
KBS TEKNISK RAPPORT

115

**Accelererad utlösning av uran från
 α -aktivt UO_2**

Gösta Nilsson

Studsvik Energiteknik AB 1978-04-27

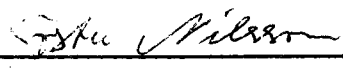
ACCELERERAD UTLÖSNING AV URAN
FRÅN α -AKTIVT UO_2

Gösta Nilsson
Studsvik Energiteknik AB 1978-04-27

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av KBS. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarens och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarens.

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

Studsvik Arbetsrapport - Technical Report

Projektidentifikation – Project identification	Datum – Date 78-04-27	Org enh och nr – Report No. FL - 1
Titel och författare – Title and author Accelererad utlösning av uran från alfaaktiv UO_2 Gösta Nilsson		
Distribution P E Ahlström S Henrikson Kåre Hannerz G Blomqvist Roy Forsyth KBS 5 ex U B Eklund Ragnar Gelin Lennart Devell		
Godkänd av – Approved by 	Kontorr LF-1000	<input type="checkbox"/> Rapporten skall förhandsviseras – Internal notes
<p>1) Sputtering Endast den direkta emissionen av uranatomer till följd av kollisionsskaskader går att beräkna. Den har uppskattats till $1.3 \cdot 10^{-14} \cdot C;g U cm^{-2} \text{år}^{-1}$, där C; är alfaaktiviteten i Curie ton⁻¹.</p> <p>2) Förångning av uran i "thermal spikes" Troligen försumbart jämfört med (1).</p> <p>3) Kemisk etsning av alfaspåren Går ej att uppskatta men kan ge ett mycket stort bidrag. Bör undersökas experimentellt.</p> <p>4) Blåsbildning och avflagning Troligen liten jämfört med (1).</p>		

BL 4848 A

Abstract

The loss of uranium atoms from the surface of UO_2 due to its alpha activity has been estimated. The loss may be due to sputtering, evaporation from "thermal spikes", chemical etching of the alpha tracks and blister formation and exfoliation of the surface.

The effect of sputtering was estimated by a calculation of the number and energy of the different knock-ons in the collision cascade. Only the primary knock-ons were found to have sufficient energy to be ejected. The emission rate of uranium due to sputtering was found to be $1.3 \times 10^{-14} \times \text{Ci}; \text{ g U cm}^{-2} \text{ year}^{-1}$, where Ci is the alpha activity in curie ton^{-1} . The loss of uranium due to evaporation, blistering and exfoliation is probably less than that caused by sputtering. When UO_2 is in contact with water chemical etching of the alpha tracks by the oxidizing radicals formed by the radiolysis of water may give a very large contribution to the uranium loss. This loss is impossible to calculate and should be found experimentally.

Accelererad utlösning av uran från alfaaktiv UO_2

Om UO_2 står i kontakt med vatten kan man tänka sig följande orsaker till accelererad utlösning av uran och andra nuklider.

1) Sputtering

Sputtering innebär att varje alfapartikel ger upphov till en kollisionskaskad som omfattar ett begränsat antal U och O atomer i UO_2 . Ligger en sådan kaskad tillräckligt nära gränssytan UO_2 - vatten kan en del atomer övergå till vattenfasen.

I ett sputteringsexperiment bestrålar man provet med monoenergetiska joner med en viss infallsvinkel, medan i detta fall alfapartiklarna faller in mot gränssytan under vinklar från 0 till 90° och energin varierar från begynnelseenergin E_0 till noll. Teorin för sputtering (t ex Thompson, Phil Mag 18, 388 (1968)) kan därför inte användas i detta fall.

För att uppskatta emissionen av uranatomer har jag räknat på följande sätt.

Alfapartiklarna förlora under större delen av räckvidden energi genom oelastiska kollisioner men samtidigt slås gitteratomer loss genom elastiska Rutherfordkollisioner. Dessa s k displacementkollisioner ger upphov till primära knock-ons. Om en alfapartikel gör $\Psi(E)dE$ displacementkollisioner mellan E och $E-dE$, bildas det

$$dN_1 = \Psi(E)dE \quad (1)$$

primära knock-ons.

$$\text{Men } \Psi(E)dE = \frac{dx}{\lambda(E)} = n\sigma_d(E)dx$$

om alfapartikeln rör sig sträckan dx mellan E och $E-dE$. Här är $\lambda(E)$ fria medelväglängden och $\sigma_d(E)$ tvärsnittet för displacementkollisioner och n är antalet atomer cm^{-3} . Uttrycket för $\Psi(E)$ blir då

$$\Psi(E) = n\sigma_d(E) \left(\frac{dE}{dx}\right)^{-1} \quad (2)$$

Som uttryck för stopping power har jag tagit Lindhard och Scharffs (Phys Rev 124, 128 (1961)) dE/dx för oelastiska kollisioner

$$-\frac{dE}{dx} = \kappa\sqrt{E} \quad (3)$$

där

$$\kappa = \frac{13,8 \cdot 10^5 \cdot Z_1^{1/6} \cdot 8\pi e^2 n a_o Z_1 Z_2}{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{3/2} \sqrt{M_1} v_o} \quad (4)$$

där Z_1 och M_1 är alfapartikelns atomnummer och masstal och Z_2 är atomnumret för targetatomerna. Vidare är e elektronladdningen, n antalet targetatomer cm^{-3} , $a_o = 5,29 \cdot 10^{-9}$ cm (first Bohr radius) och $v_o = e^2/\hbar$. Som värde på Z_2 har jag använt det viktade värdet för U och O.

Tvärsnittet för Rutherfordkollisioner vid E där en energi mellan T och $T + dT$ överförs till knock-ons kan skrivas

$$d\sigma(E, T) = \sigma \frac{L_B E_d}{E} \frac{dT}{T^2} \quad (5)$$

där $\sigma = \pi a_o^2 / (Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})$

$$L_B = L_A^2 \frac{\Lambda}{4E_d}$$

$$L_A = 2E_R Z_1 Z_2 (Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2} \frac{M_1 + M_2}{M_2}$$

$$\Lambda = \frac{4M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2}$$

$$E_R = 13,6 \text{ eV} \text{ och } E_d = 25 \text{ eV}$$

Här är E_d den minsta energi som måste överföras till en gitteratom för att den skall lämna gitterplatsen. Vidare är $T_{\max} = \Lambda E$ och L_B är den partikelenergi vid vilken $T_{\min} = E_d$. Slutligen är L_A den partikelenergi vid vilken Rutherfordkollisionerna övergår i hard-sphere kollisioner.

Om eq. 5 integreras mellan E_d och ΛE får man displacementtvärsnittet

$$\sigma_d(E) = \frac{\sigma L_B}{E} \left(1 - \frac{E_d}{\Lambda E}\right) \quad (6)$$

Insättning av (2), (3) och (6) i (1) ger

$$dN_1 = -n\sigma\kappa^{-1}L_B E^{-3/2} \left(1 - \frac{E_d}{\Lambda E}\right) dE \quad (7)$$

som efter integration mellan E_0 och L_A ger antalet primära knock-ons

$$N_1 = \frac{2n\sigma L_B}{\kappa} \left[L_A^{-1/2} - E_0^{-1/2} - \frac{E_d}{3\Lambda} (L_A^{-3/2} - E_0^{-3/2}) \right] \quad (8)$$

Medelenergin för en primär knock-on erhåller man ur

$$E_1 = \frac{\int_{E_0}^{L_A} \int_{E_d}^{\Lambda E} T \Psi(E, T) dT dE \iint E^{-3/2} \frac{dT}{T} dE}{\int_{E_0}^{L_A} \int_{E_d}^{\Lambda E} \Psi(E, T) dT dE \iint E^{-3/2} \frac{dT}{T^2} dE} \quad (9)$$

Integrering ger

$$E_1 = \frac{E_d \left[L_A^{-1/2} \left(\ln \frac{\Lambda L_A}{E_d} + 2 \right) - E_0^{-1/2} \left(\ln \frac{\Lambda E_0}{E_d} + 2 \right) \right]}{L_A^{-1/2} - E_0^{-1/2} - \frac{E_d}{3\Lambda} (L_A^{-3/2} - E_0^{-3/2})} \quad (10)$$

Som E_0 har jag tagit 5,23 MeV som är ett medelvärde av alfa-energierna för Pu (238, 239, 240, 241) och ^{241}Am . Efter insättning av gällande värden blir $\kappa = 7,767 \cdot 10^6 \text{ (eV)}^{1/2} \text{ cm}^{-1}$.

För α -U resp α -0 blir kollisioner gäller att

	$n(\text{at cm}^{-3})$	$\sigma(\text{cm}^2)$	L_A (MeV)	L_B (MeV)	Λ
α - U	$2.34 \cdot 10^{22}$	$4 \cdot 10^{-18}$	0.024	0.374	0.065
α - 0	$4.68 \cdot 10^{22}$	$1.6 \cdot 10^{-17}$	0.003	0.06	0.64

Insättning ger $N_{1,U} = 54$, $E_{1,U} = 144 \text{ eV}$, $N_{1,0} = 201$ och $E_{1,0} = 155 \text{ eV}$.

Räckvidden för $N_{1,U}$ har jag beräknat med hjälp av Holmes och Leibfrieds teori (J Appl Phys 31, 1046 (1960)) till 39 Å.

Varje primär knock-on ger upphov till en kaskad av knock-ons av högre ordning. Antalet knock-ons i en sådan kaskad är approximativt $E_1/2E_d$. Varje primär U och O knock-on skulle alltså ge ungefär 3 knock-ons av högre ordning i detta fall. Tar man hänsyn till n_U och n_O samt kollisionstvärsnittet så är ca en atom av dessa tre en uranatom. Det antal knock-ons som α partikeln producerar när $E < L_A$ är mycket approximativt $24000/50=480$ av vilka ca 110 är uranatomer. Totalt sätter alltså en alfapartikel ca 1250 atomer i rörelse varav ca 370 är uranatomer. Eftersom $E_{1,U}$ och $E_{1,0}$ är så små, blir räckvidderna för alla knock-ons av högre ordning försumbara.

Från UO_2 kan alltså endast emitteras $N_{1,U}$ som har en medelräckvidd av 39 Å.

Om vi har A alfasönderfall $cm^{-3}s^{-1}$ strömmar genom en tänkt snittyta i provet

$$I = 1/4 A N_{1,U} R_{1,U} \text{ uranatomer } cm^{-2}s^{-1} \quad (11)$$

Genom en fri yta av provet strömmar däremot

$$I = 1/8 A N_{1,U} R_{1,U} \text{ at } cm^{-2}s^{-1} \quad (12)$$

eftersom $R_\alpha \gg R_{1,U}$. (Den verksamma delen av provet bestrålas endast från ena sidan).

Om alfaaktiviteten mäts i Ci (Curie/ton = $3.887 \cdot 10^5$ alfapartiklar $cm^{-3}s^{-1}$) blir

$$I_a = 1.02 \cdot Ci \text{ at } U \text{ } cm^2 s^{-1} \quad (13)$$

$$I_g = 1.27 \cdot 10^{-14} \cdot Ci \text{ g } U \text{ } cm^{-2} \text{ år}^{-1} \quad (14)$$

År	Ci (curie ton ⁻¹)	I_a	I_g
40	$2.4 \cdot 10^4$	$2.4 \cdot 10^4$	$3.0 \cdot 10^{-10}$
100	$5.9 \cdot 10^3$	$6.0 \cdot 10^3$	$7.5 \cdot 10^{-11}$
1000	$1.49 \cdot 10^3$	$1.5 \cdot 10^3$	$1.9 \cdot 10^{-11}$

2) Förångning av uran i "thermal spikes"

Det kan bildas en het zon en s k "thermal spike" längs alfaspåret. Från spikes som korsar gränssytan UO_2 -vatten kan därvid atomer förångas och övergå till vattenfasen.

Detta fenomen kan ha en viss betydelse i fissionsfragmentspår. I andra fall kan det försummas, åtminstone vid låga temperaturer, där all emission kan tolkas med hjälp av teorin för sputtering. Vid temperaturer större än ca $500^{\circ}C$ fann emellertid Nelson (J Nucl Mat 18, 348 (1966)) en ökning i sputtering ratio för α -uran bombarderad med 800 keV K_r^+ joner. Detta beror sannolikt på förångning från thermal spikes.

3) Kemisk etsning av alfaspåren

Området runt alfaspåret är kemiskt reaktivt. Vattnet kan därför korrodera UO_2 i de punkter där alfapartiklarna penetrerat UO_2 -ytan. Detta kan speciellt vara fallet om vattnet p g a radiolys innehåller oxiderande radikaler.

Som vi såg tidigare, sätter en alfapartikel ca 370 uranatomer i rörelse. Antag att alla dessa kan lösas ut om alfaspåret passerar gränssytan UO_2 -vatten.

Räckvidden för 5 MeV alfapartiklar är enligt tabell $1,950 \cdot 10^{-2}$ g cm^{-2} i uran och $4,533 \cdot 10^{-3}$ g cm^{-2} i syre. Genom att tillämpa Braggs lag finner jag att räckvidden i UO_2 är $R_{\alpha} = 1,3 \cdot 10^{-3}$ cm.

Strömmen av alfapartiklar genom gränssytan blir

$$I_{\alpha} = 1/4 AR_{\alpha} \text{ alfapartiklar } cm^{-2} s^{-1} \quad (15)$$

Det bildas alltså

$$I_a = 4,7 \cdot 10^4 \text{ Ci} \quad (16)$$

lösliga uranatomer $cm^{-2} s^{-1}$ eller

$$I_g = 5,8 \cdot 10^{-10} \text{ Ci} \quad (17)$$

lösliga g uran $cm^{-2} \text{ år}^{-1}$.

År	Ci (curie/ton)	I_a	I_g
40	$2,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
100	$5,9 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^8$	$3,4 \cdot 10^{-6}$
1000	$1,49 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^7$	$8,7 \cdot 10^{-7}$

En typisk kaskad anses ha en radie av 100 Å. För alfaspåret motsvarar detta en vol. av $4 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3$ eller 10^8 atomer uran. Om alla dessa är lösliga får vi multiplicera ovanstående siffror med en faktor $3 \cdot 10^5$.

Nu vet man emellertid att fissionsfragmentspår i t ex ZrSiO_4 kan etsas endast om $dE/dx > 15 - 19 \text{ MeV mg}^{-1} \text{ cm}^2$. (Uppgift för UO_2 saknas). Enl eq. 3 ger alfapartiklarna max $1.7 \text{ MeV mg}^{-1} \text{ cm}^2$.

4) Blåsbildning och avflagnig i ytan

Den heliumgas som bildas kan ge upphov till blåsbildning och avflagnig av material från UO_2 -ytan.

Detta kan ge ett stort bidrag om tillräcklig mängd heliumgas samlats i gittret. Om och när detta sker beror på diffusionshastigheten för helium i UO_2 .

Anm: Åtminstone punkterna 1 och 3 borde gå att studera experimentellt.

Sammanfattning:

Den direkta emissionen av uran har uppskattats till $I_g = 1.27 \times 10^{-14} \times C_i \text{ g U cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$, där C_i är alfaaktiviteten i curie ton⁻¹. (Exempel: Den integrerade alfaaktiviteten från ett ton uran ger under 10^6 år 249 g He (TPM-SM-43), vilket motsvarar en medelaktivitet av 32 curie ton⁻¹. I detta speciella fall blir alltså $I_g = 4 \times 10^{-7} \text{ g U cm}^{-2} (10^6 \text{ år})^{-1}$. Om bränslet faller sönder till kubiska kristaller med kantlängden 4μ och tätheten är 10.5 g cm^{-3} emitteras under 10^6 år ca 600 g U ton^{-1} .)

Om (12) divideras med (15) finner vi att sputteringkvoten (antalet emitterade uranatomer per emitterad alfapartikel) S är $0.8 \cdot 10^{-2}$ (Enl Gregg et al. Rad Effects, 5, 243 (1978) är $S \sim 10^{-2}$ för 120 keV He⁺ och uranmetall).

Punkt 3 kan ge ett stort bidrag. Övriga punkter troligen av mindre betydelse.

FÖRTECKNING ÖVER KBS TEKNISKA RAPPORTER

- 01 Källstyrkor i utbränt bränsle och högaktivt avfall från en PWR beräknade med ORIGEN
Nils Kjellbert
AB Atomenergi 77-04-05
- 02 PM angående värmeledningstal hos jordmaterial
Sven Knutsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-04-15
- 03 Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-05-27
- 04 Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsubstans
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-01
- 05 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall, Rapport 1
Roland Blomqvist
AB Atomenergi 77-03-17
- 06 Groundwater movements around a repository, Phase 1, State of the art and detailed study plan
Ulf Lindblom
Hagconsult AB 77-02-28
- 07 Resteffekt studier för KBS
Del 1 Litteraturgenomgång
Del 2 Beräkningar
Kim Ekberg
Nils Kjellbert
Göran Olsson
AB Atomenergi 77-04-19
- 08 Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt glas med högaktivt avfall
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 77-05-20

- 09 Diffusion of soluble materials in a fluid filling a porous medium
Hans Häggblom
AB Atomenergi 77-03-24
- 10 Translation and development of the BNWL-Geosphere Model
Bertil Grundfelt
Kemakta Konsult AB 77-02-05
- 11 Utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för kärnbränsleavfall
Sture Henriksson
AB Atomenergi 77-04-18
- 12 Bedömning av egenskaper och funktion hos betong i samband med slutlig förvaring av kärnbränsleavfall i berg
Sven G Bergström
Göran Fagerlund
Lars Rombén
Cement- och Betonginstitutet 77-06-22
- 13 Urlakning av använt kärnbränsle (bestrålad uranoxid) vid direktdeponering
Ragnar Gelin
AB Atomenergi 77-06-08
- 14 Influence of cementation on the deformation properties of bentonite/quartz buffer substance
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-20
- 15 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall
Rapport 2
Roland Blomquist
AB Atomenergi 77-05-17
- 16 Översikt av utländska riskanalyser samt planer och projekt rörande slutförvaring
Åke Hultgren
AB Atomenergi augusti 1977
- 17 The gravity field in Fennoscandia and postglacial crustal movements
Arne Bjerhammar
Stockholm augusti 1977
- 18 Rörelser och instabilitet i den svenska berggrunden
Nils-Axel Mörner*
Stockholms Universitet augusti 1977
- 19 Studier av neotektonisk aktivitet i mellersta och norra Sverige, flygbildsgenomgång och geofysisk tolkning av recenta förkastningar
Robert Lagerbäck
Herbert Henkel
Sveriges Geologiska Undersökning september 1977

- 20 Tektonisk analys av södra Sverige, Vättern - Norra Skåne
Kennert Röshoff
Erik Lagerlund
Lunds Universitet och Högskolan Luleå september 1977
- 21 Earthquakes of Sweden 1891 - 1957, 1963 - 1972
Ota Kulhánek
Rutger Wahlström
Uppsala Universitet september 1977
- 22 The influence of rock movement on the stress/strain
situation in tunnels or bore holes with radioactive con-
sistors embedded in a bentonite/quartz buffer mass
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 23 Water uptake in a bentonite buffer mass
A model study
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 24 Beräkning av utlakning av vissa fissionsprodukter och akti-
nider från en cylinder av franskt glas
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 1977-07-27
- 25 Blekinge kustgnejs, Geologi och hydrogeologi
Ingemar Larsson KTH
Tom Lundgren SGI
Ulf Wiklander SGU
Stockholm, augusti 1977
- 26 Bedömning av risken för fördröjt brott i titan
Kjell Pettersson
AB Atomenergi 1977-08-25
- 27 A short review of the formation, stability and cementing
properties of natural zeolites
Arvid Jacobsson
Högskolan i Luleå 1977-10-03
- 28 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt
Sven Knutsson
Högskolan i Luleå 1977-09-20
- 29 Deformationer i sprickigt berg
Ove Stephansson
Högskolan i Luleå 1977-09-28
- 30 Retardation of escaping nuclides from a final depository
Ivars Neretnieks
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm 1977-09-14
- 31 Bedömning av korrosionsbeständigheten hos material avsedda
för kapsling av kärnbränsleavfall. Lägesrapport 1977-09-27
samt kompletterande yttranden.
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp

- 32 Egenskaper hos bentonitbaserat buffertmaterial
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-06-10
- 33 Required physical and mechanical properties of buffer masses
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-10-19
- 34 Tillverkning av bly-titan kapsel
Folke Sandelin AB
VBB
ASEA-Kabel
Institutet för metallforskning
Stockholm november 1977
- 35 Project for the handling and storage of vitrified high-level waste
Saint Gobain Techniques Nouvelles October, 1977
- 36 Sammansättning av grundvatten på större djup i granitisk berggrund
Jan Rennerfelt
Orrje & Co, Stockholm 1977-11-07
- 37 Hantering av buffertmaterial av bentonit och kvarts
Hans Fagerström, VBB
Björn Lundahl, Stabilator
Stockholm oktober 1977
- 38 Utformning av bergrumsanläggningar
Alf Engelbrektson, VBB
Arne Finné, KBS
Stockholm december 1977
- 39 Konstruktionsstudier, direktdeponering
ASEA-ATOM
Västerås
- 40 Ekologisk transport och stråldoser från grundvattenburna radioaktiva ämnen
Ronny Bergman
Ulla Bergström
Sverker Evans
AB Atomenergi 1977-12-20
- 41 Säkerhet och strålskydd inom kärnkraftområdet.
Lagar, normer och bedömningsgrunder
Christina Gyllander
Siegfried F Johnson
Stig Rolandson
AB Atomenergi och ASEA-ATOM 1977-10-13

- 42 Säkerhet vid hantering, lagring och transport av använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall
Ann-Margret Ericsson
Kemakta november 1977
- 43 Transport av radioaktiva ämnen med grundvatten från ett bergförvar
Bertil Grundfelt
Kemakta november 1977
- 44 Beständighet hos borsilikatglas
Tibor Lakatos
Glasteknisk Utveckling AB
- 45 Beräkning av temperaturer i ett envånings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3
Roland Blomquist
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för slutförvar för använt bränsle
Taivo Tarandi
Vattenbyggnadsbyrån Stockholm 1978
- 47 Teoretiska studier av grundvattenrörelser
John Stokes
Roger Thunvik
Inst för kulturteknik KTH maj 1978
- 48 The mechanical properties of the rocks in Stripa, Kråkemåla, Finnsjön and Blekinge
Graham Swan
Högskolan i Luleå 1977-09-14
- 49 Bergspänningsmätningar i Stripa gruva
Hans Carlsson
Högskolan i Luleå 1977-08-29
- 50 Lakningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik
Göran Blomqvist
AB Atomenergi november 1977
- 51 Seismotectonic risk modelling for nuclear waste disposal in the Swedish bedrock
F Ringdal
H Gjöystdal
E S Husebye
Royal Norwegian Council for scientific and industrial research
- 52 Calculations of nuclide migration in rock and porous media, penetrated by water
H Häggblom
AB Atomenergi 1977-09-14
- 53 Mätning av dissusionshastighet för silver i lera-sandblandning
Bert Allard
Heino Kipatsi
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15

- 54 Groundwater movements around a repository
- 54:01 Geological and geotechnical conditions
Håkan Stille
Anthony Burgess
Ulf E Lindblom
Hagconsult AB september 1977
- 54:02 Thermal analyses
Part 1 Conduction heat transfer
Part 2 Advective heat transfer
Joe L Ratigan
Hagconsult AB september 1977
- 54:03 Regional groundwater flow analyses
Part 1 Initial conditions
Part 2 Long term residual conditions
Anthony Burgess
Hagconsult AB oktober 1977
- 54:04 Rock mechanics analyses
Joe L Ratigan
Hagconsult AB september 1977
- 54:05 Repository domain groundwater flow analyses
Part 1 Permeability perturbations
Part 2 Inflow to repository
Part 3 Thermally induced flow
Joe L Ratigan
Anthony S Burgess
Edward L Skiba
Robin Charlwood
- 54:06 Final report
Ulf Lindblom et al
Hagconsult AB oktober 1977
- 55 Sorption av långlivade radionuklider i lera och berg,
Del 1
Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers tekniska högskola 1977-10-10
- 56 Radiolys av utfyllnadsmaterial
Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15
- 57 Stråldoser vid haveri under sjötransport av kärnbränsle
Anders Appelgren
Ulla Bergström
Lennart Devell
AB Atomenergi 1978-01-09
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan
Gunnar Walinder
FOA 4 november 1977

- 59 Tectonic Lineaments in the Baltic from Gävle to Simrishamn
Tom Flodén
Stockholms Universitet 1977-12-15
- 60 Förarbeten för platsval, berggrundsundersökningar
Sören Scherman

Berggrundvattenförhållande i Finnsjöområdet
nordöstra del
Carl-Erik Klockars
Ove Persson
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 61 Permeabilitetsbestämningar
Anders Hult
Gunnar Gidlund
Ulf Thoregren

Geofysisk borrhålsmätning
Kurt-Åke Magnusson
Oscar Duran
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 62 Analyser och åldersbestämningar av grundvatten på stora
djup
Gunnar Gidlund
Sveriges Geologiska Undersökning 1978-02-14
- 63 Geologisk och hydrogeologisk grunddokumentation av
Stripa försöksstation
Andrei Olkiewicz
Kenth Hansson
Karl-Erik Almén
Gunnar Gidlund
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1978
- 64 Spänningsmätningar i Skandinavisk berggrund - förutsättningar
resultat och tolkning
Sten G A Bergman
Stockholm november 1977
- 65 Säkerhetsanalys av inkapslingsprocesser
Göran Carleson
AB Atomenergi 1978-01-27
- 66 Några synpunkter på mekanisk säkerhet hos kapsel för
kärnbränsleavfall
Fred Nilsson
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm februari 1978
- 67 Mätning av galvanisk korrosion mellan titan och bly samt
mätning av titans korrosionspotential under γ -bestrålning
3 st tekniska PM
Sture Henrikson
Stefan Poturaj
Maths Åsberg
Derek Lewis
AB Atomenergi januari-februari 1978

- 68 Degraderingsmekanismer vid bassänlagring och hantering av utbränt kraftreaktorbränsle
Gunnar Vesterlund
Torsten Olsson
ASEA-ATOM 1978-01-18
- 69 A three-dimensional method for calculating the hydraulic gradient in porous and cracked media
Hans Häggblom
AB Atomenergi 1978-01-26
- 70 Lakning av bestrålat UO_2 -bränsle
Ulla-Britt Eklund
Roland Forsyth
AB Atomenergi 1978-02-24
- 71 Bergspricktätning med bentonit
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-11-16
- 72 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av kompakterad bentonit
Sven Knutsson
Högskolan i Luleå 1977-11-18
- 73 Self-injection of highly compacted bentonite into rock joints
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-02-25
- 74 Highly compacted Na bentonite as buffer substance
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-02-25
- 75 Small-scale bentonite injection test on rock
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-03-02
- 76 Experimental determination of the stress/strain situation in a sheared tunnel model with canister
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-03-02
- 77 Nuklidvandring från ett bergförvar för utbränt bränsle
Bertil Grundfelt
Kemakta konsult AB, Stockholm 1978-08-31
- 78 Bedömning av radiolys i grundvatten
Hilbert Christenssen
AB Atomenergi 1978-02-17
- 79 Transport of oxidants and radionuclides through a clay barrier
Ivar Neretnieks
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-02-20

- 80 Utdiffusion av svårlösliga nuklider ur kapsel efter kapselgenombrott
Karin Andersson
Ivars Neretnieks
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-07
- 81 Tillverkning av kopparkapsel för slutförvaring av använt bränsle
Jan Bergström
Lennart Gillander
Kåre Hamnerz
Liberth Karlsson
Bengt Lönnerberg
Gunnar Nilsson
Sven Olsson
Stefan Sehlstedt
ASEA, ASEA-ATOM juni 1978
- 82 Hantering och slutförvaring av aktiva metalldelar
Bengt Lönnerberg
Alf Engelbrektsson
Ivars Neretnieks
ASEA-ATOM, VBB, KTH Juni 1978
- 83 Hantering av kapslar med använt bränsle i slutförvaret
Alf Engelbrektsson
VBB Stockholm april 1978
- 84 Tillverkning och hantering av bentonitblock
VBB
ASEA
ASEA-ATOM
Gränges Mineralprocesser
Juni 1978
- 85 Beräkning av kryphastigheten hos ett blyhölje innehållande en glaskropp under inverkan av tyngdkraften
Anders Samuelsson
- Förändring av krypegenskaperna hos ett blyhölje som följd av en mekanisk skada
Göran Eklund
Institutet för Metallforskning september 1977 - april 1978
- 86 Diffusivitetmätningar av metan och väte i våt lera
Ivars Neretnieks
Christina Skagius
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-01-09
- 87 Diffusivitetmätningar i våt lera Na-lignosulfonat, Sr^{2+} , Cs^{+}
Ivars Neretnieks
Christina Skagius
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-16
- 88 Ground water chemistry at depth in granites and gneisses
Gunnar Jacks
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm april 1978

- 89 Inverkan av glaciation på en deponeringsanläggning belägen i urberg 500 m under markytan
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-03-16
- 90 Koppar som kapslingsmaterial för icke upparbetat kärnbränsleavfall - bedömning ur korrosionssynpunkt
Lägesrapport 1978-03-31
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp
- 91 Korttidsvariationer i grundvattnets trycknivå
Lars Y Nilsson
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm september 1977
- 92 Termisk utvidgning hos granitoida bergarter
Ove Stephansson
Högskolan i Luleå april 1978
- 93 Preliminary corrosion studies of glass ceramic code 9617 and a sealing frit for nuclear waste canisters
I D Sundquist
Corning Glass Works 78-03-14
- 94 Avfallsströmmar i upparbetningsprocessen
Birgitta Andersson
Ann-Margret Ericsson
Kemakta mars 1978
- 95 Separering av C-14 vid upparbetningsprocessen
Sven Brandberg
Ann-Margret Ericsson
Kemakta mars 1978
- 96 Korrosionsprovning av olegerat titan i simulerade deponeringsmiljöer för upparbetat kärnbränsleavfall
Sture Henrikson
Marian de Pourbaix
AB Atomenergi 1978-04-24
- 97 Colloid chemical aspects of the "confined bentonite concept"
Jean C Le Bell
Ytkemiska Institutet 1978-05-07
- 98 Sorption av långlivade radionuklider i lera och berg
Del 2
Bert Allard
Heino Kipatsi
Börje Torstenfelt
Chalmers Tekniska Högskola 1978-04-20
- 99 Lakning av högaktivt franskt glas
Lägesrapport 1978-06-01
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 1978-06-19

- 100 Dos och dosintekning från grundvattenburna radioaktiva ämnen vid slutförvaring av använt kärnbränsle
Ronny Bergman
Ulla Bergström
Sverker Evans
AB Atomenergi
- 101 Utläckning av Ni-59 från ett bergförvar
Ivars Neretnieks
Karin Andersson
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-04-24
- 102 Metod att bocka bestrålade bränslestavar
Torsten Olsson
ASEA-ATOM 1978-03-29
- 103 Some aspects on colloids as a means for transporting radio nuclides
Ivars Neretnieks
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-08-08
- 104 Finit elementanalys av bentonitfyllt bergförvar
Ove Stephansson
Kenneth Mäki
Tommy Groth
Per Johansson
Högskolan i Luleå
- 105 Neutroninducerad aktivitet i bränsleelementdetaljer
Nils Kjellbert
AB Atomenergi 1978-03-30
- 106 Strålningsnivå och till vatten deponerad strålningsenergi utanför kapslar i slutförvaret
Klas Lundgren
ASEA-ATOM 1978-05-29
- 107 Blyinfodrad titankapsel för upparbetat och glasat kärnbränsleavfall - Bedömning ur korrosionssynpunkt
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp. Slutrapport
1978-05-25
- 108 Criticality in a spent fuel repository in wet crystalline rock
Peter Behrenz
Kåre Hannerz
ASEA-ATOM 1978-05-30
- 109 Lakningsbar spaltaktivitet
Lennart Devell
Rolf Hesböl
AB Atomenergi

- 110 In situ experiments on nuclide migration in fractured crystalline rocks
Ove Landström
Carl-Erik Klockars
Karl-Erik Holmberg
Stefan Westerberg
Studsvik Energiteknik and
The Geological Survey of Sweden juli 1978
- 111 Nuklidhalter i använt LWR-bränsle och i högaktivt avfall från återcyklning av plutonium i PWR
Nils Kjellbert
Studsvik Energiteknik AB 1978-07-26
- 112 Säkerhetsanalys av hanteringsförfarandet vid inkapsling av utbränt bränsle i kopparkapsel
Erik Nordesjö
ASEA-ATOM 1978-03-20
- 113 Studier av keramiska material för inkapsling av högaktivt avfall
Lennart Hydén et al
ASEA-ATOM september 1978
- 114 γ -radiolysis of organic compounds and α -radiolysis of water
Hilbert Christensen
Studsvik Energiteknik AB 1978-09-07
- 115 Accelererad utlösning av uran från α -aktivt UO_2
Gösta Nilsson
Studsvik Energiteknik AB 1978-04-27
- 116 Lakning av Al_2O_3 under simulerande deponeringsbetingelser
Britt-Marie Svensson
Lennart Dahl
Studsvik Energiteknik AB 1978-06-02
- 117 Lakning av Al_2O_3 i dubbeldestillerat vatten
Britt-Marie Svensson
Göran Blomqvist
Studsvik Energiteknik AB 1978-05-29
- 118 Slutrapport Al_2O_3 kapsel
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp
- 119 Slutförvaring av aktiverade ståldetaljer i betong
Lars Rombén
Kyösti Tuutti
Cement- och Betonginstitutet 1978-07-14
- 120 Some notes in connection with the KBS studies of final disposal of spent fuel
Ivars Neretnieks
Kungl Tekniska Högskolan september 1978