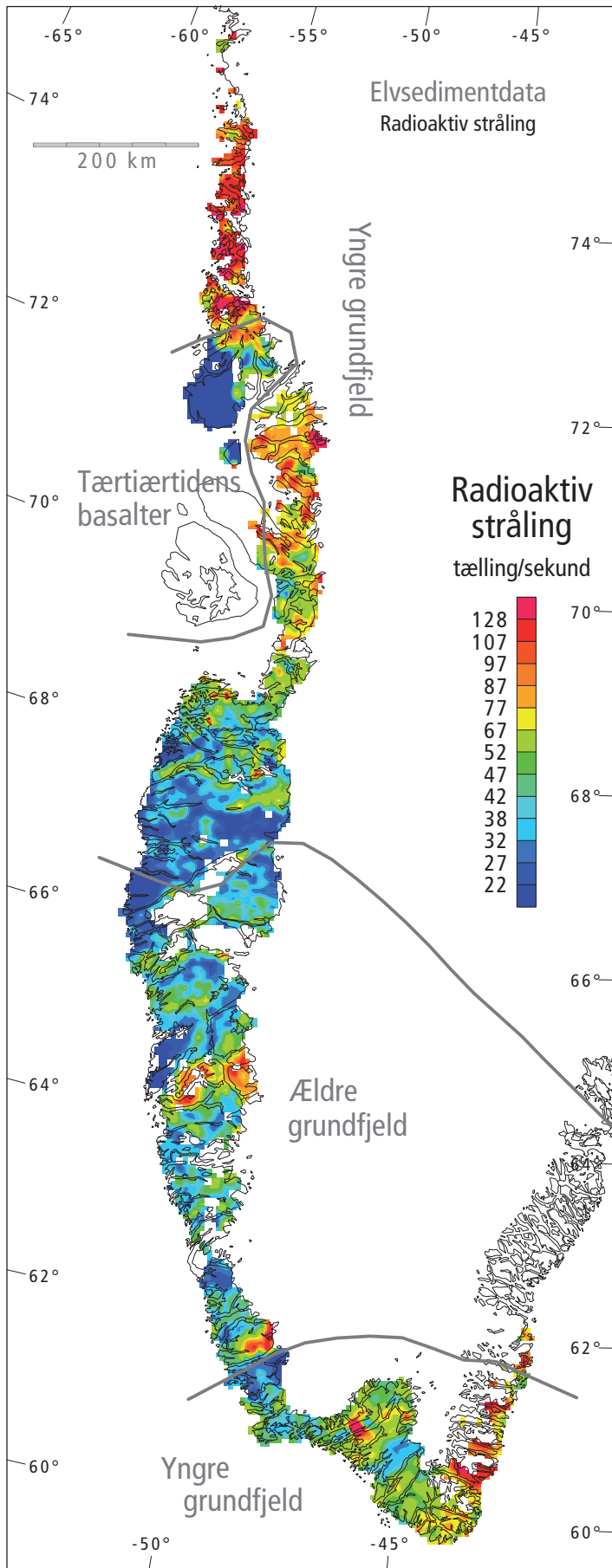
det man kalder radioaktivitet, fordi der under ændringen af atomet sker en udsendelse af stråling i form af partikler og/eller elektromagnetisk stråling. Man taler om, at det ra-

Radioaktivitet måles i enheden Bq (Becquerel):  
1 Bq = 1 radioaktivt henfald per sekund.

*Radioaktive stoffer findes alle steder i naturen. I Grønland varierer den naturlige stråling betydeligt. Den er størst i områder hvor der forekommer mange granitter, mens den er mindre hvor undergrunden består af gamle vulkanske bjergarter eller sedimenter.*

*Til venstre: Eksempel på moderne gammaspektrometer til måling af radioaktive stoffer.*

dioaktive stof henfalder, dvs. ændres over tid, så radioaktiviteten aftager og der dannes et andet grundstof, fx radium og radon. Efter en given tid er halvdelen af stoffets atomer henfaldet – dette tidsrum omtales som stoffets halveringstid. Hvert radioaktivt stof har sin egen halveringstid, som er karakteristisk for netop det stof. Et stærkt radioaktivt stof har



kort halveringstid, og tilsvarende har et svagt radioaktivt stof lang halveringstid. Uran-238 har en halveringstid på 4,5 milliarder år, og uran-235 har en halveringstid på ca. 700 millioner år; ingen af dem er meget radioaktive, men det er nogle af deres henfaldsprodukter.

Da uran findes naturligt overalt i jorden, bliver det også optaget i de fødevarer, som vi spiser, og dermed har vi alle en lille smule uran i kroppen.

Den biologiske virkning af stråling måles i 'strålingsdoser' i enheden Sv (Sievert): 1 Sv = 1 Joule per kg væv. 1 mSv (milliSievert) er en tusindedel af 1 Sievert.

Alle mennesker på kloden bliver årligt udsat for en effektiv strålingsdosis på ca. 3 mSv/år (i Danmark 2,4 mSv/år) fra stråling fra verdensrummet, radioaktive stoffer i jorden, radioaktive stoffer i kroppen, radon fra boliger, samt fra røntgenundersøgelser på hospitaler og hos tandlæger. De to sidstnævnte er langt de største kilder.

### Strålningsniveauet i Grønland

Alle mennesker påvirkes dagligt af den radioaktive stråling, men som regel i meget små doser. En del af strålingen skyldes jorden og bjergarterne under os, og deres indhold af uran, thorium og kalium, og er forskellig fra område til område. Variationen i Vestgrønland kan ses på kortet til venstre.



Herover: Et af geologernes vigtige redskaber til opmåling af den samlede radioaktivitet: scintillometret SPP-2.

Til venstre: Det naturlige strålningsniveau i Vest- og Sydgrønland. Kortet er fremstillet ved systematisk måling af gamma-strålingen på jordoverfladen. Bemærk, ingen målinger i Disko-området. Målingerne er udført med håndholdt scintillometer SPP-2.

Kilde: GEUS rapport 2001/46 A.Steenfelt: "Geochemical atlas of Greenland" (Geokemisk Atlas over Grønland), som er udgivet på engelsk i 2001.

Man kan se, at der er tydelige forskelle i strålningsniveauet på grund af de forskellige bjergarters radioaktivitet. For eksempel er områderne Nuuk og Narsaq noget højere, medens Kangerlussuaq og Svartehuk områderne er noget lavere end gennemsnittet. Det skyldes naturlige geologiske forhold.

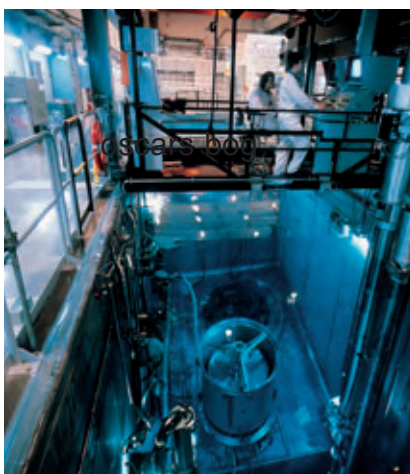
## Uran – hvad bruges det til?

**Kernkraftværker.** Kernkraftværker – også kaldet atomkraftværker – er kraftværker, der udnytter atomkernereaktioner til fremstilling af elektrisk energi. I et kernkraftværk er selve kernereaktoren det sted, hvor energien dannes og frigives i form af ioniserende stråling og varme. Denne varme anvendes til at drive dampmaskiner, som producerer elektricitet.

De fleste kernereaktorer (letvandsreaktorer) bruger uran 'beriget' til et indhold på 2-4 % af det spaltelige uran-235. Dog findes der reaktortyper, som kan benytte ikke-beriget uran. Det er de såkaldte tungtvandsreaktorer. I Indien arbejdes der ihærdigt på at udvikle en ny reaktortype, som kan benytte thorium; det sker ved at thorium først bestråles i en reaktor for at omdanne det til uran-233.

Det skønnes, at næsten 20 % af verdens samlede produktion af elektrisk energi stammer fra kernkraft.

Brug af kernkraftværker er omstridt, dels på grund af de følger, et reaktorhavari kan have (eksempelvis uheldene på Three Mile Island i 1979 og i Tjernobyl i 1986), dels på grund af problemer med at finde sikre forhold til langtidsopbevaring af radioaktivt affald, især det højradioaktive affald.



Uran anvendes som brændsel i atomkraftværker.

**Våbenindustri.** Uran kan anvendes i kernevåben, der i daglig tale omtales som atombomber. For at bruge uran i atombomber, skal det være højt beriget (indholdet af uran-235 skal være mindst 85 %). Derfor kan uran, der bruges til kernkraftværker, ikke anvendes til fremstilling af atombomber. Højt beriget uran anvendes også som drivmiddel til atomubåde. Til moderne kernevåben er uran blevet erstattet af plutonium, som er lettere at fremstille ved bestråling af uran-238 i en reaktor. Våbenindustrien anvender desuden 'forarmet' uran, som er meget tungt, til projektiler i våbenammunition og til fremstilling af panserskjold i kørende materiel.

## Hvordan virker uran som energikilde?

Uran-235 kan bruges i kernereaktorer og til kernevåben fordi uran-235 spaltes, når en neutron rammer en atomkerne. Ved spaltningen udvikles der en meget stor mængde energi, og der dannes flere nye neutroner, som kan bevirke at spaltningens proces kan blive ved med at fortsætte. I en kernereaktor er der netop så meget uran-235, at denne proces kan forløbe med en kontrolleret hastighed. I kernevåben er der et meget højt indhold af uran-235, så processen forløber som en eksplosion.



'Little boy' var kodenavnet for den atombombe der eksploderede over Hiroshima med en styrke på ca. 14 kilotons den 6. august, 1945.

## Reaktortyper

1. Forskningsreaktorer anvendes til forskningsformål af mange slags. Det gjaldt fx de nu lukkede anlæg på RISØ.
2. Produktionsreaktorer anvendes til fremstilling af plutonium til bombeformål. Eksempelvis Windscale atomkraftværk og Yongbyon i Nordkorea, der producerer våbenplutonium og ikke strøm.
3. Kraftreaktorer er de el-producerende værker. Der er flere typer, herunder også anlæg, der anvendes i ubåde, store skibe og isbrydere.
4. Småreaktorer til anvendelse som energikilde i satellitter.

## Forskellige typer radioaktiv stråling

Radioaktive stoffer er karakteriseret ved, at deres atomkerner henfalder spontant og derved omdannes til andre grundstoffer, samtidig med at der udsendes stråling. Strålingen er i stand til at omdanne andre atomer til elektrisk ladede ioner og kaldes derfor ioniserende stråling. De almindeligste former for ioniserende stråling er:

**Gammastråling** er elektromagnetisk stråling beslægtet med lys, men med højere energi. Den har stor gennemtrængningsevne og kan trænge igennem menneskeligt væv, vinduesglas m.v. Gammastrålingen svækkes ved passagen gennem fast stof, for eksempel en almindelig ydermur af beton eller mursten.

**Beta- og alfastråling** er partikelstråler med ringe gennemtrængningsevne. Betastråling, som består af elektroner, kan trænge nogle millimeter ind i hud. Alfastråling, der består af heliumkerner (2 protoner + 2 neutroner), standses f. eks. af et stykke papir eller af overhuden.

## Uranforekomster i Grønland

I nogle mineraler er indholdet af uran så stort, at det kan svare sig at udvinde uranen. I Grønland kendes flere uranforekomster, som omtales her.

En hel del mineraler indeholder det radioaktive grundstof uran. I nogle mineraler er indholdet så stort, at det kan svare sig at udvinde uranen. Også i Grønland er der fundet en række uranholdige mineraler, som eventuelt vil kunne udnyttes kommercielt. Desuden findes der mineraler, som indeholder andre vigtige grundstoffer samt små mængder uran; i sådanne tilfælde vil uran kunne blive et biprodukt i forbindelse med den proces, hvorved de øvrige stoffer udtrækkes. De grønlandske forekomster er fundet gennem uranefterforskning foretaget af danske statslige forskningsinstitutioner i perioden fra midten af 50'erne og frem til 1985.

Mineraler med radioaktive grundstoffer kan forholdsvis let findes i naturen ved at anvende måleapparater, der registrerer mineralernes radioaktive stråling. Den slags instrumenter blev oprindeligt kendt som 'Geigertællere', men er i dag afløst af nyere typer - de såkaldte scintillometre – som på grund af større følsomhed gør det muligt at gennemføre målinger fra fly. På den måde kan meget store områder undersøges for indholdet af uran i bjergarterne.

### Uranholdige mineraler

Navn	Kemisk formel (simplificeret)	Vigtigste råstof	Vigtigste biprodukt	% U
Uraninit	$UO_2$	U	Th	88
Uranothorit	$(Th,U)SiO_4$	U	Th	70
Allanit	$Ca(Ce,La)(Fe,Cr)Al_2(Si_2O_7)(SiO_4)(OH)_2$	Ce	Th	
Bastnäsit	$(Ce,La)CO_3F$	Ce, La	U	
Brannerit	$(U,Th,Ca,La)(Ti,Fe)_2O_6$	La	U,Th	34
Carburan	$((Th,U,C,O))$	Th	U	30-60
Steenstrupin	$Na_{14}Ce_6Mn_2Fe_2(Zr,U,Th)(PO_4)_7Si_{12}O_{36}(OH)_3 \cdot 3H_2O$	Ce	Zr, U, Th	0,5-2
Euxenit	$(Y,Er,Ce,La,U)(Nb,Ti,Ta)_2(O,OH)_6$	Ce	U	5
Pyrochlor	$(Na,Ca)_2Nb_2(O,OH,F)_7$	Nb	U	1-5
Zirkon	$ZrSiO_4$	Zr	U	1
Monazit	$(Ce,La,Nd,Th)PO_4$	Ce	Th	
Columbit	$(Fe,Mn)Nb_2O_6$	Nb	Th	



Krystal af det vigtigste uran-mineral i Kvanefjeld: steenstrupin. Krystallen måler 1 x 2 cm.

De mest almindelige uran-mineraler i Grønland er uraninit (uranbeglende), som kendes fra flere forekomster i Øst-, Syd- og Vestgrønland, mineralet steenstrupin i Sydgrønland, og mineralblandingen carburan i Østgrønland. Desuden indeholder mineralet pyrochlor lidt uran og thorium. Pyrochlorforekomster, nær Kangerlussuaq og Narsaq, er dog mest interessante for deres indhold af

metallerne niobium og tantal. Herunder beskrives nogle af de bedst kendte uranforekomster i Grønland. Det skal bemærkes, at der udover disse kan findes flere, som geologerne blot endnu ikke har kendskab til.

### Kvanefjeld (Kuannit Qaqqaat), Sydgrønland

Forekomsten af uran- og thoriummineraliseringer ved Kvanefjeld er placeret i den nordlige del af det, geologer kalder intrusionen ved fjeldet Ilimmaasaq. Uranforekomsten er knyttet til mineralet steenstrupin. Steenstrupin er et af de mineraler, der har fået indbygget en del grundstoffer, som ikke har kunnet finde plads i andre mineraler – blandt andet uran og thorium – samt sjældne jordarters metaller, niobium og fluor. Steenstrupin forekommer mest i en bjergart, som kaldes lujavrit. Det gennemsnitlige uranindhold i lujavrit varierer fra 100 til 600 gram per ton og indholdet af thorium fra 200 til

Bunker af uranmalm fra prøvebrydningen ved Kvanefjeld i 1980.







Landskabet omkring uranforekomsten ved Illorsuit i Sydgrønland.

2000 gram per ton. Der fortælles mere om uranforekomsten ved Kvanefjeld på side 22.

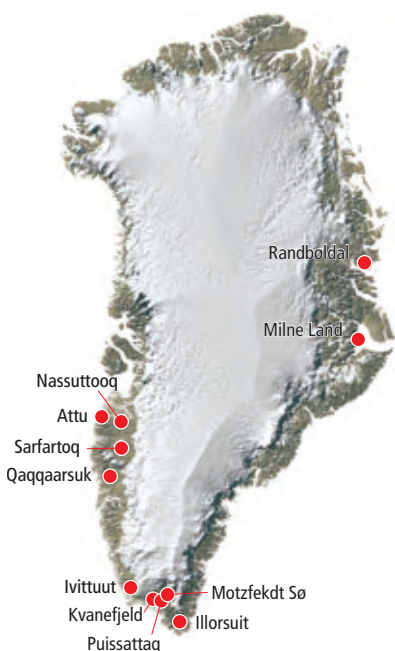
### Puissattaq (Vatnahverfi), Sydgrønland

Uranforekomsten ved Puissattaq består af et stort antal mineralårer og sprækkefyldninger i

granit, som indeholder uranmineralet uraninit. Sprækker rige på uraninit kan ofte følges over flere kilometer. Uraninit findes mest som afrundede krystalformer og ofte sammen med mineralet brannerit. I sprækkerne findes også ikke-uranholdige mineraler, som kvarts og calcit, og

til tider hæmatit, fluorit samt en smule sulfider.

Uranforekomstens samlede indhold af uran kan ikke beregnes uden yderligere undersøgelser. Men på grundlag af årernes ret begrænsede udbredelse antages malmængden ikke at være tilstrækkelig til en udnyttelse.



De kendte uranholdige mineralforekomster i Grønland

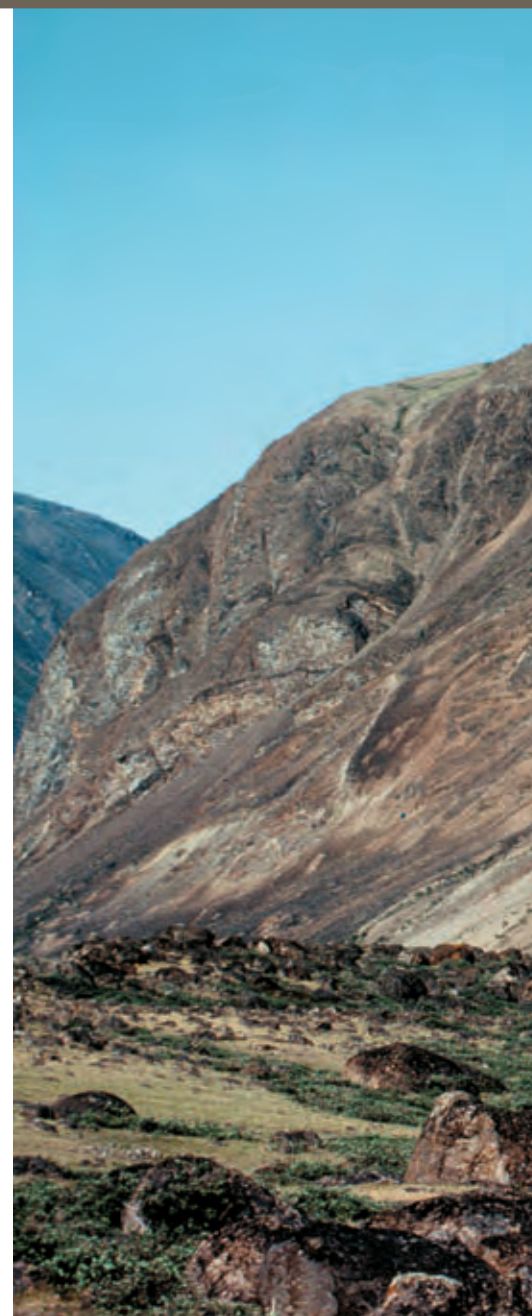
## Uranholdige mineralforekomster i Grønland

Oversigt over de kendte uranholdige mineralforekomster i Grønland; der kan være flere som endnu ikke kendes. Kun forekomster med fed skrift er omtalt yderligere i teksten.

LOKALITET NAVN, OMRÅDE	HOVEDRÅSTOF (MINERAL)	GEOLOGISK STRUKTUR, MALMFORM
<b>Kvanefjeld</b> , Sydgrønland	Sjældne jordarter, Uran (steenstrupin)	- jævnt fordelt i nefelinsyenit (lujavrit)
<b>Puissattaq</b> , Sydgrønland	Uran (uraninit)	- mineralårer med uraninit i granit
<b>Illorsuit</b> , Sydgrønland	Uran (uraninit)	- lagbundet uraninit i sandsten
<b>Sarfartoq</b> , Vestgrønland	Niobium, uran (pyrochlor)	- mineralårer i randen af karbonatitintrusion
<b>Randbøldal</b> , Nordøstgrønland	Uran uranholdig bjergbeg (carburan)	- mineralårer og replacering i rhyolitlava
Nassuttooq, Vestgrønland	Sjældne jordarter og thorium (uran) (monazit)	- fordelt i pegmatitgange
Motzfeldt Sø, Sydgrønland	Niobium/tantalum med uran og thorium (pyrochlor)	- dissemineret i syenit
Ivittuut, Sydgrønland	Niobium med thorium/uran (columbit)	- randkoncentration i Ivittuut kryolitpegmatit
Qaqaarsuk, Vestgrønland	Niobium og uran (pyrochlor)	- fordelt i karbonatitintrusion
Milne Land, Østgrønland	Titanium/zirkonium med thorium (rutil og zirkon)	- fordelt i flere mineraler i lag af tungminerale i sandsten
Attu, Vestgrønland	Sjældne jordarter og thorium (allanit)	- spredt i pegmatitgange



Omgivelserne ved forekomsten af carburan i bjergarten rhyolit i Randbøldal, Nordøstgrønland.



### Illorsuit, Kap Farvel, Sydgrønland

Uranforekomsten Illorsuit ved Kap Farvel, er knyttet til mineralet uraninit, som findes i sandsten omgivet af rapakivigranit; der kendes 35 lokaliteter med forhøjet uranindhold i området. Nogle steder fremtræder uraninit som mm-store krystaller. Uranmineraliseringerne ses mest, hvor der er småsprækker og i kontakter mellem forskellige sandstenslag. Uranforekomsten antages at være dannet, da granitten trængte ind i grundfjeldet, hvorved uran blev opløst og kunne sive rundt i sprækker og hulrum. Den del, der er rigest på uran, findes i et område med en omtrentlig størrelse på 5 x 50 m og et indhold på 0,3–7 % uran. Det betyder, at der kan være 17 000 tons malm med totalt 50 tons uran. Da der ikke er foretaget borer, er en samlet vurdering ikke tilgængelig, men observationer på stedet tyder på, at mineraliseringen godt kan fortsætte til mindst 50 meters dybde. I så fald er

uranforekomsten ved Illorsuit lille, men med ret højt indhold af uran; det er dog næppe sandsynligt, at denne forekomst vil være rentabel.

### Sarfartoq, Vestgrønland

Sarfartoq forekomsten, ca. 60 km syd for Kangerlussuaq lufthavn, kendes mest for sit indhold af metallet niobium, som navnlig findes i mineralet pyrochlor. Pyrochlormalmen optræder i aflange linser, 10-20 m brede og op til 200 m lange, knyttet til stedets forekomst af karbonatit, med et gennemsnitsindhold på omkring 10 % niobium og 0,2 % tantal. Forekomstens moderbjergart har et meget varierende indhold af uran (15-500 gram per ton uran, stedvis op til ca. 0,7 % i pyrochlorryge dele). Sarfartoq forekomsten er således et eksempel på en mineralforekomst, hvor der er flere grundstoffer, som kan udnyttes. Det antages, at der er en malmreserve (skønnet til 50 m's

dybde) på ca. 100 000 tons malm i de pyrochlorryge partier, med et varierende indhold fra 0,05–0,5 % uran.

Under en senere geologisk hændelse er der afsat sjældne jordarters metaller og thorium i andre lag i området. Disse områder er netop nu under efterforskning, hvorfor en samlet vurdering af lødighed og tonnage endnu ikke kendes. Sarfartoq karbonatiten indeholder også store mængder fosfat.

### Randbøldal, Nordøstgrønland

Uranforekomsten ved Randbøldal indeholder uranholdigt bjergbeg - kaldet carburan – som findes stedvis i de vulkanske bjergarter (rhyolitter) tilhørende den geologiske Kap Franklin

### Mineraler med indhold af særlige grundstoffer; findes sammen med uranmineraler

Navn	Kemisk formel (simplificeret)	Vigtigste råstof	Vigtigste biprodukt
Allanit	$\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La})(\text{Fe}, \text{Cr})\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})_2$	Ce	Th
Bastnäsit	$(\text{Ce}, \text{La})\text{CO}_3\text{F}$	Ce, La	U
Brannerit	$(\text{U}, \text{Th}, \text{Ca}, \text{La})(\text{Ti}, \text{Fe})_2\text{O}_6$	La	U, Th
Eudialyt	$\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{Cl}, \text{OH})_2$	Zr	Y
Euxenit	$(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ce}, \text{La}, \text{U})(\text{Nb}, \text{Ti}, \text{Ta})_2(\text{O}, \text{OH})_6$	Ce	U
Monazit	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4$	Ce	Th
Steenstrupin	$\text{Na}_4\text{Ca}_6\text{Mn}_2\text{Fe}_2(\text{Zr}, \text{U}, \text{Th})(\text{PO}_4)_7\text{Si}_{12}\text{O}_{36}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Ce	Zr, U, Th
Zirkon	$\text{ZrSiO}_4$	Zr	U



serie. Carburan synes at være det eneste radioaktive mineral. Uranmineralet findes hyppigst i grænseområdet til en anden bjergart kaldet tuff, og mest i mindre områder i under 20 m's udstrækning og hovedsageligt i sprækkefyldninger. Uranindholdet er på 500-700 gram per ton; forekomsten indeholder næsten ikke thorium. Der er ikke foretaget beregninger af uranindholdet i denne forekomst.

Det skal nævnes, at der i tilsvarende rhyolitiske bjergarter af samme alder i samme region ved lokaliteten Hochwacht ca. 50 km nord for Randbøldal, er fundet finfordelt uraninit i denne vulkanske bjergart. Der foreligger ikke yderligere oplysninger om omfanget af denne uraninit. Det er derfor muligt, at uran-

mineraliseringerne i dette område er væsentlig større, end hvad der kendes i dag.

Udover de her omtalte forekomster med indhold af radioaktive mineraler, kendes der en del andre malmforekomster i Grønland, der er interessante på grund af deres øvrige råstofindhold, og som har et lavt indhold af radioaktive mineraler. Disse forekomster er omtalt i boks side 9.

*Sarfartoq forekomstens karakteristiske rustbrune kalksten markerer tydeligt den geologiske formation, hvor råstofferne skal søges ved den nærliggende Paradisdal.*



*Alternative råstoffer fra Grønland er fosfatmalm, som her ses i en blok på 1 kg fra Sarfartoq karbonatitten i Vestgrønland. Fosfatmineralet i blokken er apatit (bleggrøn), der her er omgivet af rustfarvet karbonat.*

# Uranefterforskning – lidt om metoderne

De metoder, der anvendes ved uranefterforskning og efterforskning af andre mineraler, er stort set de samme.

Der må ikke udføres uranefterforskning i Grønland. Dette er en følge af, at Danmark i 1985 besluttede ikke at etablere egne kernekraftværker, hvorefter det politisk blev besluttet, at der ikke skulle gives tilladelse til uranefterforskning i Grønland. Grønland vil kun kunne åbne for uranefterforskning, hvis denne beslutning ændres.

De metoder og fremgangsmåden, der anvendes ved uranefterforskning og efterforskning af andre mineraler, er stort set de samme. I den tidlige efterforskningsfase udføres der geologisk kortlægning og indsamling af prøver fra jordoverfladen, eventuelt suppleret med geofysiske undersøgelser fra fly, som kan give et indtryk, af hvad der findes under jordoverfladen. Ved uranefterforskning vil man typisk udnytte, at den malm, der ledes efter, er radioaktiv og dermed på de rette måleinstrumenter skiller sig tydeligt ud fra de omgivende bjergarter. Det betyder, at man ved måling af radioaktiviteten – eksempelvis fra fly - meget nøjagtigt kan udpege de steder på jordoverfladen, hvor der kan være mulighed for at finde uranforekomster. Ved eventuelle opfølgende undersøgelser vil man i de interessante områder udføre borer efter nærmere undersøgelser, så geologerne kan vurdere kvaliteten af malmen og beregne, hvor meget uranmalm forekomsten indeholder.

Der er ikke flere miljømæssige problemstillinger knyttet til efterforskning af uran end ved efterforskning af andre mineraler. Derfor kan de gældende regler anvendes for feltarbejde. Disse regler regulerer aktiviteterne ved efterforskning, så påvirkningen af naturen minimeres.



# Brydning af uranmalm og udvinding af uran – lidt om metoderne

Brydning af en uranholdig forekomst i undergrunden kan foregå enten ved at etablere en 'åben mine' i overfladen, eller ved at grave skakter ned til de mineralrige dele som en 'underjordisk mine'.

De metoder, der anvendes ved brydning af uranmalm, adskiller sig principielt ikke fra de metoder, der anvendes for andre malmtyper. Tilsvarende er de metoder, der anvendes til at få koncentreret de uranholdige mineraler fra malmen, også de samme, som anvendes ved udvinding af andre malmineraler. Derimod er der meget stor forskel på de forholdsregler, der skal træffes for at udgå skader på mennesker og miljø som følge af radioaktivitet ved brydning og oparbejdning af uranmalm.

Brydning af en mineralforekomst i undergrunden kan foregå enten ved at der 'udgraves' et stort hul i jorden – 'åben mine' – eller ved at der laves skakter ned til de dele af undergrunden, der indeholder de mineraler, som skal brydes – 'underjordisk mine'. Der findes også en metode, hvor uran udtrækkes direkte fra forekomsten ved at lede væske gennem uranmalmen ('in-situ leaching'). Valget af me-



Eksempel på en åben mine med den karakteristiske spiralformede adgangsvej.

tode er bestemt af, hvor rig malmen er, og hvor dybt den ligger; altså hvor meget ikke-

værdifuld bjergart, der skal fjernes, for at komme ned til den værdifulde del. Mange andre tekniske og miljømæssige forhold spiller ind. Af alle uranminer i verden brydes ca. 2/3 som enten åbne eller underjordiske miner, og omkring 1/3 producerer med in-situ leaching metoden.

In-situ leaching metoden bruges især til de forekomster, hvor bjergarten er porøs, dvs. hvor der kan trænge vand med opløste kemikalier gennem den. Ved denne metode udtrækkes uran fra malmen, uden at denne er brudt, og vandet med opløst uran pumpes til et særligt anlæg, hvorfra det kan udskilles fra vandet.

Ved både underjordiske miner og åbne miner udføres brydningen i flere trin:

**1. Udsprængning:** Malmen skal sprænges ud af det faste fjeld; herved dannes sprængstykker af malmen af meget forskellig størrelse, som det kendes fra eksempelvis et sten-



Opsamling af materiale efter sprængning i en åben mine. Herfra transporteres overjord og ikke-værdifulde bjergarter til deponering og malmen til knusning.

brud. Ofte skal de ikke-værdifulde bjergarter også sprænges ud for at give adgang til de værdifulde dele af malmen.

**2. Transport og knusning:** Malmen skal lastes og transporteres hen til et sæt af knuse-re, som i flere omgange knuser malmen ned til den ønskede størrelse, typisk som fint sand.

**3. Koncentrering af malmineraler:** Efter trin 2 ligner uranmalmen mørkt, finkornet sand, der indeholder uranmineralet (typisk mindre end 5 %), mens hovedparten af mineralerne i sandet ikke har nogen værdi. Uranmineralet kan skilles fra de mineraler, som er uden værdi, ved tekniske processer. Valget af hvilken proces, der skal anvendes, afhænger dels af det uranholdige mineral, som skal koncentreret og dels af, hvilke mineraler, der skal sorteres fra.

**4. Deponering af tailings:** De mineraler, som er sorteret fra under koncentreringen (trin 3), har ikke nogen værdi. Det frasorterede materiale består af en blanding af sand og vand med et eventuelt restindhold af forurenende stoffer - kaldet 'tailings' – som skal langtidsopbevares sikkert, fx i en sø eller et opdæmmede område på land. Tailings udgør almindeligvis mere end 95 % af det rumfang, der er sendt til koncentrering, og det er derfor meget store mængder, som skal pumpes til et egnet sted, og vandet skal drænes fra og ren-



Eksempel på tailingsdeponi i forbindelse med Titania minen i Syd norge. Dæmningen bygges højere i takt med at tailingsniveauet stiger.

## De største uranminer i verden

Mine	Land	Mineselskab	Type	Produktion (tons U)	% af verdensproduktionen
McArthur River	Canada	Cameco (70 %)	undergrundsdrift	7339	15
Ranger	Australien	ERA, Rio Tinto (68 %)	åben mine	4444	9
Rössing	Namibia	Rio Tinto (69 %)	åben mine	3520	7
Kraznokamensk	Rusland	ARMZ	undergrundsdrift	3004	6
Olympic Dam	Australien	BHP Billiton	undergrundsdrift	2955	6
Tortkuduk	Kazakhstan	Areva	*	2272	4
Arlit	Niger	Areva/Onarem	åben mine	1808	4
Rabbit Lake	Canada	Cameco	undergrundsdrift	1447	3
Akouta	Niger	Areva/Onarem	undergrundsdrift	1435	3
Budenovskoye2	Kazakhstan	KazAtomProm	*	1415	3
<b>Top 10 total</b>				<b>29 638</b>	<b>59</b>

\* In-situ leaching (udvinding på stedet)

(Kilde: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

ses. Hovedparten af tailings består typisk af almindelige mineraler som fx kvarts og feldspat. Men tailings kan også indeholde rester af uranmineraler, som ikke er blevet udtrukket under processen, og kan endvidere indeholde mineraler som giver en miljøbelastning (tungmetaller og lignende), samt rester af kemikalier benyttet til processen.

**5. Deponering af andre bjergarter:** Uanset hvilken type mine, der er etableret, vil der på et tidspunkt i minens levetid være behov for at deponere overjord og ikke-knuste bjergarter, som indeholder for lidt malm til, at det skal behandles – også kaldet 'gråbjerg'. Det skal sikres, at dette materiale af gråbjerg pla-

ceres, så det ikke forurener omgivelserne, fx ved udsivning af tungmetaller.

Mange miner sælger det mineralkoncentrat, der fremkommer efter trin 3. Det indeholder en høj koncentration af det ønskede mineral, som andre virksomheder bruger til den videre forarbejdning. Dette var tilfældet i eksempelvis Maarmorilik, hvor der blev fremstillet et koncentrat med blymineraler og et koncentrat med zinkmineraler. Det gælder også for nogle uranminer, at koncentratet af uranmineraler sælges uden yderligere behandling; men de fleste uranminer viderebearbejder selv koncentratet.

**6. Uranudludning:** Fra uranmineral koncentratet bliver uranforbindelserne udludet dvs. udvundet, og der fremstilles uranoxid – 'yellowcake'. Metoderne, der anvendes hertil er forskellige og afhænger af, hvilket uranmineral der skal udludes.

Ved en eventuel brydning af radioaktive mineraler i Grønland vil det først i den aktuelle situation blive afklaret, hvorvidt det produkt, der sælges fra minen, er uranmineralkoncentratet (efter trin 3) eller yellowcake (efter trin 6). Ved salg af uranmineralkoncentratet vil salgsprisen være lavere end salgsprisen for yellowcake. Afhængig af andre omkostninger, vil dette kunne få betydning for Grønlands økonomiske udbytte. Udtrækningsprocessen (udludningen, trin 6) kan betyde en øget miljøbelastning. Det skal også bemærkes, at der i forbindelse med udludningen vil være behov for at finde frem til de metoder, der vil kunne rense den ikke-ubetyde-

lige mængde procesvand, som vil fremkomme under produktionen.

**7. Udskibning:** Uanset hvilket produkt, der vil blive eksportproduktet, yellowcake eller uranmineralkoncentrat, vil der fra Grønland være behov for at udskibe produktet. Mængden og håndteringen vil være forskellig, da et uranmineralkoncentrat fylder meget mere end yellowcake, og dermed vil behovet for udskibningsfaciliteter også være afhængigt af produkttypen.

De lande, der har lang tradition for brydning af uran, som eksempelvis USA, Canada og Australien, har udarbejdet love for håndtering af radioaktive materialer i forbindelse med uranminedrift, som virksomhederne skal følge, og som miljømyndighederne opererer efter. Til hvert af ovenstående trin vil der være detaljerede anvisninger på, hvilke forhold virksomhederne skal opfylde, for at produktionen kan foregå miljømæssigt forsvarligt.

#### Hovedprodukt og biprodukt ved minedrift

Geologer bruger udtrykket malm om de bjergarter, der kan være rentable at bryde. Malm kan for eksempel bestå af en bjergart, hvor det hele har en værdi. Det gælder fx olivinforkomsten Seqi ved Maniitsoq. I mange malme optræder kun et enkelt stof med en vis værdi, eksempelvis uran - og resten af bjergarten har ikke nogen værdi. Men malmen kan også bestå af en bjergart, hvori der er to eller

#### Uranproducerende lande (Tons uran per år)

Land	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Kasakhstan	3300	3719	4357	5279	6637	8521	13820
Canada	10457	11597	11628	9862	9476	9000	10173
Australien	7572	8982	9516	7593	8611	8430	7982
Namibia	2036	3038	3147	3067	2879	4366	4626
Rusland	3150	3200	3431	3262	3413	3521	3564
Niger	3143	3282	3093	3434	3153	3032	3243
Usbekistan	1598	2016	2300	2260	2320	2338	2429
USA	779	878	1039	1672	1654	1430	1453
Ukraine (estimeret)	800	800	800	800	846	800	840
Kina (estimeret)	750	750	750	750	712	769	750
Sydafrika	758	755	674	534	539	655	563
Brasilien	310	300	110	190	299	330	345
Indien (estimeret)	230	230	230	177	270	271	290
Tjekkiet	452	412	408	359	306	263	258
Malawi							104
Rumænien (estimeret)	90	90	90	90	77	77	75
Pakistan (estimeret)	45	45	45	45	45	45	50
Frankrig	0	7	7	5	4	5	8
Tyskland	104	77	94	65	41	0	0
<b>Produktion i alt</b>	<b>35 574</b>	<b>40 178</b>	<b>41 719</b>	<b>39 444</b>	<b>41 282</b>	<b>43 853</b>	<b>50 572</b>
%-del af verdensbehovet			65 %	63 %	64 %	68 %	76 %

(Kilde: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

flere stoffer, som alle har en kommerciel værdi – eksempelvis uran, lanthan og zirkonium, mens resten af bjergarten er uden værdi; dette kunne være tilfældet for uranmalmen ved Kvanefjeld. Det produkt, der giver den største værdi per ton malm anses for hovedproduktet, og de andre stoffer med mindre værdi bliver biprodukter. I mange miner er det nødvendigt at udvinde biprodukter for at få økonomi i projektet. Dette var tilfældet i Maarmo-

rilik, hvor zink var hovedproduktet, og bly og sølv var biprodukter. Flere af uranminerne i Witwatersrand i Sydafrika producerer både uran og guld, hvor guld oftest er hovedproduktet. Tilsvarende gælder for en af verdens største uranminer, Olympic Dam i Australien, som producerer kobber, uran, guld og sølv. Ændres de indbyrdes verdensmarkedspriser på et tidspunkt, kan det bevirke, at hovedproduktet, økonomisk set, bliver til et biprodukt.

Malmens indhold af de værdifulde mineraler kan variere. Der kan være områder i minen, som har højt indhold og områder med lavt indhold. Det naturlige forhold mellem hovedprodukter og biprodukter kan også variere; lokalt i minen kan indholdet af biproduktet være så højt, at det i dette område faktisk er hovedproduktet.

Ud fra et reguleringssynspunkt anvendes dog også i situationen en anden definition af, hvad der er hoved- og biprodukt. Eksempelvis er det et krav i visse lande, at der skal gennemføres eksportkontrol, såfremt det fysiske indhold af uran overstiger en vis maksimal procentdel af malmen, som ønskes eksporteret.



Udskibning af malm vil blive nødvendigt. Her udskibes olivin fra olivinminen Seqi ved Maniitsoq.

## Miljø og sundhed

Miljøpåvirkninger fra et mineprojekt kan opdeles i forstyrrelser af plante- og dyreliv samt spredning af forurenende stoffer.

### Hvor farlige er de radioaktive stoffer?

Radioaktive stoffer kan påvirke organismer med deres stråling. Virkningen afhænger af den strålingsdosis, som organismen udsættes for. Ved høje doser kan virkningen være dødelig inden for kort tid. Lavere doser øger risikoen for, at organismer udvikler kræft, og at der sker ændringer i arveanlæg. Risikoen for at udvikle kræft stiger med strålingsdosis. Endvidere er visse kemiske forbindelser med uran regulært giftige.

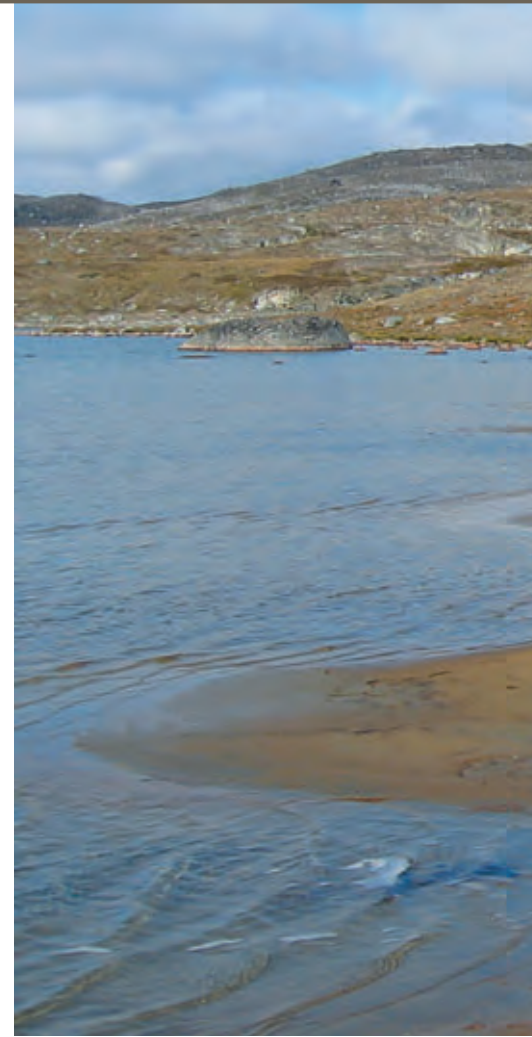
Alle mennesker er derfor udsat for en hvis mængde stråling, uanset om der er minedrift eller ej. I det arktiske miljø stammer hovedparten af strålingspåvirkningen fra radioaktive stoffer fra de naturlige geologiske forhold, og kun en mindre del fra følgende menneskeskabte kilder:

- Atmosfæriske prøvesprængninger af atomvåben i perioden 1945 til 1980 udført af især Sovjetunionen og USA, som forurenede den nordlige halvkugle med radioaktivt nedfald.
- Udledninger fra kernekraftværker og især atomoparbejdningsanlæg i Vesteuropa (La Hague i Frankrig og Sellafield i Storbritannien). Havstrømmene fører radioaktive stoffer fra disse anlæg til de grønlandske havområder.
- Uheldet på atomkraftværket i Tjernobyld ved Kiev i Sovjetunionen i 1986. Ved dette uheld kunne udslippet af radioaktivt materiale spores i Grønland.

I Grønland kendes et eksempel på radioaktiv forurening. Denne forurening skyldtes en ulykke, forårsaget af et amerikansk militærfly, lastet med fire brintbomber, som i 1968 styrte ned vest for Thulebasen i Nordvestgrønland. På trods af oprydningsarbejdet blev noget plutonium og uran spredt ud i miljøet. Plutonium i havmiljøet ved Thule udgør kun en ubetydelig risiko for miljøet. Det har vist sig, at mængderne er så små, at de ikke udgør noget problem for dyr og mennesker.

Atomkapløbet med prøvesprængninger i atmosfæren over den nordlige halvkugle har også betydet øget forurening med radioaktive stoffer i Grønland. Forureningen i Grønland er sammenlignelig med forureningen i andre arktiske områder. Koncentrationerne var størst i 1966 og er siden faldet kraftigt.

På baggrund af undersøgelser af den grønlandske befolknings spisevaner og koncentrationerne af radioaktive stoffer i føden er det muligt at beregne den gennemsnitlige strålingsdosis, som befolkningen udsættes for gennem føden. Sammenholdes denne strålingsdosis med den naturlige baggrundsstråling, viser det sig, at mindre end 1 % af den mængde radioaktivitet en person indtager gennem



hele livet, stammer fra menneskeskabt forurening med radioaktivitet. Befolkningen i Grønland indtager den største del af de menneskeskabte radioaktive stoffer fra rensdyrkød.

### Miljø og sundhed ved uranbrydning og -udvinding

Hvis Grønland beslutter at give tilladelse til egentlig minedrift og produktion af et uranmineralkoncentrat eller yellowcake, skal det mineselskab, som står for aktiviteten, dokumentere, at det kan udføre aktiviteten på en miljømæssig og sundhedsmæssig forsvarlig måde og minimere effekterne for miljøet. Der findes retningslinier for, hvordan det skal gøres, bl.a. for udarbejdelse af en VVM vurdering (se fakta boks side 17) for de aktiviteter, der indgår i virksomheden. Igangsætning af minedriften vil i lighed med anden minedrift kræve, at planerne er godkendt af de grønlandske myndigheder.



Ved fornyede undersøgelser på Kvanefjeld 1978 blev der sprængt en 960 m lang tunnel, hvorfra 20 000 ton malm blev hentet. Det kraftige udsugningsanlæg, som sikrer at radonmængden ledes væk fra minen, ses som et gult rør.





*Sø i det indre af Maniitsoq-området. En tilsvarende sø nær et nyt minested kunne fx anvendes som tailingsdepot ved minedrift.*

Ser man på miljøpåvirkningerne af fra et mineprojekt, kan de opdeles i to kategorier:

- Forstyrrelser af plante- og dyreliv
- Spredning af forurenende stoffer

Forstyrrelserne er særligt knyttet til anlæg af veje og anden infrastruktur, kørsel, sejlads og flyvning, til konstruktion af tailingsdepot, reguleringer af vandløb og søer og lignende. Omfanget af denne type forstyrrelser vil være forskelligt fra sted til sted og omtales ikke yderligere her.

Der findes en række mulige forureningskilder fra en mine:

- Ved brydning og især knusning af malmen kan der spredes støv med et indhold af forurenende stoffer til omgivende land- og vandområder, og der kan være vandopløselige stoffer, som forurener drænvandet fra mineområdet, og som derfor må behandles.

- I oparbejdningsanlægget, hvor malmens indhold af de værdifulde mineraler udvindes, kan der dannes støv, stoffer kan opløses i vand, som senere skal udledes, og de anvendte kemikalier vil være til stede i det vand, der udledes. Der er derfor altid behov for vandbehandling.
- I tailingsdepoterne og gråbjergsdepoter kan der være stoffer, der opløses ved læng-

ere tids påvirkning af vand og luft. Afløb fra tailingsdepoter skal derfor opsamles, kontrolleres og ofte også renses.

Støv er et problem, som skal løses for at sikre både medarbejdere og det omgivende miljø mod skader. Der kan foretages en række støvdæmpende foranstaltninger under brydningen, men en vis støvpåvirkning af omgivelserne

### VVM-redegørelse – Vurdering af Virkninger på Miljøet

VVM er en redegørelse for hvordan et projekt vil påvirke det omgivende miljø. Visse typer virksomheder – og alle mineaktiviteter – skal gennemføre en VVM undersøgelse inden der kan gives tilladelse til minedrift. VVM undersøgelsen skal laves af firmaer eller konsulenter som er godkendt af myndighederne. Omkostningerne til undersøgelsen skal afholdes af mineselskabet.

VVM-redegørelsen skal præsenteres for offentligheden og sendes i høring hos en række offentlige og private organisationer i Grønland. Selvstyret kan på grundlag af VVM-redegørelsen og høringssvarene tillade eller nægte mineselskabet at starte produktion.

En lignende analyse kræves gennemført for samfundsmæssige konsekvenser – SIA (Social Impact Assessment).



I 2009 gennemførte studerende fra Danmarks Tekniske Universitet forskellige forsøg med miljøvenlige støvdæmpende produkter på udvalgte grusveje i Sisimiut. Blandt andet, blev der som her (den mørke stribe på vejen) anvendt produkter som stammer fra papirfremstillingen i Sverige.



Calciumklorid anvendes ofte som støvdæmningsmiddel på grusveje da det holder på fugten i længere tid og derved binder de fine støvpartikler. Koncentrationen må ikke være for høj da det ellers går ud over miljøet.

omkring en mine kan næppe undgås. En anerkendt metode er at holde det støvende materiale fugtigt med vand, eller med vand tilsat calciumklorid, der forhindrer at vandet tørrer ud. Endelig kan det komme på tale at tilsætte udvalgte kemikalier, der direkte binder støvpartiklerne sammen.

Ethvert mineprojekt skal gennemføres på en sådan måde, at der sker en minimal forurening af miljøet. I forbindelse med uranminedrift er der særligt behov for overvågning. Eksempelvis indeholder tailings fra uranminedrift radioaktive stoffer, især radium.

### Hvordan udvindes uran fra malmen?

Uranen udvindes ved hjælp af kemiske processer. De to vigtigste metoder for uranudvinding er:

1. Svovlsyre-udludning
2. Karbonat-udludning

Udludningen kan foregå på udsprængt materiale, der transporteres til et særligt anlæg, efter at det først er blevet knust. Eller den udsprængte uranholdige malm dynges op i en stor bunke, som overrisles med udludningsvæsken. I visse tilfælde kan udludningsvæsken pumpes ned i jorden, gennem porrer og revner og opløse uranmineraleerne direkte (in-situ leaching).

Hvilken metode, der skal anvendes, afhænger af malmtypen, lokale geologiske og geografiske forhold, særlige miljøhensyn og økonomiske forhold. Uanset metoden, er slutproduktet det såkaldte yellowcake, som er et koncentrat af uranoxider. Der er altså ikke ta-

le om rent uran. Alle metoder vil frigøre radon gas (dog mindst ved in-situ leaching metoden) og vil kunne forurene overflade- og grundvand. Afløbsvand fra minen, koncentringsanlæg, samt malm- og gråbjergsdepoter kan være kilder til forurening, fx med indhold af radium. Dette vand kan imidlertid opsamles og recirkuleres i udvindingsanlægget. Der kan opnås 'nul-udledning' af forurenende stoffer med vand ved at lade overskydende vand fordampe. Uanset udludningsmetode, skal uranen efterfølgende udtrækkes af en uranholdig opløsning ved komplicerede kemiske processer. Uranminer, som vælger ikke at sælge et koncentrat af uranmineralet, vil have behov for et kemisk procesanlæg med risiko for dertil hørende forureningskilder.

### Radon og radium

Det rene grundstof uran er ikke i sig selv særligt radioaktivt. Når uranmalm alligevel er mere radioaktivt end andre bjergarter, skyldes det de mange henfaldsprodukter, som langsomt opbygges i alt, der indeholder uran. Særligt vigtige er to af henfaldsprodukterne, radium og radon.

Radium er et vandopløseligt stof, som kan forurene vandmiljøet omkring minen, og radon er en gasart, der kan forurene luften. Både radium og radon er radioaktive, og der skal tages særlige forholdsregler for at undgå, at disse stoffer spredes til miljøet, ligesom der skal tages hensyn til minearbejderes og en eventuel lokalbefolknings sundhedsrisiko ved indånding af radonholdig luft. Vand, der er forurenede med radium fra minen, skal samles op og renses.

For at begrænse udslippet af radon fra et tailingsdepot skal dette være overdækket. Det gøres som regel ved at holde det vanddækket, så længe tailingsdepotet stadig anvendes. Derefter er det normal praksis at dække tailingsdepotet med et lag ler og et lag overjord, hvorefter et vegetationsdække kan etableres. Herved kan eventuel stråling fra tailingsdepotet begrænses til stort set det samme niveau, som fandtes oprindeligt i området. Der er også andre muligheder for at deponere tailings, fx i de områder af minen, som ikke længere anvendes. Depotet af tailings skal konstrueres, så der ikke kan blive udvasket forurenede stoffer til miljøet, både på land og til havs.

For depoter med uran-holdige tailings vil der blive stillet særligt strenge miljøkrav.

#### Andre forurenende stoffer

Ud over radon og radium og deres henfaldsprodukter, er de mest betydningsfulde forureningskomponenter fra uranminer typisk:

- Svovlsyre og sulfater, som er brugt til udludning af uran fra uranmineralet
- Tungmetaller, som er blevet opløst af svovlsyren
- Støv fra nedknusning og brydning af malm
- Kemikalier benyttet til uranudvinding, fx soda (et letopløseligt karbonat).

De fleste uranminer bryder mineralet uraninit og udluder uran fra dette mineral med svovlsyre. Det betyder, at tailings indeholder svovlsyre og sulfater, som vil opløses i regnvand og smeltevand og sive ud af tailingsbunkerne. Dette forureningsproblem skal løses, ved at alt vand, der siver ud af tailingsbunkerne, skal opsamles og ledes gennem to eller tre små søer, hvor det kan behandles. Metoderne til rensning af vandet for svovlsyre, tungmetaller, sulfater, og radium er kendt teknologi. En eventuel produktion af uran fra Kvanefjeld vil skulle gennemføres efter en anden metode end den her beskrevne, og miljøproblemerne vil være anderledes på grund af denne malms særlige sammensætning (se side 23).

Fra en uranmine vil der ske en vis støvdannelse og støvspredning og dermed også spredning af radioaktive stoffer, som kan skade sundhed og miljø. Støvproblemer skal løses på de traditionelle måder, fx ved befugtning eller indkapsling af de steder, der skaber støv, og der skal desuden være en effektiv overvågning af støvspredningen.



Både før, under og efter etableringen af en mine udtages vandprøver for at overvåge miljøet. Her er det Nalunaq Gold Mine AIS's laboratorieansvarlige, som indsamler vandprøver fra elven i Kirkespirdalen.

## Kontrol med produktion og eksport

Ved kontrol med uranudvinding kan man i Grønland vælge at følge internationale bestemmelser for transport af uranmalm, der er fastsat for at sikre, at uran ikke eksporteres til 'ikke-ønskede' aftagere.

Uranminer er underlagt en lang række forskellige kontrolforanstaltninger. Det vil også være tilfældet i Grønland, hvis der på et tidspunkt er geologisk- og politisk grundlag for at påbegynde en uranmine. I forbindelse med en produktion af uranprodukter i Grønland vil der være behov for flere forskellige kontrolforanstaltninger med hvert deres formål:

- Grønlandske myndigheders kontrol med mængden af uranproduktet, som kan være alt fra et koncentrat af uranholdige mineraler til det uranholdige produkt yellowcake. Denne kontrol udføres med henblik på at sikre, at selskabet betaler afgifter i overensstemmelse med aftalerne.
- Miljømyndighedernes kontrol for at sikre at brydning og produktion sker i overensstemmelse med de planer, der indgår i aftalen med selskabet.
- Strålingsmyndighedernes kontrol ved brug af dosimetre, som skal sikre, at medarbejderne ikke påvirkes af sundhedsskadelig radioaktiv stråling.
- Det er desuden sandsynligt, at Det Internationale Atom Energi Agentur (IAEA), som



Toldvæsnet tjekker en container inden udskibning fra Grønland. Ved en eksport af uran produkter vil toldvæsnet bl.a. være én af de myndigheder, som skal føre kontrol med hvad der bliver eksporteret.



Råstofprojekt ved Kangerlussuaq. Et midlertidig transportbånd er etableret til sortering af mulig malm fra et råstofprojekt.

### De største uran-mineselskaber (2009)

Navn	Tons uran/år	%
Areva	8623	17
Cameco	8000	16
Rio Tinto	7963	16
KazAtomProm	7433	15
ARMZ	4624	9
BHP Billiton	2955	6
Navoi	2429	5
Uranium One	1368	3
Paladin	1210	2
GA/Heathgate	583	1
Andre	5384	11
<b>Total</b>	<b>50 572</b>	<b>100</b>

(Kilde: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

arbejder for, at uran kun anvendes til fredelige formål, også vil ønske at gennemføre kontrol af både uranreserverne og af hvor meget uran, der udvindes.

- Ved eksport kan man i Grønland vælge at følge internationale bestemmelser for transport af uranmalm, der er fastsat for at sikre, at uran ikke eksporteres til 'ikke-

ønskede' aftagere. Globalt opererer man med forskellige grænser for indhold af uran. Fx tillader EU malmtransporter med indhold på op til 500 gram per ton uran og USA på op til 1000 gram per ton uran uden specielle tilladelser. Sådanne bestemmelser er endnu ikke fastsat for Grønland.

## Når minen lukker – hvad så?

Ved uranminer er der nogle særlige forhold, der skal tages hensyn til, fordi mineaffald (tailings) og måske også gråbjerg efterlades og kan indeholde radioaktive stoffer.

Når en uranmine lukkes, vil det som for alle andre miner skulle sikres, at den ikke forurener omgivelserne efter lukningen. Men ved uranminer er der nogle særlige forhold, der skal tages hensyn til, fordi tailings og måske også gråbjerg indeholder radioaktive stoffer. Hovedparten af de radioaktive stoffer, som ikke er blevet udvundet under processen, vil findes i tailings. Tailings er derfor den væsentligste kilde til forurening, da det kan afgive radon til luften og andre radioaktive stoffer, fx radium, til vandet.

### Tailingsdepoter

Tailingsdepoter, anbragt i en lavning i terrænet og afgrænset af en dæmning, skal konstrueres, så de er langtidsholdbare. Korrekt dimensionering og konstruktion af dæmningerne er derfor helt centrale for sikkerheden.

Tailingsdepoter kan også placeres uden dæmninger, eksempelvis i en sø af passende størrelse. En sådan løsning vil fysisk være mere stabil end en deponering, der baseres på en dæmning. Under brug må de vandløb, der løber gennem søen, dirigeres uden om søen. Efter endt brug må tailings indkapsles, fx ved overdækning med et lag af knuste rene sten eller sand og grus.

Andre deponeringsformer er 'marin tailingsdeponering' (deponering i havet) og deponering i oprindeligt marine områder, der med en dæmning afsnøres fra direkte kontakt med havet. For disse to former gælder det samme som for deponering i en sø. Ved egentlig marin tailingsdeponering til et åbent hav eller fjordområde vil en overdækning formodentlig ikke kunne gennemføres, og det vil ikke kunne hindres, at tailings er i forbindelse med områdets vandmasser, som naturligt udskiftes med vandmasser fra andre områder. Derfor kræver marin tailings deponering, at tailings er særdeles godt undersøgt, og at det kan dokumenteres, at den ikke påfører skader

på havmiljøet ud over et nærområde ved selve stedet for tailingsdeponeringen, som uundgåeligt vil blive påvirket.

### Radon i luften over tailingsdepot

Efter lukning af minen skal tailingsdepotet sikres mod frigivelse af radon. Hvis tailingsdepotet lægges på land, gøres det ved at overdække depotet med nogle lag, som kan opfange radon, typisk et lag kalk, et lag ler og et lag jord. Når tailingsdepotet er dækket, skal der genbeplantes, så dækmaterialerne bliver stabile. Herefter kan området anvendes til andre formål.

### Radium og andre radioaktive stoffer i vand

Mange steder i verden er det muligt at holde tailings så tørt, at den regn, der falder på det, fordamper igen. Men i Grønland må man designe tailingsdepotet ud fra en antagelse om,

at der vil falde regn og sne på det, og at dette vand skal bortledes. Derved kan der være fare for, at vandet optager radioaktive stoffer fra tailingsdepotet og fører dem ud i det omgivende miljø. Tailingsdepotet skal efterlades på en sådan måde, at vand ikke kan trænge igennem den del, der indeholder de radioaktive stoffer. Som en ekstra sikkerhedsforanstaltning kan depotet designes således, at drænvand kan opsamles i et mindre bassin. Der kan vandet så om nødvendigt efterbehandles, så de radioaktive stoffer bundfældes.



Kryolitbruddet ved Ivittuut i Sydvestgrønland, 2010. Bruddet var oprindeligt afskærmet mod fjorden af en dæmning og holdtes tørt ved en konstant udpumpning af indsivende vand. Efter lukningen i 1987, trængte vandet gradvist ind, og hullet er nu helt vandfyldt.

## Kvanefjeld – Grønlands mest kendte uranforekomst

Der er lavet grundige undersøgelser af miljø og sundhed ved Kvanefjeld.

Uranforekomsten ved Kvanefjeld ved Narsaq er den bedst kendte forekomst i Grønland og har i flere omgange siden opdagelsen i 1955 været undersøgt af RISØ, dengang Danmarks atomforsøgsstation, og en lang række forskningsinstitutioner, herunder især Københavns Universitet og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU). Undersøgelserne har både omfattet de geologiske forhold og forsøg med udvinding af uran fra malmen. I 1982 blev der udarbejdet en VVM-vurdering for udnyttelse af uran fra forekomsten. Undersøgelserne er dokumenteret i en lang række videnskabelige artikler samt i RISØ rapporter. Det skal dog bemærkes, at der er foretaget mange undersøgelser af private efterforskningselskaber gennem de seneste år, og dermed er der kommet meget ny viden om Kvanefjelds geologi og mulige råstoffer. Gældende lovgivning betyder, at disse data endnu ikke kan offentliggøres, og nedenstående gennemgang bygger derfor på de undersøgelser, som RISØ gennemførte i begyndelsen af 1980'erne.

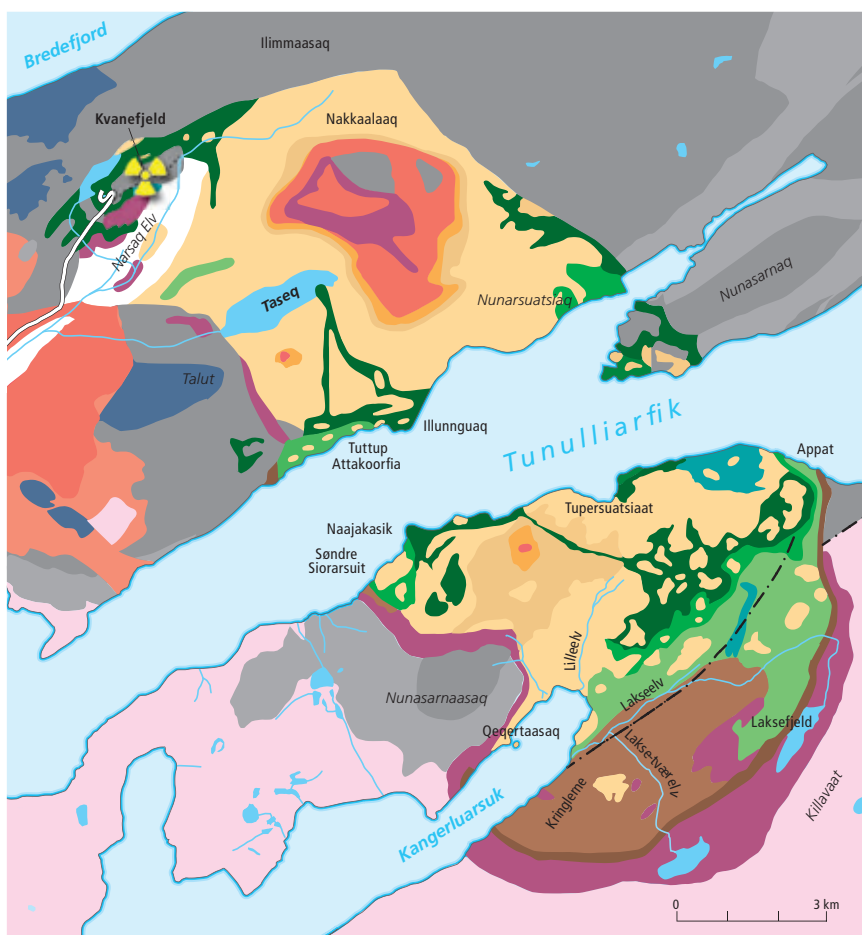
### Hvor meget uran findes der i Kvanefjeld?

Uranforekomsten ved Kvanefjeld (Ilimmaasaq) indgår i den geologiske Gardar provins. De uranholdige bjergarter er af typen nefelinsyenit og underinddelt i forskellige typer. Det dominerende uranholdige mineral er steenstrupin, som foruden uran indeholder thorium og sjældne jordarters metaller. Mængden af mineralet steenstrupin varierer og dermed også uranindholdet i bjergarten. Området er særdeles godt kendt fra de efterforskninger som statslige forskningsinstitutioner har gennemført i perioden frem til 1985, da der er gennemført fire boreprogrammer i perioden 1958–1981 hvor der er boret ca. 10 000 meter borekerne fordelt på 66 borer. I de senere år er der yderligere udført omfattende borin-

ger af private selskaber, som efterforsker områdets indhold af sjældne jordarters metaller.

På baggrund af oplysninger fra boreprogrammerne gennemførte RISØ i 1983 en undersøgelse af, hvor meget uran, der kan brydes fra Kvanefjeld. Ved sådanne beregninger gøres der nogle antagelser om, hvor lidt uran-

malmen kan indeholde og stadig være økonomisk at bryde. I RISØs beregninger blev det vurderet, at kun uranmalm med mindst 250 gram uran per ton bjergart skulle indgå i beregningerne. Hvis malmen indeholdt mindre uran, betegnes det gråbjerg. RISØs beregninger viste, at der er ca. 56 millioner tons malm,



Agpaitiske nefelinsyenitter


Simplificeret geologisk kort over intrusionen ved Ilimmaasaq. Intrusionen har en udstrækning på ca. 17 x 8 km. Kvanefjeld ligger i den nordlige del af intrusionen ca. 7 km fra Narsaq.

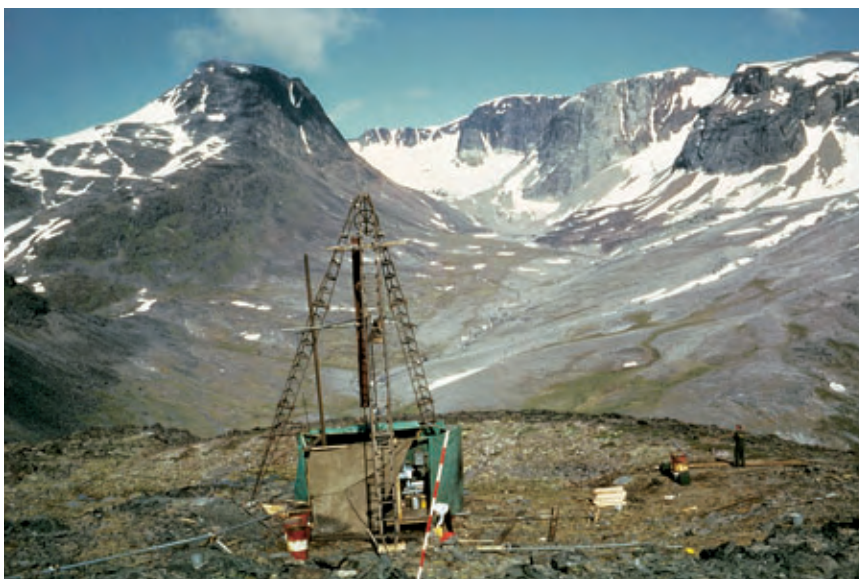
med et gennemsnitligt uranindhold på 365 gram per ton, svarende til ca. 20 500 tons uran. Det uranholdige område kan muligvis være større, for det dengang udførte boreprogram afgrænsede ikke området præcist.

De 56 millioner tons uranmalm findes fordelt under overfladen af Kvanefjeld. For at komme til denne uranmalm skal der etableres et større hul, end det der netop svarer til malms størrelse, for at sikre at siderne på det åbne brud ikke styrter sammen. RISØs beregninger viste, at der udover de 56 millioner tons malm skal brydes ca. 136 millioner tons bjerg. RISØ antog dengang, at levetiden for en uranmine ved Kvanefjeld ville kunne blive ca. 15 år.

Set i verdenssammenhæng er uranforekomsten ved Kvanefjeld en relativt lille og lavlødig forekomst, og uranet er vanskeligere at udvinde. Men den har den transportmæssige fordel, at den ligger tæt ved åbent vand og tæt ved en by (Narsaq), og at den formodentlig kan brydes i åbent brud. Uranminer bryder typisk malm med mellem 1000 og 10 000 gram uran per ton. Uran fra Kvanefjeld vil derfor antageligt kun kunne brydes økonomisk, hvis uran indgår som et produkt sammen med et eller flere af Kvanefjelds andre vigtige grundstoffer. Sådanne overvejelser indgik ikke i RISØs beregninger.

Uranmalmen fra Kvanefjeld indeholder næsten dobbelt så meget thorium som uran. Thorium er lige som uran bundet i mineralet steenstrupin. Thorium er et muligt alternativ til uran i fremtidens atomkraftværker, og Kvanefjeld har derfor påkaldt sig en del interesse som en mulig fremtidig ressource for thorium.

Udvinning ved udludning af uran fra mineralet steenstrupin udføres ikke andre steder i verden, og det har derfor været nødvendigt at udvikle en speciel metode hertil. RISØ har arbejdet med dette projekt i flere omgange, og undersøgelser i begyndelsen af 1980'erne viste, at udludning af uran fra steenstrupin mest hensigtsmæssigt gøres ved en 'højtryks-karbonat udludningsmetode'. Ved denne proces udluges ca. 80 % af det uran, der findes i steenstrupin, og opløses i sodaopløsningen. Den del, der ikke er udludet, vil ende i tailings og må sendes tilbage til deponering. Thorium udluges ikke ved denne proces, og går derfor med ud i tailings.



I perioden 1958–1981 blev der gennemført 10 km kerneboringer på Kvanefjeld for at undersøge indholdet af uran.

### Miljøforhold ved minedrift på Kvanefjeld

RISØ har i 1980'erne gennemført foreløbige miljøvurderinger i forbindelse med udnyttelse af uran fra Kvanefjeld.

Da den kemiske sammensætning af malmen fra Kvanefjeld er usædvanlig i forhold til andre uranminer, kan de miljømæssige erfaringer fra udlandet ikke umiddelbart overføres til forholdene ved Kvanefjeld. Malmen indeholder høje koncentrationer af en række grundstoffer, fx thorium, fluor, sjældne jordarters metaller, bly, lithium, beryllium, mangan, gallium, yttrium, zirkonium, niobium og zink. På grund af det høje indhold af thorium - der er radioaktivt og har sine egne henfaldsprodukter - vil mængden af radioaktive stoffer i tailings per produceret kilogram uran være højere ved Kvanefjeld end ved andre miner. Men fordi udvindingsmetoden sker med karbonat bliver de radioaktive stoffer og mange andre stoffer mindre opløselige og derfor mindre skadelige, end hvis man havde brugt andre metoder til uranudvinning.

Kvanefjeld indeholder ca. 1 % af et vandopløseligt fluormineral, bestående af natrium og fluor, i form af mineralet villiamit, der langsomt opløses og siver ud i grundvand og overfladevand. Ved en brydning af uranmalm fra Kvanefjeld vil fluoropløsningen øges, og forurening med fluor kan blive et betydende

miljøproblem fra en Kvanefjelds mine. Fluor kan fjernes fra vand ved at tilsætte kalk, men da fluor også er et værdifuldt stof, vil det antageligt blive indvundet som biprodukt med henblik på salg.

Ved deponering af tailings skal det som beskrevet ovenfor undgås, at der strømmer vand igennem tailings, da der herved opstår risiko for spredning af forurenende stoffer, som kan opløses eller opslemmes i det gennemstrømmende vand.

RISØ har peget på to måder at deponere tailings:

1. I søen Taseq, nogle kilometer nordøst for Narsaq. Dette vil være en fysisk sikker måde for deponering, idet der her ikke skal bygges dæmninger, eller kun små dæmninger. Et mindre vandløb, skal dirigeres uden om søen. Benyttelsen af denne sø til tailings vil udelukke, at den kan anvendes som drikkevandskilde for Narsaq by.
2. Marin deponering i en afsnøring af Bredefjord nordøst for Kvanefjeld. Marin deponering kan være problematisk. I dette tilfælde vil havvandets indhold af calcium kunne udfælde fluorindholdet i det vand, der kommer fra tailings, og havvandets sulfat vil udfælde radium. Deponeringen i et naturligt afsnøret fjordområde, afgrænset af en dæmning, kan designes således, at naturlig vandcirkulation forhindres.



Professor Niels Bohr blev gjort til æresborger i Narsaq 1957, da det så ud til at området nu kunne levere uranmalm til forsøgsreaktoren på RISØ.



Det var nødvendigt at etablere en tovbane til transport af boreudstyr. Boreprogrammet skulle undersøge indholdet af uran i Kvanefjeld i 1958.



Ved den første prøvebrydning på Kvanefjeld 1958 blev der etableret en tunnel på 50 m, således at uforvitret malm kunne brydes.

Tailings fra malmen fra Kvanefjeld efter udvinding af uran er godt undersøgt af RISØ, og der er opstillet beregninger af, hvor meget der vil kunne udvaskes af regnvand. RISØ forudser, at det vil blive nødvendigt at konstruere særlige rensningsdamme for det vand, der siver ud af tailingsdepotet. Radium, jern, mangan og fluor forventes at blive forureningskomponenter, som det er særligt vigtigt at fjerne.

Kvanefjeld vil give knap 56 millioner tons tailings. Hvis det deponeres i en lagtykkelse af eksempelvis 10 meter, vil tailingsdepotet fylde 3 kvadratkilometer. Det skal bemærkes, at informationer fra de nyere undersøgelser om uran og sjældne jordarter ikke kendes endnu og dermed ikke indgår i disse beregninger.

### Sundhedsmæssige forhold ved minedrift på Kvanefjeld

Ved eventuel minedrift på Kvanefjeld vil de grønlandske myndigheder fastsætte grænseværdier for radioaktiv påvirkning af minearbejderne og af befolkningen i Narsaq. Uden minedrift på Kvanefjeld er strålingsniveauet helt ufarligt. Ved de stærkest radioaktive områder af Kvanefjeld vil en person udsættes for 1,1 mSv/år fra de radioaktive stoffer i malmen. Dette kan sammenlignes med de ca. 3 mSv/År en gennemsnitsdansker modtager fra naturlige kilder, især luftens radon.

I tilfælde af minedrift med åben mine på Kvanefjeld har RISØ lavet en beregning for sandsynlige doser, som minearbejderne vil blive udsat for (se boksen herunder).

Det er karakteristisk, at grænseværdier er meget lavere for befolkningen som helhed end for arbejdstagere, der arbejder professionelt med radioaktive stoffer. Befolkningen som helhed må ikke udsættes for mere strå-

### Dosering af bestråling

#### Sandsynlige doser for minearbejderne:

Gammastråling fra malmen: 2,5–3,7 mSv/år  
 Radon fra luften: 0,6–1,8 mSv/år  
 Indånding af malmstøv: 0–11 mSv/år

#### Grænseværdierne i Danmark for bestråling fra menneskeskabte kilder:

Strålingsudsatte arbejdere: 20 mSv/år  
 Almindelig borger: 1 mSv/år  
 (Naturlige kilder fx radon i luft i Danmark som helhed: 3 mSv/år)



ling fra menneskeskabte kilder end en tredjedel af, hvad man får naturligt. Arbejdere med radioaktive stoffer må få ca. 7 gange så meget, som de modtager naturligt.

Arbejdere på Kvanefjeld vil ifølge disse beregninger ikke overskride grænseværdierne for professionelle arbejdstagere. Det ses af tallene, at den store usikkerhed ligger i vurderingen af hvor meget støv arbejderne vil indånde, fra 0 til 11 mSv/år. Denne kilde til bestråling af arbejdere kan fjernes ved brug af støvmaske, eller bedre ved anvendelse af støvbegrænsende metoder.

Arbejderne i et fabriksanlæg til oparbejdning af uran og andre værdifulde stoffer fra Kvanefjeld kan blive udsat for malmstøv, radon i luften og gammastråling fra malmen. Der kan ikke i dag udføres beregninger af disse størrelser, men grænseværdien på højst 20 mSv/år, som gælder for danske arbejdere, må forventes også at skulle gælde i Grønland.

Befolkningen, især beboerne i Narsaq, må ikke udsættes for højere stråling end 1 mSv/år, hvis hidtidige regler er gældende. Det vil blive krævet, at mineselskabets VVM-vurdering indeholder beregninger af, hvor meget strålingen i Narsaq bliver som følge af mineaktiviteterne. Hovedkilderne vil blive støv fra malm-brydningen og radon fra tailingsdepoter.

Disse aktiviteter skal tilrettelægges således at grænseværdien (ca. 1 mSv/år) overholdes.

### Strålingspåvirkninger

Ansatte i en mine skal bære dosimetre som en sikkerhedsforanstaltning. Arbejdere i områder med forhøjet radioaktiv stråling skal udstyres



Dalen ved Kvanefjeld. Øverst til venstre anes mineindgangen, hvorfra vejen snor sig ned gennem dalen til Narsaq. Placeringen af restbunkerne fra prøvebrydningen i 1980 ses som et lysebrunt felt midt i billedet.

med et personligt dosimeter. Et dosimeter kan måle hvilke typer radioaktivitet disse personer har været udsat for. Målingerne fra dosimetre skal typisk sendes til analyse ved et uafhængigt strålehygiejnisk laboratorium. Resultater af en sådan analyse leveres derefter til Råstofdirektoratet. Det er et krav, at strålingsdoserne ikke overskrider ICRP's (International Commission on Radiological Protection) anbefalinger samt at selskabet tilstræber, at strålingsdoserne ligger væsentligt under anbefalingerne fra ICRP.

Ved ekstreme strålingspåvirkninger forventer man, at en påvirkning på 1000 mSv/år over kortere tid kan forårsage akutte skader på mennesker, fx hudrødmen. Risikoen for kræft og genetiske skader øges med stigende

bestråling med en risikofaktor på 0,05 for per 1000 mSv/år.

Diagrammet herunder viser målinger af strålingspåvirkningen udført af RISØ flere steder på og omkring Kvanefjeld og i Narsaq by.

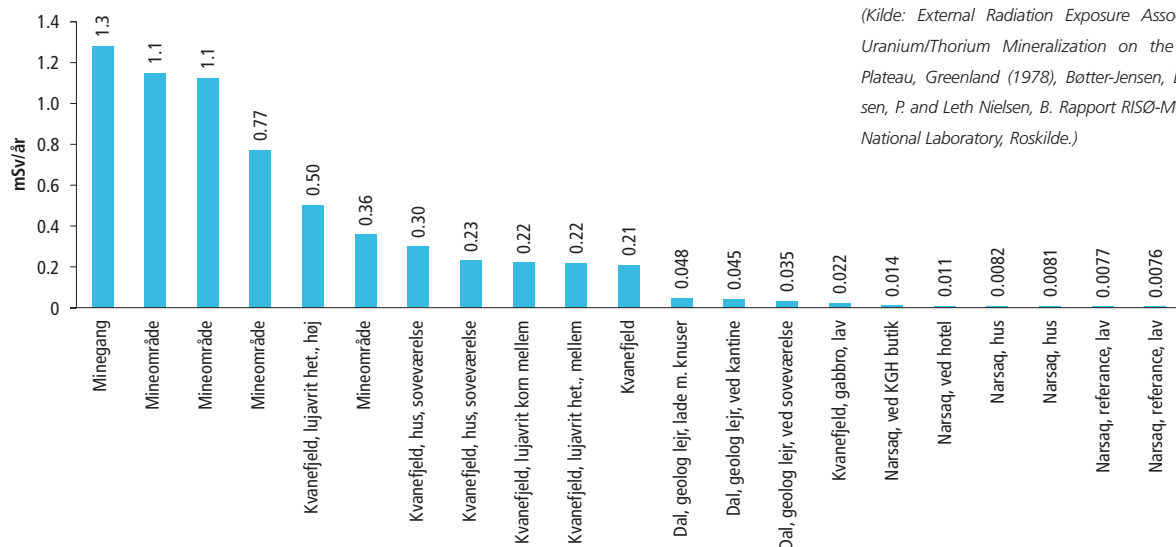


Diagram med RISØs målinger af strålingspåvirkningen flere steder ved Kvanefjeld og i Narsaq by. Søjlernes højde angiver gammastrålingens påvirkning af mennesker.

(Kilde: External Radiation Exposure Associated with Uranium/Thorium Mineralization on the Kvanefjeld Plateau, Greenland (1978), Botter-Jensen, L., Christensen, P. and Leth Nielsen, B. Rapport RISØ-M-1989, RISØ National Laboratory, Roskilde.)

# Erfaringer fra uranminer i andre lande

Nu til dags har de fleste lande tradition for at prioritere miljøet omkring uranminerne højt, og det er derfor oplagt at lære fra disse landes erfaringer. Der er eksempler fra mange verdensdele.

Uran brydes i 20 lande – fra ca. 50 uranminer. Igennem årene er omkring 100 uranminer lukket, fordi uranmalmen er brugt op. Der er ca. 40 uranminer under opstart, og der kendes mere end 100 uranforekomster, som antageligt kan bringes i produktion, hvis prisen på uran stiger. Blandt lande med uranressourcer er der forskellige holdninger til, om sådanne forekomster skal udnyttes. I Canada er uranefterforskning for eksempel ikke tilladt i British Columbia, Nova Scotia og Labrador Inuit Lands; derimod ophævede Nunavut i 2007 deres forbud mod uranefterforskning. I USA er uranefterforskning eksempelvis ikke tilladt i staten Virginia.

For tiden er det årlige forbrug af uran ca. 65 000 tons/år. Canada og Australien producerer ca. 30 % af verdens uranbehov og har gjort det i mange år – også inden man var klar over, at der skulle laves særlige forhold til beskyttelse af mennesker og miljø. Og der findes eksempler på meget store miljøforureninger.

De værste miljøforhold i forbindelse med uranminedrift fandtes formodentlig i Wismuth-området i det daværende Østtyskland, hvor det uran, der benyttedes i Sovjetunionens atomvåbenprogram, produceredes.

I dag har de fleste lande tradition for at prioritere miljøet omkring uranminerne højt, og det er derfor oplagt at lære fra disse landes erfaringer. Ved moderne minedrift er det et rutinekrav, at der allerede inden minen etableres, udarbejdes planer for, hvordan minedriften skal udføres, og for hvordan mineområdet skal efterlades efter endt minedrift. Denne praksis gælder allerede nu i Grønland i forbindelse med al minedrift. For uranminer skal overvejelserne også omfatte forhold vedrørende deponering af tailings, grundvandskvalitet, strålingssikkerhed og landskabsstabilitet. Nyere mineområder i Australien og Canada er efter

endt drift bragt tilbage til en stand, hvor det er ufarligt for mennesker og dyr at færdes i dem. Herunder gives et par eksempler på uranminer; nogle i drift og andre lukkede.

## Eksempel på uranmine under opstart

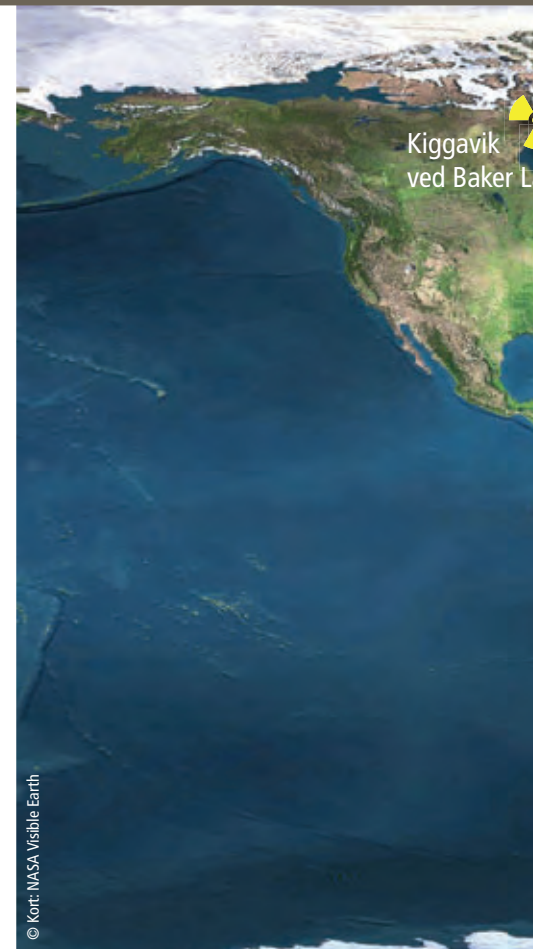
### Kiggavik ved Baker Lake, Nunavut, Canada (projektfase)

Areva Resources Canada er i gang med at undersøge både de tekniske og miljømæssige muligheder for at starte en kombineret underjordisk og åben uranmine ved Kiggavik i Nunavut. Uranmalmen har et indhold på ca. 0,24 % uran og en anslået samlet mængde uran på 57 000 tons. Baker Lake området, som er et arktisk tundra område, er følsomt overfor påvirkninger fra minedrift generelt og overfor uranminedrift i særdeleshed. Projektet er for tiden i en høringsfase blandt indbyggere og politiske beslutningstagere, organiseret af Nunavut Impact Review Board ([www.nirb.ca](http://www.nirb.ca)). Der skal foretages en afvejning af ønskerne om nye arbejdspladser og indtægter til Nunavut på den ene side og på den anden side den mulige skadelige påvirkning af miljøet. Kiggavik projektet skønnes at have malm til 17 år og vil skabe 400 jobs. Flere uranprojekter er på vej i Baker Lake området, og beslutningerne vil derfor have stor betydning for, hvordan Nunavut kan udvikle sig fremover. Debatten for og imod dette projekt har stået på de seneste tre år; argumenterne er tilgængelige via Internettet.

## Eksempler på producerende og ophørte uranminer

### Olympic Dam, Syd Australien

Denne forekomst blev fundet i 1975, og minen begyndte produktionen i 1988. Det er et eksempel på en mine, som udover uran også produce-



© Kort: NASA Visible Earth

rer kobber og guld fra en underjordisk produktion. Minen har enorme reserver på omkring 750 millioner tons malm, hvor hver ton indeholder ca. 0,5 kg uran, 15 kg kobber, 0,5 g guld og 3 g sølv. Olympic Dam er en af de største miner i verden og producerer årligt ca. 5 000 tons uran og 210 000 tons kobber. Denne produktion betyder, at mere end 10 millioner tons tailings skal deponeres hvert år; som vil dække et område på omkring 500 hektar. Der er planer om at øge produktionen til det dobbelte.

### Ranger, Australien

Denne uranforekomst blev fundet i 1969 og ligger i Kakadoo Nationalpark, i et område som kaldes Alligator Rivers Region. Nationalparken er et UNESCO Verdensarvområde, men tilhører og er beboet af Australiens oprindelige folk. I 1980 begyndte minedriften i Ranger som en åben mine. Brydningen stoppede i 2008 og oparbejdning af den malm, som er lagt på lager, forventes at vare frem til 2014.

Ranger minen udvinder uran fra en malm, der indeholder ca. 0,20 % uran. Efter brydning knuses malmen, og uran udludes ved at behandle den knuste malm med svovlsyre. Tailings fra produktionen blev de første år depo-



Verdenskort der viser de uranminer, der er omtalt herunder.

neret i et særlig tailingsdepot, svarende til en kunstig sø, men nu sendes tailings tilbage til den åbne mine for at blive opbevaret der. UIC (Uranium Information Centre, under Australian Uranium Association) oplyser, at der er afsat knap 1 mia. kr. til retablering af området, og det forventes, at den lejede grund, hvor minen befinder sig, kan gives tilbage til Kakadoo Nationalpark efter endt retablering.

Ranger minen har målt, hvor meget stråling mennesker i området bliver udsat for. Det er påvist, at befolkningen i et område 10 km fra Ranger modtager en strålingsdosis på ca. 5 % af den maksimale strålingsværdi, som mennesker bør udsættes for. Gennemsnitsarbejdere udsættes for en strålingsdosis på ca. 25 % af denne grænse, mens særligt udsatte arbejdere udsættes for en strålingsdosis på op til 50 % af denne grænse.

#### Witwatersrand, Sydafrika

Sydafrika begyndte at producere uran fra Witwatersrand i 1952, og der blev produceret uran fra minerne i Vaal Reef-området (Hardestbeestfontain og Palabora), hvor uran findes i et kvartskonglomerat sammen med guld. Værdien af gulddindholdet er størst og uran betragtes der-

for som biprodukt. Ved Palabora findes uran sammen med kobber; værdien af kobberet er større end uranen, og her er uran derfor også et biprodukt. Vaal Reef producerer fra et anlæg med en kapacitet på kun 2,8 millioner tons malm per år, idet anlægget kører med reduceret kapacitet. Palabora er en stor åben (open-pit) kobbermine, som producerer uran som biprodukt. Uranmineralet er uranorhanit, som koncentrerer med tyngdeseparation, hvorpå uran trækkes ud ved en syrebehandling. Witwatersrand Consolidated Gold Resources Ltd (WITS GOLD) forekomst ved Potchefstroom indeholdt 333 millioner tons med 7,1 gram guld per ton og 250 millioner tons med 0,3 kg uran per ton.

#### Elliot Lake området, Canada

Elliot Lake området i Ontario var i mange år centeret for uranbrydning i Canada. Brydning af uran begyndte allerede i 50'erne, og der blev gennem årene frem til 1996 produceret uran fra 23 uranminer. Den typiske malm i minerne i Elliot Lake området indeholdt ca. 0,1 % uran. I 1996 blev der udarbejdet en samlet plan for, hvordan tailingsdepoterne for fire miner i Elliot Lake området kunne sikres og reetableres. Disse områder omfatter ca. 130 millioner

tons tailings, som indeholder sulfidminerale, tungmetaller og isotoper af uran og thorium, som skal opbevares forsvarligt i mange år. Der er udarbejdet en plan, som sikrer, at tailingsdepotet er dækket af vand, og at det vand, der trænger ud, bliver rensat. Planen blev samme år tiltrådt af Ontario og er under udførelse. Canadian Atomic Energy Control Board er den ansvarlige myndighed.

#### Narbarlekminen, Australien

Narbarlekminen, i Northern Territory, blev fundet i 1960'erne og kom i produktion i begyndelsen af 1979. Området, hvor minen ligger, tilhører de oprindelige folk. Det var en lille mine med 2 % uran i malmen, og der blev produceret ca. 10 000 tons uran fra en åben mine, som kun var i produktion i få år. Malmen blev lagt på lager og blev behandlet i anlægget de efterfølgende år. Ved brydningen blev der produceret 2,3 millioner tons gråbjerg. I forbindelse med nedlukningen blev minen fyldt op med gråbjerg, bygninger blev fjernet og landskabet er retableret.



## Yderligere information fra Internettet

### Udvalgte hjemmesider:

<a href="http://agso.gov.au">agso.gov.au</a>	Australian Government, Geoscience
<a href="http://akraft.dk">akraft.dk</a>	Facts om atomkraft og elproduktion
<a href="http://bmp.gl">bmp.gl</a>	Råstofdirektoratet, Grønlands Selvstyre
<a href="http://cnscccsn.gx.ca">cnscccsn.gx.ca</a>	Canadian Nuclear Safety Commission
<a href="http://dmu.dk">dmu.dk</a>	Danmarks Miljøundersøgelser
<a href="http://eia.doe.gov">eia.doe.gov</a>	U.S. Energy Information Administration
<a href="http://energy.cr.usgs.gov/other/uranium">energy.cr.usgs.gov/other/uranium</a>	Den amerikanske geologiske undersøgelse
<a href="http://foratom.org">foratom.org</a>	Foratom for nuclear energy in Europe
<a href="http://geus.dk">geus.dk</a>	Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
<a href="http://greenpeace.dk">greenpeace.dk</a>	Greenpeace i Danmark
<a href="http://gsc.nrcan.gc.ca">gsc.nrcan.gc.ca</a>	Natural Resources Canada
<a href="http://iaea.org">iaea.org</a>	Det Internationale Energiagentur
<a href="http://nanoq.gl">nanoq.gl</a>	Grønlands Selvstyre
<a href="http://nei.org">nei.org</a>	Nuclear Energy Institute
<a href="http://nirb.ca">nirb.ca</a>	Nunavut Impact Review Board
<a href="http://nuclearsafety.gc.ca/eng">nuclearsafety.gc.ca/eng</a>	Baker Lake/Kiggavik
<a href="http://risoe.dk">risoe.dk</a>	Forskningscenter RISØ
<a href="http://sis.dk">sis.dk</a>	Institut for Strålehygiejne
<a href="http://wise-uranium.org">wise-uranium.org</a>	WISE Uranium Project – World Information Service
<a href="http://world-nuclear.org">world-nuclear.org</a>	World Nuclear Organisation



GEUS - De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland - er en uafhængig institution, der både forsker og rådgiver offentlige myndigheder og private inden for natur, miljø, energi og råstoffer. GEUS er ansvarlig for den videnskabelige udforskning af geologien i Danmark og Grønland med sokkelområder. GEUS kortlægger, overvåger og indsamler data, formidler om geologiske forhold og er nationalt geologisk datacenter.

*De Nationale Geologiske Undersøgelser  
for Danmark og Grønland (GEUS)  
Klima-, Energi- og Bygningsministeriet*



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER  
AARHUS UNIVERSITET

DMU (Danmarks Miljøundersøgelser) bistår Råstofdirektoratet med rådgivning i forbindelse med efterforskning og udnyttelse af de mineralske råstoffer i Grønland. DMU er en del af Aarhus universitet.

*Øster Voldgade 10  
1350 København K  
Danmark*

*Telefon: 38 14 20 00  
Telefax: 38 14 20 50  
E-post: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)  
Internet: [www.geus.dk](http://www.geus.dk)*