

# NGU



Norges geologiske  
undersøkelse

**Skrifter 51**

Ingvar Lindahl:  
Uran, uranprospektering og  
uranmineralisering i Norge

**Universitetsforlaget 1984**

Trondheim - Oslo - Bergen - Tromsø

# Uran, uranprospektering og uranmineralisering i Norge

INGVAR LINDAHL

Lindahl, I. 1984: Uranium, uranium prospecting and uranium mineralization in Norway. *Nor. geol. unders. Skr. 51*, 1–29.

Following a short historical review of uranium prospecting in Norway, most of which has been done by the Geological Survey of Norway, a simplified description is given of radioactivity, radiation, instruments and methods of measurements, and of the dangers to health from naturally occurring radioactive sources. The main part of the paper concerns a description of uranium prospecting in Norway. The different methods used by the Geological Survey and the areas surveyed by each method are described, comments are given on each prospecting method used. Geological modelling in prospecting is based on a knowledge of the geological environment of known deposits and on parallels drawn with known uranium provinces, especially those in the Nordic countries Sweden and Finland. Only a few per cent of Norway's land area has been covered by radiometric airborne (helicopter) surveys of sufficient quality. More than half of the country has been surveyed by car, i.e. areas where measurements have been made along all the available roads. Geochemical methods have been used, mainly stream sediment sampling, with reasonably good results. Extensive areas have been covered but with uneven and mostly low sampling densities. All work up to 1983 is included in the overview. A short description of the main uranium mineralizations, including literature references, is presented.

*I. Lindahl, Norges geologiske undersøkelse, Postboks 3006, N-7001, Norway*

## INNHOLD

Innledning	2
Radioaktiv stråling	2
Måling av naturlig radioaktiv stråling	4
Strålingsfare	6
Undersøkelser utført i Norge	7
Prospekteringsmetoder for uran	10
Geologiske metoder	10
Geofysiske metoder	13
Geokjemiske metoder	16
Erfaringer med de forskjellige prospekteringsmetodene	20
Oversikt over uranmineraliseringer	22
Etterord	24
Summary	24
Litteraturreferanser	27
Appendiks: Rapporter utgitt i uranprosjektet	28

## Innledning

Det er tidligere gitt oversikter over uran og uran-leting av Siggerud (1956a) og over uran og thorium i Norge av Siggerud (1956b) og Sverdrup et al. (1967). Etter at disse tre publikasjonene kom var det på 1970-tallet en stor global innsats innen uranprospektering. Årsaken var prognosene om at en gikk mot tider med energimangel. Aktiviteten har ført til en rivende utvikling av instrumentering og prospekteringsmetodikk, og videre til en bedre forståelse av dannelse av uranforekomster som igjen har ført til at store forekomster er funnet i til dels nye geologiske miljø. Den store aktiviteten innen uranprospektering i global skala kuliminerte rundt 1980. Grunnen til det var økonomisk stagnasjon og langt lavere økning i energibehovet enn tidligere antatt. Prospekteringsinnsatsen hadde ført til funn av nye store reserver med relativt høy gehalt og dermed fulgte overproduksjon og prisfall. Resultatet er at aktiviteten innen uranprospektering ute i verden idag er meget lav.

Norges geologiske undersøkelse (NGU) er den eneste institusjonen som har drevet uranundersøkelser i Norge av noe omfang i den siste 10-års perioden. Målet har vært å kartlegge ressursene av den uran som måtte finnes i landet, et arbeid som ennå ikke er gjennomført med en tilfredsstillende regional dekningsgrad. Underveis er det funnet nye uranmineraliseringer, hvor de geologiske data er under bearbeidelse. Det er hittil ikke funnet forekomster som entydig har økonomisk betydning, særlig ikke med dagens lave priser på uran, men en ekspertvurdering konkluderer med at mulighetene for uran i Norge er tilstede (Cuney et al. 1981).

Det synes på sin plass å gi en oversikt over erfaringene fra uranundersøkelsene i Norge på 1970-tallet og fram til idag, hvordan erfaringene med de forskjellige prospekteringsmetodene er og hvilket areal som er dekket for de enkelte metoders vedkommende. I forbindelse med undersøkelsene som gjøres er det stadig stilt spørsmål fra presse og menigmann om det som pågår. Uran og radioaktiv stråling er begreper som virker skremmende på mange.

I denne oversikten er det derfor også forsøkt å gi en forenklet informasjon om radioaktiv stråling og strålingsfare. Videre blir det gitt en kort oversikt over uranmineraliseringer i Norge som er forsøkt genetisk klassifisert av Lindahl (1983) ut fra de data vi idag sitter inne med.

## Radioaktiv stråling

I naturen opptrer forskjellige former for stråling. Av det vi kaller radioaktiv stråling har vi tre typer:

- alfastråling
- betastråling
- gammastråling

Alfa og betastråling er partikler som sendes ut fra atomkjernen, mens gammastråling er elektromagnetisk stråling.

Alfapartiklene som gir stråling består av to nøytroner og to protoner. Slike partikler kan sendes ut fra tunge atomkjerner fra grunnstoffer med atomnummer 84 og høyere. Med en utsendelse av en alfapartikkel blir det dannet et nytt grunnstoff med en atomkjerne som har to nøytroner og protoner mindre enn det opprinnelige (to atomnummer lavere enn det opprinnelige). Rekkevidden for denne typen stråling er kun 2-6 cm i luft og en kan beskytte seg mot slik stråling med f.eks. oljeklær som partiklene ikke vil kunne trenge gjennom.

Betapartiklene som gir stråling består av elektroner sendt ut fra atomkjernen. Elektronet fra kjernen sendes ut samtidig som et nytt proton dannes i kjernen. Massetallet for kjernen vil bli det samme, men tilhører et grunnstoff med et høyere atomnummer. Rekkevidden for betastråling er fra noen cm til noen få meter avhengig av energien. Betastråling kan en beskytte seg mot med spesielle klær eller for eksempel med et metallfolie.

Gammastrålingen er elektromagnetisk stråling med liten bølgelengde i den ioniserende del av spekteret, hvor også røntgenstråling og en del av det ultrafiolette lys ligger. Gammastrålingen sendes også ut fra atomkjernen og har høy energi. Strålingen medfører ikke at atomet går over til et nytt grunnstoff, men de forskjellige typene stråling er gjerne en koblet prosess, med utsendelse av gammastråling etter utsendelse av alfa eller betapartikler fra kjernen.

Den høyenergetiske gammastrålingen har stor gjennomtrengningsevne, men intensiteten reduseres med avstanden fra strålingskilden. For å beskytte seg mot den kan en bruke plater av bly, betong eller f.eks. vann. Noen dm vann vil skjerme den naturlige gammastrålingen helt.

Vi kan ikke registrere den radioaktive strålingen med våre sanser, men må måle den med spesielle instrumenter. For å redusere påvirkningen av slik stråling kan vi gjøre tiden vi er eksponert for den så kort som mulig, øke avstanden fra kilden, eller skjerme oss mot strålingen.

Mennesket er daglig eksponert for naturlig

Fig. 1: Forenklet spaltingsrekke for uran 238, som er den mest vanlige uranisotop i naturen.  
Simplified decay chain for uranium (238).

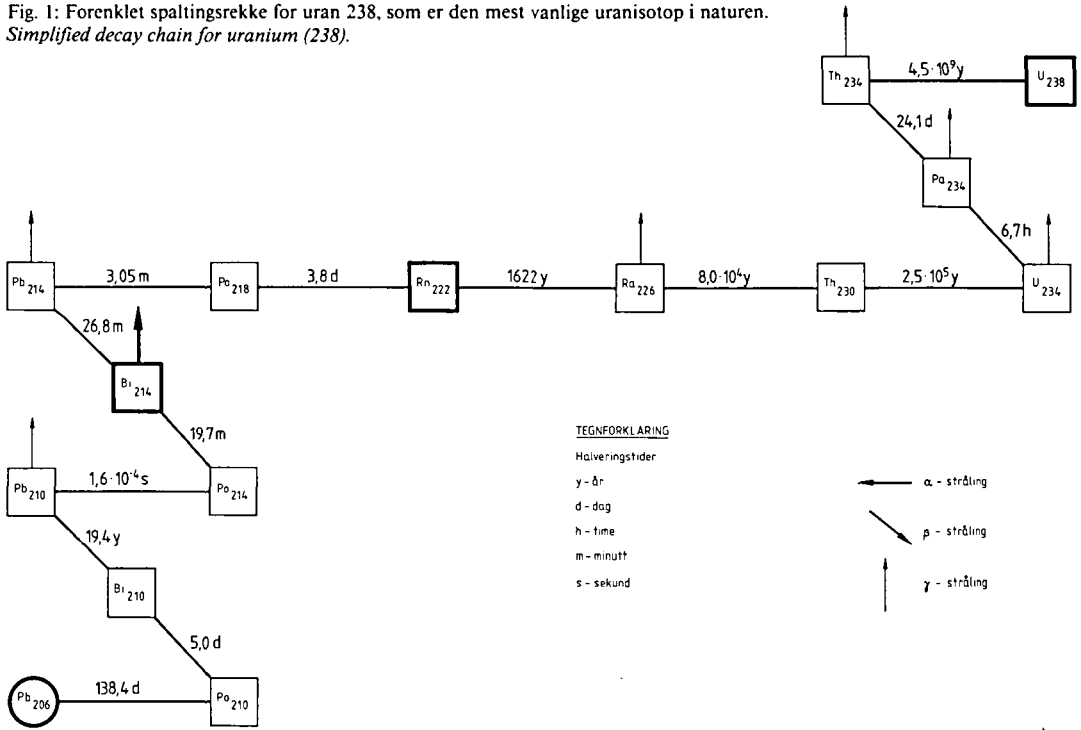
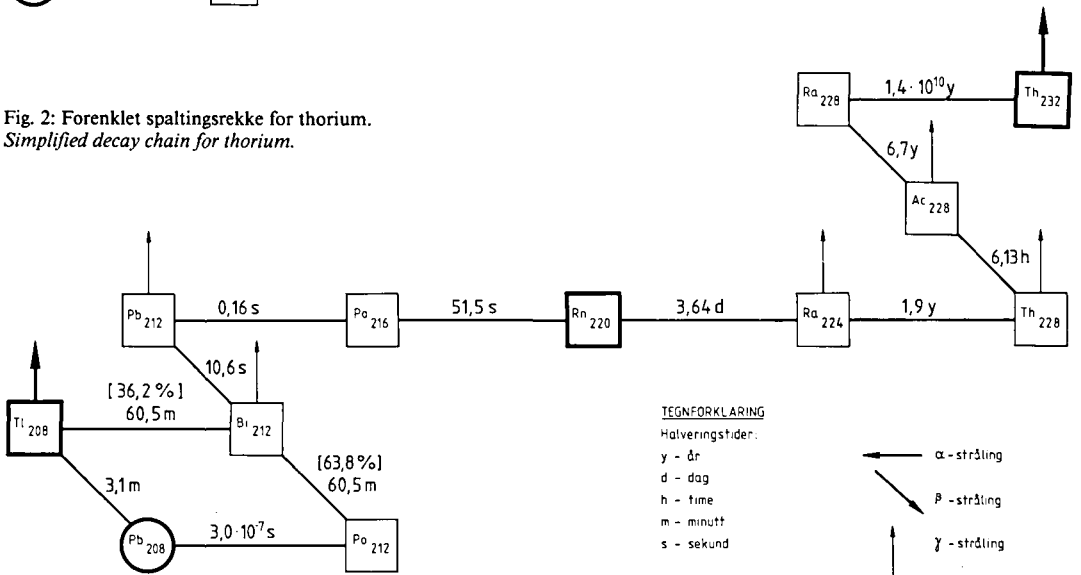


Fig. 2: Forenklet spaltingsrekke for thorium.  
Simplified decay chain for thorium.



stråling fra våre omgivelser som vi kan dele inn i tre hovedgrupper:

- Kosmisk stråling, fra verdensrommet
- Stråling fra omgivelsene, fra stoffer i jordskorpa og bygninger

Ytre stråling

- Stråling fra stoffer i vår egen kropp, inklusive radongass i lungene

Indre stråling

Den kosmiske strålingen kommer fra det ytre verdensrom og sola. Atmosfæren skjermer oss til en viss grad mot denne strålingen, og derfor vil påvirkning av strålingen bli større jo høyere over

havet en oppholder seg. Intensiteten av strålingen fordobles for hver 1500 m en stiger til vær. En person som bor i 3000 m høyde vil altså være utsatt for 4 ganger så mye kosmisk stråling som en som bor ved havflata. Den kosmiske strålingen utgjør omkring halvparten av den ytre stråling vi er utsatt for.

Strålingen fra naturlig radioaktive stoffer i jordskorpa veksler etter innholdet av radioaktive elementer i undergrunnen. Forskjeller i stråling med faktorer på 5-10 er ikke uvanlig. Det kan også være bygninger som bidrar betydelig m.h.t. strålingen vi utsettes for på grunn av radioaktive elementer i bygningsmaterialet.

I kroppen vår finnes mange ulike radioaktive stoffer, og de forskjellige delene av kroppen utsettes for forskjellige strålingskilder. Den indre stråling utgjør ca. 90 % av det totale. I kroppen får vi det største bidraget i lungene fra radon og dets datterprodukter. Radon er en gass som vi inntar gjennom innånding av luft. Den resterende del av indre stråling kommer fra kalium-40 i de forskjellige kroppsdelene. De ytre strålekildene, ca. 10% av den totale stråledosen, utgjør den vesentligste del av resten.

De viktigste grunnstoffer i jordskorpa som gir den ytre radioaktive stråling fra undergrunn og bygninger er uran, thorium og deres datterprodukter og kalium. Ved alfa og betastråling spaltes kjernen og nye grunnstoffer dannes. Rekken av grunnstoffer og isotoper kalles spaltningsserier. Både for uran og thorium ender den opp med bly. For de viktigste isotopene av de naturlige radioaktive stoffene er de vesentligste produktene i spaltningsserier for uran og thorium satt opp i henholdsvis Fig. 1 og Fig. 2.

Isotopene som dannes i spaltningsserier (unnatt sluttproduktet) er også radioaktive og sender ut forskjellige typer radioaktiv stråling (se Fig. 1 og 2). For å opprette en spaltningsserie som er i likevekt fra henholdsvis:

uran til bly og thorium til bly

tar det i størrelsesorden 1 million år. Det vil si at det er oppnådd konstant forhold mellom mengden av de forskjellige isotopene i forhold til utgangsmengden av uran eller thorium.

Halveringstiden ( $T_{1/2}$ ) for et grunnstoff eller en isotop er den tiden det tar før halve mengden av utgangsmaterialet er gått over til en annen isotop eller grunnstoff. Halveringstiden varierer for de forskjellige isotopene (se fig. 1 og 2), og mengden av alfa, beta og gammastråling som sendes ut er forskjellig. Den naturlige strålingen som vi hele tiden er utsatt for kommer fra alle de radioaktive

datterproduktene fra uran og thorium og fra kalium. I litteraturen benyttes ofte nedbrytningskonstanten ( $\lambda$ ) i stedet for halveringstiden.

Forholdet mellom dem er:  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

## Måling av naturlig radioaktiv stråling

De radioaktive elementene uran, thorium og kalium er de eneste som kan registreres direkte med et måleutstyr som selv ikke induserer energi. Når det gjelder registrering av strålingen vil her prinsippene for de vanligste målingene og instrumentene kort og noe forenklet bli framstilt. Det finnes mange utforminger på instrumentene, men prinsippene er de samme. Bare måling av stråling som er vanlig innenfor praktisk prospektering vil bli beskrevet, det vil si måling av gamma og alfastråling.

### Gammastråling

Verken uran eller thorium som grunnstoffer sender ut gammastråling. Gammasppekteret innenfor den mest kortbølgede og ioniserende del av det elektromagnetiske spekteret er vist i Fig. 3. I spekteret er det markerte topper som skyldes isotopene  $Bi_{214}$ ,  $Tl_{208}$  og  $K_{40}$ . Ser vi på spaltningsserier for uran (Fig. 1) og thorium (Fig. 2) ser vi at  $Bi_{214}$  tilhører uran- og  $Tl_{208}$  tilhører thoriumrekken.  $K_{40}$  er den radioaktive isotopen av kalium. Dersom spaltningsseriene er i likevekt, vil det være et konstant mengdeforhold mellom henholdsvis uran og  $Bi_{214}$ , thorium og  $Tl_{208}$  og kalium i forhold til  $K_{40}$ .

Når total gammastråling måles, registreres strålingen i hele spekteret, normalt over 0,05 eller 0,1 MeV (se Fig. 3), eller vi kan måle deler av spekteret innenfor smalere bånd (vinduer). Måler vi hele spekteret samtidig sier vi at vi registrerer totalstrålingen og ved måling av flere utsnitt av spekteret (vinduer) gjør vi spektrometermålinger. Eksempel på vinduer for uran, thorium og kalium er vist på Fig. 3.

Tidligere ble det ved måling av gammastråling brukt Geiger-Müller tellere, hvor hele spekteret ble registrert. I dag brukes det vi kaller scintillometre eller scintillasjonstellere. Disse instrumentene er langt mer robuste enn Geiger-Müller tellere og langt mere følsom. Vekten på et slikt instrument for feltmålinger ligger mellom 1/2-4 kg. Bærbare gammasppektrometre hvor det vanligvis er mulig å måle U ( $Bi_{214}$ ), Th ( $Tl_{208}$ ) og K ( $K_{40}$ ), altså i tre vinduer eller i tre kanaler, veier

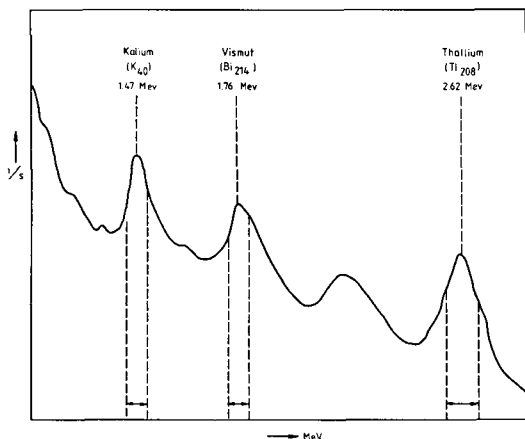


Fig. 3: Naturlig gamma spekter. Bølgelengden er gitt i MeV (millielektronvolt).  
Normal gamma specter. Wavelength is given in MeV.

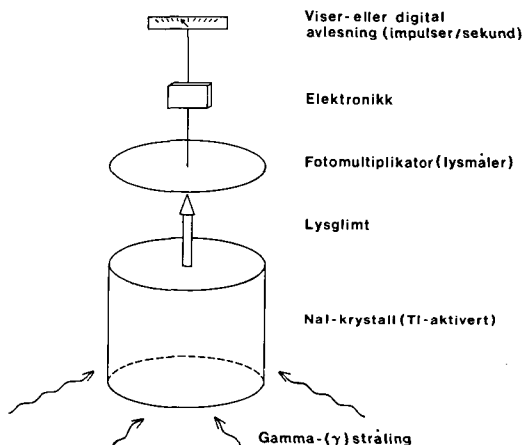


Fig. 4: Prinsippskisse for oppbygging av scintillometer eller scintillasjonsteller.  
Scheme for main units in a scintillation counter.

fra 1½–10 kg alt etter hvor følsomme instrumenter en ønsker å bruke.

Større instrumentutrustninger til bruk i bil eller fly er langt mer følsomme og en kan ofte måle en rekke smale bånd i spekteret (kanaler), i enkelte helt opp mot 250 kanaler.

Prinsippet for scintillometrene er at gammastrålingen treffer en talliumaktivert natriumjodidkrystall (NaI (TI)). Strålingen slår elektroner i krystallet ut av sin bane. Dette registreres ved et lysglimt når elektronet faller på plass igjen. Lysglimtet registreres av en fotomultiplikator (lysmåler). Elektronikk gjør at en på viserutslag eller digitalt kan registrere hver enkel impuls (scintillasjon) pr. tidsenhet, f.eks. impulser/sekund. Antallet impulser er avhengig av hvor mange gammastråler som treffer krystallen. Muligheten å treffe er avhengig av krystallens størrelse eller volum. Øket krystallstørrelse vil derfor gi øket følsomhet, eller til å registrere små variasjoner i gammastrålingen. En forenklet prinsipp-skisse av et scintillometer er vist i Fig. 4.

Vanlig krystallstørrelse for bærbare totalstråleinstrumenter er 1" x 1" eller opptil 2" x 2". For bærbare spektrometre som måler 2–4 kanaler kan krystallvolumet f.eks. være 3" x 5", men dette kan veksle mye. Fly eller helikopterinstrumenter kan ha krystallvolum på 5–50 liter i form av flere større krystaller eller en sammenkobling av en hel rekke små.

Gammastrålingen er enkel å måle, og dersom spalttingsrekken for uran og thorium er i likevekt i bergarten kan vi få en meget god informasjon om uran og thoriuminnholdet. Det betinger at vi holder målebetingelsene like fra punkt til punkt,

først og fremst de geometriske forhold rundt målepunktet.

### Alfastråling

Uran som grunnstoff sender ut alfastråling og det er mulig å analysere mengde uran ved å måle alfastråling fra en bergartsprøve eller fra et bergartspulver. Dette blir lite brukt som analysemetode. I praktisk prospektering er måling av alfastråling brukt til å registrere mengder av radongass i luft. Radongassen både i spalttingsrekka til uran og thorium gir alfastråling.

Prinsippet for målingen er at en pumper luften en skal måle radoninnholdet i inn i en beholder med et spesielt belegg (ZnS). Belegget kan registrere treff av alfapartikler i løpet av et bestemt tidsrom. Det er også på grunn av forskjellig halveringstid mellom radon fra uran ( $Rn_{222}$ ) som er 3,8 dager, og radon fra thorium ( $Rn_{220}$ ) som er 51,5 sekunder, at det til en viss grad er mulig å si om radoninnholdet skyldes uran eller thorium.

Ved prospektering måles innholdet av radongass i jordsmonn der en har overdekning. Radongass fra radioaktive stoffer i jordsmonnet og underliggende fjell vil bevege seg opp mot overflaten i jordluft. Dermed er det ideelt sett mulig å kartlegge innholdet av uran og thorium i berggrunnen under overdekket.

Radongass løses i vann eller dannes i vann ved spaltning, i grunnvannet og i overflatevann. Mengden radongass i vann måles ved å ta en vannprøve og boble luft gjennom det. Luften opptar radon og pumpes inn i et målekammer på samme måte som ved måling av radon i jordluft.

## Strålingsfare

I dette avsnittet tas ikke opp faktorer som gjelder anrikning av uran til brensel for kjernekraftverk, drift av kjernekraftverk og deponering av avfall fra kraftproduksjon og industri. Dette temaet er tatt opp av kjernekraftutvalget i deres utredning NOU 1978:35A. Dessuten er kjernekraft og uhell i forbindelse med drift stadig omtalt i aviser og tidsskrifter. Det er et såpass følsomt tema at uhell i forbindelse med kjernekraft-industrien får langt større dekning enn andre uhell i samfunnet. Dette kom klart fram ved en undersøkelse i New York Times Databank. I oversikten nedenfor gjengitt fra Ingeniørnytt 4.9.81 går dette klart fram:

Type ulykker	Antall avismeldinger	Antall omkomne
Bilulykker	120	50 000
Industriulykker	50	12 000
Kvelning	25	4 500
Elektrisitet	1-2	1 200
Radioaktiv stråling	200	0

Daglig blir vi utsatt for varierende mengde radioaktiv stråling fra naturlige kilder, f.eks. ved opphold i forskjellige høyder over havet mottar vi forskjellig mengde kosmisk stråling. Vi kan også bli utsatt for varierende mengde stråling ut fra den berggrunnen eller jordsmonnet vi bor eller oppholder oss på. Vi kan få radongass inn i bolighus fra undergrunn, vannforsyning eller fra selve byggematerialet. Vi kan også få stråling i arbeidssituasjon på grunn av de samme faktorene som ovenfor eller kanskje med arbeid under jord i gruve- eller ved anleggsvirksomhet. Underjordsarbeid gir kun ekstra stråling ved enkelte bergartsformasjoner. De fleste av våre gruver drives imidlertid i et bergartsmiljø som gjør at en blir utsatt for mindre stråling enn om en oppholder seg på jordoverflata.

Den naturlige gammastrålingen som vi er utsatt for daglig kan ikke anses som skadelig. Dette selv om mengder av stråling kan veksle med faktorer på minst 10 bare på grunn av naturgitte årsaker. Like store faktorer kan forekomme på grunn av bosted i forskjellig høyde over havet. Dette er forhold som det ikke finnes grunnlag å betegne som farlig for den enkelte.

Gamma og betastråling fra naturlige kilder anses som lite skadelig. Alfastrålingen er heller ikke ansett som skadelig om ikke radon-gass kommer inn i åndedretsorganene. Radongass

eller de naturlige mengder radioaktive stoffer i ernæringsmidler anses for lite skadelige. Disse vil passere fordøyelsen og ikke avsettes i systemet. Faren er når radongassen i lungene rekker å spaltes videre før den utåndes og disse faste radioaktive stoffer forblir i lungene som strålingskilder. Resultatet av dette kan bli lungekreft.

Beskyttelse mot skadelig eksponering for stråling går i vesentlig grad ut på å kontrollere mengden radongass til stede og at dette holdes under faregrenser som er fastsatt internasjonalt. Mengden radongass som utvikles er bl.a. avhengig av radioaktive elementer i undergrunnen. Mengden radioaktive elementer i undergrunnen er det vi forsøker å kartlegge ved radiometriske målinger. Med målinger og generelle geologiske kunnskaper kan en til en viss grad forutsi eller med tilleggsundersøkelser finne områder som kan gi forhøyede mengder med radongass.

Når det gjelder undersøkelser av byggegrunnen, foregår det i Sverige i dag kartlegging av denne, og områdene klassifiseres i tre kategorier; områder som kan bebygges uten videre, områder hvor nærmere undersøkelser bør gjøres og områder der en helst ikke bør bygge boliger. I Norge er vi ikke kommet igang med noe sånt, men ut fra de radiometriske bilmålingene som er gjort og generelle geologiske betraktninger kan en antagelse om stråling i forskjellige områder gis.

Det er påvist at visse byggematerialer kan være uheldig å bruke på grunn av sitt innhold av radioaktive elementer og dermed avgivelse av radongass. Et eksempel er en type Ytong-stein som tidligere ble produsert i Sverige med alunskifer som et av råstoffene. Steinen produserer radongass som imidlertid kan luftes ut med øket ventilasjon slik at det ikke er noe problem. Størst fare vil det være på vinteren når det ikke blir luftet på samme måte som på sommeren. Det foregår undersøkelser i Sverige for å finne fram til hus som er bygd av slikt materiale. Dette utføres med radiometriske bilmålinger, men da i tettbebygde områder.

Andre byggeråstoffer som en bør undersøke før de brukes i bygninger er betongsand. En del betongsand til husbyggeførmål kan ha et betydelig innhold av radioaktive elementer og dermed produsere radongass som delvis havner inne i bygninger.

Industriarbeidsplasser har neppe noen fare m.h.t. radongass i Norge. Et område hvor en bør være på vakt er i fjellrom i bergarter med høyt innhold av radioaktive elementer, og generelt ved gruvedrift. Undersøkelser av radoninnhold i grueluft og delvis i anlegg er gjort av Myran (1973)



i et omfattende arbeid. Konklusjonen er at ingen norske gruver har konsentrasjoner slik at spesielle forholdsregler bør tas. Dette kunne en på forhånd anta var tilfelle i og med at de fleste gruvene våre er i grønnstein og bergarter vanligvis med lavt innhold av radioaktive elementer.

I kraftverksanlegg i fjell og i andre fjellrom har kontrollen av radongass vært tilfeldig. Kontroll bør gjøres ved bygging av kraftverk generelt og spesielt i granittiske bergarter. I Sverige er det et eksempel på en kraftstasjon inne i fjell som har såpass høyt radoninnhold at spesielle forholdsregler må tas. Det gjelder i Hotagenområdet ovenfor Grong i nærheten av den nyoppdagede uranforekomsten i Lilljuthatten.

Måling av radongass i jordbunnen og i vann i naturen er metoder som brukes av NGU i prospektering, mens måling av radongass i luft med hensyn til hygiene måles av SIS (Statens Institutt for Strålehygiene). Ekspertise til dette er etablert hos de respektive institusjoner. Kontroll av radongass i grueluft gjøres i samarbeid med Institutt for gruvedrift på Norges Tekniske Høgskole (NTH). Beskyttelse mot eksponering for høye konsentrasjoner av radongass skjer ved fortynning slik at innholdet kommer ned på et trygt nivå, eller at eksponeringstiden blir redusert slik at den samlede dose ligger under faregrensen. Fortynning av konsentrasjonen gjøres med øket ventilasjon.

I dag er det meget aktuelt med utnyttelse av grunnvann. Vannverk basert på grunnvann fra løsmasser eller fast fjell bygges ut i økende omfang. Grunnvann er en stabil vannforsyningskilde, mindre utsatt for forurensninger og kan i flere tilfeller være vesentlig billigere å bygge ut enn overflatevann. Oftest er grunnvann av bedre kvalitet enn overflatevann, men har i de fleste tilfeller et høyere radoninnhold. Den vil komme inn i våre boliger ved koking av vann under matlaging og i forbindelse med dusjing. I få tilfeller er innholdet såpass høyt at det er betenkelig å bruke vannet, men vannet bør kontrolleres før grunnvannsbaserte vannverk bygges. I områder hvor det er kjent regionalt høyt innhold av radioaktive elementer i berggrunnen bør grunnvannsforsyninger kontrolleres.

## Undersøkelser utført i Norge

Tidlig i forrige århundre ble mange geologer og mineraloger interessert i pegmatittene i det prekambriske grunnfjellsområde i Sør-Norge på grunn av det store antall sjeldne mineraler som

fantas der, oftest som store idiomorfe krystaller. En rekke nye mineraler ble identifisert og beskrevet fra disse forekomstene for første gang. Uran- og thorium-holdige mineraler og uraninitt ble også identifisert ved undersøkelsene og i forbindelse med feltspatdriften på pegmatittene. Uraninitt ble framstilt som et biprodukt ved feltspatdriften, og ble vesentlig brukt til framstilling av farger til bruk i glassindustrien. Radium ble oppdaget i 1898 og uraninitt fra norske pegmatittforekomster i Sør-Norge ble før første verdenskrig brukt til framstilling av radium.

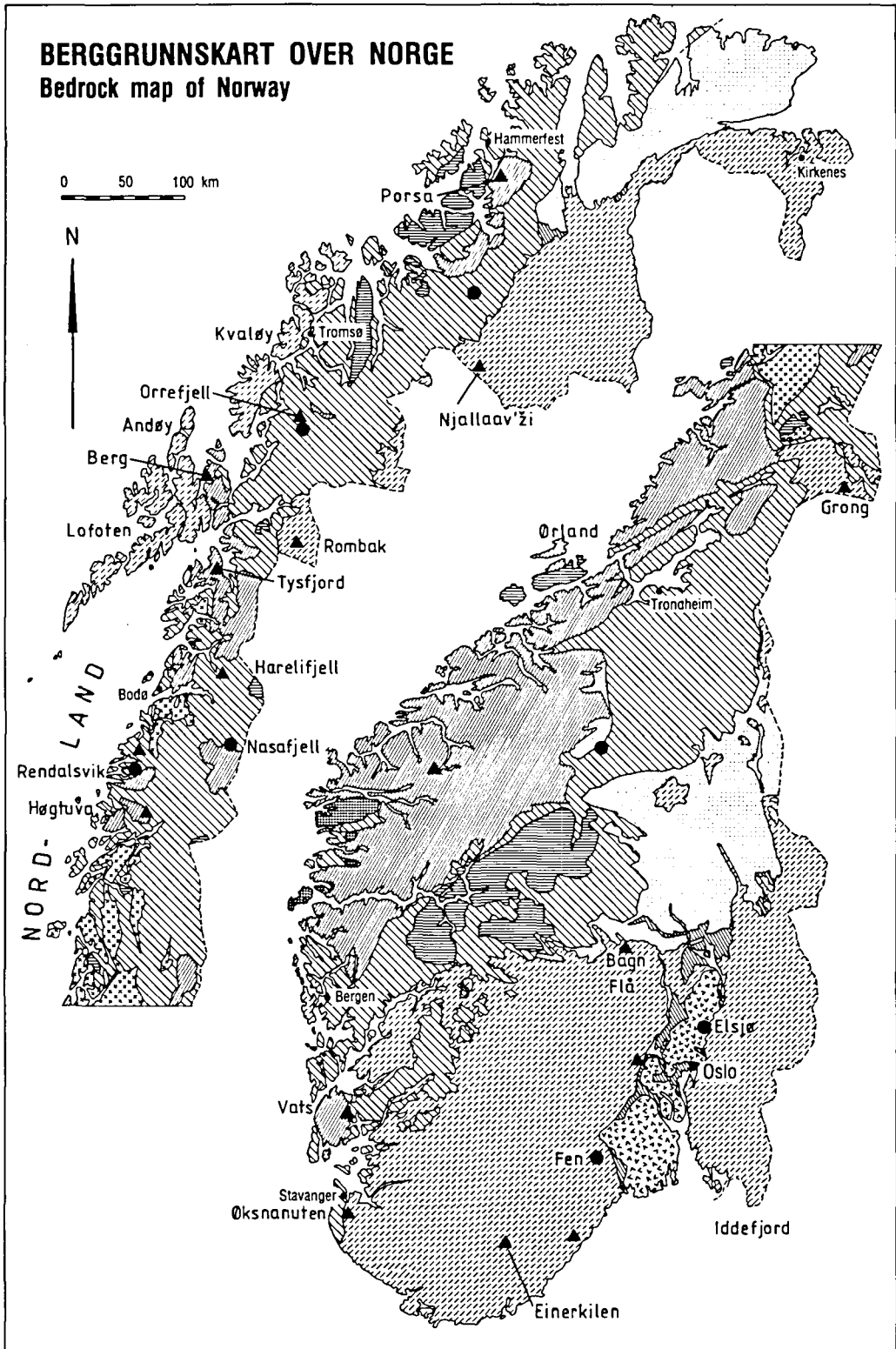
Den første systematiske prospekteringskampanje etter uran og thorium i Norge startet etter siste verdenskrig. Dette skjedde parallelt med utviklingen av kjernekraften. Undersøkelser som ble holdt fortrolig ble gjennomført før og omkring 1950 av FFI (Forsvarets Forskningsinstitutt), IFA (Institutt for Atomenergi) og NGU (Rosenqvist 1948). Det ble gjort diamantboringer på pegmatittene i Einerkilen ved Evje i Setesdal, og ved Tors gruve, Vats i Ryfylke, og i tillegg på alunskiferen på vestsiden av det permiske Oslofeltet. Denne første intensive prospekteringsinnsats ble avsluttet i 1951 ved at IFA fikk sikret kjernebrensel til sin forsøksreaktor ved leveranse fra Nederland (Sverdrup et al. 1967).

På midten av 1950-tallet var det en uranlettingsfeber blant menigmann og mange anskaffet enkle Geiger-Müller tellere. Et uranlettingsprogram ble startet på NGU i 1954 (Sverdrup et al. 1967), og systematiske arbeider ble gjort forskjellige steder i landet. Aktiviteten avtok mot slutten av 1950-tallet og var liten etter det. De arbeidene som var gjort var ikke tilstrekkelig til å anslå mulige ressurser av uran og thorium i Norge. Til det var de for begrensede og dekket kun små deler av landet systematisk. Det ble forsøkt å anslå mer eller mindre sikre og spekulative reserver i Norge (NOU 18:1972), men NGU påpekte i kommentar til utredningen at anslagene bygde på for spinkelt grunnlag.

Det uranprogrammet som idag er igang på NGU startet i 1975 etter at en fra geologiske betraktninger hadde vurdert mulighetene for uranressurser i Norge som gode. På 1970-tallet var uranprisene svært høye på grunn av energikrisen og mangel på brensel til de kraftproduserende reaktorene. Det ble forutsett en global mangel på kjernebrensel hvilket stimulerte til en stor prospekteringsaktivitet.

NGU's uranprogram har vært drevet på et jevnt nivå fra 1975 til idag med omtrent to mannår i innsats. Finansieringen har skjedd over NGU's budsjett. Det å skaffe oversikt over lan-





dets ressurser av metalliske råstoffer er en oppgave for NGU, og uran er en av naturressursene i denne gruppen. I tillegg til NGU-innsatsen har prosjekt for Undersøkelse av statens bergrettigheter (USB) finansiert deltaljerte undersøkelser av spesielle objekter som staten har bergrettigheter på (Lindahl 1981).

NGU har prøvd å samarbeide med innenlandske bergverkselskaper og prospekteringselskaper i sitt arbeid med uranprospektering. I oppstartingsfasen av uranprogrammet i 1975 ble det forsøkt å få til et samarbeid med fem av de største prospekteringselskapene; A/S Sydvaranger, Norsk Hydro a.s, Orkla Industrier A.s., Elkem a/s og Follidal Verk A/S. Disse bidro i startfasen med et beløp, etter en samarbeidsavtale med NGU, men det var ikke mulig å få en avtale mellom selskapene og Industridepartementet. Ingen av de involverte selskapene har senere drevet uranprospektering i vesentlig omfang.

NGU har også samarbeidet og holdt kontakt med de nasjonale geologiske undersøkelsene i

Norden; Sverige, Finland og Grønland, hvor lignende klimatiske og geologiske forhold eksisterer. Videre har vi hatt kontakt med FN-organisasjonen IAEA (International Atomic Energy Agency), IEA (International Energy Agency) og OECD/NEA (Nuclear Energy Agency). Mangel på uran på 1970-tallet førte til et samarbeid mellom disse organisasjonene og dannelse av et IUREP-prosjekt (International Uranium Resource Evaluation Project).

I IUREP-prosjektet ble det i 1978 skrevet en rapport fra en orienteringsfase hvor uranreservene og potensielle ressurser i global sammenheng ble vurdert. De enkelte land ble gruppert og Norge kom i gruppen land med gode muligheter for uran hvor prospektering bør intensiveres. IUREP-prosjektet tilbød en grundigere vurdering av uranmulighetene i landene som kom i denne gruppen, noe som Norge aksepterte. Arbeidet ble finansiert av IUREP-prosjektet. Ekspertene besøkte NGU og Norge i løpet av 1980 og deltok også i en feltkursjon. De tre eksper-

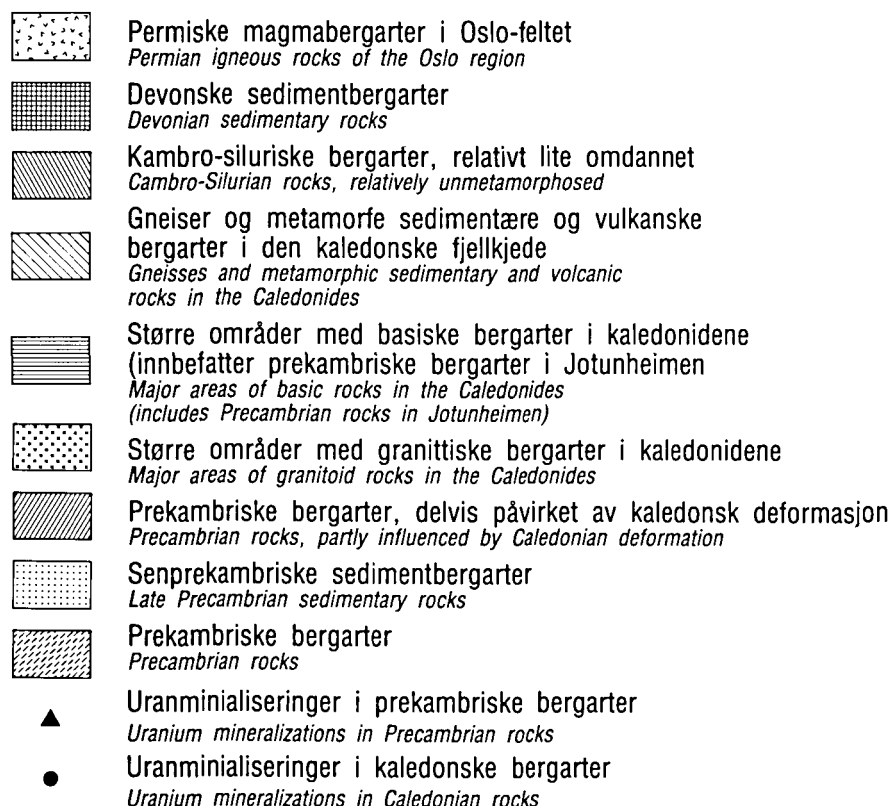


Fig. 5: De viktigste uranmineraliseringene i Norge plottet på et forenklet geologisk kart.  
*Main geological features of Norway with uranium occurrences plotted.*

tene var M. Cuney fra CREGU (Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium) i Frankrike, D.M. Taylor fra OECD/NEA og M. Wilson fra SGU i Sverige (Cuney et al. 1981).

I prospekteringsprogrammet for uran ved NGU er det brukt forskjellige metoder. I de etterfølgende avsnittene vil de enkelte metodene og erfaringene med disse fra våre arbeider bli beskrevet. Det vil også bli gitt en oversikt over områdene som er dekket med forskjellige metoder. Oversiktene inkluderer arbeidene gjort til og med feltsesongen 1982. Lindahl (1983) har forsøkt en preliminær klassifikasjon av de forskjellige mineraliseringene, basert på samme data.

## Prospekteringsmetoder for uran

Den store aktiviteten i uranprospektering på 1970-tallet har ført til en hurtig utvikling av nye metoder og raffinering av gamle metoder. Prospekteringsmetodikk på 1970-tallet er behandlet på mange møter og symposier. Forskjellige metoder er vurdert og erfaringer presentert. Et av de siste slike møter arrangert er OECD/NEA-IAEA-symposiet i Paris i juni 1982 (OECD/NEA-IAEA, 1982). Dette symposiet dekket de fleste prospekteringsmetodene og de nyeste framskritt ble presentert. Referanser til det som tidligere er gjort innen prospektering finnes i referatet fra symposiet.

De omfattende arbeidene som er gjort har ført til en bedre forståelse av uranforekomstenes dannelse og dermed geologisk gunstig miljø for forekomster. Nye typer mineraliseringer som er funnet har åpnet muligheter for nye potensielle områder for uran. Dette er kanskje det viktigste resultatet av den store aktiviteten på 1970-tallet, sammen med forbedringer av instrumentene for prospektering.

Midlene for uranprospektering i Norge har vært begrenset. Det har ikke vært mulig å velge den beste metode ut fra prospekteringsfilosofi. Med midlene stilt til rådighet er det forsøkt å dekke områdene med best potensiale, vurdert ut fra geologiske kriterier. En billig metode for å få oversikt er å utnytte prøver som alt er innsamlet. I særlig grad er det brukt tidligere innsamlede bekkesedimentprøver, men også tidligere innsamlede bergartsprøver.

### *Geologiske metoder*

Geologiske modeller brukt for vurdering av muligheter for uranforekomster i Norge er beskrevet av Lindahl & Heier (1977) og av Lindahl (1983).

I presentasjonene er det nevnt en del av de kriteriene som er brukt i den geologiske vurderingen. Det er forsøkt å se på de generelle modellene for uranmineraliseringer ut fra global erfaring. Deretter er det gjort justeringer etter resultater fra en nokså intensiv prospektering i våre naboland, spesielt i Sverige.

I nedenstående geologiske tidstabell (Tabell 1) er det forsøkt å sette opp mineraliseringer i et system etter alder og type. Eksempler er gitt for verden og for Norge. En lignende tabell finnes hos Cuney et al. (1981). Mineraliseringene er avmerket på Fig. 5.

Uran er under oksyderende forhold i overflatenære omgivelser et av de mest mobile elementer. Ved oksydasjon fra  $U^{4+}$  til  $U^{6+}$  dannes det lett løselig uranylionet  $(UO_4)^{2-}$ . Ved reduksjon felles uran igjen lett ut. Anrikning av elementet under kjemisk gunstige forhold i jordskorpa er dermed mulig og dette er av stor betydning for dannelse av økonomiske forekomster. Under f.eks. peneplanisering vil uran ved forvitringen kunne gå i løsning, transporteres og om "geokjemiske feller" er til stede, kunne anrikes. Anrikningen kan lokaliseres i sedimenter som avsettes på peneplanet med transgresjon eller ved sirkulerende nedadstrømmende løsninger nede i bergarten som forvitres (Barbier 1974).

Geologiske diskontinuiteter er som nevnt gunstige for uranforekomster. Den eldste globale markante diskontinuitet som har vist seg å føre økonomiske uranforekomster er basallagene over arkeiske kratoner. Den atmosfæriske sammensetning (lite oksygen) gjorde at verken svovelkis eller uraninit oksyderte og kunne derfor avsettes som klastiske korn i basalkonglomerater. De beste eksempler på økonomiske forekomster i disse kvartsbolle-konglomeratene, som i alder ligger fra 2500–2200 mill. år (Robertson 1974), er de Canadiske i Blind River området og de i Syd-Afrika som i tillegg inneholder gull (Tabell 1).

I Norge finnes geologiske diskontinuiteter av samme alder i de nordlige deler av landet, i Finnmark (Skålvoll 1971) og i Lofoten–Vesterålen-regionen (Tveten 1978). Hittil er det ikke funnet konglomerater av kvartsbolle-typen, men denne diskontinuiteten har et potensiale for uranforekomster. På Finnmarksvidda er utgående oftest overdekket slik at den er lite kjent i detalj. Lofoten–Vesterålen-regionen har også et potensiale, men bergartene der har generelt et lavt innhold av radioaktive elementer og er av den grunn mindre interessant.

En annen markert aldersdiskontinuitet i Skan-

dinavia finnes mellom grunnfjell av forskjellig prekambrisk alder og overliggende senprekambriske og kambriske sedimenter. Denne kan følges langs den kaledonske front på østsiden av kaledonidene. Basallagene finnes fra Valdres, gjennom Trysil, nordover til Sylene, går så inn i Sverige, fortsetter til grensetraktene i Troms og krysser deretter Finnmarksvidda. Sonen er et kjent metallogent belte m.h.t. bly (Bjørlykke 1977). Uøkonomiske uranmineraliseringer korrelert med blyforekomstene er beskrevet på svensk side (M. Wilson pers. medd.). Et bemerkelsesverdig stort antall uranmineraliseringer opptrer i grunnfjellet langs den kaledonske front.

Også tektoniske diskontinuiteter er gunstige spesielt for uranmineraliseringer på grunn av uranets mobilitet. Tektoniske soner kan være skjærsoner, forkastninger, linjementer eller skyveplan (Lindahl & Heier 1977). I krysningspunkter mellom slike tektoniske soner vil forholdene være gunstigst. Under den geologiske utvikling av jordskorpa er det vanlig at tektoniske soner blir regenerert og dette kan gjøre dem til ekstra interessante undersøkelsesobjekter.

Foreløpig er det for tidlig (på grunn av manglende data) å trekke konklusjoner angående slike tektoniske soner og metallogene provinser spesielt i grunnfjellet. Killeen & Heier (1975b) har beskrevet et belte fra Iddefjord/Båhus til Flå med arnikede granitter av forskjellig alder. Lindahl

(1983) har foreslått en mulig forlengelse i Nordland av det metallogene belte i Sverige som er beskrevet av Adamek & Wilson (1979). Dette er en provins i bergarter av alder 1700–1900 mill. år.

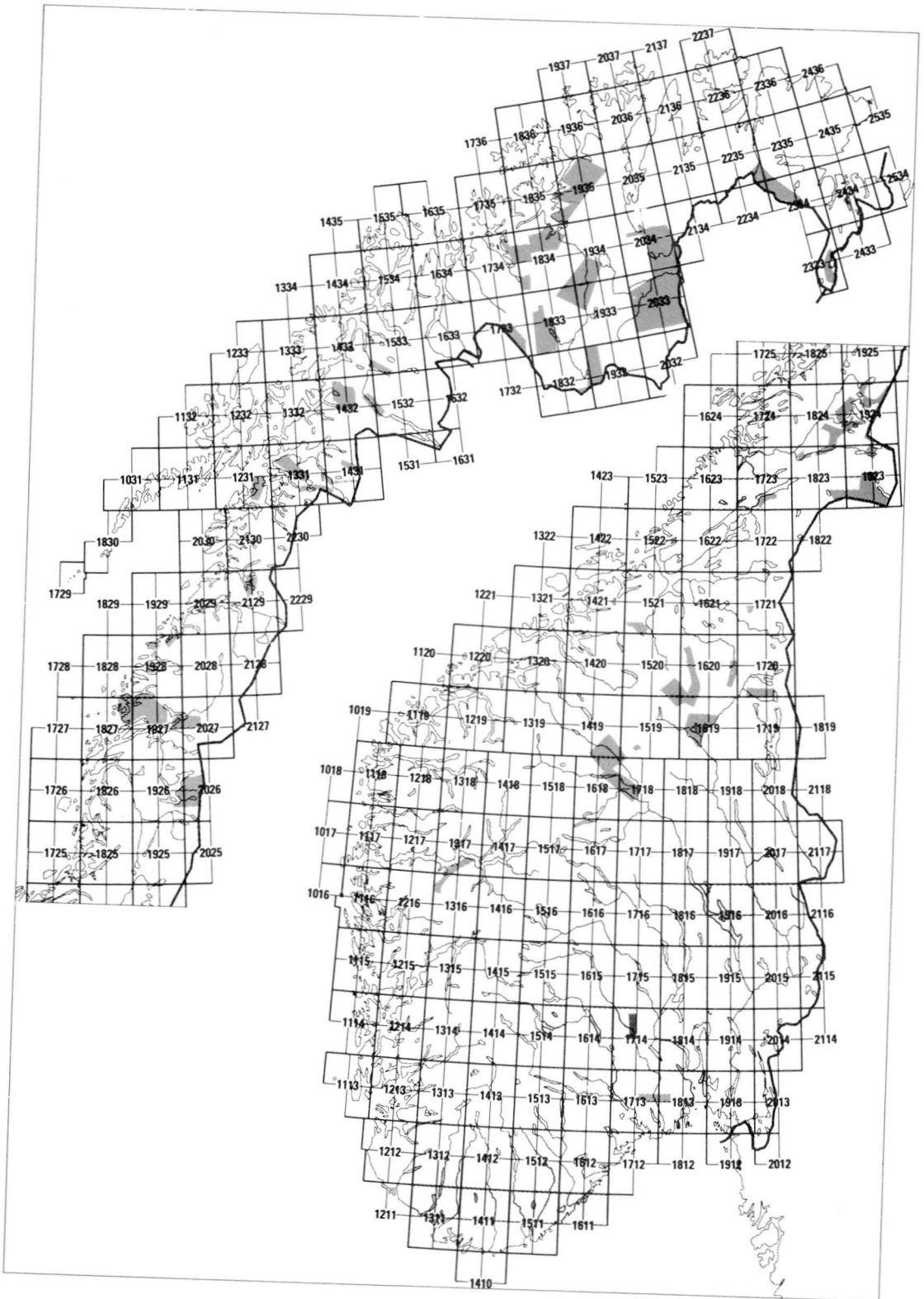
Uranmineraliseringer er kjent fra Skottland og på Orknøyene (Gallagher et al. 1971; Michie 1972) i devonske sandsteiner (Old red sandstone). I den forbindelse er devonfeltene på Vestlandet og i Trøndelag undersøkt, så langt med negativt resultat. De unge sedimentene på Andøya av jurassisk alder er også undersøkt med negativt resultat (Tabell 1).

SiO<sub>2</sub>-rike krystalline bergarter er de som har det høyeste gjennomsnittlige innhold av uran. Granitter som er framkommet ved gjentatt oppsmelting har de beste muligheter for et høyt uraninnhold ved gjentatte anrikninger. Det vil generelt si at yngre granitter og deres omgivelser er gunstigere prospekteringsmessig enn eldre granitter. En slik tendens har vi ikke kunnet påvise generelt i Norge. Det største område med granitter forhøyet på uran finner vi i Nordland, men disse har en alder på 1700–1900 mill. år.

SiO<sub>2</sub>-rike vulkanske bergarter kan også være interessante for uranprospektering. Marginale forekomster er kjent i slike bergarter blant annet fra Sverige i Duobblon (Lindroos & Smellie 1979). I det permiske Oslofeltet er det kjent differensierte lavabergarter med høyt uraninnhold, men

Tabell 1. Geologisk tidstabell med eksempler på uranforekomster og mineraliseringer.  
*Geological time-scale with examples of uranium deposits.*

Epoke	Mill. år	Alder på mineraliseringer i Norge	Formasjon/Område	Eksempler på forekomster globalt
MEZOSOISK	230	Ingen	Andøy	Sandsteiner i USA og Afrika
P Perm		Th-dominerte mineraliseringer med Nb og REE	Oslofeltet	
A Karbon		Ingen kjent	Vestlandet-Trøndelag	Sandstein i Skottland (Old Red Sandstone)
E Devon				
Z Silur		Harelifjell i Nordland		
O Ordovicium		Berg i Troms	Kaledonske fjellkjede	Hotagenfeltet i Oldenvinduet, Sverige
K Kambrium	570			
PROTEROZOISK		Einerkilen i Telemark	Arkoser langs fjellkjerderanden	Rössing i S. Afrika (alaskitt)
	1000	Vats i Ryfylke	Posttektoniske granitter i S-Norge	
	1800	Bagn i Valdres		
		Iddefjord-granitten		
		Orrefjell i Troms	Grunnfjell i Nordland og Troms	Ilimassaq på Grønland
		Granitter i nordlige Nordland		
	2600		Finnmark	Kvartskonglomerat (Blind River type) Kvartskonglomerat (+Au) i S. Afrika
ARKEISK				



generelt er feltet sterkt Th-dominert. Uranmineraliseringer er kjent i prekambriske SiO<sub>2</sub>-rike gneiser, men her kjenner vi for dårlig de geologiske forhold til å bestemme hvilken opprinnelse bergartene har.

#### Geofysiske metoder

Mange typer geofysiske målinger er brukt i malmleting. De fleste metodene er indirekte, hvor fysiske egenskaper, som vanligvis ikke er eksklusiv for det mineral en vil kartlegge, måles. Eksempler på direkte måling på mineraler det letes etter er magnetiske målinger som gir et mål for magnetittinnhold og radiometriske målinger hvor en kan måle mengden radioaktive elementer (U, Th og K) som er til stede. For de radiometriske målingene er det en forutsetning at spaltingsrekka til de enkelte elementene er i likevekt. Måling av fluorescens er også en direkte metode for fluoriserende mineraler som scheelitt. En del andre mineraler som f.eks. sekundære uranmineraler har fluorescens og kan brukes for direkte målinger. Et eksempel på at geofysiske målinger registrerer en rekke faktorer som er av mindre interesse er elektromagnetiske målinger, som gir anomalier i bergarter med ledningsevne som for eksempel på grafittførende skifer og breksjesoner i tillegg til sulfidmineraliseringer. Vi kan også bruke korrelasjoner mellom forskjellige elementer indirekte. Således kan uran og thorium som kan registreres direkte radiometrisk være korrelert med f.eks. wolfram og tinn, som kan utnyttes ved leting etter disse elementene.

Resultater fra de forskjellige metodene kan brukes prospekteringsmessig på mange måter, og gir også verdifull informasjon til geologisk kartlegning. Andre metoder utenom de radiometriske kan brukes i uranleting. Eksempelvis kan gravimetri brukes til å kartlegge granittlegemer med egenvektkontrast til omgivende bergarter. Noen av granittene kan være interessante i uransammenheng. Hydrotermal aktivitet i et område kan omvandle magnetitt til andre jernoksyder. Hydrotermal aktivitet kan være interessant i uranleting ved at negative magnetiske anomalier enkelte ganger kan være en ledetråd.

I det etterfølgende blir først og fremst de forskjellige geofysiske metodene som er brukt av NGU og som er spesielle for uranleting kommen-

tert. Erfaringene fra målingene under de klimatiske, topografiske og geologiske forhold i Norge blir vurdert i et senere kapittel. Det er ikke ment at metodebeskrivelsen skal være en total gjennomgåelse av anvendbare geofysiske metoder for uranprospektering.

NGU dekket i løpet av 1960-årene Norges fastland og kontinentalsokkelen med magnetiske målinger fra fly. Omkring 1/4 av landområdet ble samtidig dekket med radiometriske totalstrålemålinger. Krystallen som ble brukt var meget liten, sammenlignet med det som er vanlig ved flymålinger, (4" x 7" eller 1 1/3 liter), og flyhøyden var stor. Profilavstanden var 500 m eller 1 km og høyden 150 m i gjennomsnitt. Som ventet ga bare noen få av de målte kartbladene anomalier, vesentlig i Oslofeltet som vist på Fig. 6.

I Norge har vi temmelig kuppert terreng og ved målinger fra fly er det derfor i store deler av landet umulig å holde konstant høyde over bakken, hvilket er viktig for måling av strålingen idet intensiteten avtar raskt med avstanden fra kilden. Fra 1975 har NGU brukt et gamma-spektrometer ved kombinerte helikoptermålinger. Krystallvolumet på dette utstyret var 450 kubikk tommer (7 liter) fordelt på fire krystaller. Fra og med 1981 ble utstyret fornyet og nå brukes et krystallvolum på 1024 kubikk tommer (16 liter).

De kombinerte helikoptermålingene inkluderer vanligvis magnetiske målinger, elektromagnetiske målinger (EM), måling av lavfrekvente bølger (VLF) og radiometriske målinger. Ved de radiometriske målingene registreres radioaktiviteten i tre kanaler, det er uran (Bi<sub>214</sub>), thorium (Tl<sub>208</sub>) og Kalium (K<sub>40</sub>), sammen med totalstrålingen. Profilavstand som brukes er oftest 200–250 m, men i rekognoserende målinger er også 500 m og 1 km brukt. Ved meget sterkt topografisk relieff er det også målt rekognoserende langs fjellsider i konstant høyde over havet og forsøksvis konstant avstand fra fjellsiden. Dette er en framgangsmåte som brukes på Grønland (Nielsen & Steenfelt 1977). Ved slutten av feltsesongen 1982 har NGU målt omtrent 65 000 profil km med helikopter. En dekningsoversikt er gitt i Fig. 6. Oversikten viser målingene som er gjort for NGU og statlige midler samt oppdrag fra prospekteringselskaper. En fordeling av målevolumet hvert år er gitt i nedenstående tabell

Fig. 6. Oversikt over kartblad hvor radiometriske flymålinger har gitt anomalier (svak skravur), og områder som NGU har dekket med radiometriske helikoptermålinger (sterk skravur), som vanligvis også inkluderer magnetiske målinger, elektromagnetiske målinger (EM) og VLF-målinger. *Compilation of map sheets where fixed wing radiometric surveys have given anomalies (light grey), and areas covered by NGU with helicopter surveys (dark grey). In most areas the surveys also include magnetic, EM and VLF measurements.*

Tabell 2: Oversikt over kombinerte helikoptermålinger i Norge fra 1975 til og med 1982 hvor radiometriske målinger er inkludert.

*Compilation of combined helicopter borne surveys in Norway from 1975-82 where radiometric measurements are included.*

År	Målte profil km - Totalt	Profil km for statlige midler	Profil km som oppdrag
1975	4000	2600	1400
1976	4800	2000	2800
1977	7000	1650	5350
1978	6100	6100	0
1979	7650	1300	6350
1980	11100	2000	9100
1981	11500	3200	8300
1982	13250	7950	5300
Sum	65400	26800	38600
%-del	100	41	59

(Tabell 2), hvor det går fram at ca. 60% er gjort som oppdrag og ca. 40% for statlige midler.

Betingelsene ved helikoptermålingene er som nevnt en profilavstand på 200–250 m, en høyde over bakken på ca. 60 m (200 fot) og med hastighet ca. 100 km/time. En radar høydemåler registrerer høyden og langs profilet fotograferes det kontinuerlig for å kunne bruke bildene som kontroll for navigeringen. Kartmaterialet som det flys etter var de første årene mosaikk av flyfoto i målestokk ca. 1:20 000. Senere er det oftest brukt forstørrede topografiske kart i M 1:20 000 med utgangspunkt i M711 serie med målestokk 1:50 000. Dette er mulig kun hvor en har dekning med de nye topografiske kartene.

Måledataene blir registrert digitalt på tape og prosessert på NGU. Resultatene kan presenteres på profilkart som vist av Lindahl et al. (1979), som konturkart med eller uten farger. Eksempel på konturkart er vist på Fig. 7, som er samme måte som brukes for framstilling av magnetiske kart.

Radiometriske bilmålinger har vært systematisk drevet fra 1975 og til og med 1982. Fra 1975 til og med 1980 ble det målt total gammastråling med en krystall på 4" x 7", og noen tilfelle et instrument med krystallstørrelse 75 mm x 35 mm. Registreringen gjøres på en vanlig papirskriver av Easterline Angus type. Fra 1981 ble det ved bilmålingene benyttet en krystallstørrelse på 450 kubikk tommer (7 liter) med mulighet til å registrere på 3 kanaler i tillegg til totalstråling. Hittil har vi imidlertid på grunn av skriveren ikke kunnet registrere på mer enn to kanaler samtidig, vanligvis uran og totalstråling. I anomaliområder kan vi også skifte og registrere f.eks. på uran og thorium.

Betingelsene ved de radiometriske bilmålin-

gene ble standardisert ved oppstartingen av programmet i 1975. Hastigheten er 45 km/t. Krystallen er plassert i bilen 1–1,5 m over veibanen og ute på høyre side. Veien som måles kjøres i begge retningene. Vi kan dermed vente å få inn strålingskilder med det nye utstyret inntil 20 m fra veien på begge sider avhengig av forstyrrelser og kildens styrke. Dekningsgraden for bilmålingene på landsbasis er vist i Fig. 8. En relativt stor del av landet er dekket, men veinettet har imidlertid stor variasjon i tetthet og noen av bladene har kun noen få km vei mens andre har hundrevis av km.

Veien som måles plottes på kart i målestokk i 1:50 000 og 1:250 000. Ved bilmålingene stoppes det ved utslag over et visst nivå, vurdert ut fra geometriske forhold og annen erfaring fra det aktuelle området. Anomalipunktene gis da en første undersøkelse og vurdering, gjerne med prøvetaking. Anomalier over en viss aktivitet målt med håndinstrument gis en egen beskrivelse. Alle anomaliene merkes på kartene. Hittil er det fra bilmålingene beskrevet 2–300 anomalipunkter i rapporter fra uranprogrammet, fordelt

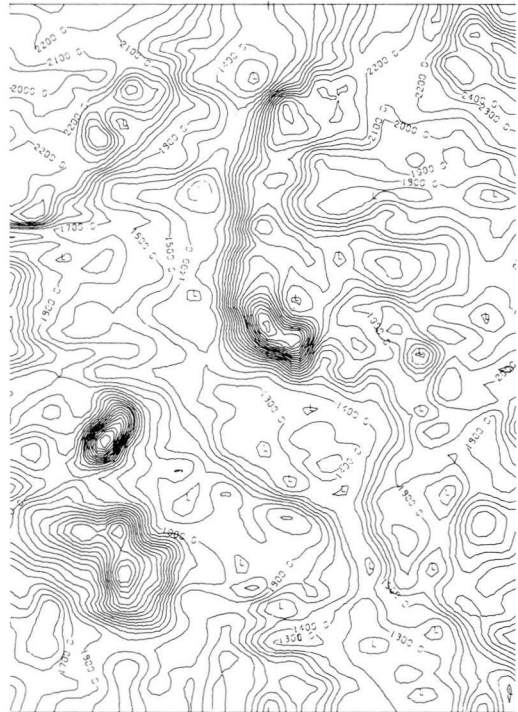


Fig. 7. Eksempel på konturkart som viser variasjon i radioaktiv stråling. Kartet er framstilt med datamaskin fra målingene på tape og tegnet av plotter (Calcomp).

*An example of a radiation contour map, based on registration on tape, corrected by ADP-programme and drawn by a Calcomp plotter.*







Fig. 9. Mest vanlig brukte scintillometer av type "Knirps" fra Gewerkschaft Brunhilde. Krystallstørrelsen er 25 mm x 25 mm. Registrering kan skje digitalt eller med viser. A 'Knirps' type scintillometer (Gewerkschaft Brunhilde) most commonly used as hand instruments during field work. Crystal size is 25 mm x 25 mm. Registration is read digitally or by meter.

på ca. 60 rapporter (APPENDIKS). Det kan nevnes at det også er målt fra tog på de fleste jernbanestrekningene. Det er med disse målingene funnet interessante anomalier, hvorav flere er fulgt opp med videre undersøkelser.

Ved undersøkelser av uranmineraliseringer brukes håndinstrumenter. Instrumenttypen som er brukt ved NGU er av type "Knirps" (krystall 25 mm x 25 mm) fra Gewerkschaft Brunhilde (7 stk.) og Saphymo SPP-2-NF (krystall 1" x 1") (2 stk.). Reserveinstrumenter er eldre typer av tysk fabrikat fra Laboratorium Dr. Berthold (krystall 1" x 1") (3 stk.). I starten av uranprogrammet ble en referanseenhet for NGU valgt, slik at alle strålingsverdier gis i impulser pr. sekund (i/s) med det franskbygde Saphymo SPP-2-NF som referanse. Målte verdier med de andre instrumentene omregnes før avmerking på kart og angivelse av aktiviteter i rapporter. Betingelsene ved måling blir forsøkt holdt konstant ved å plassere krystallenden av instrumentet på en flat bergartsflate. Det forsøkes dermed å unngå inn-

virkning av geometriske faktorer. Et Knirps instrument er vist på Fig. 9.

Det er vanskelig å sammenligne absolutt strålingsintensitet fra en anomali eller bergart hvor forskjellige instrumenter er brukt. En komité nedsatt i 1978 av IAEA har forsøkt å etablere en internasjonal skala for strålingsmåling (Darnley 1982). Standardenheten er gitt betegnelsen Ur og for registrering på gjennomsnittlige totalstråleinstrumenter gjelder at:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ppm U} &- \text{ gir } 1 \text{ Ur} \\ 1 \text{ ppm Th} &- \text{ gir } \frac{1}{2} \text{ Ur} \\ 1\% \text{ K} &- \text{ gir } 2 \text{ Ur} \end{aligned}$$

For bergarter med gjennomsnittsverdier for radioaktive elementer fås følgende "normale" stråling:

Basalt:

$$(0,75\% \text{ K}, 0,5 \text{ ppm U}, 1,5 \text{ ppm Th}) \\ - \text{ gir ca. } 3 \text{ Ur.}$$

Granitt:

$$(4\% \text{ K}, 4 \text{ ppm U}, 16 \text{ ppm Th}) \\ - \text{ gir ca. } 20 \text{ Ur.}$$

Metodene som er beskrevet er metoder i bruk i uranprospektering ved NGU. Det er viktig også å vurdere bruken av andre metoder. I Norge er det gjort et studium for å undersøke muligheten av geotermisk energiproduksjon. Killeen & Heier (1975a, 1975c) målte varmeproduksjonen i jordskorpa på utvalgte steder i Norge. Varmen produseres av de radioaktive elementene i jordskorpa når de spaltes. Varmeproduksjon og måling av denne kan brukes til å kartlegge områder med høyt innhold av radioaktive elementer i jordskorpa. Slike faktorer kan måles fra fly. Den siste oversiktsartikkelen over slike målinger i Norge er ved R. Haeuel, G. Grønlie & K.S. Heier (1979) og er en forsøksvis tolkning av varmestrømningen i Norge.

#### *Geokjemiske metoder*

Et prøvetakningsmedium som med hell er brukt mye i Norge for å kartlegge sekundære dispersjonsmønstre for legeringsmetaller, er bekkersedimenter. Prøven skal inneholde mineral- og bergartskorn med minst mulig tilblending av organisk materiale. Metallioner føres til bekkene med grunn- og overflatevann og adsorberes på overflaten av sedimentkorn i bekken. Ved å bruke et svakt løsningsmiddel vil metallene i overflaten og lett løselige mineraler ekstraheres og metallinnhold i bekkersedimentet kan bestemmes. Mineraler som vil løses i et slikt bekkersediment er vesentlig sulfider og noen oksyder (Bølviken et al. 1977).

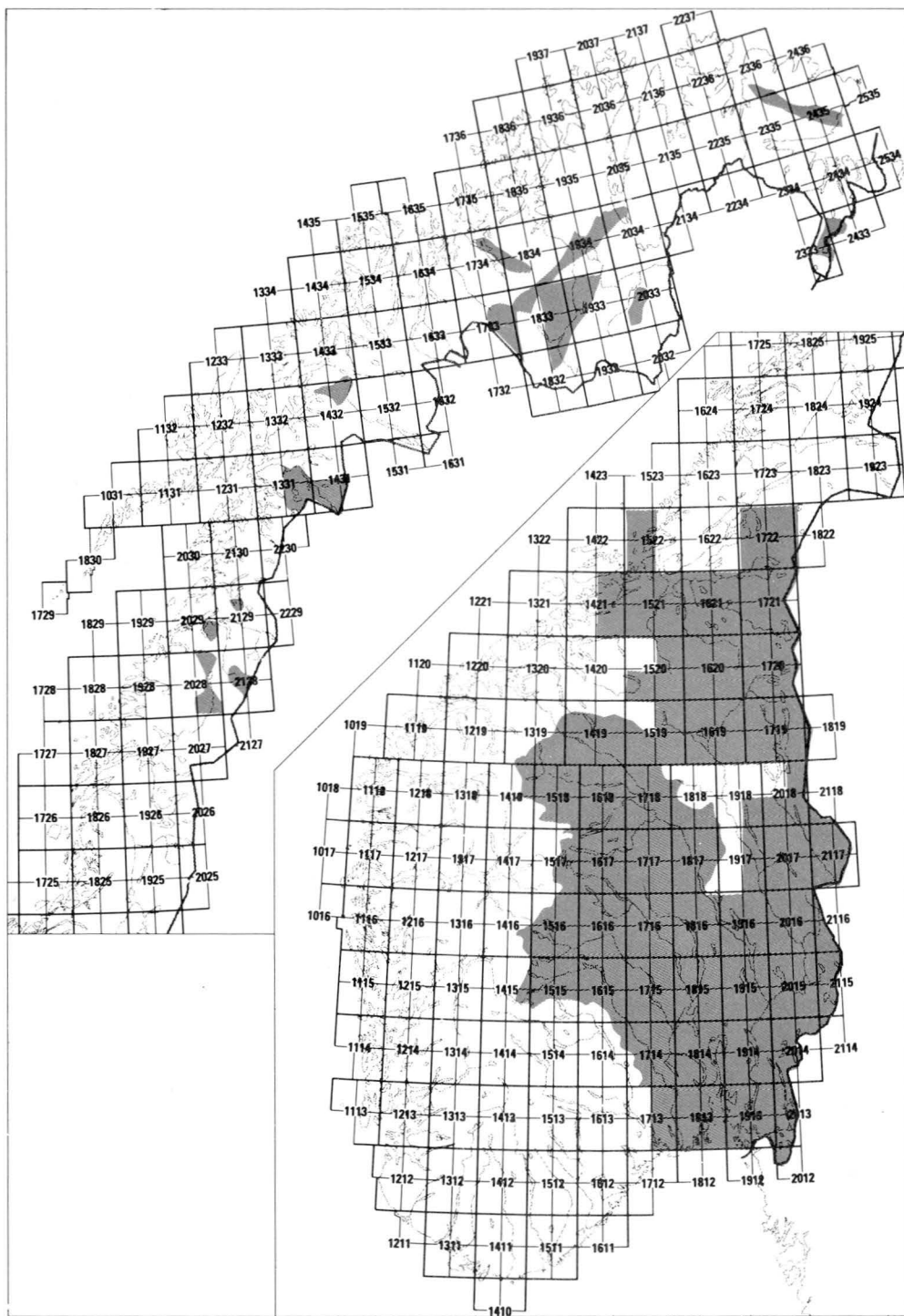


Fig. 10. Oversikt over områder dekket med bekkesedimentprøvetakning hvor prøvene er analysert på uran. Prøvetettheten varierer, men er ens innenfor delområder.

Areas covered with stream sediment samples analysed for uranium. The sampling density varies, but is homogeneous within areas.

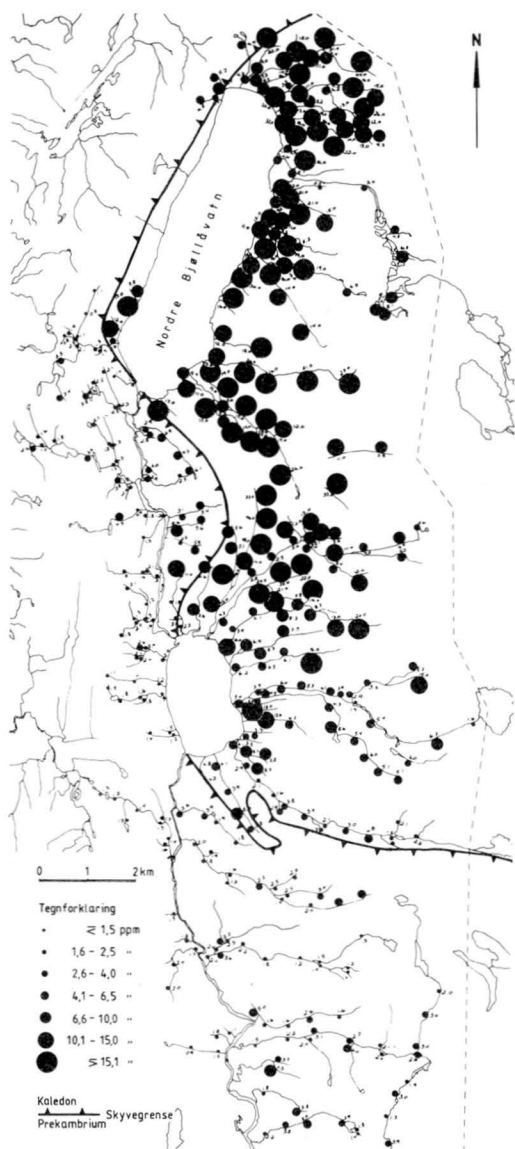


Fig. 11: Bekkesedimentprøver fra Saltfjell-Svartisen-området som er analysert på uran. Uraninnholdet reflekterer uraninnholdet i bergartene.

*Stream-sediment samples from the Saltfjell-Svartisen area analysed for uranium. The uranium content in samples reflects the bedrock geology.*

Uran, som et av de mest mobile elementer under oksyderende overflatenære forhold, skulle ventelig være et utmerket element for geokjemisk prospektering. De sekundære dispersjonsmønstre skulle ventelig være lettere enn andre tungmetaller å spore opp med et glissent prøvetakingsnett. Utenom å eksistere som ioner, kan uran ofte danne komplekse forbindelser som gjør



Fig. 12. Utstyr for måling av radon i jordluft og vann (EDA RD 200). For måling i vann trengs avgassingsenheten i kofferten mens selve måleenheten er til høyre på bildet.

*EDA RD 200 emanometer and degassing unit for measurements of radon in water and soil.*

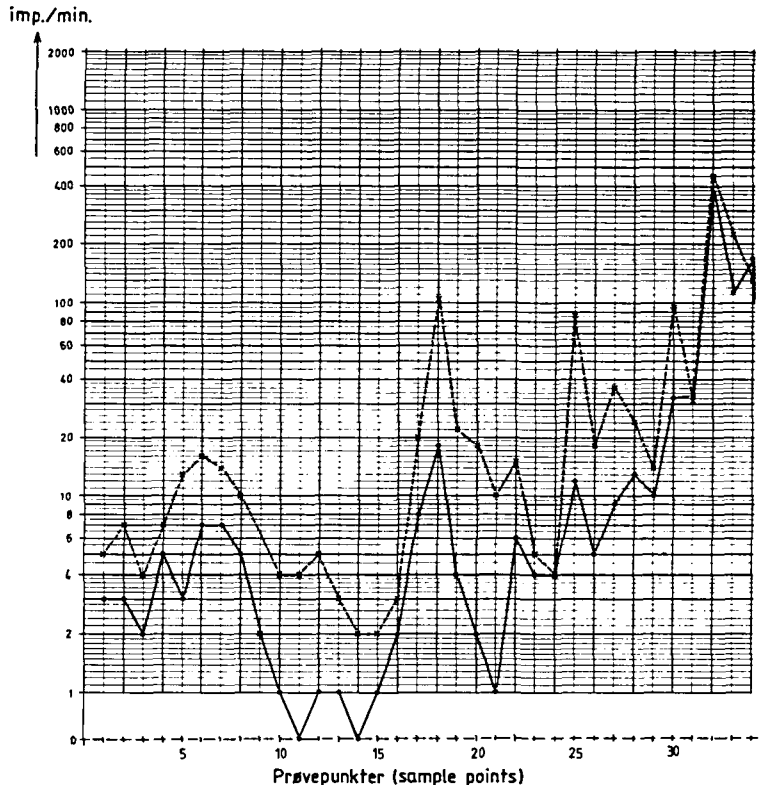
at utfelling av uran i et bekkesediment er avhengig av kjemien i bekken (Lindahl et al. 1979). Karbonatrikt bekkevann vil føre til at uran danner kompleksjoner og holdes løst i vannet. pH og Eh er også av betydning for uranets mobilitet.

I bekkene vil oksyd/hydroksydbelegg på mineraler virke som trekkpapir på uran. Organisk materiale i bekken vil virke på samme måte. Det er derfor spesielt viktig ved sammenligning av analyseresultatene at prøvene har omtrent likt innhold av organisk materiale. Uran vil også kunne anrikes i levende organisk materiale som f.eks. i mose ved oppkomme av grunnvann. Dette er det funnet flere eksempler på, spesielt i Finnmark.

Fra NGU's tidligere undersøkelser er det arkivert tusenvis av bekkesedimentprøver. En billig måte å få fram store mengder data var å ta fram disse prøvene og analysere dem på uran. En ny rutinemetode for urananalyse av bekkesedimenter ble etablert basert på beskrivelse av Smith & Lynch (1969). En del tillempninger av metoden ble gjort og resultatene har vært gode, med god reproduserbarhet. Salpetersyre blir brukt som løsningsmiddel og det er uran som overflatebelegg på korn, i organisk materiale og lett løselig mineraler som påvises. Fra 1975-80 er det totalt analysert ca. 25 000 bekkesedimentprøver etter denne metoden på NGU.

Prioritering blant bekkesedimentprøvene er gjort ut fra geologiske kriterier og ut fra de prø-

Fig. 13: Sammenheng mellom radoninnholdet i bekkevann målt i tidlig juli (heltrukket linje mellom målepunktene verdier) og sent i august (stiplet linje), perioder med henholdsvis mye og lite vann i bekken. Målingene er gjort i en og samme bekk fra dalbunnen (venstre) opp til mineraliseringen (høyre) på Orrefjell i Troms. *Correlation between radon content in stream water measured in early July (line between values in sample points) and late August (dotted line), periods of respectively high and low water flow. The measurements are from one stream from the main valley floor (left) up to the mineralization (right) at Orrefjell, Troms County.*



vene NGU hadde arkivert. De første prøvene som ble analysert er fra fjellkjederanden fra Valdres til svenskegrensen ved Trysil og videre nordover til Sylene, og i Finnmark fra finskegrensen i vest til Porsanger. Prøver fra Saltfjell-Svartisen-området, fra en tektonisk sone som krysser Varangerhalvøya, og fra store områder dekket av annen prospektering eller innenfor NGU's geomedisin program er analysert. Det er stor variasjon i prøvetetthet for de enkelte områdene. I Fig. 10 er det vist dekningsgrad for bekkersedimenter som er analysert på uran.

I Mjøsa-Trysil-distriktet er det funnet gode eksempler på at uran i bekkersedimentene gjenspeiler innholdet i underliggende bergarter. Flattliggende alunskifer på høydedrag i terrenget influerer geokjemien i bekkene som drenerer disse. Nye små felt med alunskifer er funnet med dette. Et annet eksempel hvor bekkersedimentet reflekterer uran i underliggende bergarter er i Saltfjellet-Svartisen-området hvor grunnfjellets granittiske bergarter har et høyere uraninnhold enn de overliggende senprekambriske til ordoviciske bergarter. Dette kommer klart fram som vist på Fig. 11.

Ved geokjemisk prospektering i Sverige brukes organisk materiale fra bekkedanten som prøve-

takningsmedium. Vi har også forsøkt å undersøke forskjellige prøvetakningsmedia (Ofte 1975). Det ble forsøkt sammenligning av vanlig bekkersediment, tungmineral vasket med panne, organisk materiale som svenskene har brukt, mose på steiner i bekken og algevekster i bekken. Resultatet var at en fikk fram omtrent det samme anomalibildet med de forskjellige mediene. Det er enklest prøvetakningsmessig og for behandling av prøvene i laboratoriet å bruke bekkersedimentprøver. Derfor er dette mediet brukt også ved ny bekkersedimentprøvetakning for uran.

Forsøk er også gjort med prøvetakning av bekkevann. Prøvene er hittil analysert på GGU (Grønlands Geologiske Undersøkelse) med et laserindusert spektrometri instrument (Scintrex UA3). Preliminære resultater fra ett forsøksområde tyder på god korrelasjon med bekkersedimentresultatene, men hittil kan ikke endelige konklusjoner trekkes.

Radonmålinger i bekkevann er gjort med bruk av et EDA RD 200 emanometer med en avgasningsenhet. Instrumentet er vist på Fig. 12. Erfaringene med metoden er at resultatene er reproduerbare. Målinger er gjennomført med forskjellige vannføringer i samme bekk. Det er stor forskjell

i de absolutte verdiene som er målt, med markert høyere radoninnhold når vannføringen er liten. Det er likevel en god korrelasjon mellom resultatene som Fig. 13 viser.

Radonmåling i jordsmonn er en oppfølgingsmetode for å følge utgående til mineraliseringer under overdekke. Metoden har mange feilkilder (Dyck 1971) og har en god del begrensninger i anvendelse. Radonmålinger er forsøkt brukt i jordsmonn blant annet i Laksådal i Gildeskål, Nordland, og har her gitt positive resultater. I andre tilfeller er det oppnådd resultater som ikke så lett lar seg tolke.

Møreneprøver er samlet i store områder i Nord-Trøndelag og Finnmark fylker. Disse er analysert på uran. Resultatene har ikke gitt noen markante anomalier og er derfor ikke fulgt opp.

Prøvetakning av innsjøsedimenter er en metode som er brukt i Finland i metall-prospektering inkludert uran (Bjørklund et al. 1976). Metoden er betinget av et jevnt og stort antall innsjøer. I Norge er det ikke så store områder hvor antall og fordeling er slik at det kan gi et jevnt prøvetakningsmønster. Metoden er forsøkt i Norge på den vestre delen av Finnmarksvidda (Ofte 1975), men i så begrenset omfang at det ikke er mulig å dra noen endelig konklusjon for brukbarheten av metoden.

Ved geologiske og geofysiske arbeider slik som radiometriske bilmålinger er det tatt en rekke bergartsprøver, oftest fra anomalier eller anomale områder. Inkludert borkjerner fram t.o.m. 1982 er omkring 2500 prøver analysert på mellom 15 og 20 elementer. Interessante resultater er oppnådd for elementer som niob, molybden, wolfram og tinn i tillegg til uran. Dette er elementer som ofte anrikes sammen med uran og særlig thorium. Radiometriske målinger kan derfor også benyttes ved prospektering etter disse, hvilket vil være et verdifullt biprodukt av uranprogrammet. Dataene vil videre bli brukt i EDB-baserte programmer til å beskrive geokjemiske provinser. Prøvene er analysert i laboratoriet på gammaspektrometer, røntgen (XRF), optisk spektrografi eller atomabsorpsjon (AAS).

## Erfaringer med de forskjellige prospekteringsmetodene

I de fleste prospekteringsopplegg er ressursene begrenset. Dette influerer på valg av metodikk, noe som også har vært tilfelle for NGU's uranprospektering. Områder med god geologisk mulighet for mineraliseringer som kunne ønskes

dekket med effektive kostbare metoder, har hittil ikke vært mulig å undersøke. Filosofien i opplegget har imidlertid vært å innsamle mest mulig data med de midler en har kunnet disponere. Resultatene er framstilt i rapporter som er listet opp i APPENDIKS.

Geologiske modeller for uranforekomster fra globale forhold og erfaringer i Skandinavia er forsøkt utnyttet best mulig. Geologiske kriterier er brukt for å gi prioritet til områder som er undersøkt med andre metoder. Geologisk tenkning har ført til funn av en del nye interessante mineraliseringer de 2-3 siste årene (Lindahl 1983).

Når det gjelder geofysiske prospekteringsmetoder er det en klar konklusjon at i det terrenget vi har i Norge er det i de aller fleste områder nødvendig å bruke helikopter ved målinger fra luften. Det er en ressurskrevende metode, men meget effektiv. De radiometriske bilmålingene har gitt gode resultater mange steder. Det er mulig å avgrense områder som har forskjell i radioaktiv stråling, og det kan ved måling bare av utvalgte veiprofiler være en billig måte å oppnå en preliminær oversikt. Metodens effektivitet avhenger av veinettets tetthet. I Norge veksler dette svært mye fra område til område.

Måling av gammastråling gjøres på de radioaktive isotopene som er spaltingsprodukter fra uran og thorium. En betingelse for å få brukbare resultater er at spaltningsrekken er i likevekt. Det fins eksempler fra andre deler av verden på at dette kan være et problem. Uran i overflaten kan være utlutet mens spaltingproduktene ( $\text{Bi}_{214}$ ) ennå er der. Ved måling av gammastråling i slike tilfeller får vi et bilde av hvor mye uran som var til stede, men samtidig også om hvor mye som kan forventes i underliggende uforvitrede bergarter. Ulikevekt fås også ved fiksering av uran i organisk materiale. Det er ikke med gammastrålemåling mulig å finne uranmengder som finnes i mose på overflaten selv om det kan være betydelige mengder. Spaltningsproduktene som sender ut gammastråler er ennå ikke dannet.

Erfaringene i Norge har vist at det finnes eksempler på ulikevekt, spesielt ved uran i organisk materiale, men i de aller fleste tilfeller fås riktige analyseverdier for uran og thorium i bergarter ved å bruke gammaspektrometeranalyse. For kontroll analyseres imidlertid alle bergartsprøver både med gammaspektrometer og XRF.

De geofysiske metodene som er brukt i Norge er de samme som oftest er brukt i andre land. Det kan nevnes at det i Sverige er brukt radiometriske målinger fra snøscooter (Lundberg 1973). Meto-





rekte på bergarten. Radiometriske målinger skulle i Norge være en god metode å bruke for uran på grunn av den blotningsgraden vi har. Selv om forholdene ligger til rette for direkte målinger er det viktig å vurdere også andre metoder som kan være til stor hjelp.

Et eksempel på hva slags framgangsmåte som er brukt ved arbeidene i Orrefjell-regionen er vist i Tabell 4. Orrefjell-forekomsten var kjent fra 1960-tallet sammen med et par mindre anomalier i området. I 1975 ble en ny anomali funnet i Salangsdalen og regionen ble tatt opp til ny undersøkelse i 1976. Som det går fram av Tab. 4 har de regionalgeologiske arbeidene gått over flere år. En bedre forståelse er vurdert som viktig for å tolke muligheter for nyfunn ut over undersøkelse av selve forekomsten. Dette har ført til ny verdifull geologisk informasjon for Bardu-Salangen-området, bl.a. med oppdagelse av et nytt grunnfjellsvindu, Steinelvsvinduet (Rundberg 1981).

En faktor som er viktig, særlig ved uranprospektering, er saklig informasjon til lokalmiljøet. Dette er forsøkt gjennomført i Salangen med et folkemøte i mars 1981, og med fortløpende orientering til lokalpolitikkerne i vedkommende kommune.

Arbeidene med uranprospekteringen i det igangværende program har gitt oss erfaring under våre geologiske og klimatiske forhold. Analysemetodikk er utviklet, og mulighetene for utnyttelse av en datamengde finnes. For å gjøre en intensiv prospektering er kapasiteten på NGU til stede (Cuney et al. 1981), selv om det kanskje er lite aktuelt i dag å intensivere aktiviteten.

## Oversikt over uranmineraliseringer

Det er gitt forskjellige oversikter over uran og thorium i Norge. Den første av Rosenquist (1948), senere av Siggerud (1956b) og av Sverdrup et al. (1967). Den siste er den mest omfattende. Som et resultat av IUREP-prosjektet er det gitt en oversikt og vurdering av uranpotensialet i Norge (Cuney et al. 1981). Lindahl (1983) har forsøkt å klassifisere de betydeligste mineraliseringene i et av flere moderne forslag til klassifisering (Dahlkamp 1978). I nedenforstående tabell (Tabell 5) er det gitt en oversikt over mineraliseringene i klassifiseringssystemet til Dahlkamp (1978). Det er en tabellarisk oppstilling av det som er beskrevet av Lindahl (1983), som delvis er bygd på spinkelt grunnlag, selv om en del er underbygget med nye dateringer av mineraliseringene slik som Bagn, Orrefjell, Harelifjell og

Tabell 5: Klassifisering av uranmineraliseringer i Norge. *Classification of uranium mineralizations in Norway.*

Forekomststype	Mineralisering	Vertsbergart/Miljø
SEDI-MENTÆR	Rensdalsvik i Nordland Elsjøfeltet i Oslo-feltet	Grafittskifer Alunskifer
EFFUSIV	Finnmarksvidda Høgtuva i Nordland (?) Sæteråsen i Vestfold	Albittfels (Cu, Mo ± Au) Middelskornig gneis Traktyttisk lava (Nb, Th, REE)
INTRUSIV	Orrefjell i Troms Nordlige Nordland  Iddefjord-Flå beltet, Sør-Norge Einerkilen, Bagn, Vats etc. i Sør-Norge Fens-feltet i Telemark	Alskittpegmatitt Granitter (1700-1900 m.a.) Granitter  Pegmatitter  Karbonatitt (Nb, Th, REE)
KONTAKTMETA-SOMATISK	Ingen kjent	Vanligst kalksilikater
METAMORF	Porsa i Finnmark  Kvaløy i Troms  Berg i Troms Storjord i Nordland  Harelifjell i Nordland	Gang som krysser kisforekomst i grønnstein Skjærsoner i granittisert område Sulfidmineralisering Amfibolitt i granittområde Middelkornig granitt-aplitt

Berg. Detaljerte geologiske og geokjemiske arbeider pågår på noen av mineraliseringene og nye data vil komme. Dette kan føre til endringer i den oppsatte klassifikasjon.

I etterfølgende oversikt er de viktigste uranmineraliseringene listet opp med de viktigste litteraturhenvisninger. Rekkefølgen er satt opp fra nord til sør i landet. For plotting av mineraliseringene henvises til Fig. 5.

*Porsa i Kvalsund kommune* er en gangforekomst i de prekambriske bergartene i Komagfjordvinduet, avsatt hydrotermalt der hvor gangen krysser en sulfidmineralisering. De hydrotermale løsningene er dannet ved metamorfe prosesser (Krause 1980).

*Njallaav'zi i Nordreisa kommune* ble funnet og beskrevet av Gjelsvik (1957). Senere er forekomsten undersøkt og av Thorkildsen (Sverdrup et al. 1967), Lindahl (1976), Often (1978), Fareth et al. (1977), Lindahl et al. (1979) og Lindahl (1983). Uranmineraliseringen er lokalisert på grensesonen mellom en antatt arkeisk domstruktur og et smalt grønnsteinsbelte. Vertsbergartene til mineraliseringen er breksiert albitt-doleritt, breksiert syenitt og karbonatrik breksje. Bergartene er hydrotermalt omvandlet med dannelse av hematitt og karbonat. De siste undersøkelsene tyder

på at forekomsten har supergen opprinnelse (Lindahl 1983).

*Kvaløy (Middagskarhøgda) i Tromsø kommune* ble funnet og undersøkt av Skjerlie på midten av 1950-tallet (Sverdrup et al. 1967). Regionen og selve mineraliseringen på Middagskarhøgda er senere undersøkt i større detalj (Thorkildsen & Hatling 1977). Hovedmineraliseringen opptrer i en skjærsone i et granittisert område og er av Lindahl (1983) tolket som metamorft dannet. I tillegg er det på denne delen av Kvaløya registrert radiometriske punktanomalier knyttet til pegmatitter.

*Orrefjell i Salangen kommune* ble funnet av en lokal prospektør på slutten av 1950-tallet, og ble senere undersøkt av NGU, (Sverdrup et al. 1967, Øvereng 1969). Ny interesse ble fattet for området på midten av 1970-tallet og en regional geologisk undersøkelse gjort (Rundberg 1981, Rindstad 1980, 1982). Forekomsten sitter i en lys granittisk pegmatitt (alaskitt-pegmatitt) på grensen mot kaledonske bergarter. Den intrusive vertsbergarten og mineraliseringen har prekambrisk alder (Lindahl 1983). Forekomsten er å klassifisere som intrusiv i Dahlkamps (1978) system. Omfattende ny informasjon vil bli publisert om forekomsten i nær framtid.

*Berg i Kvæfjord kommune* ble oppdaget i 1977 i forbindelse med undersøkelse av statens bergrettigheter omkring Berg-gruva som ble drevet på kobber. Mineraliseringen er beskrevet av Often (1982) og er av Lindahl (1983) klassifisert som metamorf. Uranet er knyttet til sulfidmineraliseringen i bergarter som består av sure til intermedieære gneiser og vulkanitter tolket som agglomerater.

*Storjord i Tysfjord kommune* ble funnet i forbindelse med pegmatittundersøkelser i området. Mineraliseringen opptrer i tilknytning til en amfibolitt i grunnfjellet i Tysfjordområdet. I amfibolitten opptrer også en liten magnetittforekomst. Flere radiometriske anomale områder finnes for øvrig i Tysfjordkullminasjonens granittiske bergarter.

*Hareliffjell i Sørfold kommune* ble funnet i forbindelse med undersøkelse av statens bergrettigheter i 1981. Forekomsten opptrer langs en sprekkesone avsatt av hydrotermale løsninger. Vertsbergarten er en lys granitt-aplitt av prekambrisk alder, men de malmdannende løsningene ble sannsynligvis dannet ved metamorfose i kaledonsk tid (Lindahl 1983).

*Oterstrand-Laksådal i Gildeskål kommune* er betegnelse på to molybdengruver som ble drevet i et visst omfang fram til siste verdenskrig. Midt

på 1950-tallet fant Gjelsvik at molydenmineraliseringene også var anrikt på wolfram og uran. Det vesentligste av urananrikningene er knyttet til de molybdenførende pegmatittene i kaledonske skifre over grunnfjellet. Granitten i grunnfjellsvinduet har anomalt høyt innhold av uran, og i denne er det funnet 3–4 mm store uranittkrystaller og punktanomalier. Området er undersøkt i regi av uranprogrammet (Lindahl 1977) og senere med omfattende arbeider i forbindelse med undersøkelse av statens bergrettigheter (Lindahl & Furuhaug 1977, Often 1980).

*Rendalsvik i Meløy kommune* er en høymetamorf grafittforekomst som i forbindelse med undersøkelser tidlig på 1950-tallet ble funnet å være radioaktiv. Områdets geologi er beskrevet av Skjeseth & Sørensen (1953). Senere er forekomsten undersøkt i forbindelse med undersøkelse av statens bergrettigheter (Gust & Thoresen 1981). Forekomsten er klassifisert som sedimentær, med høy metamorfosegrad (Lindahl 1983).

*Høgtuva i Mo i Rana kommune* ble funnet i 1981. Uran er anrikt i en middelkornet gneis av granittisk sammensetning. Bergarten er ikke tilstrekkelig undersøkt til å tolke hvordan den er dannet. Som et forslag til klassifisering er den antatt av Lindahl (1983) å ha effusiv opprinnelse. I tillegg til uran inneholder mineraliseringen anomale verdier av niob, sjeldne jordarter og tinn.

*Bagn i Sør-Aurdal kommune* ble funnet av NGU i 1980 i forbindelse med oppfølging av resultatene fra urananalyse av tidligere innsamlede bekkesedimenter. Arbeidene med beskrivelse av mineraliseringen pågår. Den opptrer i en pegmatitt og også andre pegmatitter i området er tildels radioaktive. Mineraliseringen tilhører en sen fase av de granittiske intrusjonene i området (Lindahl 1983).

*Elsjø-feltet i Nannestad og Nittedal kommuner* er et felt med alunskifer omgitt av permiske intrusiver. Alunskiferens uraninnhold langs Oslofeltet er undersøkt og beskrevet av Rosenquist (1948) og Skjeseth (1958). Elsjøfeltet er kjent for sine skarnforekomster med sink, som det ble drevet gruvedrift på. Feltet er undersøkt detaljert i forbindelse med undersøkelse av statens bergrettigheter (Olerud 1982).

Elsjø-feltet er den hittil mest økonomisk interessante del av alunskiferen langs Oslofeltet fordi den her er tektonisk fortykket. Forekomsten er av sedimentær type (Lindahl 1983).

*Pegmatittene i SV-Norge* er av uranprogrammet ikke undersøkt enkeltvis, men regionen er målt radiometrisk fra bil. Pegmatittene i Einer-

kilen i Evje kommune, Tors gruve i Vats og Auselmyra i Tvedestrand kommune er fra tidligere kjent for sitt uraninnhold (Rosenquist 1948, Siggerud 1956b og Sverdrup et al. 1967).

*Øksnanuten i Sandnes kommune* ble oppdaget på midten av 1950-tallet av en privatmann, og senere undersøkt av NGU blant annet med diamantboringer (Sverdrup et al. 1967). Mineraliseringen er knyttet til kvartssårer i en ultramafisk bergart (Hysingjord 1980), og er dannet ved metamorf mobilisering og avsetning der en har geokjemisk kontrast mellom den ultramafiske bergarten og gneisene rundt.

*Säteråsen i Hedrum kommune* ble funnet ved NGU's flymålinger og ble først fulgt opp med prøvetakning og kartlegging (Hysingjord 1975). Senere er detaljkartlegging og prøvetakning med diamantboringer gjort (Ihlen 1981, 1983). Forekomsten er i hovedsak en niob-forekomst med sjeldne jordarter, men har i tillegg noe thorium og uran. Forekomsten er en lavastrøm som er sterkt differensiert, med traktyttisk sammensetning (Ihlen 1983) og er en effusiv forekomsttype.

#### ETTERORD

Forfatteren har fått hjelp og bistand hos en rekke personer ved NGU som det rettes takk til. G. Grønli, L. Furuhaug, A. Hemming og I. Lundquist har tegnet figurene som L. Holiløkk har stått for den tekniske framstilling av. H. Håbrekke har bidratt med opplysninger om NGU's helikoptermålinger og F. Berge har hjulpet til med innsamling av en del informasjon. A. Bjørlykke, K.S. Heier og H. Lindahl har lest manuskriptet og bidratt med konstruktiv kritikk. C.O. Mathiesen og D. Roberts har korrigert og forbedret den engelske teksten. G. Sandvik har maskinskrevet teksten og korrigert den flere ganger på tekstbehandlingststyr.

## Summary

For the benefit of the non-professional public, the first part of this paper is devoted to a simplified description of radioactivity, measurement of radiation, and hazards arising from natural radioactive sources. The paper then discusses experience gained from geological, geophysical and geochemical methods used in Norway in exploration for uranium, and concludes with short descriptions of uranium localities investigated, including references to literature resulting from this work. This summary in English concentrates on uranium exploration in Norway and a discus-

sion regarding the prospecting methods employed.

#### Introduction

Early in the last century geologists and mineralogists became interested in the pegmatites in the Precambrian shield of southern Norway because of their many rare minerals, commonly developed as large idiomorphic crystals. Several new minerals were identified and described from these deposits, some of them containing uranium and thorium. Minerals with uranium and thorium as main constituents were also recognized. Quartz and feldspar were extracted from small quarries in the pegmatites. Uranium was a by-product at a few of them and used mostly as a glass-colouring agent.

After World War II, previously known occurrences of uranium-bearing minerals in southern Norway were re-examined. Drilling programmes were conducted on the Einkerilen and Vats pegmatites in Telemark and Rogaland, and on the alum shale in the Oslo region (Rosenquist 1948). The Norwegian Defence Research Establishment (FFI), the Joint Establishment for Nuclear Energy Research (IFA) and the Geological Survey of Norway (NGU) were involved in this work. This intensive prospecting campaign culminated in 1951 when IFA contracted for the supply of uranium to their experimental reactor (Sverdrup et al. 1967).

In the 1950's there was a boom for uranium among amateur prospectors. A minor programme was initiated at NGU in 1954 (Sverdrup et al. 1967), and systematic work was carried out throughout the country. The activity slowed down towards the end of the 1950's, and by the end of the 1960's prospecting activity was very limited.

An attempt to evaluate the possible and speculative resources of uranium in Norway was made in 1975 (NOU 18:1972). The potential for economic uranium mineralization in Norway was regarded as small. However, in comments to this publication NGU pointed out that the conclusions had been based on very limited background information.

The present uranium exploration programme at NGU commenced in 1975. Geological reasoning indicated the possibility of finding resources of uranium to be good. Since 1975 a small prospecting effort has been in progress. In addition, NGU has evaluated specific occurrences on behalf of the USB programme (Investigation of state-owned mining claims).

One of the aims of the Ore Section at NGU is to estimate the resources of metallic elements in Norway, among them uranium and thorium. No mining company or other institution has prospected for uranium, and therefore most of the information on uranium and thorium in Norway has been collected by and is recorded at the Survey. There has been close contact between Norway and the UN-body IAEA (International Atomic Energy Agency), the IEA (International Energy Agency) and the OECD/NEA (Nuclear Energy Agency). The problems with uranium supply in the 1970's resulted in the creation of IUREP (International Uranium Resources Evaluation Project).

The IUREP-report from the 'orientation phase' was completed in 1978, a report signed by a joint steering group on uranium resources from OECD/NEA and IAEA. Countries with different potentials for uranium deposits were grouped; Norway was assigned to the group designated as 'Countries with good potential where exploration is to be encouraged'. The IUREP programme offered expert missions to countries falling in this classification. Norway welcomed experts financed by the IUREP-programme, who visited the Survey early in 1980 and participated in a two-week field trip in the summer of 1980. The IUREP mission resulted in a report by the three experts, M. Cuney from CREGU (Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium), France, D.M. Taylor, secretary to OECD/NEA, and M. Wilson, head of the uranium prospecting group at SGU (Geological Survey of Sweden), Sweden (Cuney et al. 1981).

#### *Prospecting methods*

Financing for uranium exploration has been limited. This has influenced the choice of areas for investigation and the methods used. This has been the case especially for geochemical methods, where stream sediment samples collected mainly in other programmes have been analysed for uranium.

#### *Geological methods*

Lindahl (1983) has presented an account on the geological models and of the philosophy used at NGU in prospecting for uranium. The main lines of modelling have been to draw parallels from knowledge on a global scale, with special attention paid to experience from neighbouring countries, Finland and particularly Sweden, where intensive uranium prospecting has been carried out.

Some environments or situations considered to be worth studying were:

- geological age discontinuities of different ages; the main items being the disconformity above Archaean basement, and sequences of Vendian, Silurian and Devonian rocks overlying Proterozoic rocks of different ages.
- tectonic discontinuities, especially where reactivated.
- granitoid rocks of different ages.

#### *Geophysical methods*

Norway with its continental shelf was covered by fixed wing airborne magnetic surveys during the 1960's by NGU. On approximately 25% of the flights over land a total-count instrument with crystal size 4" x 7" (1½ litre) was used. The average ground clearance was 150 m, and line spacing 500 m or 1 km. As could be expected, only a few map sheets gave anomalies (Fig. 6).

Since 1975 a gamma spectrometer has been used in combined helicopter-borne surveys flown by NGU. The crystal volume used in the period 1975-80 was 450 cubic inches (7 litres) in 4 crystals, and from 1981 a crystal volume of 1024 cubic inches (16 litres). Three channels together with the total-count gamma spectrum are recorded. The areas covered are shown in Fig. 6. Other techniques employed in most areas include magnetics, EM and VLF. Line spacing is normally 200-250 m in some preliminary surveys 500 m and 1 km. By the end of 1982 a total of approximately 65,000 line km had been flown by helicopter. Table 2 shows the volume of helicopter surveys each year, financed by either prospecting companies (60%) or the government (40%).

Because of the rugged terrain, survey by helicopter rather than fixed wing aircraft is necessary in most parts of Norway. Normally the speed is 100 km/h, profile spacing 200-250 m, and ground clearance 60 m (200 feet). A radar altimeter registers ground clearance, and a tracking camera and topographic maps (1:20,000) are used for location. The data are recorded on tape and processed at NGU. The results can be presented in contour maps with or without colours, or as profile maps. An example of a profile map has been given by Lindahl et al. (1979), and a contour map is shown in Fig. 7.

Car-borne radiometric surveys have been performed systematically from 1975 to 1980 with a crystal of 4"x7", alternatively 75 mm x 35 mm, recording the gross count gamma radiation with an Esterline Angus chart recorder. From 1981 a 450 cubic inch crystal attached to a spectrometer

with four channels has been used in such surveys with the capability of recording the four channels on a chart recorder. The surveys are made in both directions, at a speed of 45 km/h, with the crystal on the right-hand side of the car, 1–1.5 m above the road. The coverage of this type of measurement is shown in Fig. 8. Much of the country has been covered, though the density of roads varies greatly; on some map sheets there are only a few km of roads, on others many hundreds.

The survey results are plotted on topographic maps (scales 1:50,000 and 1:250,000). Each anomaly with radiation above a certain limit (hand instrument) is given an anomaly number and described. 200–300 anomalies have been described in reports from the uranium programme. As a curiosity it can be mentioned that the same equipment has also been used on trains. The main railway lines have been covered, and some interesting new information was gained.

Hand instruments used at NGU are of the type 'Knirps' (crystal size 25 mm x 25 mm) from Gewerkschaft Brunhilde (7), and Saphymo SPP-2-NF (crystal size 1" x 1") (2) scintillometers. Older instruments from Laboratorium Dr. Berthold are used as spares. All the measured values for radiation are translated to Saphymo 2PP-2-NF units, given in impulses/second (i/s). The measuring conditions are kept constant, as far as possible, by placing the crystal end of the instrument on a flat part of the outcrop. A hand instrument of the 'Knirps' type is shown in Fig. 9.

Uranium, thorium and potassium (and radioactive isotopes) are the only elements that can be measured directly because of their radiation. Other geophysical methods can be used indirectly in uranium prospecting, as for other metals. EM and VLF methods can be used to map tectonized or altered zones. Where uranium occurs together with sulphides, geophysical EM anomalies can be used. Magnetic surveys can define areas of magnetite alteration due to hydrothermal processes which may also form uranium deposits. Other traditional geophysical methods can also be used in mapping geological structures favourable for uranium deposition. All methods must be considered in uranium prospecting.

The radio-elements in the crust produce heat. Studies of heat flow in Precambrian granites have been made by Killeen & Heier (1975a). This is a method which should also be considered in prospecting.

#### *Geochemical methods*

The initial task was to collect as much infor-

mation as economically as possible. NGU has on store many thousand stream sediment samples from various parts of the country collected in connection with base metal prospecting. These samples had not been analysed for uranium, and a new routine for analysing this element was thus initiated. The fluorimetric method based on descriptions by Smith & Lynch (1969) and Pakalns (1970), with some modifications, was chosen. Nitric acid is the dissolving agent, and only uranium contained in grain coatings, organic matter, or certain minerals is dissolved and can be detected, as has been confirmed by tests. This routine analytical process has worked very well, and from 1975 to 1980 around 25,000 stream sediment samples have been analysed.

Geological modelling was used to establish priorities in the programme. The first samples re-analysed were from the area of the Caledonian front from Valdres to the Swedish border in Trysil and north to Sylene, and in Finnmark from the Finnish border to Porsanger. Samples from the Saltfjell–Svartisen area, from a tectonic zone crossing the Varanger peninsula in Finnmark, and from other extensive areas sampled either for exploration reasons or in a geomedicine programme have also been analysed. A compilation of the areas analysed is shown in Fig. 10, although with large differences in sample density.

Experience from the use of stream sediment methods for uranium prospecting is generally good, though there are some weaknesses. In our programme reasonable explanations for all anomalies in stream sediments have been found. A stream sediment sample with small amounts of organic matter can give a reliable result, while higher organic contents can give completely uncomparable results. The ability of uranium to concentrate in organic matter is even more marked than for other heavy metals.

Uranium is a very mobile element and is easily dissolved in surface water or groundwater, but it is also easily reprecipitated in organic matter. False anomalies thus occur in humus-rich areas, and can be identified as such by noting the terrain. In flat areas with moss and slowly running streams it is difficult to obtain sediment samples without considerable organic matter. False anomalies are also found in streams where the mineral grains are coated with iron-manganese hydroxides, as for example is common in parts of Finnmarksvidda.

In the Mjøsa–Trysil district there are good examples of uranium anomalies in stream sediments which reflect the character of the bed-

rock. Flat-lying areas of alum shale on the tops of hills influence the geochemistry of the drainage system. Previously unknown small areas of alum shale have been found by this method. Another example where the stream sediment geochemistry of uranium clearly reflects the geology is in the Saltfjell-Svartisen area in Nordland, where the basement granitic rocks have a higher uranium content than the overlying Late Precambrian to Ordovician rocks. This is reflected in the stream sediment map shown in Fig. 11.

Sampling of other media in streams has been tried (Often 1975, Lindahl et al. 1979), but it was found that mineralogical stream sediments are easiest to collect and most abundant in our type of terrain. Sampling of stream water has been tried. Samples have been analysed for uranium at GGU (Geological Survey of Greenland) by the laserinduced spectrometry method (Scintrex UA3 instrument). Preliminary results show good correlation with the stream sediment method. Registration of radon in stream water, using an EDA RD 200 emanometer and a degassing unit, has also been used (Fig. 12). Experience with this method is good and results can be reproduced. Measurements repeated at different times with different amounts of water flow show good correlation (Fig. 13), but there is a large divergence in values registered, with a markedly higher radon content when the flow of water is small.

Till samples have been collected systematically in large areas of Finnmark and Nord-Trøndelag counties, either for base metal and precious metal exploration or for agricultural reasons. These samples have been analysed for uranium. We have not yet studied the results in detail, and have therefore not been able to draw any conclusions for this method. Radon measurements in soil using the EDA RD 200 instrument have given positive results, for example at Laksådal in Gildeskål, Nordland. In other cases results not easily understood were obtained. The method is known to involve many errors (Dyck 1972), and is thus of restricted use.

Several types of bedrock sampling have been used in anomalous areas; surface sampling on systematic grids, and drill cores. Up to and including 1982, approximately 2,500 samples have been analysed at NGU for between 15 and 20 elements (Table 3). This data has been and will be used in future to define provinces of interest, also for elements other than uranium. This valuable background information is treated by ADP. Interesting results have been obtained for elements such as Ag, Nb, Mo and Sn, thus allowing

an evaluation of other elements in addition to uranium, a valuable spin-off of the programme. The 15–20 elements are analysed by gamma spectrometry, XRF, optical spectrography, or AAS. Some elements have been analysed by two methods. An overview of these elements is given in Table 3.

## Litteraturreferanser

- Adamek, P. M. & Wilson, M. R. 1979: The evolution of a uranium province in northern Sweden. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 291, 355–368.
- Barbier, M. J. 1974: Continental weathering as a possible origin of vein-type uranium deposits. *Mineral. Dep.* 9, 271–288.
- Bjørklund, A.J., Tenhola, M. & Rosenberg, R. 1976: Regional geochemical uranium prospecting in Finland. In: Exploration for uranium ore deposits. - Proceedings IAEA-symp. Vienna 29.3.–2.4.76, 283–295.
- Bjørlykke, A. 1977: Om blyforekomster i Eokambriske/Kambriske sandsteiner på det Baltiske Skjold. In: Bjørlykke, A., Lindahl, I. & Vokes, F. M., eds. Kaledonske Malmforekomster: BVLI-Malmsymposiet, 72–76.
- Bølviken, B., Band, R., Hollander, N.B. & Logn, Ø. 1977: Geokjemi i malmleting. *BVLI, Tekn. rapp.* 41, 149 pp.
- Cuney, M., Taylor, D. M. & Wilson, M. 1981: IUREP-Orientation phase report, NORWAY. IUREP-report 1981, 102 pp.
- Dahlkamp, F. J. 1978: Classification of uranium deposits. *Mineral. Dep.* 13, 83–104.
- Darnley, A.G. 1982: 'Hot' granites: Some general remarks. In: Uranium in granites. Proceedings of a workshop held in Ottawa, Ontario, 25-26 nov. 1980. Ed Y.T. Maurice, 1–10.
- Dyck, W. 1972: Radon methods of prospecting in Canada. In 'Uranium prospecting Handbook', eds. Bowie, S.H.U., Davies, M. & Ostle, D., Inst. Min. Met., 213–243.
- Fareth, E., Gjelsvik, T. & Lindahl, I. 1977: Cier'te. Description to map sheet 1733 II – 1:50 000. *Nor. geol. unders.* 331, 28 pp.
- Gjelsvik, T. 1957: Pitchblende mineralization in the Precambrian plateau of Finnmarksvidda, Northern Norway. *Geol. Fören. Stockh. Förh.* 572–580.
- Gust, J. & Thoresen, H. 1981: Radiometriske målinger og prøvetakning i Rendalsvik grafittfelt, Meløy, Nordland. Upubl. NGU-rapp. nr. 1650/59A, 16 pp.
- Haeuel, R., Grønlie, G. & Heier, K.S. 1979: Terrestrial heat flow – determination in Norway and an attempted interpretation. In: Terrestrial heat flow in Europe: Ed. V. Cermak & L. Rybach. Springer Verlag, 232–239.
- Hysingjord, J. 1975: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet, IV. Upubl. NGU-rapp. nr. 1249, 8 pp.
- Hysingjord, J. 1980: Øksnanuten uranforekomst. Upubl. NGU-rapp. nr. 1416/22, 12 pp.
- Ihlen, P. 1982: Sæteråsen niob-forekomst. Upubl. NGU-rapp. nr. 1800/76A, 11 pp.
- Ihlen, P. 1983: Geologiske og petrokjemiske resultater fra diamantboring på Sæteråsen niob-forekomst. Upubl. NGU-rapport nr. 1800/76B, 20 pp.
- Killeen, P.G. & Heier, K.S. 1975a: Radioelement distribution and heat production in Precambrian granitic rocks, southern Norway. *Skr. Norske Vidensk.-Akad. i Oslo, Mat.-Naturv.* 35, 32 s.
- Killeen, P. G. & Heier, K. S. 1975b: A uranium and thorium enriched province of Fennoscandian shield in Southern Norway. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 39, p. 1515–24.

- Killeen, P. G. & Heier, K. S. 1975c: Th, U, K and heat production measurements in Ten Precambrian granites of the Telemark area, Norway. *Nor. geol. unders.* 319, 59–82.
- Krause, M. 1980: Some uranium mineralizations in the Raipas Suite of the Komagfjord tectonic window, Finnmark, Norway. *Nor. geol. unders.* 355, 49–52.
- Lindahl, I. 1976: Prospektering på kartblad Čier'te 1974. Upubl. NGU-rapp. nr. 1243/1A-I, 18 pp.
- Lindahl, I. 1977: Radiometriske bilmålinger og radiometriske målinger i Gildeskål-Meløy-området. Upubl. NGU-rapp. nr. 1389/4, 16 pp.
- Lindahl, I. & Furuhaug, L. 1977: Malmprospektering, Oterstrand-Laksådal. Upubl. NGU-rapp. nr. 1430/20A, 14 pp.
- Lindahl, I. & Heier, K. S. 1977: Possible uranium mineralizations in the light of recognized geological and geotectonic structures in Norway. In: 'Recognition and evaluation of uraniferous areas' IAEA, 123–129.
- Lindahl, I., Bergström, B., Fareth, E. & Often, M. 1979: Heavy metal exploration in the western part of Finnmarksvidda, northern Norway. In: Prospecting in areas of glaciated terrain 1979. Inst. Min. Met., 59–66.
- Lindahl, I. 1981: Resultater og erfaringer fra undersøkelse av statens bergrettigheter (USB). *Nor. geol. unders. Årsmelding 1981*, 37–41.
- Lindahl, I. 1983: Classification of uranium mineralization in Norway. *Nor. geol. unders.* 380, 125–142.
- Lindroos, H. & Smellie, J. 1979: A stratabound uranium occurrence within Middle Precambrian ignimbrites at Duobblon, northern Sweden. *Econ. Geol.* 74, 1118–1130.
- Lundberg, B. 1973: Exploration for uranium through glacial drift in the Arjeplog district, northern Sweden. In: Prospecting in areas of glaciated terrain. Ed. M.J. Jones, Inst. Min. Met. 31–43.
- Myran, T. 1973: Radonmålinger i Norske Gruver. *BVLI Tekn. rapp.* 27, 91 pp.
- Nielsen, B.L. & Steenfelt, A. 1977: Distribution of radioactive elements and the recognition of uranium mineralizations in East Greenland. In 'Recognition and evaluation of uraniferous areas' -IAEA, 87–105.
- Often, M. 1975: Geokjemisk U-prospektering i Njallaav'zi, Nordreisa, Troms. Upubl. Diplomavhandl. NTH, Trondheim, 65 pp.
- Often, M. 1980: Gruvegeologiske undersøkelser i Laksådal og Oterstrand gruver. Upubl. NGU-rapp. nr. 1575/20 E, 15 pp.
- Often, M. 1982: Geologiske undersøkelser og diamantboring ved Berg Gruve. Upubl. NGU-rapp. nr. 1575/1B, 19 pp.
- OECD/NEA-IAEA 1982: Uranium Exploration methods. Proceedings fra Symposium i Paris, 1.–4. juni 1982, 979 pp.
- Olerud, S. 1982: Elsjøfeltets geologi, tektonikk og innhold av sporelementer i Kambro-Ordoviciske skifre. Upubl. NGU-rapp. nr. 1650/16D, 49 pp.
- Pakalns, P. 1970: Fluorimetric determination of uranium. Austr. Atomic Comm. Energy Research Establishment, Symp. 7.–8. mai 1970.
- Rindstad, B.I. 1980: Geologiske undersøkelser av Orrefjell og Leirvassfjell. Upubl. NGU-rapport nr. 1750/48C, 9 pp.
- Rindstad, B. I. 1982: Geologiske undersøkelser på Orrefjell. Upubl. NGU-rapp. nr. 1800/48D, 12 pp.
- Robertson, D.S. 1974: Basal Proterozoic units as fossil time markers and their use in uranium prospecting. IAEA-symp.: Formations of Uranium ore deposits, Athens 1974, (748 pp), 495–512.
- Rosenquist, I. 1948: Uranforekomster i Norge. *Tidsskr. Kjemi, Bergvesen og Met.* 7, 116–119.
- Rundberg, Y. 1981: Geologisk kartlegging i Leirvassfjell-Orrefjellområdet. Upubl. NGU-rapp. nr. 1800/74D, 34 pp.
- Siggerud, T. 1956a: Uran og uranletning. *Nor. geol. unders. Småskrifter* nr. 6, 61 pp.
- Siggerud, T. 1956b: The occurrence of Uranium and Thorium in Norway. Proc. Int. Conf. on Peaceful use of Atomic Energy, Geneve, 8.–20. aug. 1955, 6 UN, 178–182.
- Skjeseth, S. & Sørensen, H. 1953: An example of granitization in the Central zone of the Caledonides of Northern Norway. *Nor. geol. unders.* 184, 154–187.
- Skjeseth, S. 1958: Uran i kambrisk alunskifer i Oslofeltet og tilgrensende områder. *Nor. geol. unders.* 203, 100–111.
- Skålvoll, H. 1971: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart KARASJOK 1:250,000. *Nor. geol. unders.*
- Smith, G.M. & Lynch, J.J. 1969: Uranium in soil, stream sediment and water. *Geol. Survey Canada, Paper* 69–40, 9 pp.
- Sverdrup, T. L., Thorkildsen, C. D. & Bjørlykke, H. 1967: Uran og thorium i Norge. *Nor. geol. unders.* 250A, 31 pp.
- Thorkildsen, C.D. & Hatling, H. 1977: Radiometriske målinger på Kvaløya, Troms. Upubl. NGU-rapp. nr. 1282, 10 pp.
- Tveten, E. 1978: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart SVOLVÆR 1:250,000. *Nor. geol. unders.*
- Øvereng, O. 1969: Radiometrisk undersøkelse av Orrefjell uranforekomst. Upubl. NGU-rapp. nr. 939H, 14 pp.

## Appendiks: Oversikt over rapporter utgitt av NGU's uranprosjekt av 1975–1982

### Appendix: Reports from the uranium programme in the period 1975–1982.

#### 1975

- Radiometriske bilmålinger og uranundersøkelser i Troms og Finnmark. Rapp. nr. 1389/1.
- Radiometriske bilmålinger og radiometriske målinger i Ofoten og Skjomen. Rapp. nr. 1389/2.
- Radiometriske bilmålinger i Tysfjord-Hamarøy-området. Rapp. nr. 1389/3.
- Radiometriske bilmålinger og radiometriske målinger i Gildeskål-Meløy-området. Rapp. nr. 1389/4.
- Radiometriske bilmålinger og radiometriske målinger i Nordli-Sørli-området. Rapp. nr. 1389/5.
- Radiometriske bilmålinger i Sør-Trøndelag-Nordfjord. Rapp. nr. 1389/6.
- Radiometriske bilmålinger i Modum-Flå-området. Rapp. nr. 1389/7.
- Radiometriske bilmålinger i Setesdals-området. Rapp. nr. 1389/8.
- Radiometriske bilmålinger på Sørlandet og radiometriske målinger i Telemark. Rapp. nr. 1389/9.
- Radiometriske målinger i Uranprosjektets regi 1975. Samle-rapport. Rapp. nr. 1389/10.
- Notater fra 1–8 fra oppstartning av uranprosjektet. Rapp. nr. 1389/11

#### 1976

- Radiometriske bilmålinger i Bardu-Salangsaldalen, samt radiometriske målinger fra helikopter og på bakken på Orrefjell, Troms. Rapp. nr. 1416/1.
- Uranundersøkelser i Skjomen-området, Nordland. Rapp. nr. 1416/2.
- Radiometriske bilmålinger på Andøy, Nordland og Ringvassøy, Troms. Rapp. nr. 1416/3.
- Geologisk-radiometrisk undersøkelse av Dividalgruppen i Nordland og Troms. Rapp. nr. 1416/4.



Radiometriske bilmålinger i Nord-Oppland. Rapp. nr. 1416/5.  
 Radiometriske bilmålinger og oppfølging av geokjemiske anomalier i Dokka-Gjøvik-området. Rapp. nr. 1416/6.  
 Radiometriske bilmålinger i Østfold. Rapp. nr. 1416/7.  
 Radiometriske bilmålinger i Mandal-Flekkefjord-området. Rapp. nr. 1416/8.  
 Radiometriske målinger på Kvaløy, Troms. Rapp. nr. 1282.  
 Oversikt over uranprospekteringen i 1976 og resultat av geokjemiske undersøkelser. Samlerapport. Rapp. nr. 1416/9.

### 1977

Geologiske profiler med radiometriske målinger langs fjellkjedenderanden i Finnmark. Rapp. nr. 1416/10.  
 Radiometriske bilmålinger i Salten, Nordland. Rapp. nr. 1416/11.  
 Oppfølging av geokjemiske anomalier i Bjellådalen, Nordland. Rapp. nr. 1416/12.  
 Radiometriske bilmålinger i fjellranden i Sør-Trøndelag, Hedmark og Oppland. Rapp. nr. 1416/13.  
 Radiometriske bilmålinger i Østfold Del II. Rapp. nr. 1416/14.  
 Radiometriske bilmålinger i Vest Agder og Rogaland. Rapp. nr. 1416/15.  
 Radiometriske helikoptermålinger i Skjomenområdet, Narvik, Nordland. Rapp. nr. 1416/16.  
 Oversikt over uranprospekteringen i 1977 og resultat av geokjemiske undersøkelser. Samlerapport. Rapp. nr. 1416/17.

### 1978

Oppfølging av bekkesedimentanomalier på uran i Vest-Finnmark og Troms. Rapp. nr. 1416/18.  
 Radiometriske bilmålinger i fjellranden, Hedmark og Oppland. Rapp. nr. 1416/19.  
 Radiometriske bilmålinger i Vannsjøområdet, Østfold. Rapp. nr. 1416/20.  
 Radiometriske bilmålinger i Flekkefjord-Jæren-Dalane-området. Rapp. nr. 1416/21.  
 Øksnanuten uranforekomst, Sandnes, Rogaland. Rapp. nr. 1416/22.  
 Oppfølging av bekkesedimentanomalier på uran i fjellkjedenderanden. Oppland, Hedmark og Sør-Trøndelag. Rapp. nr. 1416/23.  
 Oversikt over uranprospekteringen i 1978 og resultat av geokjemiske undersøkelser. Samlerapport. Rapp. nr. 1416/24.

### 1979

Radiometriske bilmålinger i Jørpeland-Haugesund-området. Rapp. nr. 1729/1.  
 Radiometriske bilmålinger i fjellranden i Hedmark. Rapp. nr. 1729/2.  
 Radiometriske målinger fra tog på strekningen Trondheim-Bodø. Rapp. nr. 1729/4.  
 Oppfølging av geokjemiske anomalier i Stabursdalen, Finnmark. Rapp. nr. 1729/5.  
 Radiometriske bilmålinger i Øst-Finnmark. Rapp. nr. 1729/6.  
 Oversikt over uranprospekteringen i 1979 og resultat av geokjemiske undersøkelser. Samlerapport. Rapp. nr. 1729/7.

### 1980

Radiometriske bilmålinger i Nord-Trøndelag. Rapp. nr. 1729/8.  
 Radiometriske bilmålinger i Haugesundområdet. Rapp. nr. 1729/9.  
 Radiometriske bilmålinger på kartbladene Holmestrand og Nordagutu. Rapp. nr. 1729/10.  
 Oppfølging på kartblad Kynna, Trysil. Rapp. nr. 1729/11.  
 Radiometriske målinger fra tog på Dovrebanen, Trondheim-Oslo. Rapp. nr. 1729/12A.  
 Radiometriske målinger fra tog på Sørlandsbanen, Oslo-Stavanger. Rapp. nr. 1729/12B.  
 Oversikt over uranprospekteringen 1980 og resultat av geokjemiske undersøkelser. Samlerapport. Rapp. nr. 1729/13.

### 1981

Radiometriske bilmålinger på Fosen. Rapp. nr. 1729/14.  
 Oppfølging fjellkjedenderanden. Rapp. nr. 1729/15.  
 Radiometriske bilmålinger på Tjøme og Nøtterøy. Rapp. nr. 1729/16.  
 Radiometriske bilmålinger i Øst-Norge. Rapp. nr. 1729/17.  
 Radiometriske undersøkelser på Bessefjell, Telemark. Rapp. nr. 1729/18.  
 Radiometriske målinger i området Høgtuva, Nordland. Rapp. nr. 1729/19.  
 Radiometriske målinger fra tog på Vestfoldbanen. Rapp. nr. 1729/20.  
 Oversikt over uranprospekteringen 1981 og resultater av geokjemiske undersøkelser. Samlerapport. Rapp. nr. 1729/21.