
KBS TEKNISK RAPPORT

80

Utdiffusion av svårlösliga nuklider ur kapsel efter kapselgenombrott

**Karin Andersson
Ivars Neretnieks**

Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-07

UTDIFFUSION AV SVÅRLÖSLIGA NUKLIDER
UR KAPSEL EFTER KAPSELGENOMBROTT

Karin Andersson
Ivars Neretnieks
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-07

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.

KEMISK APPARATTEKNIK
KTH

UTDIFFUSION AV SVÅRLÖSLIGA NUKLIDER UR KAPSEL
EFTER KAPSELGENOMBROTT

1978-03-07

Karin Andersson Ivars Neretnieks

Summary

Diffusion of nuclides of low solubility from a copper capsule after its penetration has been computed. It is assumed that by some mechanism the copper has corroded, leaving a hole equal to the inner diameter of the capsule. The uranium oxide is slowly dissolved and the nuclides diffuse out through the hole. The diffusivity of the uranium ions is taken to be $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ in the copper corrosion products as well as in the porous mass in the capsule (UO_2 , zircaloy corrosion products, lead corrosion products).

The dissolution of the uraniumoxide matrix is governed by the solubility of UO_2 and the distance it has to diffuse. The solubility is assumed to be very high - 1070 g/m^3 - which is the value obtained under oxidizing conditions and in a water with very high carbonate content (550 mg/l). Initially the transport rate of uranium is 2 g/year. It decreases rapidly as the uraniumoxide is dissolved and as the diffusion distance increases. It will take 2.8 million years to dissolve and transport away a mass of uraniumoxide in the two meters nearest the assumed hole in the capsule. If this hole has only 10 % of the inner area of the copper capsule the time increases to 7.1 million years.

When 0.2 m of the uraniumoxide nearest the hole have been dissolved, the dissolution rate is smaller than the transport from the repository. The rate of diffusion from the capsule may then become the rate determining step.

SAMMANFATTNING

Tiden att transportera bort en viss del av uranet i en kapsel genom ett hål i kapselväggen har beräknats. I dessa beräkningar har det enda materieöverföringsmotståndet antagits finnas inne i kapseln och i hålet. Transporthastigheten ut ur kapseln har också beräknats för olika tidpunkter.

Med en effektiv diffusivitet inne i kapseln på $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, en löslighet av uran i grundvatten på 1070 g/m^3 och ett hål med samma yta som bränslestavarnas tvärsnittsytta, kommer som mest 2 g uran/år att transporteras ut. Tiden att föra ut 2 m bränslestav har beräknats till 2,8 miljoner år.

Nukliderna inne i kapseln kan lösas ut på olika sätt, beroende på hur de är bundna till uranoxiden. Om de är hårt bundna i uranoxiden kommer de att lösas ut i samma takt som denna och transporteras ut i halt som motsvarar halten i det fasta materialet (ca 1 % av uranoxiden). Om de däremot föreligger som enskilda kristaller kan de föras ut upp till 100 ggr snabbare.

1 Inledning

Vid ett kapselgenombrott kommer vatten att tränga in i kapseln. De i bly inbäddade bränslestavarna, vilka består av en matris av uranoxid innehållande nuklider kommer efterhand att lösas upp. De upplösta ämnena diffunderar ut ur kapseln och genom leran till grundvattnet.

En beräkning av uttransporthastigheten och den tid det tar att transportera bort en viss mängd uranoxid har gjorts.

2 Beräkningar

2.1 Förutsättningar

Vid beräkningarna har eventuellt diffusionsstånd i omgivande lera och berg försumrats.

Kapselns tänkta geometri framgår av fig 1. Inne i kapseln kommer uranoxiden att lösas upp och diffundera ut, medan blymantlingen oxideras och bildar svårslösliga salter som exempelvis blyulfat och blyoxid. Uranoxiden löses i vattnet till jämviktshalt och diffunderar ut genom det inerta materialet i kapseln och hålet i kapselväggen. Ingen materietransport har antagits ske inne i den fasta uranoxiden.

Hålet i kapselväggen kommer delvis att fyllas av blyoxid, blyulfat och zirkoniumoxid. Den effektiva diffusiviteten i hålet har därför satts till samma värde som den inne i kapseln. Den för materieöverföring tillgängliga ytan kan däremot vara en annan i hålet, beroende på hur stort detta är.

Diffusionssträckan inne i hålet har satts lika med kapselväggens tjocklek (0,2 m).

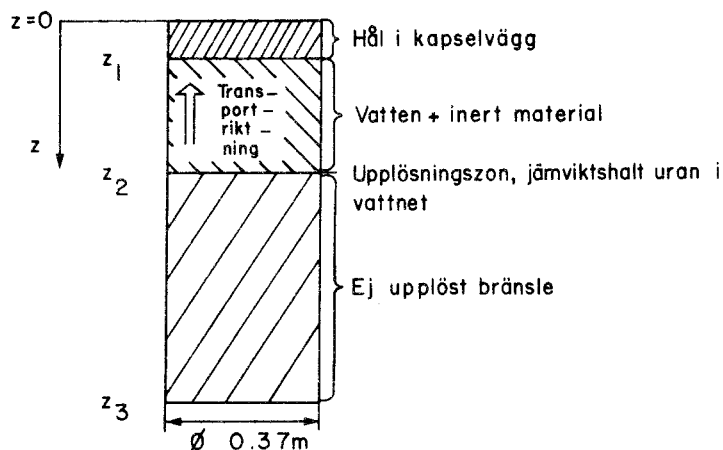


Fig 1. Modell för upplösning och utdiffusion av uran.

2.2 Beräkningssamband

Minskningen av bränslemängden i kapseln med tiden kan uttryckas:

$$-\frac{dM}{dt} = k A y \quad (1)$$

där k är materieöverföringskoefficienten,
 A materieöverföringsytan och y drivande kraften.

$$\text{Men } \frac{dM}{dt} = -\frac{dz}{dt} A x_0 \quad (2)$$

där z är längdkoordinaten enligt fig 1 och x_0 är densiteten hos det fasta bränslet.

$$(1) \text{ och } (2) \text{ ger } \frac{dz}{dt} = \frac{k y}{x_0} \quad (3)$$

Men k beror av z enligt

$$\frac{1}{k} = \frac{z_1}{DG} + \frac{(z-z_1)}{D} \quad (4)$$

där D är den effektiva diffusiviteten och C är förhållandet mellan hålets area och bränslestavarnas tvärsnittsarea.

Sammansättning av (3) och (4) och integrering mellan

$$\begin{cases} t = 0 & \text{och } t = t & \text{ger} \\ z = z_1 & & \begin{cases} z = z_2 \end{cases} \end{cases}$$

$$t = \frac{x_0}{yD} \left[z_1 \left(\frac{1}{c} - 1 \right) (z_2 - z_1) + \frac{z_2^2 - z_1^2}{2} \right] \quad (5)$$

Detta är den tid det tar för bränsleytan att flyttas från z_1 till z_2 .

Ekvationerna (1) och (4) ger ett uttryck för materieflödet ut ur kapseln, N , vid en viss nivå på bränsleytan:

$$- \frac{dM}{dt} = N = \frac{\pi d^2 D}{4(z_1 \left(\frac{1}{c} - 1 \right) + z)} \quad (6)$$

där d är kapselns innerdiameter.

2.3 Resultat

Beräkningar av materietransporthastighet och tid för bränsleytan att sjunka viss sträcka har utförts för olika värden på diffusivitet, löslighet av uran och hålstorlek ($D = 10^{-10}, 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, $y = 1070, 0,20 \text{ g/m}^3$,

$$c = 1, 0,1, 0,01, 0,001)$$

Densiteten hos bränslet har i samtliga fall satts till $4,0 \cdot 10^6 \text{ g/m}^3$.

Drivande kraften 1070 g/m^3 grundar sig på att lösligheten för uran relateras till karbonathalten i grundvattnet (1). Lösligheten $0,2 \text{ g/m}^3$ utgör ett värde som närmare ansluter sig till vad som kan beräknas ur jämviktsdata.

Resultatet av beräkningarna framgår av tabell 1, för fallen att 0, 2 resp 4 m av bränslestaven transporterats bort.

(4 m innebär att allt bränsle i kapseln transporterats bort genom ett hål i kapselns ena ände).

I det fall där hålets yta är lika stor som bränslestavarnas tvärsnittsyta ($C = 1$) och drivande kraften 1070 g/m^3 kommer knappt 2 g uran/år att läcka ut vid tiden för kapselgenombrottet, varefter den utläckande mängden minskar.

Det kommer i detta fall att ta $1,8$ miljoner år att transportera uranet som finns i 2 m av kapseln och 10 miljoner år att transportera bort allt uran som finns i kapseln genom ett hål i ena änden.

Nukliderna som finns i uranoxiden kan tänkas lösas ut enligt två olika mekanismer.

Antingen är de hårt bundna i uranoxiden och löses ut i en halt som motsvarar deras andel av det fasta materialet. Förhållandet x_0/y kommer då att vara lika stort som för uranet och de transporteras ut under samma tidrymd som detta.

Alternativt kan enskilda kristaller av nuklider med samma lösningsmekanism som uran (Pu, Np) konkurrera om karbonatet med en styrka, som motsvarar deras löslighet. Om vatten kan tränga in i bränslestavarna, (vilket är troligt då dessa enligt Gelin (2) är söndersmulade) och nukliderna uppträder som enskilda kristaller, kommer upplösningshastigheten att bli proportionell mot y/x_0 för nukliderna. Detta skulle ge en 100 ggr snabbare utlösning av plutonium, eftersom denna utgör ungefär 1 % av bränslet.

Den ovan beräknade materietransporthastigheten för det fall då inget motstånd finns i leran kan jämföras med den av Neretnieks (1) beräknade, där inget motstånd anses finnas inne i kapseln eller i kapselväggen.

Figur 2 visar en sådan jämförelse. Materietransporthastigheten i kapseln visas för fallet med $D = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, $y = 1070 \text{ g/m}^2$ och $C = 1$. Av fig framgår att materieflödet ut ur kapseln i början av läckaget är större än vad som kan transporteras genom leran, även om all lera som finns runt kapseln används för transporten, dvs leran utgör ett hinder. Senare kommer motståndet inne i kapseln att bli större än i leran, dvs uttransporttiden blir längre än om bara leran hindrade materietransporten.

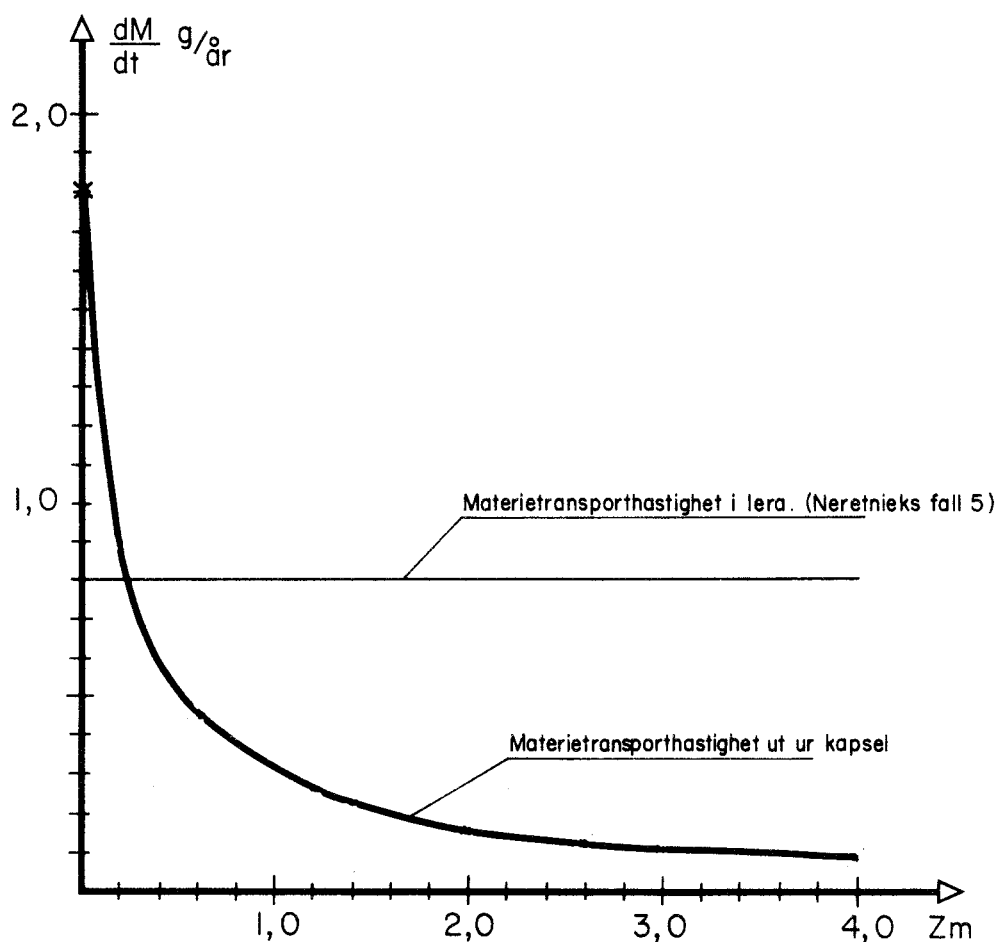


Fig 2. Materietransporthastighet av uran ut ur kapsel.

BETECKNINGSLISTA

A	=	materieöverföringsyta	m^2
C	=	ytförhållande	-
D	=	diffusivitet	m^2/s
k	=	materieöverföringskoefficient	m/s
M	=	materiemängd	g
N	=	materieflöde	g/s
t	=	tid	s
x_0	=	densitet	g/m^3
z	=	längd	m
y	=	koncentrationsgradient	g/m^3

LITTERATUR

- 1) Neretnieks, I., Transport of oxidants and radionuclides through a clay barrier, Inst, för kemisk apparatteknik, KTH, 1978. KBS Teknisk rapport 79.
- 2) Gelin, R., Direktdeponering av använt kärnbränsle, AB Atomenergi, Studsvik, TPM-SM-78 1977.

Tabell 1

Materieflöden vid olika mängd kvarvarande uranoxid, samt tiden att uppnå denna mängd.

D m ² /s	y g/m ³	C	Bränslestaven borttransporterad till längd:				
			0 m N mg/år	2 m N mg/år	t år	4 m N mg/år	t år
10 ⁻¹⁰	1070	1	1814	165	2,8·10 ⁶	86,3	1,0·10 ⁷
"-	"-	0,1	181	90,7	7,1·10 ⁶	60,5	1,9·10 ⁷
"-	"-	0,01	18,1	16,5	5,0·10 ⁷	15,1	1,0·10 ⁸
"-	"-	0,001	1,8	1,8	4,8·10 ⁸	1,8	9,6·10 ⁸
"-	0,20	0,1	34·10 ⁻³	16,8·10 ⁻³	3,8·10 ¹⁰	11,2·10 ⁻³	1,0·10 ¹¹
"-	"-	0,01	3,4·10 ⁻³	3,1·10 ⁻³	2,8·10 ¹¹	2,84·10 ⁻³	5,5·10 ¹¹
"-	"-	0,001	0,34·10 ⁻³	0,34·10 ⁻³	2,5·10 ¹²	0,33·10 ⁻³	5,0·10 ¹²
10 ⁻¹¹	1070	0,1	18,1	9,1	7,1·10 ⁷	6,0	1,9·10 ⁸

D = diffusivitet

y = drivande kraft (uranets löslighet)

C = hålarea/bränslets tvärsnittsarea

N = materieflöde (OBS enheten, mg/år)

t = tid att föra bort uranet

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 Long term mineralogical properties of bentonite/quartz
buffer substance
Preliminär rapport november 1977
Slutrapport februari 1978
Roland Pusch
Arvid Jacobsson
Högskolan i Luleå
- 33 Required physical and mechanical properties of buffer masses
Roland Pusch
Högskolan 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
Arne Finné, KBS
Alf Engelbrektson, VBB
Stockholm december 1977
- 39 Konstruktionsstudier, direktdeponering
ASEA-ATOM
VBB
Västerås
- 40 Ekologisk transport och stråldoser från grundvattenburna
radioaktiva ämnen
Ronny Bergman
Ulla Bergström
Sverker Evans
AB Atomenergi
- 41 Säkerhet och strålskydd inom kärnkraftområdet.
Lagar, normer och bedömningsgrunder
Christina Gyllander
Siegfried F Johnson
Stig Rolandson
AB Atomenergi och ASEA-ATOM

- 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 envänings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3
Roland Blomquist
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för använt bränsle
Taivo Tarandi
VBB
- 47 Teoretiska studier av grundvattenrörelser
Preliminär rapport oktober 1977
Slutrapport februari 1978
Lars Y Nilsson
John Stokes
Roger Thunvik
Inst för kulturteknik KTH
- 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 Gjöstaldal
E S Hysebye
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 diffusionshastighet för silver i lera-sand-blandning
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 Bestämning av fördelningskoefficienter
Del 2 Litteraturgenomgång
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 bassänglagring 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
Ronald 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
- 78 Bedömning av radiolys i grundvatten
Hilbert Christenssen
AB Atomenergi 1978-02-17

- 79 Transport of oxidants and radionuclides
through a clay barrier
Ivars 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
Kåre Hannerz
Stefan Sehlstedt
Bengt Lönnberg
Liberth Karlson
Gunnar Nilsson
ASEA, ASEA-ATOM
- 82 Hantering och slutförvaring av aktiva metalldelar
Bengt Lönnberg
Alf Engelbrektsson
Ivars Neretnieks
ASEA-ATOM, VBB, KTH
- 83 Hantering av kapslar med använt bränsle i slutförvaret
Alf Engelbrektsson
VBB Stockholm april 1978
- 84 Tillverkning och hantering av bentonitblock
Alf Engelbrektsson
Ulf Odebo
ASEA, VBB
- 85 Beräkning av kryphastigheten hos ett blyhölje inne-
hållande 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