



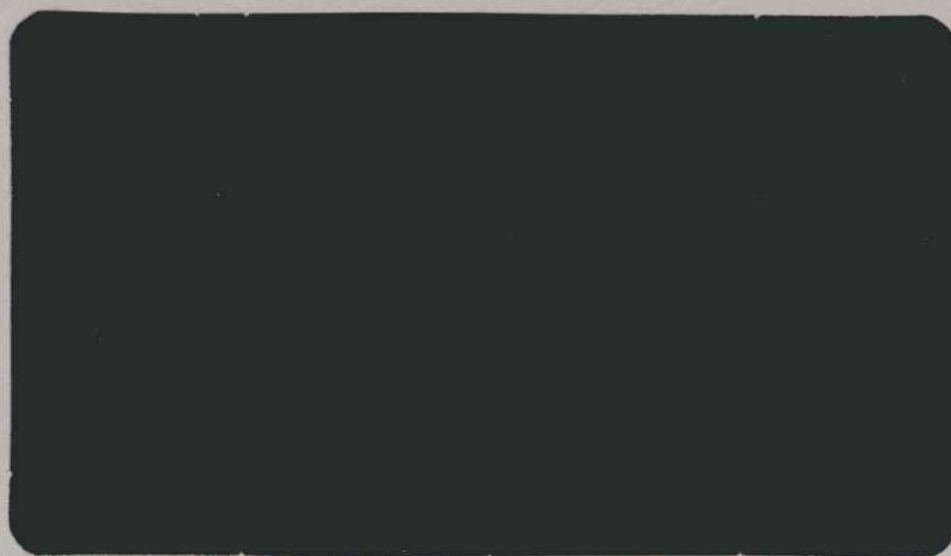
Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr BV 356	Intern Journal nr 445/74 ØB	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering Oslo	Gradering Fortrolig
Kommer fra ..arkiv Østlandske	Ekstern rapport nr NTNF B 0561.4322	Oversendt fra	Fortrolig pga Utmål	Fortrolig fra dato:
Tittel Thoriumfremstilling i Norge. Fensfeltet en økonomisk vurdering. Del 1 (Del 2 se BV 1328)				
Forfatter		Dato 21/6 1973	Bedrift Megon A/S	
Kommune Nome	Fylke Telemark	Bergdistrikt Østlandske	1: 50 000 kartblad 17134	1: 250 000 kartblad Skien
Fagområde Geologi Økonomisk		Dokument type Rapport	Forekomster Fensfeltet	
Råstofftype Malm/metall		Emneord Th		
Sammendrag Dette er Del 1 (Del 2 se BV 1328)				

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige
Forskningsråd



GAUSTADALLÉEN 30 - BLINDERN - OSLO 3

TELEFON 69 60 80

TELEFON 14 35 90

Innr. 445/74.ØB.

TORIUM -PRESTILLING I NORGE

B 0561.4322 FENSFELTET - EN ØKONOMISK VURDERING

A/S HEGON

Del 1

Oslo 21. Juni 1973

METAL EXTRACTOR GROUP OF NORWAY

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige
Forskningsråd
Gaustadalléen 30

OSLO 3

Deres ref.

Vår ref.
OB/kk

Oslo,
18. juni 1973
Middelthuns gt. 27

TORIUM-FREMSTILLING I NORGE

B 0561.4322 FENSFELTET - EN ØKONOMISK VURDERING

Med utgangspunkt i brev fra Metallurgisk komité av 17.10,
henholdsvis 15.11.72 har et utvalg bestående av

professor dr. J. A. W. Bugge, Universitetet i Oslo,
overing. R. O. Lingjærde, Institutt for Atomenergi,
diplomøkonom B. T. Tandberg, Elkem-Spigerverket a/s

foretatt et studium av potensialet for en mulig fremstilling av
torium-oksyd i Norge.

Foranledningen til denne undersøkelse var følgende tre søknader:

- B 0560.2913 - Ekstraksjonsforsøk på Fensmalmen - dosent Thorsen,
- B 0560.4039 - Fensfeltets REE-mineraler - professor Heier,
- B 0560.4060 - Ekstraksjon av spesielle metaller - professor Pappas.

En realitetsbehandling av søknadene ble av Metallurgisk komité
foreslått utsatt inntil konklusjonen av den økonomiske vurdering
forelå.^{x)} I samme forbindelse kom også den tanke opp at det skulle
dannes en industrigruppe for utnyttelse av torium i Norge, til-
svarende den som ble laget for sjeldne jordarter i 1967.

./.

Utvalget har utarbeidet tre oversiktsrapporter:

- 1) "Ad Thorium-fremstilling i Norge, Råstoffer", ved
professor J. A. W. Bugge.
- 2) "Nukleære anvendelser av thorium", ved siv.ing.
R. O. Lingjærde.
- 3) "Økonomiske betraktninger vedr. fremstilling av torium
i Norge", ved diplomøkonom B. T. Tandberg.

x)
Ved siden av disse kan det meget vel også tenkes andre forskere
som er interessert i torium-undersøkelser i Norge.

./ I sin konklusjon har utvalget dessuten støttet seg til

- 4) "The Economics of Thorium", en rapport ved Roskill Information Services Ltd., publisert i januar 1973, og
- 5) "Thorium, a chapter from mineral facts and problems, 1970 edition", U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

Den gjennomførte undersøkelse omfatter således både en oversikt over norske forekomster av torium sett i forhold til forekomster internasjonalt og den kjente ekstraksjonsteknologi samt de potensielle markeder for torium, i de nærmeste 10 - 20 år. Videre har undersøkelsen vurdert det økonomiske aspekt ved en tenkt toriumfremstilling i Norge.

Komitéen konkluderer med at i lys av den markedsutvikling man idag kan se, er det vanskelig å anbefale på det nåværende tidspunkt å ta sikte på å utnytte de norske torium-reservene kommersielt. På den annen side er de norske torium-reservene så vidt lite undersøkt vitenskapelig og så komplekse at det for å kunne foreta en forsvarlig vurdering av størrelsen, vil bli påkrevet med inngående vitenskapelige studier av dem før eventuelt industriell virksomhet vil kunne settes i gang i fremtiden.

Gjennom denne utredningen, har det klart kommet frem at en rekke land sitter inne med store torium-reserver, og endog til dels som mer eller mindre ferdig-raffinerte produkter. Torium er i disse tilfeller et biprodukt enten ved prosesseringen av visse uran-forekomster, eller ved fremstilling av sjeldne jordarter fra f. eks. monazitt. Det er idag stor overproduksjon av torium, og dette er en situasjon som man venter vil vedvare langt utover i 80-årene, dog med det vesentlige forbehold at bruk av torium til helt nye formål, totalt kunne forandre bildet, i og med at både det markedet man idag kjenner og det markedet man kan vente i fremtiden, begge tross alt er av meget beskjedent omfang. Det omsettes idag ca. 200 tonn torium-oksyd pr. år på global basis. Dette kan komme til å øke til 1000 - 1600 tonn pr. år innen 1985.

Utvalget har i denne forbindelse spesielt hatt oppmerksomheten rettet mot den fremtidige bruk av torium som brensel i kjerne-kraftverk med høytemperatur gasskjølte reaktorer, og en representant for utvalget har drøftet disse spørsmål med eksperter i Sveits, Tyskland, England og Frankrike.

Det foreligger utviklet kjente tilfredsstillende separasjonsmetoder for renfremstilling av torium, og produksjon av større mengder nukleært rent materiale regnes ikke som noe problem. Det er i denne forbindelse interessant å merke seg at ved fremstilling av uran, og hvor torium er til stede som urenheter i større eller mindre grad, skilles gjerne disse to elementene i en væske-væske-ekstraksjonsprosess som siste trinn i raffineringen, med både nukleært rent uran og torium som produkter.

Utvalget har basert sine økonomiske vurderinger på den valgte forutsetning at et produksjonsanlegg i Norge med rimelighet ikke kunne planlegges for mere enn 10% av det totale markedsvolumet i verden. Selv med svært optimistiske antagelser også når det gjelder faste og variable kostnader viser imidlertid beregningene klart at et slikt anlegg bygget spesielt for torium-fremstilling alene ikke kan gi akseptabel lønnsomhet.

Resultatene av råmaterial-undersøkelsene har bekreftet at Fensfeltet er en stor fremtidig torium-ressurs av første rang, også sett i internasjonal målestokk, med gehalter på 0,1 - 0,4% torium.

En økonomisk vurdering av feltet vil måtte finne sted i lys av også de andre verdifulle elementer det inneholder, så som niob, sjeldne jordarter, jern og andre.

Undersøkelsene av Oslo-feltets forekomster av torium har gitt nye, meget interessante resultater både rent vitenskapelig og i forbindelse med en eventuell, nærmere utredning av mulige fremtidige råstoffreserver.

Både når det gjelder Oslo-feltet og Fensfeltet er det utvalgets mening at de orienterende undersøkelser, som dette oppdraget bygger på, burde følges av mere detaljerte undersøkelser, bl. a. omfattende radiometriske målinger. Prøver fra spesielle interessante områder burde dessuten undersøkes med sikte på å finne brukbare opprednings- og ekstraksjonsmetoder.

J. A. W. Bugge
J. A. W. Bugge

R. O. Lingjærde
R. O. Lingjærde

B. T. Tandberg
B. T. Tandberg

Orvar Braaten
Orvar Braaten

KOPI: Universitetet i Oslo
Norges geologiske undersøkelse
Norges Tekniske Høgskole
Mineralogisk-Geologisk Museum

UNIVERSITETET I OSLO

INSTITUTT FOR GEOLOGI

A. Generell geologi. Prof. T. Strand
B. Mineralogi-petrografi. Prof. I. Th. Rosenqvist
C. Paleontologi-stratigrafi. Prof. L. Sturmer
D. Paleobotanikk.
E. Malmgeologi. Prof. J. A. W. Bugge



BLINDERN, OSLO 3
TELEFON *46 68 00

6. april 1973

Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Forskningsråd
V/ Metallurgisk komite
Gaustadalleen 30

OSLO 3

Ad Thorium-fremstilling i Norge Råstoffer Deres brev av 15.11.72.

Mineralogi:

Thorium er tre ganger så utbredt i jordskorpen som uran. Den gjennomsnittlige gehalt er 10-20 ppm. De viktigste thorium-mineraler er:

Thorit, ThSiO_4 , max. 80% ThO_2 og 25% U_3O_8

Uranothorit er thorit med over 5% U_3O_8

Thorianit, ThO_2 , isomorf med uraninit, max. 90% ThO_2 og 33% U_3O_8

Uranothorianit er thorianit med over 15% U_3O_8

Monazit, CePO_4 max. 18% ThO_2 og som regel 7-11 ganger så meget sjeldne jordartoksyder som ThO_2

Xenotim, YPO_4 , fører som regel litt thorium, men mindre enn monazit.

Zirkon, ZrSiO_4 , opptil 13% Th og 2,7% U

Pyroklor ($\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F}$) max. 5,5% Th og 17% U

Forekomst-typer:

- a. Placerforekomster: Tungmineralanrikning i sandsedimenter. Monazit, zirkon, xenotim m.m. fins i acessorisk mengde i granitter, syenitter og gneiser og kan anrikes til drivbare mengder i elve- og kystavsetninger. De utvinnes i alminnelighet som biprodukter til ilmenit, magnetit, rutil, tinsten (Australia, India, m.m.). Tinstenplacer fra Malaysia er kjent

for å være xenotimholdig.

- b. Granitt-pegmatitter. Thoritt og andre thoriummineraler fins i liten mengde på mange granittpegmatitter og kan utvinnes som biprodukt ved kvarts-feltspatproduksjon. I Norge var det i 1894/95 en egen thorittproduksjon på et par tonn.
- c. Karbonatitter, alkaline eruptiver. Mineraler av niob, yttrium, sjeldne jordarter forekommer i drivverdige mengder i flere karbonatitter. I Fenfeltet er det interessante thoriumgehalter.
- d. Hydrotermale mineralganger og metasomatiske forekomster. Thoritt og thorianitt forekommer adskillige steder i hydrotermale mineralganger og forekomster. Som eksempler kan nevnes pyrometasomatiske hematitt-kobberførende mineralganger ved Lemhi Pass i Idaho/Montana hvor det er thoritt mineralisering med ca. 0,75 % ThO_2 og betydelige mulige reserver (15). Uranothoritt med 0,3 - 0,4 % ThO_2 fins i pyrometasomatiske pyroksenitt-linser på Madagaskar. Noen 0,3 - 1,0 m. brede thorittførende glimmer-enstatitt-ganger skjærer gjennom apatitforekomsten ved Ødegården Verk (16).
- e. Uran-thoriumforekomster. Thorium i relativt store mengder kan utvinnes som biprodukt ved uranproduksjon fra flere forekomster, bl. a. Blind River feltene i Canada.

Produksjon.

Det meste thorium har de senere år vært utvunnet av monazit som biprodukt til sjeldne jordarter (REE). Produksjon av monazit (inklusive xenotim og uranothorianit) var i 1965/66 10 000 tonn, nådde maksimalstørrelse i 1968/69 med 20 000 tonn, mens det i 1971 var 16 800 tonn med et thoriuminnhold på 1 120 tonn.

De viktigste produsentland i 1971 (iflg. (10) "Roskillrapporten") var:

Land	Produksjon tonn	ThO ₂ pct.	innhold sh.t.
Australia	4.500	7	315
Brazil	2.500	6½	165
Ceylon	a	6	
India	3.500	8½	300
Indonesia		6	
Syd-Korea			
Madagaskar		7½	
Malaysia	2.000	8	5
Nigeria	a	6	
Syd Afrika		6	
Thailand	100	(6)	5
U S A	4.000	4	160
Congo	150	(6)	10
Total	16.750		
småprodusenter	50		
I alt	16.800		1.120

a= under 25 tonn

Tilknytningen mellom thorium- og sjeldne jordartindustrien synes å være avtagende. Det er flere viktige REE-forekomster i dag hvor det er svært lite thorium tilstede. Det er også flere aktuelle thoriumkilder uten sjeldne jordartgehalter av betydning.

I Canada ble thoriumsulfat fremstilt som biprodukt ved uran-fremstillingen fra Elliot Lake i årene 1959/69. ThO₂ innholdet varierte fra 20-50 t. pr. år. Et nytt anlegg med en kapasitet på 5000 tonn U₃O₈ pr. år kan produsere 2000 tonn pr. år ThO₂ hvis det blir øket etterspørsel (10, s. 23).

Utvinnbar thorium fra kanadisk malm er anslått til 1 tonn ThO_2 pr. 2,3 tonn U_3O_8 . Prognoser tyder på at hvis uranproduksjonen i Canada i 1985 øker til 24.000 tonn U_3O_8 vil det kunne utvinnes ca 10.000 t. ThO_2 pr. år hvis behovet gjør det ønskelig. Dette blir en betydelig overproduksjon i forhold til alle behovsprognoser (3, 10), og gjør det lite attraktivt for nye produsenter å ta opp thoriumproduksjon.

Reserver.

Det er vanskelig å gi en nogenlunde korrekt oversikt over verdens thoriumreserver. På United Nations konferansen i 1964 (14) ble reservene fra lett utvinnbare placerforekomster anslått til 745 000 sh.t. ThO_2 .

U.S. Bureau of Mines ga i 1970 følgende oversikt over reserver av ThO_2 i prisklasse \$ 5-10 pr. lb. (angitt i 1000 sh.tonn):

Land	"Påvist"	"Sansynlig"	Total
India	300	250	550
U.S.A.	100	500	600
Canada	80	150	230
Cantral- og Sydafrika, Madagaskar	50	50	50
Australia	10	-	10
Grønland	15	-	15
Brazil	10	20	30
Malaysia	10	10	20
USSR	100	100	200
	675	1.080	1.755

Over halvparten av reservene er fra placerforekomster (India, Brazil, Ceylon, Malaysia, etc.), men de største kanadiske er knyttet til uranforekomstene. De potensielle mulige reserver i verden er minst like store som de angitte.

Forbruk og prognoser.

De fleste prognoser regner med svært liten vekst i Thoriumforbruk.

Forbruket i 1971, anslått til 205 tonn ThO_2 , fordeler seg på følgende områder (10, s. 63):

Gass glødehetter	160 t. ThO_2
Magnesium-thoriumleg.	12 " "
Reaktor	-
Annet bruk	33 " "
Tilsammen	205 t. ThO_2

Roskilllrapporten (10) regner ikke med noen økning fram til 1977 bortsett fra 160 t. ThO_2 til reaktorindustrien.

I U.S. Bureau of Mines prognose fra 1970 (3) regnes det med ca. 3 % årlig vekst og et forbruk i år 2000 på 300-400 tonn ThO_2 i USA og 330-450 tonn ThO_2 i resten av verden når man ser bort fra reaktorindustrien.

Rapporten regner med en stor usikkerhet for reaktorindustrien og angir en lav ramme for verdensproduksjonen på 1500 t. ThO_2 og en høy på 10000 t. ThO_2 i år 2000.

En prognose så langt inn i fremtiden er meget usikker. Nye anvendelsesområder vil bl.a. kunne forskyve tallene vesentlig. Forøvrig vises til fig. 2 i R. O. Lingjardes rapport.

Thoriumforekomster i Norge.

I bilag 1 har statsgeolog J. Hysingjord gitt en oversikt over forekomster av thorium i Norge.

Det er kjent relativt høye thoriumgehalter fra:

1. Granit - Pegmatitter, særlig i området rundt Kragerø og Østre Moland.
2. Oslofeltets intermediære og sure eruptiver (bilag 2 - Rapport fra Statsgeolog J. Hysingjord).
3. Fenfeltet (bilag 3), Rapport fra Statsgeolog Svinndal).
4. Ødegaarden Apatitgrube.

Ad 1. Granitt - Pegmatitter. Det var regulær drift på thoritt i 1894/95 og det ble utvunnet ca. 2000 kg thoritt. Senere har thoriumholdige mineraler bare vært utvunnet sporadisk og i forbindelse med kvarts og feltspatdrift. Thoriummineraliseringen er for ujevn og forekomstene for små til at de kan anvendes som råstoffkilde.

Ad 2. Oslofeltets permiske eruptiver. I den sydvestlige del av Oslofeltet er det påvist interessante gehalter av thorium, niob, yttrium og zirkonium. Det har lenge vært kjent at mineraler som inneholder disse metaller finnes i Oslofeltpegmatittene. Særlig nefelinsyenittpegmatittene fra Langesundsfjorden er verdenskjent for de mange sjeldne mineraler fra W. C. Brøgers avhandlinger (1890). For å undersøke om slike mineraler også finnes i andre Oslofeltektiver, har statsgeolog Hysingjord undersøkt prøver fra radiometriske anomalier som ble funnet ved NGU's flymålinger 1961. Radioaktiviteten skyldes vesentlig bergartenes thoriumgehalt, og en rekke av de thoriumholdige mineraler som Brøgger beskrev er gjenfunnet som accessoriske mineraler i andre eruptiver fra de undersøkte områder.

Av thoriumholdige mineraler er identifisert:

Pyroklor, thorit, zirkon, bastnæsitt, tritomit, fergusonitt m. m.

I nedenstående tabell er gjengitt gehaltene i 8 anomalier med de høyeste gealter. Forøvrig henvises til bilag 2 og statsgeologene Hysingjord og Thorkildsens utførlige rapporter (NGU, rapport 1104). Gehalten i ppm.

Anomali nr.	Th	U	Nb ₂ O ₅	Y ₂ O ₃	
59	3 %	690		760	Ekeritt, lite felt på 4 - 5 m ² med thoritanrikning
45 II	580	20	1200	250	Syenit, (nonazit, thori
86 IV	610	190	5200	490	Pegmatit, Stokkøy
4	470	280	3400	300	Pegmatitt, Håøya
10 II	360	240	2700	250	Larvikitt, Lillegården (pyroklor og monazit)
30 III	350	30	2900	850	Trachytt, Seteråsen
90	330	80	3600	1500	Albititt, Langangen

Resultatene er meget interessante både rent vitenskapelig og i forbindelse med en utredning av mulige fremtidige råstoffreserver.

Radiometriske flyvmålinger har vist seg nyttige til lokalisering av interessante områder og bør utvides, helst med helikopter-målinger i omliggende områder. De mest interessante anomalier bør undersøkes næyere geokjemisk, og man bør dessuten se om det lar seg gjøre å anrike mineralene til mer høyverdige konserter.

Ad 3. Fenfeltet. Forskningsgruppe for sjeldne jordarter undersøkte i årene 1967/70 Fenfeltet med henblikk på yttrium og sjeldne jordarter. Adskillig hundre prøver fra dagoverflaten og diamantborehull ble analysert på Y, REE, Nb, og Th. Det ble også gjort inngående mineralogiske feltmålinger. NTH's Oppredningslaboratorium utførte anrikningsforsøk. Meget av undersøkelsene ble utført av NGU som oppdrag med statsgeolog Svinndal som saksbearbeider.

Norsk Bergverk A/S gjorde allerede i 1955/56 en del orienterende undersøkelser etter thorium. De fikk ved radiometriske målinger i den østlige del av feltet kraftig radioaktiv stråling.

Analyse av prøver fra de gamle Fengruber viste 0,25% ThO_2 .

FSJ's undersøkelser har bekreftet de eldre undersøkelser.

I den østlige del av feltet er det et stort område med gehalter på 1300 - 1700 ppm. Th og 200 ppm. Y.

Det er funnet smalere soner med thoriumgehalter på 2000 - 3000 ppm. Th. Prøver av hematitmalm har gitt 4200 ppm. Th og 145 ppm. Y.

Mengden av RE mineraler i området varierer fra 2,5 - 4% og apatit fra 1 - 4%. De viktigste RE mineraler er

Monazit CePO_4

Synchisitt $(\text{Ce}, \text{La}) \text{Ca}(\text{CO}_3)_2\text{F}$

Parisit $(\text{Ce}, \text{La})_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2\text{F}_2$

Bastnäsit $(\text{Ca}, \text{La})\text{CO}_3\text{F}$

Mikrosondeundersøkelser (v. Siv.ing. S. Krogh) viser at mineralene i alminnelighet er meget finfordelt med kornstørrelse under 1 my, men at det også er partier med kornstørrelser over 40 my.

Nedenforstående tabell gir en mere utførlig oversikt over gehaltene og er gjengitt etter sammendraget i bilag 3 s. 4.

Prøve- område	Y ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Dy ppm	Th ppm	Nb ppm
I	145		8500			570	92			4200	460
II	182	3045	6475	883	1845	300	71	68	70	965	700
III	220	4760	9800	2000	5700	1060	130	61	270	3100	600
IVI	240	2150	6940	905	2900	450	86	56	105	1775	700
V	184	2400	5900			243	57	317		1000	700
VI	355	2400	7700			325	68	435		1370	1200

- I Hematittmalm berghald, Fengruvene.
 II Karbonatitt vegskjæring ved Fengruvene.
 III Hematittmalm fra liten malmgang ved Fengruvene.
 IV Stufprøver fra Gruveåsen.
 V Borhull F2 gjennomsnitt for 190 m.
 VI Borhull F3 gjennomsnitt fra 0,00 - 31,00 m.

De tilsvarende prøver har følgende mineralogiske sammensetning:

	Utløst Hcl/ HNO ₃ sili- katmin.	Karbonat, kalsitt, dol. r ank.	Hematitt	RE-min.	Apatitt	Div. min., kis etc.
I	7,0%	19%	63%	4,0%	4,0%	2,5%
II	8,0%	85%		2,5%	1,0%	3,5%
III	7,4%	14%	69%	5,0%	2,5%	
IV	3,9%	67%	26%	3,0%	1,5%	3,5%

Resultatene er interessante. De viser at Fenfeltet er en stor fremtidig thoriumreserve av første rang, med gehalter på 0,1 - 0,4% Th.

De orienterende thoriumundersøkelser som er utført bør følges av mere detaljerte undersøkelser bl. a. mere omfattende radiometriske målinger. Det er videre viktig å se feltets muligheter samlet med hensyn til thorium, yttrium, sjeldne jordarter, niob, apatit og eventuelt kalksten. Det bør gjøres forsøk med å finne brukbare ekstraksjonsmetoder.

Ad 4. I Ødegaarden apatitgrube er det funnet thorit på flere av de apatitførende phlogopit - eustatitganger. Fra en flattliggende gang på 100 m. dyp ble det i 1906 tatt ut 500 tonn gangmasse som holdt ca. 0,1% ThO_2 .

Det ble fremstilt 10 tonn 5% ThO_2 .

Ved anrikningsforsøk ble det fremstilt et konsentrat med 20% ThO_2 .

Som fremtidig råstoffkilde er forekomsten for liten.

Oslo, den 6. april 1973

Per B. W. Bang

Litteratur Thorium

1. Geol. Survey of Canada. Series Dc 16. Sec. ed.
Canadian deposits of uranium and thorium (reserver 1957).
 2. U.S. Bureau of Mines (1965 ed.) Bull. 630. Thorium,
pp. 947-959.
 3. a.b. USBM (1970) 650 Mineral Facts and Problems Bull.
Thorium, pp. 203-218, Uran, pp. 222-230.
 4. USBM. Minerals Yearbook. 1968. Thorium.
 5. USBM. Minerals Yearbook. 1969. Thorium, pp. 1059-1064.
 6. a.b. USBM. Minerals Yearbook. 1970. Vol. Thorium,
pp. 1081-1085. Uran, pp. 1140-1149.
 7. Canadian Mining Journal Fen. 1972. Uranium, pp. 113-118.
 8. OECD. Rapport. Uranium Resources Dec. 1967.
 9. OECD. Rapport. Working Party on Uranium and Thorium
Resources Paris 1972.
 10. Roskill Information Service Ltd. The Economics of
Thorium Dec. 1972.
 11. E.B. Wallin: Rapport U 233, mars 1972, oversikt over
prod. og reserver.
 12. H.W. Humphrey: Thorium. Background and properties
of Interest, mars 1970.
 13. Canadian Dept. of Mines and Resources, Ottawa 1971.
Uranium and Thorium in Canada, Resources, Production
and Potential.
 14. United Nations Third International Conference on the
Peaceful uses of Atomic Energy at Geneve 1964.
 15. G.A. Williams (ref. USDM. Vol. 650): Thorium Mineral
Reserves of Idaho. Thorium Information Meeting arranged
by the Idaho Nuclear Energy Commission, Salmon, Idaho,
Sep. 18, 1968, p. 68.
 16. Udtalelse fra J.H.L.Vogt om Bamble Apatitgruber. 1906, s. 5-7
 17. Sverdrup, Thorkildsen, Bjørlykke 1967: Uran og thorium i Norge
NGU nr 250
- Vedlegg:
1. Thorium i Norge.
 2. Thorium i Oslofeltet.
 3. Thorium i Fensfeltet.

THORIUM I NORGE

Den gjennomsnittlige thoriumgehalt i jordskorpen er omlag 10 gr. pr. tonn. Thorium opptrer i ca. fire ganger så stor mengde som uran.

Thorium opptrer som hovedbestanddel og bibestanddel i en rekke mineraler. De viktigste av disse er følgende:

Thoritt (ThSiO_4) som inneholder 25 - 64% Th. Uran kan inngå med opptil 10%. En orangerfarget varietet kalles orangitt.

Monazitt (CePO_4) inneholder vanligvis opp til 10% Th, men en kjenner monazitt som inneholder opp til 26% Th.

Pyroklor ($\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F}$) har stor utbredelse i Oslofeltet og kjennes også fra Fensfeltet. Mineralet kan inneholde opp til 5,5% Th. Uran inngår vanlig opp til 1,4%, men det kjennes varieteter med så meget som 17% U.

Zirkon (ZrSiO_4) er et vanlig aksessorisk mineral i de fleste bergarter. Vanligvis er uran og thoriuminnholdet lavt, men opp til 2,7% U og 13,1% Th i zirkon er beskrevet.

Thoriummineraler, særlig thoritt og orangitt er kjent fra gammel tid fra norske granittpegmatitter særlig fra omegnen av Kragerø og fra de nefelinsyenittiske pegmatitter i området ved Langesund. I 1894 og 1895 oppsto det en voldsom etterspørsel etter thoritt for fremstilling av thorimoksyd til glødemantler i gassbrennere.

Mineralet thoritt ble betalt med ca. 500 kr. pr. kg, og det oppsto i Kragerøtraktene en skjerpefeber på thoritt, den såkalte thorittfeber.

Verdien av den utvunne thoritt ble av bergmesteren anslått til ca. 1 mill. kr. i 1895. Denne skjerpingen etter thoritt ble slutt allerede i 1895 da prisene falt på grunn av oppdagelsen av thoriuminnholdet i monasitt og monasittsand i Brasil.

I Norge er relativt høye gehalter av thorium kjent fra følgende bergartstyper og områder:

- 1) Granittiske pegmatitter, særlig i området rundt Kragerø og i Østre Moland.
- 2) En del bergarter fra Fensfeltet har høye thoriumgehalter. En jernmalmførende karbonatitt, av Brøgger kalt rødberget, inneholder betydelige mengder med thorium og sjeldne jordarter.
- 3) Oslofeltets intermediære og sure eruptivbergarter kan inneholde tildels betydelige gehalter av thorium.

Funn av thoriumholdige mineraler på granittiske pegmatitter her i landet er i regelen gjort på de forekomster hvor det har vært drift på kvarts og feltspat. Utenom den korte perioden i 1894 - 1895, har det ikke vært noen regulær drift på thoriumholdige mineraler.

Ifølge Bjørlykke (1939) er thoritt funnet på følgende granittpegmatitter:

Østfold. Ånnerød i Våler. Halvorsrød i Råde, Lundestad i Berg.

Telemark. Ødegarden i Bamle. Omegnen av Kragerø: Lindvikkollen, Tangenbruddet og S. Lunø.

Aust-Agder: I Gjerstad: Østerholtheia (orangitt) Fone (orangitt) og Gryting. I Søgne: Lindstøl, Åkvåg, Norenlid og Ramskjær. I Holt ved Tvedestrand: Landvikskåte, Auselheia, Navestad, Løvjen og Båsland. Rullandsdalen ved Risør.

Smiths feltspatbrudd mellom Tvedestrand og Arendal.

Froland ved Arendal.

Fjelds grube i Østre Moland.

Omegnen av Arendal: Kniben ved Havstad, Narestø Hella og Bjelland på Tromøy.

Iveland Setesdal: Birkeland. I Evje Setesdal: Landsverk og Lunde-kleven.

Vest-Agder. Svinør 2 mil ø for Lindesnes.

Spangereid ved Lindesnes. På Hida ved Flekkefjord: Urstad og Rasvåg.

I Bergarkiv rapport nr. 3465 nevner Bjørlykke og Rosenquist en pegmatittforekomst ved Landbø i Østre Moland hvor det skal være utvunnet 2 - 300 kg thoritt.

Statsgeolog Thorkildsen (muntlig meddelelse) undersøkte sommeren 1972 en pegmatitt beliggende ved Tingvoll, Søgne i Vest-Agder (315.425, Kb. 1511 III, Kristiansand). Pegmatitten er vel 200 m lang og ca. 40 m bred. Thoriumgehalten i analyserte prøver er gjennomsnittlig ca. 400 ppm Th.

I NGU nr. 211 beskriver Sverdrup (1969) en pegmatitt ved Rømteland ved Vegeland i Vest-Agder som fører orangitt og thoritt.

En kan regne med at thorium (og uran)-mineraliseringen på de kjente granittpegmatitter er for ujevn og forekomstene for små til at de kan anvendes som råstoffkilder for thorium (og uran).

2. Fensfeltet. Ved Sverre Svinndal.

I forbindelse med A/S Norsk Jernverks undersøkelser etter niob i Fensfeltet i forbindelse med driften av Sjøve Gruver, ble en oppmerksom på at en i enkelte områder hadde forholdsvis høy radioaktivitet. I 1955 og 56 ble det gjort spesielle undersøkelser i denne forbindelse, og en fant at en i særlig de jernmalmrike områdene Gruveåsen og Raukhaug hadde forholdsvis store konsentrasjoner av thorium (Th) og sjeldne jordarter (R. E.). En antok at Th og RE var knyttet til et eller flere av Bastenæsittgruppens mineraler. Det ble lagt opp planer for et forholdsvis stort undersøkelsesprogram, men dette kunne ikke realiseres på grunn av økonomiske vansker. De undersøkelsene som ble foretatt, ble utført av geolog Sverre Svinndal under ledelse av dr. Harald Bjørlykke som da var sjefsgeolog i A/S Norsk Bergverk. I 1967 tok industrigruppen "Forskningsgruppe for sjeldne jordarter" opp undersøkelser etter RE i Norge, og et av prosjektene her var Fensfeltet.

F. S. J. 's undersøkelser i Fensfeltet pågikk i tidsrommet 1967 - 70 og ble utført av NGU under ledelse av geolog Sverre Svinndal. Undersøkelsene gikk ut på analyser og bearbeidelse av tidligere innsamlet materiale og av nytt innsamlet materiale delvis fra diamantboring utført i 1970.

Resultatene fra disse undersøkelsene viser at en i Fensfeltet har store konsentrasjoner av Th og RE og at disse følger hverandre og er knyttet til mineralene monazitt, bastenæsitt, synchesitt og parisitt. Disse

mineralene forekommer imidlertid meget fintfordelt som uregelmessige "skyer" og antas å være dannet som sekundære blandingsmineraler. Oppredningsforsøk utført bl. a. ved NTH viser at denne "malmtypen" er meget vanskelig å oppkonsentrere og derfor ikke i første omgang kan tenkes økonomisk utnyttet. Undersøkelsene i F.S.J.'s regi i Fensfeltet ble derfor stoppet i 1970.

Det henvises til særskilt rapport over Thorium i Fensfeltet av Sverre Svinndal.

3. Oslofeltet.

I Oslofeltet er det registrert 87 radioaktive anomalier i eruptivbergartene. Radioaktiviteten er hovedsakelig knyttet til thorium. Tabellen gir en grov oversikt over den gjennomsnittlige thoriumgehalt på 30 av de viktigste av de hittil bearbejdede forekomster.

Thoriumgehalter på større radioaktive anomalier i Oslofeltet.

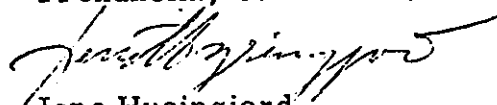
Antall rad. anomalier	Th ppm
7	50 - 100
9	101 - 200
5	201 - 300
4	301 - 400
3	401 - 500
4	501 - 600
1	601 - 700

Følgende grunnstoffer følger hyppig høye thoriumgehalter i Oslofeltet: mob, yttrium, cerium og zirkonium.

Disse elementer opptrer i så høye konsentrasjoner at de bør tas med i vurderingen ved en thoriumprospektering i Oslofeltet.

Det vises forøvrig til en særskilt rapport over thorium i Oslofeltet.

Trondheim, 5. mars 1973


Jens Hysingjord
statsgeolog

Litteratur.

Bjørlykke, Harald: Feltspat V NGU nr. 154, 1939.

Bjørlykke, Harald: Uran og thorium i Norge. NGU rapport nr. 3792.

Bjørlykke, Harald og Rosenquist, I. Th.: Rapport over de hittil foretatte geologiske og metallurgiske undersøkelser på uran og thorium. Bergarkiv rapport nr. 3165.

Fronde, Fleischer and Jones: Glossary of uranium and thorium-bearing minerals. Geological survey Bulletin 1250, 1967.

Hysingjord og Thorkildsen: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet NGU rapport nr. 1104, 1972.

Sverdrup, Thorkildsen og Bjørlykke: Uran og thorium i Norge. NGU nr. 250, 1967.

Sverdrup, Th.: The pegmatite dyke at Rombeland. NGU nr. 211, 1960.

Thorium i Oslofeltet.

Innledning.

I 1961 foretok NGU radiometriske målinger fra fly over deler av det sydlige Oslofelt. Det ble da registrert 90 radioaktive anomalier. I 1967 og 1968 ble endel av disse anomalier prøvetatt. På grunnlag av analyser på niob og yttrium av disse prøver ble det i 1971 igangsatt en radiometrisk - geokjemisk prospektering i det sydlige Oslofelt. Høy radioaktivitet i eruptivbergartene i Oslofeltet følges hyppig av høye gehalter av niob, yttrium, cerium og zirkonium. Ved målinger fra bil ble det registrert ytterligere 10 radioaktive anomalier.

Oversikt over anomaliene.

De radioaktive anomaliene ligger mellom Drammen og Langesundfjorden, øst for Norsjø - Heddalsvann, og med Oslofjorden som begrensning i øst.

Særlig mange anomalier finnes ved Langesundsfjorden, langs Lågendalen og på kartblad Holmestrand.

Det er registrert ialt 100 anomalier. De kan grovt inndeles i to hovedtyper:

- 1) Radioaktive alunskifre (13 anomalier).
- 2) Radioaktive Oslofelteuptiver (87 anomalier).

Radioaktiviteten i alunskifrene skyldes uran. I Oslofelteuptivene er radioaktiviteten hovedsaklig knyttet til thorium.

Aller anomaliene er befart og prøvetatt. Av disse er 46 beskrevet i rapport fra 1971. Det øvrige blir nå bearbeidet. Dette arbeid avsluttes våren 1973. Det er bare fem forekomster som er detaljundersøkt. Ved de øvrige er det bare gjort rekognoserende undersøkelser.

Geokjemisk prospektering.

I sin avhandling om mineralene på pegmatittene i Oslofeltet beskriver Brøgger (1890) bla. 11 thoriumholdige mineraler. Disse mineraler inneholder et eller flere av følgende elementer: niob, yttrium,

sjeldne jordarter og zirkonium.

Ut fra den tankegang at disse mineraler også var knyttet til andre Oslofelte-ruptiver enn pegmatittene, ble det våren 1971 analysert en rekke stuffer fra de radioaktive anomalier i Oslofeltet. Det viste seg da anomaliene i eruptivbergartene hyppig hadde relativt høyt innhold av Nb, Y, Ce og Zr.

På bakgrunn av dette ble det sommeren 1971 igangsatt en geokjemisk prospektering på de radioaktive anomalier i Oslofeltet. Dette arbeid fortsatte sommeren 1972. Ved siden av oppfølging av fly-anomalier, ble det foretatt radiometriske målinger fra bil. Ti nye anomalier ble registrert på denne måte. Metoden er ikke så effektiv da bilveier som oftest går i overdekket område.

For feltsesongen 1973 gjenstår detaljundersøkelser av en del forekomster.

For å komme videre i prospekteringen er det helt nødvendig å få utført radiometriske målinger fra fly over deler av Oslofeltet.

Mineralverdi.

Thoriumanomaliene i Oslofeltet inneholder som før nevnt relativt høye gehalter av niob, yttrium, cerium og zirkonium. For disse grunnstoffer er det kalkulert en mineralverdi. Med mineralverdi forstås her verdien av det totale innhold av disse stoffer i en tonn bergart. Verdien er kalkulert på grunnlag av analyseresultat og ikke på grunnlag av det praktisk utnyttbare innhold.

Verdiangivelsen av disse grunnstoffer er beregnet ut fra priser på konsentrater av mineralene pyroklor, xenotim, bastnesitt og zirkon.

Det er ikke tatt hensyn til eventuell ugunstig mineralsammensetning, kornstørrelse og tap under oppredning. Mineralverdien (se tab. II) er derfor bare en av mange faktorene som må ta hensyn til under vurderingen av en forekomst.

Petrografi.

Thoriumanomaliene er som det framgår av tabell I knyttet til en rekke intermedieære og sure eruptivbergarter. Dagbergarter, dypbergarter og gangbergarter finnes blant anomaliene. Pegmatitter og granittiske bergarter er hyppigst representert blant anomaliene. De aller fleste pegmatitter er for små til at de kan

utnyttes. På Stokkøy - Arøy har imidlertid pegmatittene anseelig størrelse.

Dagbergartene og gangbergartene er gjennomgående meget finkornede bergarter, og anriking av aktuelle mineraler kan der bli vanskelig.

Mineralogi.

En rekke av de thoriumholdige mineraler som Brøgger har beskrevet fra pegmatittene i Langesundsfjorden er nå igjenfunnet som aksessoriske mineraler i andre eruptivbergarter i Oslofeltet.

Følgende thoriumholdige mineraler er identifisert fra ... thorium-anomaliene: pyroklor, thoritt, zirkon, monazitt, bastnesitt, tritomitt, fergusonitt m.fl. Zirkon, pyroklor og thoritt opptrer relativt hyppig.

Følgende niobførende mineraler er funnet på forekomstene:

Pyroklor, fergusonitt, låvenitt, eukolitt, samarskitt, titanitt m.fl.

Av yttrium og sjeldne jordartsmineraler skal følgende nevnes:

Monazitt, eukolitt, bastnesitt, tritomitt og pyroklor.

De viktigste anomalier.

I det følgende gis en tabellarisk oversikt (tabell I og II) over de viktigste av de hittil bearbejdede radioaktive anomalier i Oslofeltet. Fra de fleste anomalier er det for få analyser til at en kan få sikre gjennomsnittsverdier. Anomali 30, 45, 86, 87 og 91 er detaljundersøkt, og fra disse forekomster er det tatt mange analyser.

Anomali 10 er i grovkornet larvikitt. Den har gunstig mineral-sammensetning (monazitt og pyroklor). Lite undersøkt. Anomali 19-grovkornet ekeritt. Stort areal. Innhold av pyroklor og bastnesitt.

Anomali 30. Store områder av trakytt. Meget finkornet bergart. Vanskelig å opprede.

Anomali 39. Grovkornet granittisk bergart. Innhold av thoritt og yttrantalitt (?).

Oversikt over endel viktige radioaktive
anomalier i Oslofeltet.

Anomali	Bergart	Lokalitet	Anmerkninger
2	Larvikitt	Lerungen	Grovk. ujevn rad. pyroklor.
3	Pegmatitt	Ødegården	Smal gang.
4	" "	Håøya	Små linser.
5	" "	"	" "
6	" "	"	" "
10 I	Larvikitt	Lillegården	Grovkornet bergart.
10 II	" "	" "	" " pyroklor og monazitt.
11	Pegmatitt	Lundevann	1 x 15 m.
19 I	Ekeritt	Skisjøen	Grovkornet bergart.
19 II	"	"	" " pyroklor og bastnesitt.
5	"	Serkeland	
27	Rhyolitt	Prestegårdssetra	Kornst. 0,1-0,3 mm.
30 III	Trakytt	Sæteråsen	Finkornet bergart. Nb og Y er
30 V	"	"	vanskelig å anrike. Areal 80 mål.
31	"	Sætra	Finkornet bergart.
34	Porfyr	Nau	Større område.
37	Nordmarkitt	Illestadvann	Finkornet varitet.
39	Granitt	Fuglemyr	Grovk. bergart. Thoritt tilstede.
44	Kvartsporfyrr	Toensås	Finkornet grunnmasse.
45 I	" "	"	Fink. grunnmasse. Monazitt +
45 II	Syenitt	"	thoritt
4	Ekeritt	Hovsetra	Grovkornet bergart.
55	Groruditt	Meskestadhøymyråsen	Finkornet bergart.
59	Ekeritt	Senninggrønntjern	Grovkornet bergart.
86 I	Pegmatitt	Stokkøy	Meget grovkornet bergart. 200 m ²
86 III	" "	"	" " " 1200 m ²
86 IV	" "	"	Meget liten forekomst. Pyroklor.
86 V	Pegm+larv.	"	Ca 400 m ² .
87. VII	Grøvk. larv.	Arøy	30 mål.
87 VII A	Grøvk. larv.	"	Lite areal
87 VII E	Nef. syenitt	"	" "
87 VII F	" "	"	" "
90	Albititt	Langangen	Kornst. 0,01-0,2 mm. Gangformet bgt.
91	Ditroit	Bjønnes	Grovk. bergart. Låvenitt.
92	Granitt	Ørntjern	" " Fergusonitt.
93	Syenitt	Bølevann	" "

Innhold av Th,U,Nb,Y,Ce og Zr på radioaktive anomalier
i Oslofeltet.

Sum mineralverdi for Nb,Y,Ce og Zr.

Anomali nr.	Th ppm	U ppm	Nb ₂ O ₅ %	Y ₂ O ₃ %	Ce %	Zr %	Sum mineralverdi i kr.pr. ton for Nb,Y,Ce og Zr i mineralen
2	220	40	0,1	0,015		1	30
3	260	65	0,25	0,015			46
4	470	280	0,34	0,030	0,16		78
5	150	75	0,16	0,017			31
6			0,18	0,020	0,16		48
10 I	190	90	0,05	0,015			29
10 II	360	240	0,27	0,025	0,24		72
11	150	15	0,11	0,028	0,14		35
19 I			0,1	0,011			19
19 II	140	40	0,13	0,010	0,21		41
25	80	50	0,11	0,010			21
27	75	25	0,13	0,020			27
30 III	350	30	0,29	0,085		1,0	80
30 V	320	40	0,29	0,056	0,23	1,2	93
31	170	25	0,12				20
34	65	15	0,12	0,025			26
37	70	20	0,11	0,015			22
39	200	30	0,21	0,030			43
44	115	20	0,15	0,015	0,07		35
45 I	280	10	0,13	0,028	0,10	0,5	42
45 II	580	20	0,12	0,025			26
54			0,12	0,010	0,10		31
55	50	15	0,13	0,040	0,26		53
	Maks.	Maks.					
59	3%	690		0,076			
86 I	330	100	0,16	0,023			33
86 III	240	10	0,11	0,090			42
86 IV	610	190	0,52	0,049			101
86 V	412	200	0,30	0,020			56
87 VI	200	150	0,21		0,28		58
87 VII A	160	160	0,19		0,12	1,0	51
87 VII E			0,12				20
87 VII F	98	31	0,125				21
90	330	80	0,36	0,15	0,035	1,0	116
91	60	20	0,13		0,24		41
92	175	45	0,15	0,018			30
93	70	20	0,13	0,017	0,20		42

Anomali 55. Bergarten er en finkornet groruditt. Gangbergart, sannsynligvis 5 x 50 m.

Anomali 59. Denne anomalien ligger i ekeritt. På et område på 4 - 5 m² er det anrikninger av thoritt. Analyser viste opp til 3% thorium. Flere mindre linser med høy aktivitet i området.

Anomali 86 og 87. Bergartene her er grovkornede larvikitter, nefelinsyenitter og pegmatitter. Pyroklor er funnet i flere bergartstyper. Meget varierende gehalter, usikre gjennomsnitt. Hytteområde.

Anomali 90. Albititt, gangbergart. Fulgt i lengde av 90 m. Bredde usikker. Over 80% av niob og yttrium kan lutes ut. Fergusonitt, tritomitt og et yttriumkarbonat er funnet i bergarten.

Anomali 91. Grovkornet nefelinsyenitt. Eukolitt og låvenitt er identifisert. Ugunstig mineralsammensetning. Størrelsen av det aktive område er ikke kjent. Niob og yttriumførende mineraler er ikke identifisert.

Sammenheng.

I Oslofeltet er det registrert 87 radioaktive anomalier i eruptivbergartene. Radioaktiviteten er hovedsaklig knyttet til thorium. Tabell III gir en grov oversikt over gjennomsnittlige thoriumgehalter på 30 av de viktigste av de hittil bearbejdede forekomster.

Thoriumgehalter på større radioaktive anomalier i Oslofeltet.

Tabell III.

Antall rad. anomalier	Th ppm
7	50 - 100
9	101 - 200
5	201 - 300
4	301 - 400
3	401 - 500
4	501 - 600
1	601 - 700

Følgende grunnstoffer følger hyppig høye thoriumgehalter i Oslofeltet: niob, yttrium, cerium og zirkonium.

Disse elementer opptrer i så høye konsentrasjoner at de bør taes med i vurderingen ved en thoriumprospektering i Oslofeltet.

Tabell IV gir en oversikt over den totale verdi av niob og yttrium, cerium og zirkonium pr. tonn bergart for noen av de større thorium-anomaliene i Oslofeltet.

Mineralverdi for Nb, Y, Ce og Zr-holdige mineraler ved anomalier i Oslofeltet.

Tabell IV.

Antall anomalier	Mineralverdi Nb, Y, Ce, Zr i kr. pr. tonn
1	20
14	20 - 35
9	36 - 50
2	51 - 65
3	66 - 80
1	81 - 95
1	116

I denne mineralverdi-angivelse er det ikke tatt hensyn til evnetuell ugunstig mineralsammensetning og kornstørrelse, og tap under oppredning.

Videre arbeid.

For feltsesongen 1973 er det planlagt detaljundersøkelse av en del større radioaktive anomalier. Det vil også bli foretatt endel radiometriske målinger fra bil.

For å komme videre i prospekteringsarbeide er det nødvendig å få utført radiometriske målinger fra fly. Dette er den mest effektive metode for å oppdage nye anomalier.

Det foreslås å få kartbladene (1:50 000) Holmestrand og Porsgrunn radiometrisk målt i første omgang (se eget kostnadsoverslag). På disse kartbladene er det særlig mange anomalier. Dessuten foreslås det en rekognoserende flymåling i det nordlige Oslofelt.

Ved flymålingen kan en Piper Aztic brukes. Flyhøyden er her ca. 100 m over bakken. Omkostningene ved flymålingene med etterfølgende feltarbeide blir ca. 54 000 kr.

Ved bruk av helikopter kan en fly ca. 50 m over bakken. Dette vil selvsagt være gunstig, men bare flyleien vil her komme opp i ca. 68 000 kr.

Ved rask avgjørelse kan flymålingene utføres i slutten av april måned (hvis snedbart).

Resultatet av målingene kan være tilgjengelig ca. 14 dager etter målingenes slutt, og anvendes i det etterfølgende feltarbeid.

Litteratur.

Brøgger, W. C. Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der Süd-Norwegische Augitt u. Nefelinsyenite. Zeitschr. für Krist. B. 16. 1890.

Hysingjord, J. og Thorkildsen, C. D.: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet. NGU rapport nr. 1104.

Jens Hysingjord

Rapport til:

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd
v/Metallurgisk komité

NUKLEÆRE ANVENDELSER AV THORIUM

Av

R. O. Lingjærde

Institutt for atomenergi

Kjeller, mai 1973.

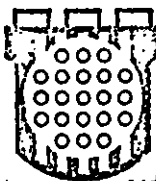
INNHold.

	Side:
Nukleære anvendelser for thorium i fremtiden	1
Sammendrag av diskusjoner med representanter fra firmaer/institusjoner i Vest-Tyskland, Sveits, England og Frankrike (Bilag I).	8
Brev fra Gulf General Atomic Europe (Bilag II)	18
HTR-interesser i Dragon-signatarland (Bilag III)	19
Brev fra Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen (Bilag IV)	23
Litteraturreferanser	25

FIGURLISTE

Figur 1	Antatt HTR-utvikling	6
Figur 2	Antatt totalt årlig behov for thorium	7

INSTITUTT FOR ATOMENERGI



Norges Teknisk-Naturvitenskapelige
Forskningsråd
v/Metallurgisk komité
Postboks 279 - Blindern
OSLO 3.

DERES REF.

VÅR REF. ROL/gk.

2007 KJELLER. 9. mai 1973.

Nukleære anvendelser for thorium i fremtiden.

Som medlem av det utvalg som høsten 1972 ble oppnevnt av NTNf for å utrede mulighetene for en utnyttelse av thoriumforekomstene i Norge, var det undertegnedes oppgave primært å undersøke de nukleære anvendelser for thorium i fremtiden. De følgende uttalelser er basert på informasjon innhentet gjennom litteraturstudier og diskusjoner med utenlandske eksperter på området, samt på Institutt for atomenergis egen ekspertise. En liste over den informasjon som er benyttet og et sammendrag av diskusjoner med endel eksperter i Vest-Tyskland, Frankrike, Sveits og England, følger vedlagt. (Bilag I.)

Markedet for thorium på global basis er i dag meget beskjedent. Thorium brukes nesten utelukkende som glødehetter i gassbrennere (incandescent gas mantles), og i 1971 gikk 160 tonn ThO_2 , eller 78% av den thorium som ble omsatt, til dette formål. Thorium brukes også i endel legeringer (spesielt Mg/Th-legeringer), i visse katalysatorer, som tilsetning til spesielle sveise-elektroder, i enkelte elektroniske komponenter, osv. Til alle disse formål er det årlige behov imidlertid lite, bare ca. 40 tonn ThO_2 . Det totale årlige behov for thorium, eksklusive nukleære formål, er således nå ca. 200 tonn ThO_2 , og det ventes at dette "ikke-nukleære" behov ikke vil forandre seg vesentlig i årene fremover, se Roskill-rapporten, som er vedlagt denne utredningen.

Thorium brukes imidlertid også som brensel i enkelte atomreaktorer. Det brukes som "brensel" i den forstand at man fra thorium produserer spaltbart materiale (U^{233}) under bestrålingen i reaktoren. Thorium kan ikke brukes

	Postadresse	Telefon	Teloks	Telegramadresse	Bankgiro	Postgiro
Hovedkontor og forskningssektors	Postboks 40, 2007 Kjeller	Lillestrøm 71 25 60* 71 35 60*	16351 atom n 16355 atom n	Atomenergi Oslo Isotop Oslo (for Isotoper)	5102.05.00070	339 60
				Atom Halden	5102.05.00550	339 56

som brensel alene, det må blandes med U^{235} , U^{233} eller plutonium. Forholdet mellom U-235 og thorium i f. eks. en HTR (se nedenfor) er ca. 1/10 - dvs. at naturlig uran/thorium-forholdet er ca. 10/1.

En reaktortype som nå har begynt å gjøre seg gjeldende på markedet i USA i konkurranse med lettvannsreaktorene, er den høytemperatur gasskjølte reaktor (HTR). I de siste par årene er 6 større enheter av denne typen (totalt ca. 6000 MWe) blitt solgt i USA, for oppstart i begynnelsen av 80-årene. I Europa er foreløpig bare forsøks- eller prototypanlegg i drift eller under bygging, og det er ikke ventet at større kraftreaktorer av HTR-typen vil bli bestilt før tidligst i annen halvdel av 70-årene. Utviklingen videre i USA er noe usikker.

Det forutsettes at i alle fall den amerikanske versjonen av denne reaktortypen vil bruke thorium og høyanriket uran som brensel. Gulf General Atomic (GGA) markedsfører HTR i USA, og vil også gjøre det i Europa, i samarbeid med europeiske reaktorleverandører.

Med utbyggingen av HTR kan man vente et sterkt ekspanderende marked for thorium, og oppmerksomheten i denne utredningen ble derfor i første rekke rettet mot det antatte utbyggingsprogram for denne reaktortypen i den vestlige verden, for så å kunne danne seg et bilde av det korresponderende årlige behov for thorium. Slik situasjonen er i dag, er det klart at HTR er den eneste kraftreaktortypen man har planer om å bruke thorium i.

Fig. 1 viser den antatte HTR-utvikling i den vestlige verden frem til 1990, som thorium-behovet er beregnet på basis av. Det knytter seg naturlig nok usikkerheter til denne utviklingen, men den er ifølge en rekke eksperter som er konsultert, den mest realistiske prognose som kan fremskaffes pr. i dag, om enn noe optimistisk. United Kingdom (UK) er skilt ut i denne fremstillingen, fordi de utvikler en HTR-type med lav-anriket uranbrensel (ingen thorium i det hele tatt), i motsetning til amerikanerne, tyskerne og franskmennene som holder på en thorium høyanriket uran brensels-syklus. Når det gjelder det beregnede thorium-behov, er dette forhold tatt med i betraktningen. Det er mulig at UK senere vil skifte over til en thorium brensels-syklus, og beregningene er derfor foretatt med og uten UK. Man skal forøvrig heller ikke se bort fra at de land som nå holder på en thorium/høyanriket uransyklus for HTR, også kan forandre mening senere, og gå over til en lav-anriket uransyklus. I et slikt tilfelle vil

det antatte thorium-behov selvfølgelig drastisk bli redusert. Valg av brenselssyklus for en HTR er i første rekke et økonomisk spørsmål, men forhold som tilgang på høyanriket uran (93% U^{235}) kan også komme til å spille en rolle i fremtiden.

Fig. 2 viser det antatte årlige behov for thorium, uttrykt i tonn ThO_2 . Beregningene er foretatt på basis av Fig. 1 under følgende forutsetninger:

- det er satt opp et konstant årlig behov på 200 tonn ThO_2 til ikke-nukleære formål
- det er antatt at HTR-enhetene som blir bygget, hver har en effekt på omkring 1000 MWe
- til første kjerneladning trengs 40 tonn ThO_2
- brenselmaterialet bestilles 3 år før oppstart av reaktoren
- etter ca. 2 års drift er det et årlig behov på 10 tonn ThO_2 pr. 1000 MWe som erstatningsbrensel
- det er regnet med at thorium som tas ut av reaktoren etter bestråling, ikke blir brukt som brensel igjen. Kun "fersk" thorium brukes til fabrikasjon av brenselelementer.

Gjennom de undersøkelser som har vært foretatt i forbindelse med denne utredningen, har det også klart kommet frem at en rekke land sitter inne med store thorium-reserver, ikke minst som mer eller mindre ferdig-raffinerte produkter. Thorium er et biprodukt både fra prosesseringen av visse uranforekomster, og fra fremstilling av sjeldne jordarter fra f. eks. monazitt.

Det er i dag overproduksjon på thorium, og dette er en situasjon man venter vil vedvare langt utover i 80-årene - med det forbehold at bruk av thorium til helt nye formål totalt kan forandre bildet.

Til det thorium som skal brukes som brensel i reaktorer, settes det store renhetskrav. Typiske verdier for maks. tillatte urenheter i "nuclear grade material" er som følger:

Totale urenheter	550	ppm
U	200	ppm
Eu, Dy, Gd, Sm, tilsammen	0.8	ppm
Alle andre sjeldne jordarter	1.0	ppm

Det er imidlertid utviklet tilfredsstillende separasjonsmetoder for renfremstilling av thorium, og produksjon av større mengder nukleært rent materiale regnes ikke som noe problem. Det er i denne forbindelse interessant å merke seg at ved fremstilling av uran, og hvor thorium er til stede som urenheter i større eller mindre grad, skilles gjerne disse to elementene i en væske-væske ekstraksjonsprosess som siste trinn i raffineringen, med nukleært rent uran og thorium som produkt.

Det er et annet problem som også har vært berørt i denne undersøkelsen, nemlig spesifikasjonen av isotopsammensetningen for nukleært thorium. Naturlig forekommende thorium består praktisk talt til 100% av Th^{232} . I enkelte forekomster er det imidlertid små mengder Th^{230} til stede - i ppm-kvantiteter. Th^{230} er et datterprodukt av U^{238} , og konsentrasjonen av isotopen varierer derfor fra én reserve til en annen, avhengig av hvor mye uran som er til stede. Th^{230} er én kilde til oppbygging av U^{232} under bestråling i reaktoren, og U^{232} er en uønsket isotop ved reprosessering av brukt thorium-brensel når man primært skal gjenvinne den spaltbare isotopen U^{233} . U^{232} er forholdsvis kortlivet, og noen av datterproduktene i nedbrytningskjeden gir gammastråling som kompliserer håndteringen av U^{233} . Dette håndteringsproblemet øker med økende konsentrasjoner av U^{232} , og verdien av U^{233} synker likeledes med økende konsentrasjoner av U^{232} . Siden Th^{230} er én av kildene til U^{232} -oppbyggingen, settes det en grense for Th^{230} -innholdet i naturlig thorium, uttrykt ved at $\text{Th}^{230}/\text{Th}^{232}$ -forholdet skal være mindre enn 10^{-4} (se Bilag II, brev fra Gulf General Atomic). Produksjonen av U^{232} fra Th^{230} og Th^{232} i en kraftreaktor av HTR-typen har Institutt for atomenergis fysikkavdeling forøvrig beregnet (ref. 11).

Som en kommentar kan man si at Th^{230} -problemet er man oppmerksom på, men det er øyensynlig ingen som legger noen særlig vekt på det. En av grunnene er at det er svært få reserver av thorium (muligens bare noen få i Canada), hvor Th^{230} -innholdet overskrider "tillatte" konsentrasjoner.


Rolf Lingjærde

FIG.1. ANTATT HTR UTVIKLING (Gigawatt elektrisk (GWe) installert)

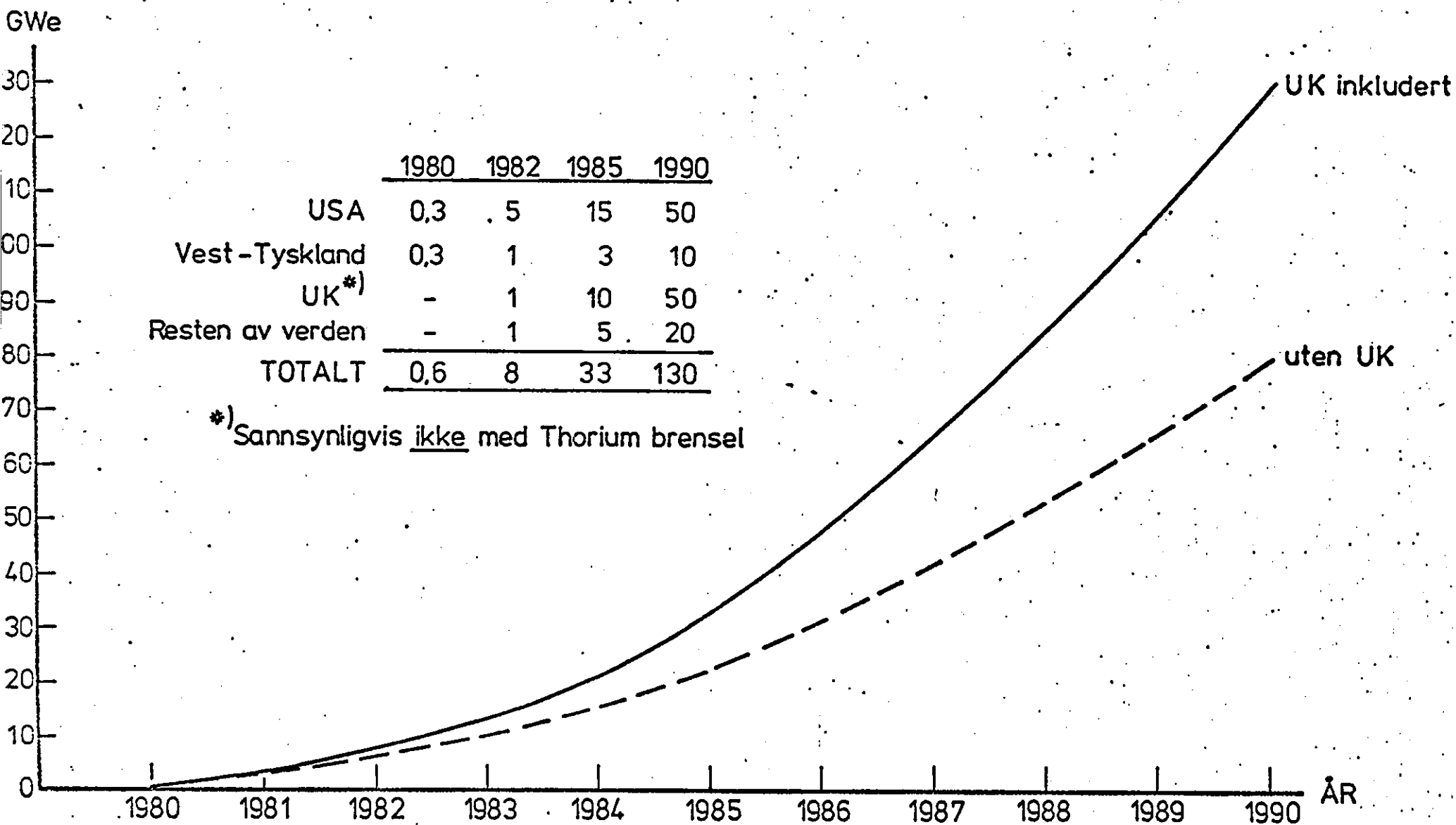
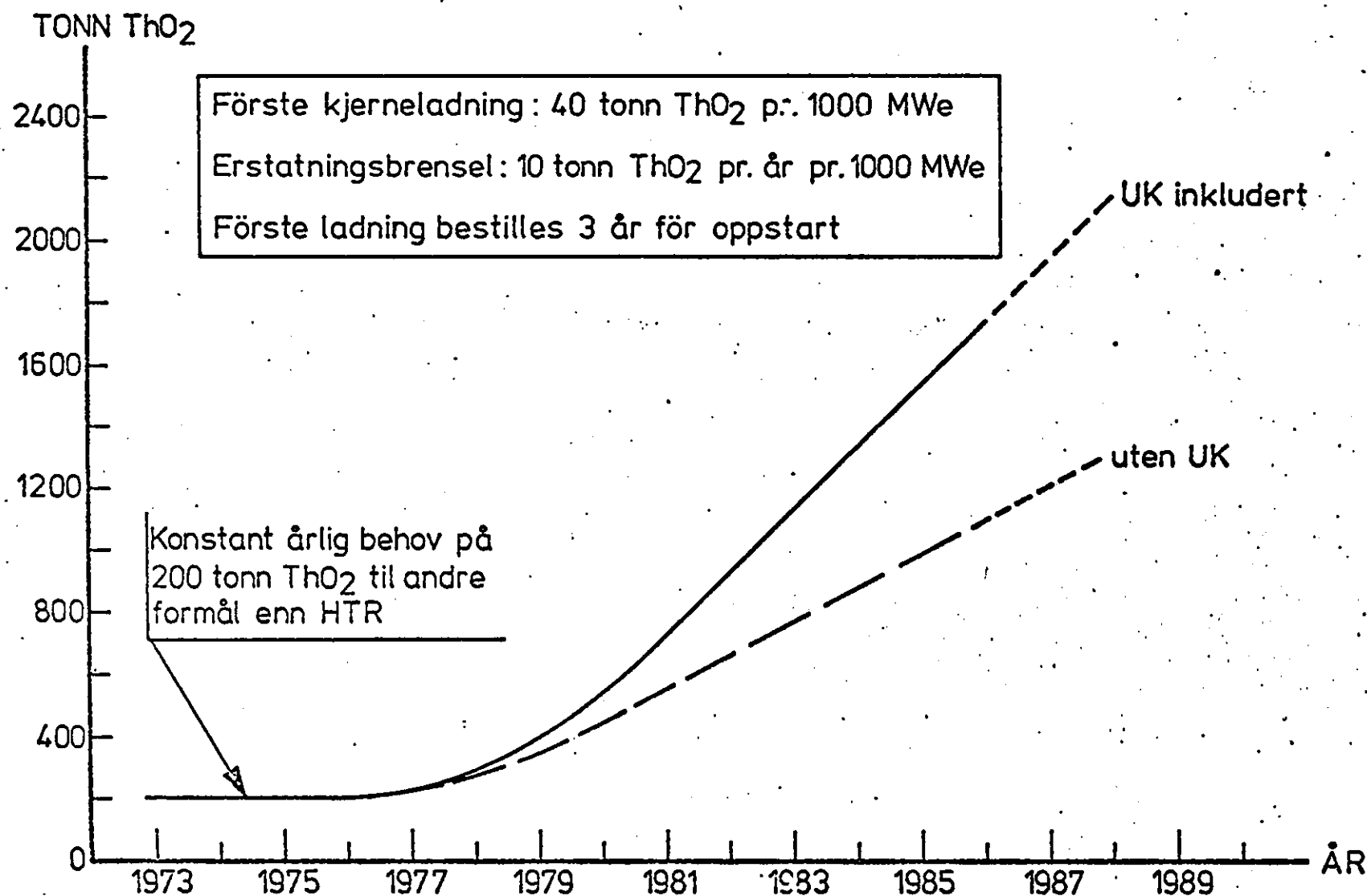


FIG.2. ANTATT TOTALT ÅRLIG BEHOV FOR THORIUM (tonn ThO_2)



THORIUMSammendrag av diskusjoner med representanter fra firmaer/institusjoner i Vest - Tyskland, Sveits, England og Frankrike

Som et ledd i utredningen om nukleære anvendelser av thorium, ble endel representative firmaer og institusjoner i Europa kontaktet ved forskjellige anledninger i perioden januar/februar 1973. I det følgende gis et sammendrag av de diskusjoner som ble holdt med disse representantene.

1. Th.Goldschmidt AG, Essen, Vest-Tyskland

(Diskusjoner med dr. L. Reinhardt og dr. Weisse)

Firmaet har vært interessert i å ta opp fremstillingen av Th som et av sine mange kjemikalieprodukter. De har imidlertid ikke funnet markedet for Th interessant nok.

Dr. Reinhardt var i 1968 hos Gulf General Atomic (GGA) i San Diego og snakket litt om Th. GGA hadde gitt ham en tabell som viste hvordan de antok Th markedet i lys av HTR utviklingen alene ville forholde seg i årene fremover. Tallene (short tons of ThO₂) gjelder USA, og HTR markedet totalt sett:

	<u>Årlig behov</u>	<u>Akkumulert</u>
1973	45	45
1974	45	90
1975	55	145
1976	110	255
1977	160	415
1978	210	625
1979	220	845

Det var dels på basis av denne prognosen Goldschmidt hadde besluttet at Th markedet ikke var så interessant. Dr. Reinhardt var nå klar over at GGA's prognose var for optimistisk.

Da han snakket med GGA fikk han oppgitt at det settes en begrensning på $\text{Th}^{230}/\text{Th}^{232}$ forholdet (mindre enn 10^{-4}) i Th som brukes i reaktorer. Fikk ikke klarhet i hvorfor.

Megon har tidligere vært i kontakt med Goldschmidt om RE produksjon. Goldschmidt har en betydelig produksjon av mischmetall og andre RE produkter. Ved en tidligere anledning hadde de fått noe malm fra Norge (Fensfeltet), hvor de forsøkte å utvinne RE. De hadde forsøkt kjente oppredningsprosesser på denne malmen uten suksess.

Goldschmidt har produsert RE siden 1953.

Når det gjelder Th produsenter, refererte Reinhardt til Rhône-Progil i Paris og Thorium Ltd. i Liverpool.

2. Rheinisch Westfälisches Elektrizitätswerke (RWE), Essen.

(Diskusjoner med professor Mandel)

RWE er den største elkraftprodusent i Tyskland, og har et omfattende kjernekraftprogram. Professor Mandel er en sentral figur i tysk- og europeisk energiforsyning.

I slutten av 70-årene vil den totale installerte kjernekraftkapasiteten i Vest-Tyskland være ca. 20 000 MWe, og i slutten av 80-årene ca. 70 000 MWe.

Innen 1990 mener Mandel at HTR muligens kan dekke 20 - 25% av den installerte kapasiteten, eller 15 - 20 000 MWe.

Tyskerne har en HTR forsøksreaktor i drift (av pebble bed typen), mens et større prototypanlegg på 300 MWe av samme typen er under bygging (THTR i Schmehausen).

Den første store HTR i 1 000 MWe klassen regner man med at Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen (VEW) vil bygge. VEW venter å få bud på en slik reaktor fra GGA i samarbeid med HRB (Hochtemperatur Reaktorbau GmbH) sannsynligvis i 1974. Det er planlagt å starte opp denne reaktoren i begynnelsen av 80-årene^{x)}. Det er sannsynlig at dette blir den første store HTR som bygges i Europa.

Mandel sier at RWE neppe får sin første HTR i drift før "utover i 80-årene", avhengig av erfaringene med byggingen av de første HTR anlegg spesielt i USA.

x) VEW sier selv at store usikkerheter knytter seg til byggingen

av denne reaktoren (se diskusjoner med VEW)

RWE baserer sitt kjernekraftprogram foreløpig bare på lettvannsreaktorer (BWR og PWR). De arbeider med bruk av Pu/U som erstatningsbrensel for disse reaktorene, og har endel slikt brensel allerede i et par av sine reaktorer. Imidlertid har de ingen planer om å bruke Pu/Th eller U/Th brensel i disse reaktortypene - muligens på lengre sikt kan man tenke seg å bruke Th i lettvannsreaktorer, men det er høyst usikkert. Det kan bli aktuelt å bruke Pu/Th i HTR, slik at man ikke er avhengig av høyanriket uran.

Mandel mener HTR har klare potensielle økonomiske og sikkerhetstekniske fordeler fremfor LWR (lettvannsreaktorer), men er ikke overbevist om HTR lettere kan få sikkerhetsklarering fra myndighetene's side. Han mener HTR vil komme sterkt inn på markedet utover i 80-årene.

Forøvrig mente professor Mandel at Nordsjøgassen ikke ville få noen innvirkning på kjernekraftprogrammet i Vest-Tyskland. Som grunnlast kan gass ikke konkurrere med kjernekraft.

3. HOBEG, Wolfgang, Vest-Tyskland.

(Diskusjoner med dr. Venet)

HOBEG (Hochtemperatur Brennelemente GmbH) er et nydannet datterselskap av NUKEM, og spesialiserer seg på fabrikasjon av HTR brensel, både av pebble og den prismatiske typen. De har nært samarbeide med GGA, og GGA har opsjon på kjøp av 49% av aksjene i selskapet. Etter planen skal HOBEG lage brensel til de HTR som GGA regner med å få solgt i Europa, (bortsett fra Frankrike og eventuelt England). HOBEG produserer brensel både etter GGA's og egne spesifikasjoner.

Dr. Venet sier de nå bare konsentrerer seg om Th/høyanriket uran som brensel for HTR. Brenselssyklus basert på dette er - etter deres oppfatning - klart den mest økonomiske for HTR - (dette kan diskuteres !) De ser ingen vanskeligheter med tilgang på høyanriket uran (93% U-235) selv på litt lengre sikt. Selv om USAEC nå er den eneste leverandøren av slikt materiale, regner HOBEG med at gassentrifugeanleggene som bygges i Europa kan levere høyanriket uran en gang i fremtiden. Dessuten kan Pu med fordel brukes sammen med Th i stedet for U-235. En annen ting er at skulle det bli

vanskeligheter med høyenriktet uran, har man en viss sikkerhet i at lavanriktet uran (uten Th) kan brukes i en HTR som er bygget for - og optimalisert for - Th/høyenriktet uran.

HOBEG legger opp driften, i alle fall de neste 10 år, etter Th/U-235 prismatic fuel av GGA eller egen design (moulded block). Regner med at for store reaktorer (1000 MW klassen) er GGA's design å foretrekke. For mindre reaktorer (300 MW klassen) er pebble bed å foretrekke - de lager også pebble bed fuel (Th/U-235).

Innen to år vil VEW bestille en HTR i 1000 - 1200 MW klassen, mener HOBEG. (Dette mener ikke nødvendigvis VEW - se avsnitt 8).

Fikk bekreftelse på at de tallene Mandel oppgir for sannsynlig HTR-utbygging i Tyskland utover i 80-årene er det samme som HOBEG regner med.

Den Th de nå bruker i sitt brensel, får de fra Frankrike (CEA). CEA har store lager med nuclear grade Th, som nitrat. Oppgir ca. 2000 tonn. Dette er et biprodukt fra U produksjonen. I væske-væske separasjon av U/Th kommer produktene ut som rene nitrater. HOBEG får dette Th-nitratet, og det går rett inn i prosessen uten videre rensing. HOBEG betaler 50 - 60 DM/kg nuclear pure ThO_2 , (eller 30 - 35 DM/kg $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$).

HOBEG kan bekrefte at det er massevis av Th på markedet - vesentlig som biprodukt fra U produksjonen (Frankrike, Canada, U.S.A.) - og de venter at prisen vil falle når markedet utvider seg (når HTR for alvor blir bygget).

HOBEG ville ikke gi meg spesifikasjonene for deres nuclear grade Th, men indikerer følgende maks. urenheter:

(GGA's spesifikasjoner)

Totale urenheter	550	ppm
Fe	50	"
PO_4^-	5	"
Si	50	"
U	200	"
B	0,5	"
Eu, Dy, Gd, Sm tilsammen	0,8	"
Alle andre RE	1	"

Isotopsammensetningen av det Th som brukes i HTR ble diskutert. Venet visste at GGA hadde satt en begrensning på $\text{Th}^{230}/\text{Th}^{232}$ til mindre enn 10^{-4} , men var egentlig ikke klar over hvorfor. Han kunne i alle fall bekrefte at HOBEG ikke legger noe vekt på dette problemet, og setter ikke slike krav til den Th de kjøper inn. Dr. Venet mente at Th^{230} innholdet i naturlig Th gjennomsnittelig var så lavt at det ikke hadde betydning. Problemet er lite omtalt i litteraturen og Th brensel-fabrikantene bekymrer seg tydensynlig ikke om disse forhold.

4. Gulf General Atomic (GGA), Zürich.

(Diskusjoner med Mr. Holm og dr. Finckbeiner)

GGA har sitt europakontor i Zürich og 10 - 12 mann er ansatt der - for det meste "salgsfolk" og ikke tekniske eksperter. GGA er det eneste firma som foreløpig har solgt store kommersielle HTR, men bare i USA. I USA har GGA nå solgt 6 store HTR, en av kundene har tatt opsjon på leveranse av ytterligere 2, og den første av disse reaktorene skal startes opp i begynnelsen av 80-årene.

GGA har etablert seg i Tyskland gjennom HRB, hvor de har overtatt 45% av aksjene. Som nevnt har de samarbeid med HOBEG, og de har også en avtale med CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) i Frankrike, og et "memorandum of understanding" med den franske industrigruppen GHTR som interesserer seg for HTR.

GGA håper å få solgt en av sine store reaktorer "snart" i Europa gjennom en av de nevnte grupper. Det blir da en reaktor av GGA design, med Th/høyenriktet uran brensel. GGA kommer bare til å bruke denne brenselstypen i sine reaktorer, hvis ikke (mot formodning) det senere skulle vise seg at lavanriktet uran brensel for HTR skulle bli mer attraktivt.

GGA regner med at det totalt sett kan bli bygget 100 000 MWe med HTR i Europa innen 1990 (veldig optimistisk!) og at markedet i USA kan bli større enn i Europa (Europa ca. 2/3 av USA). I Tyskland regner de med 25 000 MWe innen 1990, og likeledes at VEW bestiller den første HTR om et par år. Situasjonen i Frankrike er den at EDF (Electricité de France) sannsynligvis vil bygge en HTR 1 - 2 år etter tyskerne.

Med franskmennene har GGA forøvrig en avtale om fabrikasjon av HTR brensel. Mr. Holm sier at installert kjernekraftkapasitet i Frankrike i 1990 er anslått til 55 000 MWe, kanskje 15 000 MWe av dette blir dekket av HTR. (CEA, se senere avsnitt, sier muligens 5 - 8000 MWe HTR i 1990).

I England har GGA innledet forhandlinger med BNDC/TNPG (som nå forøvrig er slått sammen) om samarbeid. Her er ingen ting klart ennå. I England kan det bli betydelig utbygging av HTR i årene fremover (men da med lavanriktet uran brensel), men situasjonen er ennå svært uklar.

Når det gjelder reprosessering av Th/U-235 brensel, så vil det ikke bli bygget slike anlegg i USA før 50 000 MWe med HTR er bygget ut. I Europa regner GGA med at reprosesseringsanlegg kan bli aktuelt når 25 000 MWe med HTR er bygget ut. Det vil si at før 1985 - 90 blir det neppe muligheter til å få reprosessert Th brensel. GGA akter imidlertid å selge sine reaktorer med en garantert fuel cycle cost, og foreløpig lagre de utbrente elementene.

Diskusjonen når det gjaldt tekniske detaljer på brenselssiden ble noe skuffende, da GGA representantene ikke visste så mye om dette. Hvorfor GGA satte en begrensning på $\text{Th}^{230}/\text{Th}^{232}$ forholdet visste de ikke, men de skulle finne det ut gjennom hovedkontoret i USA. Det er senere kommet svar på dette spørsmålet, og kopi av svarbrevet fra GGA følger vedlagt (Bilag II).

5. Dragon, Winfrith, England

På et møte i Dragonprosjektet 16 januar 1973, hvor jeg var tilstede, ble det fremlagt noen korte rapporter fra signatarene om de respektive lands interesser på HTR feltet. Disse rapportene følger vedlagt som Bilag III.

I diskusjonen som fulgte presentasjonene av disse rapportene kom det frem at det er uenighet om hva som er den mest attraktive brenselssyklus for en HTR, alle forhold tatt i betraktning. Dragon's prosjektledelse og representanter fra United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA) setter spørsmål ved økonomien til Th/U-235, ikke minst på grunn av reprosesseringsvanskelighetene.

Før man hadde en klar oppfatning av kostnadene ved reprosessering, kunne man ikke si at Th/U-235 er den mest økonomiske brenselssyklus.

Franske og tyske representanter var ikke enige. De mener, som amerikanerne, at Th/U-235 er den mest økonomiske brenselssyklus, selv om man ikke reprosesserer brenselet (throw away cycle).

Det vil ved en senere anledning bli arrangert et møte i Dragon's regi, hvor økonomiske og andre forhold ved forskjellige typer brensel for HTR blir diskutert i lys av senere tids utvikling.

Det ble forøvrig pekt på at man i en HTR sannsynligvis kan skifte mellom lav-anriket og høy-anriket brensel i en og samme reaktor.

I forbindelse med Dragon møtet hadde jeg en samtale med siv.ing. Tor Midtbø fra BBC, Baden, Sveits. Han har vært ansvarlig for BBC's utviklingsarbeid på HTR området.

De syn på HTR utviklingen i Europa som var innhentet fra forskjellige hold fant han rimelig. Dog mener han at GGA's egen prognose for salg av HTR i Europa er urealistisk optimistisk.

Når det gjelder mulig bruk av Th som brensel i lettvannsreaktorer (LWR) hadde Midtbø innhentet følgende kommentar fra Asea-Atom:

"Det finnes visse teoretiske fordeler ved å anvende Th som fertilt materiale i en LWR. De består først og fremst i mulighetene til å øke konversjonsforholdet til nær eller omkring 1, dvs. betydelig over det som er mulig med en U/Pu cyklus. Dette er bakgrunnen for det utviklingsprogram (light water breeder programme) som admiral Rickover driver med USAEC penger. Det er imidlertid liten eller ingen interesse for dette programmet i industrien. Grunnen til dette er dels at man må bruke høyanriket uran (og det kan det bli vanskelig å få hvis anrikningskapasiteten svikter) og dels refabrikasjonsvanskeligheter med gammaaktivt U-233. I praksis kan man derfor si at det ikke finnes noen interesse for Th i LWR".

6. Roskill Information Service Ltd., London

(Diskusjoner med dr. P. Nicholson og Mr. P.E. Sanderson)

Diskusjonen dreiet seg i første rekke om Roskill's publikasjon "The economics of Thorium". Den er satt sammen av dr. Nicholson (fysiker) på bakgrunn av litteratur som er publisert i de senere år. De laget en lignende rapport i 1967. Roskill samler og systematiserer teknisk litteratur i forbindelse med en rekke stoffer (vesentlig metaller) og publiserer den oppsamlede informasjon med jevne mellomrom. Dessuten tar de oppdrag (den vesentligste aktiviteten) om å utrede forskjellige ting, i forbindelse med markedsføring av råstoffer, metaller etc.

Under diskusjonen omkring Th rapporten pekte de selv på en svakhet, nemlig det fremtidige marked for Th i lys av kjernekraftutviklingen. På dette punkt hadde jeg endel informasjon som de noterte med interesse. Dr. Nicholson var svært interessert i å bli informert om resultatene av vår egen Th utredning, og ville dessuten gjerne ha informasjon om de norske Th forekomster.

I Roskill rapporten er det meget verdifull informasjon om forekomster av Th, hvem som leverer Th, antatt produksjon etc.etc. Oversikten viser at det er mye Th på verdensmarkedet, og slik vil situasjonen være i mange år fremover. Det er store lagre av Th bl.a. i Kanada, Frankrike, USA og England, både i ren form som biprodukt fra U utvinning, eller som lett tilgjengelig råmateriale (opparbeidet malm.)

De hadde vanskelig for å se at det ville lønne seg for Norge å starte en aktivitet med utvinning av Th - selv på litt lengre sikt.

Roskill tok gjerne på seg et oppdrag i forbindelse med eventuell undersøkelse av lønnsomheten ved markedsføring av Th.

7. Commissariat a l'Energie Atomique (CEA), Saclay, Paris

(Diskusjoner med M. J. Pelcé, M. Brisbois, M. L. Rigo, M. L. Guccia og M. A. Meunier).

Franskmennene har ikke endelig bestemt seg for om de vil satse på høyanriket Th/U²³⁵ eller lavanriket uran-syklus for HTR. Th/U²³⁵ er - etter deres oppfatning - klart den mest økonomiske, men problemer med reprosessering og refabrikerings. De kan også tenke seg Th/Pu eller U/Pu for HTR.

EDF, som bygger alle kjernekraftverk i Frankrike, ser nå bare på LWR, og på lengre sikt, hurtige reaktorer. De har bare uttrykt en interesse foreløpig i HTR. Men CEA/GGA sammen med GHTR lager nå et tilbud på HTR til EDF. Det skal være ferdig i 1974.

Det er rimelig at den første HTR av noe størrelse i Europa blir bygget ferdig i 1980 - litt optimistisk - og tyskerne vil bygge den første. Om EDF vil bygge HTR er fremdeles usikkert.

Hvis HTR kommer inn i EDF's kjernekraftprogram, så kan de tenke seg en utvikling som går i retning av at det i 1990 kan være bygget 5 - 8 000 MWe med HTR. CEA representantene indikerte at man i Frankrike i år 2000 regner med å ha 150 000 MWe med kjernekraftkapasitet installert. Av dette vil kanskje 30 - 35 000 MWe være HTR, 30 - 35 000 MWe FR (hurtig reaktorer) og resten i alt vesentlig LWR (noen gasskjølte reaktorer av Magnox typen er allerede i drift.)

CEA holder ikke på med noen studier av Th brensel i LWR. Tror ikke det blir noen utvikling her, heller ikke når det gjelder bruk av Th brensel i hurtige reaktorer.

CEA har selv produsert mye Th, som biprodukt fra U fremstilling. Th og U skilles i en væske-væske ekstraksjonsteknikk, og i en slik prosess er det ingen vanskeligheter med å få produsert Th av "nuclear grade quality" - det som de f.eks. selger til HOBEG.

Produksjonen av rent Th har de nå stoppet, da de mener å ha nok på lager - de ville ikke si hvor mye de har, men HOBEG antydte ca. 2000 tonn. Den U malm de nå forøvrig benytter, inneholder svært lite Th, i forhold til tidligere U råstoff.

Når det gjelder spesifikasjoner for nuclear grade Th, stemmer de tall jeg fikk oppgitt med HOBEG's tall.

CEA gjør ikke noe arbeid med reprosessering av Th brensel, de venter å få informasjon på dette feltet gjennom sitt samarbeid med GGA.

Separat hadde jeg en kort diskusjon med M. Vendryes, som er sjef for reaktorutviklingsavdelingen ved CEA. Hans syn på Th var at selv med utviklingen av HTR blir markedet meget begrenset. Man skal huske på at det brukes 10 ganger så mye U som Th i HTR. Det er mye Th

tilgjengelig og ikke noe særlig komplisert å fremstille rent Th for reaktorbruk - for de som har U utvinningsanlegg. CEA har store lagre med rent Th, og kan levere.

8. Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen (VEW)

(Diskusjoner med dr. Schwarz)

Dr. Schwarz er sjef for kjernekraftprogrammet til VEW, og sitter dessuten som sekretær i EURO-HKG (en sammenslutning av store europeiske elkraftprodusenter som har interesser i bygging av HTR - bl.a. CEGB (UK), EDF (Frankrike), RWE (Tyskland), ENEL(Italia) og VEW.

Schwarz var i Oslo i februar i år for å holde foredrag om HTR i Norsk Atomenergiforening. I den forbindelse ba jeg ham om å få en uttalelse fra VEW når det gjelder deres syn på HTR utviklingen. Hans svarbrev er vedlagt (Bilag IV).

Uttalelsen fra VEW legger jeg vekt på, da det representerer et syn fra det selskapet i Europa som alle regner med vil bli den første HTR kunde. Deres prognose er kanskje den mest realistiske som kan fremskaffes på dette tidspunkt, da den også reflekterer EURO-HKG's syn.

Den utbyggingstakt for HTR som Schwarz anslår, stemmer rimelig godt med de opplysningene jeg har innhentet fra annet hold.

Gulf General Atomic Europe

WEINBERGSTRASSE 109 8006 ZURICH SWITZERLAND

Ø 01/28 94 80 CABLES: GENEUROP ZURICH TELEX: 53499

Mr. Lingjaerde
Institut for Atomenergi
P.O. Box 40

Kjeller
Norway

Zürich, 22nd February, 1973

Thorium - Specification. Limit for Th-230/Th-232 ratio

Dear Mr. Lingjaerde,

during the talks we recently had in Zurich, you asked for the reason of limiting the Th-230/Th-232 ratio in our Thorium specification to $<10^{-4}$.

This question can be answered as follows:

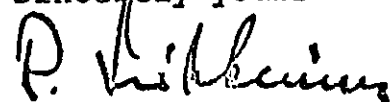
Th-230 can become the major contributor to the U-232 build-up during irradiation if its initial content in the fuel exceeds the given limit. The daughter products of U-232 are emitters of highly penetrating γ - radiation, such leading to handling difficulties of the reprocessed fuel during refabrication.

In the cases the US AEC policy is applied for the buyback of the bred U-233, a penalty will be imposed on its value due to its U-232 content. For your further information I enclose our report GA-10233 from which you can draw detailed figures on this subject.

It is not felt that the Th-230 content of natural Thorium will exceed the specified limit.

I hope this answers your question satisfactorily.

Sincerely yours



R. Finkbeiner

Enclosure

HTR-INTERESSER I DRAGON-SIGNATARLANDA Note on the Current UK Interest in HTR Fuel Concepts

by

Mr K Prince

The reference design of fuel element for the UK Mk III GCR was chosen in 1969 as the tubular interacting fuel pin, and this led to the UK giving strong support to a wide-ranging series of fuel pin irradiation experiments in the Dragon Reactor, in addition to a comprehensive programme of fuel manufacturing development and out-of-pile testing in support of this concept, undertaken by the UKAEA and the design and construction companies.

The decision to adopt the tubular interacting pin was largely influenced by the relatively short time scale then thought to be available for proving the fuel and the need for irradiation testing of as representative a design as possible. Since the decision was taken the time scale for the introduction of the Mk III GCR has lengthened while the experimental information now available gives considerable confidence in the generalised behaviour of fuel particles and compacts.

Considerable attention is now being given to the use of the integral (multi-hole) block fuel concept and work to determine an optimum geometry is being carried out. Assessments of stress and corrosion aspects are also required. Subject to a satisfactory outcome of these assessments, the integral block would become the preferred UK fuel concept for further irradiation experiments in Dragon.

There is no reduction in immediate interest however in the experimental work in the TI design, because of the component irradiation information which will be obtained and because of the need to retain it as a fall-back design. The UK sponsored fuel experiments currently scheduled for irradiation in Dragon should continue to the irradiation levels appropriate for each individual experiment, including those on the directly cooled fuel pin for which there is a continuing long term interest.

HTR Programmes in the German Federal Republic

by

Dr E Balthesen

Fuel elements under development cover five reactor types.

(1) AVR

It has been operating since 1967. The current gas exit temperature is 850°C but provisions for increase to 950°C are being made. The current maximum fuel temperature is 1250°C in the centre of the sphere with 1100°C on the surface. These figures correspond to a peak power of three kilowatts per sphere. The total primary circuit gas activity is below 50 curies. There are four different varieties of fuel sphere and further new types will be introduced during 1973. Continued operation of the AVR Reactor provides the opportunity for intensive study of HTR plant under load in addition to irradiation of spheres under development from the THTR Reactor.

The irradiated fuel from AVR will be used for commissioning trials of the pilot reprocessing plant Jupiter.

(2) THTR 300

The Reactor at Schmehausen has been under construction since May 1961 and start-up is scheduled for the end of 1976. In addition to fuel testing in the AVR more than 100 spheres have been irradiated in test reactors up to and beyond the target dose and burn-up requirements. The first charge of the THTR will comprise uranium/thorium mixed oxide kernels with bisco coatings.

(3) HTR 1160 MW GGA Design

The companies, BBK/HRB, are working to submit a tender for an 1160 MW HTR based on the GGA design to a German utility company with the expectation of an order being placed for the plant to be constructed and operated by 1980. Invitations for further tenders for steam cycle HTR plants are expected in the near future.

It is expected that the initial fuel element adopted for these plants will be to the GGA specification and operation of the Fort St Vrain prototype reactor will play a major role in giving confidence for the ordering of these plants. No specific development work and testing of the current GGA fuel element design is planned at present and HOEG is thought to be in possession of sufficient GGA knowhow from their Licence Agreement for the necessary fuel element manufacture. Design of the fuel elements for this plant will follow closely the GGA specification with separate fissile triso and fertile bisco particles.

Preparations however are being made for supply of a commercial German graphite for fuel element and reflector.

(4) HHT

Work is proceeding to produce a reference design for the direct cycle HTR by 1974 and submission of a tender for construction by 1977.

Partners in the work are HRB, Nukem (HOEG) and KFA.

The fuel element design has not yet been decided, both prismatic and spherical types being under consideration.

(5) NPW (Nuclear Power Plant for Process Heat Application)

A joint Project with "Bergbau GmbH", Essen and "Rheinische Braunkohle AG", Cologne was launched by KFA to study the application of HTR-generated heat to conversion of solid fossil fuels. Until 1975 basic studies are being carried out by KFA, the reactor chosen being Pebble Bed based on the Otto cycle. Fuel element developments are covered by the THTR and HHT Programmes.

The German HTR fuel element development has followed the uranium/thorium fuel cycle whilst, at the same time, watching progress with the low enriched cycle which has second priority, it being assumed that the main development objectives for it are covered by the Dragon Project's work.

The mixed oxide particle developed for AVR and THTR presents economic problems in reprocessing and future development work will concentrate on the separated fissile/fertile fuel. The reference design adopted is that of GGA for which German industry has all the necessary knowhow from its Licence Agreements. It is considered important from the economic point of view to use bisco coatings for breed particles.

All fuel element development follows the moulded body route as originally used for sphere production and now extended to pins and integral blocks. Each of these concepts is tested in the Dragon Programme.

HTR Work in Italy at CNEN

by

Dr G Ing Basso

The principal work in Italy in support of High Temperature Reactors is participating in the Dragon Project and Ispra Joint Research Centre.

The ENEL utility are making some PCRV studies and ENI collaborate with Belgonucleaire in coated particle development. Studies of fuel reprocessing and refabrication have been carried out with Agip Nucleare and preliminary talks are being held with both KFA Jülich and GGA on the possibility of collaboration in this field.

It is hoped that ENEL will be able to collaborate with Euro-HKG in the future.

HTR Developments in Holland

by

Dr E K Hoekstra

No specific HTR interest exists at present. Most power stations are of 300 MW size and it doubtful whether an HTR would be economic.

HTR Developments in Austria

by

Dr P Koss

There are several minor activities in the HTR field, in particular developments of techniques for Post-Irradiation Examination and Quality Control. There is also special material development, for example, in boron carbide absorber particles and advanced coated particle concepts.

HTR Developments in Norway

by

Mr R O Lingjaerde

Little work is in hand at present, outside the CIIR metals programme, and the Dragon Project is largely relied upon for information on HTR developments.

The first nuclear power plant in Norway is expected to be in operation by 1981/82. It will be in the 800-1000 MWe size range, with the Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE) as owner/operator.

HTR is not likely to be considered for this first plant. NVE, however, recently engaged Scandpower A/S (a consulting nuclear engineering firm closely linked to Institutt for Atomenergi) to carry out an assessment of the commercial and technical status of the HTR.

NVE is hesitant to consider one of these reactors for their first plant. The delay in the UK in declaring a firm interest in commercial HTR's adds to NVE's - and other utilities - hesitancy. Other utilities in Scandinavia,

which NVE cooperates with, have expressed considerable interest in HTR and the Scandpower assessment.

HTR Developments in Switzerland

by

Mr T Hiltbr

Some minor work is going on but there is no strong interest in the HTR from Swiss utilities who are all private organisations which will buy the reactor they judge to be the cheapest and best at the time.

CEA Statement on Probable HTR Development in France

by

Mr H Loriers

CEA and the French Industrial Group for HTR (GITHR) have recently concluded an agreement with GULF for the development of reactors based on the GULF system.

Accordingly the main line of work on HTR in France during the next years will follow the options of this system, i.e., thorium cycle with uranium-233 recycle, fissile TRISO and fertile BISO particles and multihole block type fuel elements.

The first objective is the preparation of an offer which will be submitted to the utilities in 1974.

The CEA will study the best adaptation of the system to the French economical situation and will favour the use of techniques and materials developed in France : oxide kernels, French graphite for instance.

The CEA/GULF collaborative research and development programme includes irradiations of graphite, particles and compacts, fuel elements in the French facilities and out-of-pile studies on graphite and fission products.

CEA is still interested in the low enriched uranium fuel cycle and developments for the future moulded blocks, tubular directly cooled fuel elements (obtained by BBS and other fabrication processes) and advanced particles.

The CEA is willing to coordinate its programme with the Dragon Project and with participant organisations which are interested.

HTR Developments in Belgium

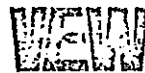
by

Mr H Bairiot

The Belgonucleaire policy had been set out in a paper presented to the Nuclex meeting in October 1972. It was impossible for Belgonucleaire to follow an independent policy and they were, therefore, closely following progress in other countries. There was interest in the low enriched fuel cycle and experience with the larger particles was relevant to thorium cycle requirements.

TI pin irradiations should be pursued as a fall-back position but the integral block should now have priority in development and testing.

Dr.-Ing. D. Schwarz
i. H.



Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen
Aktiengesellschaft

Postanschrift: VEW Hauptverwaltung, 46 Dortmund, Postfach 941

Herrn
Rolf Lingjaerde
i. H. Norsk Atomenergiforening
Gruppe AV P. F.

Hauptverwaltung

Oslo
Rosenkrantzgt. 7

46 Dortmund
Ostwall 51

Norwegen

Ihre Zeichen

Ihre Nachricht

Unsere Zeichen

Hausruf bei Durchwahl

Datum

H MT VK Dr.Sz/Sie

544 4295

5. März 1973

Betreff

Sehr geehrter Herr Lingjaerde!

Besten Dank für Ihren Brief vom 28. 2. 1973. Ich hoffe, daß ich Ihnen die Reinschrift meines Vortrages bis Mitte April zusenden kann. Da die Qualität der Bilder sehr schlecht ist, wollte ich den Vortrag noch geringfügig so ändern, daß er ohne Bilder verständlich ist. Falls Sie die Reinschrift vor Mitte April benötigen, bitte ich um Mitteilung.

Um die installierte Leistung von Hochtemperaturreaktoren in den Jahren 1980, 1985 und 1990 in Europa und USA voraussagen zu können, müßte man Prophet sein. Hier spielen vor allen Dingen zwei Unsicherheiten eine Rolle: Zum einen ist die echte Kostenstruktur im Vergleich zum Leichtwasserreaktor noch unbekannt und wird frühestens 1980 bekannt sein. Sollte die echte Konkurrenzfähigkeit von Hochtemperaturreaktoren von einer weiteren Ausschöpfung des Potentials, d. h. von einer weiteren Entwicklung, abhängen, so ergibt sich hieraus zweifellos eine Verzögerung bei der Einführung. Zum anderen spielt die für das nächste Jahr erwartete Entscheidung der Engländer eine große Rolle, einmal weil hier möglicherweise ein ganzer Markt (nicht nur ein Teilmarkt) sich für den HTR eröffnet, zum anderen weil auch eine ausreichende industrielle Kapazität für die Bedienung dieses Marktes vorhanden ist. Da die Bedingungen in den

./.

USA und in Deutschland anders sind, sind hier nur Teilerfolge zu erwarten.

Wenn man trotz dieser Unsicherheiten eine Schätzung wagen will, so könnte man für 1990 rund 50 GW für die USA prognostizieren (von einem geringen Anteil bis zu einem Viertel des Kernenergiemarktes anwachsend) entsprechend für die Bundesrepublik Deutschland gut 10 GW und für andere Länder der Welt außer England 10 bis 20 GW, in England selbst evtl. 50 GW. Für 1985 wären möglicherweise 25 % der genannten Werte anzusetzen, für 1980 nur 1 GW (außer den Prototypen). Diese Zahlen dürften als "vorsichtig optimistisch" gelten und dürften nur dann wesentlich überschritten werden, wenn die großen LWR bauenden Firmen ebenfalls ab Anfang der 80er Jahre HTR anbieten würden.

Hinsichtlich meiner Reisekosten kann ich Ihnen die erfreuliche Mitteilung machen, daß sich die VEW bereit erklärt hat, diese zu übernehmen.

Mit herzlichem Dank für Ihr schönes Gastgeschenk

Dr.

Richard Schwarz

Litteraturreferanser

1. The Economics of Thorium. Roskill Information Services, Ltd., London, December 1972.
2. Thorium Fuel Cycle. Proceedings of Second International Thorium Fuel Cycle Symposium, Gatlinburg, Tennessee, February 1968.
3. Stewart, H. B. et. al. Utilization of the Thorium Cycle in the HTGR. A/Conf. 49/P/837, May 1971.
4. Second Illustrative Nuclear Programme for the Community, Annex VI, High-Temperature Reactors. Brussels, March 1972.
5. Humphrey, H. W. Thorium - Background and Properties of Interest. U.S. Bureau of Mines, March 1970.
6. Wallin, L. B. Uran-233, Kärnladdningar och avancerade reaktorer. FOA 4 Rapport, C 4487 - A2, Mars 1972.
7. Colby, R. C. et. al. HTGR Fuel and Fuel Cycle. GA-10233, May 1971.
8. Report on Uranium and Thorium Resources. Production and Demand. May 1973. (Draft NEA report SEN/NELT(73)7).
9. Huddle, R. et. al. The Status of Fuels and Metals for HTR. Dragon Project Report 818 (December 1972).
10. Graham and Price. HTR Fuels and their further Development. Dragon Project Report 803 (July 1972).
11. T. Skardhamar. The production of U-232 from reactions in Th-230 and Th-232. IFA internt notat, mai 1973.



Elkem-Spigerverket as Head Office

Middelthuns gate 27
P.O. Box 5430
Oslo 3
Norway

Telex: 18229
Telephone: (02) 4668 70

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige
Forskningsråd
v/Metallurgisk komité
Gaustadalléen 30
OSLO 3

Your Ref.

Our ref.
BTT/kk

Oslo,
5. juni 1973

ØKONOMISKE BETRAKTNINGER VEDR. FREMSTILLING AV TORIUM I NORGE

Som medlem av det utvalg som høsten 1972 ble oppnevnt av NTNF for å utrede mulighetene for en utnyttelse av toriumforekomstene i Norge, var det undertegnedes oppgave å fremskaffe og bearbeide endel økonomiske parametre vedr. mulig fremstilling av torium i Norge i fremtiden.

De etterfølgende uttalelser og forutsetninger er basert på de øvrige utvalgsmedlemmers rapporter, Roskill-rapporten omkring torium, samt erfaringer rundt økonomien ved væske-væske-ekstraksjon av yttrium, idet det forutsettes at samme type prosess vil kunne nyttes for toriumfremstilling.

Det er i denne rapport ikke tatt stilling til bruken av norske eller importerte råmaterialer. Det er heller ikke gjort forsøk på å beregne utviklingskostnadene for en prosess. Det må imidlertid kunne antas, på bakgrunn av de erfaringer man har fra yttriumfremstilling, at utviklingskostnadene vil beløpe seg til en god del, samt at bruken av norske råmaterialer neppe vil være så økonomisk som import av konsentrerte råmaterialer, dette om man forutsetter samme oppredningstekniske problemer som i forbindelse med fremstilling av yttrium fra norske forekomster.

Det er i samtlige av de rapporter som ligger til grunn for disse betraktninger fastslått at markedet for torium på global basis idag er beskjedent og at der er overproduksjon på torium.



Det totale årlige behov for torium, eksklusive nukleære formål, er idag ca. 200 tonn ThO_2 .

Som det fremgår av overing. Lingjærdes rapport av mai 1973, er en økning utover dette kvantum i det alt vesentlige basert på at man i fremtiden vil benytte kraftreaktorer av HTR-typen.

Tar man utgangspunkt i denne forutsetning, vil markedet for torium i 1985 iflg. fig. 2 i overing. Lingjærdes rapport ligge på et sted mellom 1000 og 1600 tonn ThO_2 pr. år. Som det fremgår av figuren har man regnet med en stigning i etterspørselen fra ca. 1980.

Prisen på nukleært rent ThO_2 ligger idag på ca. 100 - 120 kr./kg. Sannsynligheten for en betydelig prisstigning synes, ut fra de gitte forhold, liten. Ved siden av de lagre som idag finnes, fremstilles torium som et biprodukt hos en rekke uranprodusenter.

Det skal dessuten nevnes at samtidig som etterspørselen etter ThO_2 antas å sige i 1980-årene, vil den kanadiske bi-produksjon av ThO_2 øke slik at om det normalt burde kunne forventes en prisstigning, snarere kan ventes en prisreduksjon. Bare i Canada vil det i 1985 kunne utvinnes 10.000 tonn ThO_2 pr. år, om behovet skulle gjøre dette ønskelig.

De momenter som her er trukket frem skulle i og for seg gi en relativt klar indikasjon om at produksjon av ThO_2 i Norge neppe kan være økonomisk lønnsomt alle forhold tatt i betraktning.

Undertegnede har laget en økonomisk beregning som forutsetter at man bør kunne oppnå en markedsandel på 10% i forhold til det estimerte behov i 1985.

Basert på denne forutsetning vil et eventuelt anlegg for fremstilling av ThO_2 få en årskapasitet på 160 t.



Antatte anleggsinvesteringer kr. 20 mill.

Avskrevet over 10 år vil dette medføre

årlige avskrivninger på kr. 2 mill.

Årlige faste kostnader vil antas å beløpe seg til ca. kr. 5 mill.

Variable enhetskostnader pr. kg produsert ThO_2 kr. 75,-.

Antatt salgspris pr. kg ThO_2 kr. 110,-.

Basert på disse forutsetninger kan man stille opp følgende regnskap:

Omsetning 160.000 kg a kr. 110,-	kr. 17.600.000
Variable prod.kostnader 160.000 kg a kr. 75,-	<u>" 12.000.000</u>
Dekningsbidrag for faste kostnader	kr. 5.600.000
- Faste kostnader	<u>" 5.000.000</u>
Resultat før renter og avskrivninger	kr. 600.000
O.dinære avskrivninger	<u>" 2.000.000</u>
Resultat før renter på driftskapital	<u>-kr. 1.400.000</u>

Det poengteres at ovenstående beregninger antas å være meget optimistisk anslått. Bl. a. representerer råmaterialkostnadene et vesentlig usikkerhetsmoment.

Beregningen indikerer at en toriumfremstilling i Norge etter de gitte forutsetninger ikke er lønnsom. Det har således ingen hensikt å regne rentabilitet på de beregnede anleggsinvesteringer, da den vil bli negativ selv om man forutsetter drift i anlegget lenge etter at det er nedskrevet.

Grunnen til at andre tilsynelatende har en lønnsom produksjon av torium, er at det enten fremstilles som et rent biprodukt eller som et produkt sammen med en rekke andre sjeldne jordarter. Det skal i denne forbindelse nevnes at tilknytningen mellom produksjon av torium og andre sjeldne jordarter synes avtagende, kfr. Roskill rapp.

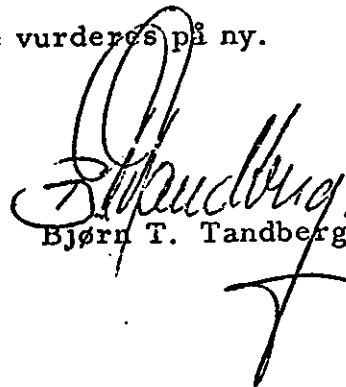


KONKLUSJON

Denne vurdering er basert på de øvrige utvalgsmedlemmers rapporter og øvrige kildemateriale, samt undertegnede egne erfaringer med økonomien omkring væske-væske-ekstraksjon av yttrium.

Fra en økonoms synsvinkel vil en med fordel kunne vente med ytterligere undersøkelser med tanke på kommersiell utnyttelse av torium i Norge, fordi de tilgjengelige data som man hittil har hatt å bygge på er spinkle og til dels rene antagelser.

Om markedssituasjonen endres drastisk i forhold til dagens indikasjoner bør mulighetene vurderes på ny.


Bjørn T. Tandberg