

---

# **KBS** TEKNISK RAPPORT

---

**87**

**Diffusivitetmätningar i våt lera Na-  
lignosulfonat,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cs}^+$**

Ivars Neretnieks  
Christina Skagius

Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-16

DIFFUSIVITETSMÄTNINGAR I VÅT LERA  
Na-LIGNOSULFONAT,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cs}^{+}$

Ivars Neretnieks  
Christina Skagius  
Kungl Tekniska Högskolan  
Stockholm 1978-03-16

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.

Diffusivitetmätningar i våt lera  
Na-lignosulfonat, Sr<sup>2+</sup>, Cs<sup>+</sup>

Sammanfattning

- 1 Bakgrund och målsättning
- 2 Bestämning av diffusiviteten för NaLS
  - 2.1 Experimentella arbetet
    - 2.1.1 Apparatur
    - 2.1.2 Försöksutförande
    - 2.1.3 Analyser
  - 2.2 Resultat
- 3 Bestämning av diffusiviteten för cesium och strontium
  - 3.1 Experimentella arbetet
    - 3.1.1 Apparatur
    - 3.1.2 Försöksutförande vid kinetikbestämningen
    - 3.1.3 Jämviktsförsöket
    - 3.1.4 Analyser
  - 3.2 Beräkningar
  - 3.3 Resultat
- 4 Diskussion av resultat

Ivars Neretnieks  
Christina Skagius

78-03-16

Diffusivity measurements in wet compacted clay  
Na-lignosulfonate, Sr<sup>2+</sup>, Cs<sup>+</sup>

Summary

Diffusivity measurement of cesium, strontium and sodiumlignosulfonate were made in a wet compacted clay. The density of the clay was 2.1 g/cm<sup>3</sup> on an air dry basis. The temperature was 50°C.

Strontium and cesium are ion exchanged into the clay and will thus be retarded. The measured diffusivities were  $5.4 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s for cesium and  $3.3 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s for strontium. These diffusivity values have been recomputed to describe a case with no ion exchange. In this way they are comparable with diffusivities of other small molecules. These are quite expected values and compare well with previous measurements with methane and hydrogen.

Sodiumlignosulfonate with a mean molecular weight of 24000 could not be found on the receiving end of the diffusion cell after more than 800 hours. The diffusivity then must be less than  $3 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/s.

## SAMMANFATTNING

Ett tänkbart sätt att lagra kärnkraftavfall är att innesluta det radioaktiva avfallet i kopparcylindrar och omge dessa med ett lager kompakterad lera i bergförvaret. För att kunna avgöra om denna metod att lagra avfall är möjlig måste man undersöka den kompakterade lerans egenskaper, bl a diffusiviteten för olika komponenter i leran.

En del av detta arbete behandlar hur diffusiviteten för natriumlignosulfonat, en stor molekyl med molekylvikten 24 000, i ett kompakterat lerskikt bestäms experimentellt vid ca 50°C. Arbetet omfattar även en experimentell bestämning av diffusiviteten för cesium och strontium in i ett kompakterat bentonitskikt.

Ingen natriumlignosulfonat hade diffunderat genom bentonitskiktet under de 864 timmar som försöket pågick. Detta innebär att diffusiviteten är lägre än  $3 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Diffusiviteten för cesium och strontium beräknade på basis av de experimentella undersökningarna blev  $5.4 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  för cesium samt  $3.3 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  för strontium.

1 Bakgrund och målsättning

Ett tänkbart sätt att lagra kärnkraftavfall är att innesluta det radioaktiva avfallet i kopparcylindrar. Dessa kopparcylindrar skulle sedan omgivas av ett lager kompakterad lera och lagras i berggrunden.

För att kunna avgöra om denna metod att lagra avfall är möjlig måste man undersöka den kompakterade lerans egenskaper, bl a diffusiviteten för olika komponenter i leran.

Målsättningen för detta arbete var:

- att bestämma diffusiviteten för en stor molekyl genom ett kompakterat lerskikt. Det ämne som diffusivitetsmätningarna utfördes för var natriumlignosulfonat,  $\text{NaLS}$ , som har en molekylvikt på 24 000.
- att bestämma diffusiviteten för  $\text{Cs}^+$ - och  $\text{Sr}^{2+}$ -joner in i ett kompakterat lerskikt. För att bestämma detta måste två försök utföras. I det ena försöket studeras kinetiken i diffusionsförloppet, och i det andra försöket bestäms jämviktshalterna.

## 2 Bestämning av diffusiviteten för NaLS

### 2.1 Experimentella arbetet

#### 2.1.1 Apparatur

Apparaturen bestod av en diffusionscell, en provcell, två membranpumpar, ett termostatbad samt en flaska som fungerade som buffertkärl för en lösning innehållande känd mängd NaSL.

Diffusionscellen (fig 1) bestod av en tjockväggig cylindrisk behållare samt en kolv. Innerdiametern på behållaren var 50 mm.

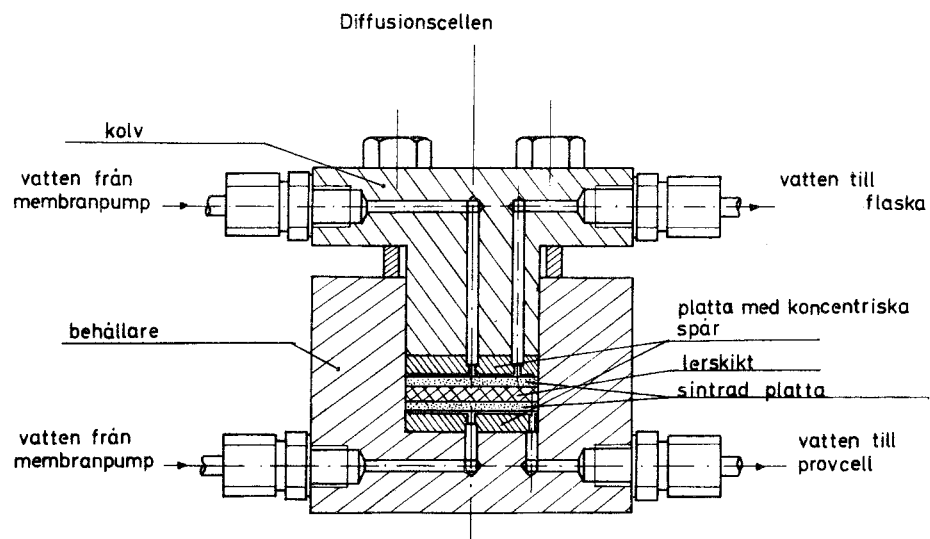


Fig 1. Diffusionscellen.

Kolven drogs fast i behållaren med fyra bultar. Både kolven och behållaren var försedda med genomborrade hål för vattengenomströmning. I botten på behållaren fanns en bricka försedd med koncentriska spår, därefter en sintrad bricka och sedan själva lerskiktet. På ovansidan av lerskiktet fanns ytterligare en sintrad bricka samt en bricka försedd med koncentriska spår, Den senare var fästad på själva kolven. På detta sätt kunde vatten cirkulera på båda sidor om lerskiktet. De sintrade brickorna var till för att hindra lerpartiklar att följa med det cirkulerande vattnet.

Kolven i diffusionscellen samt flaskan som fungerade som buffertkärl (se fig 2) bildade tillsammans med en av membranpumparna ett system i vilket det cirkulerade en lösning bestående av en känd mängd NaLS i syntetiskt grundvatten. Detta system kallas i fortsättningen höghaltsidan. Behållardelen i diffusionscellen bildade tillsammans med provcellen och den andra membranpumpen ett system i vilket det cirkulerade grundvatten utan någon NaLS. Detta system kallas i fortsättningen analysidan.

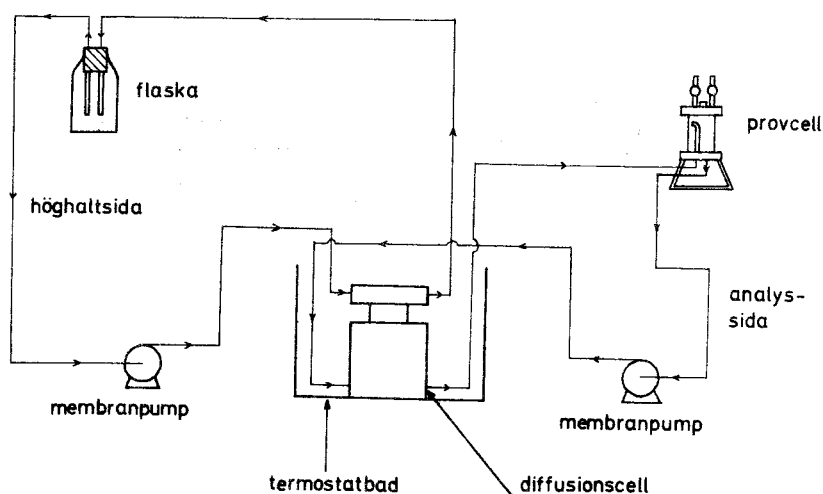


Fig 2. Apparatuppställning.



Provcellen (fig 3) bestod av en glascylinder med över och underdel av rostfritt stål. Tätning mellan cylindern och över- respektive underdelen erhöles med hjälp av teflonpackningar.

Överdelen var försedd med två ventiler samt ett hål vilket var täckt med ett gummi-membran. Genom att skruva av membranet kunde prov för analys tas under försökets gång. Cellen hade en tillledning samt en frånledning. In till cellen kom vatten som passerat diffusionscellen. Från provcellen transporterades vattnet till membranpumpen, vilken sedan pumpade vattnet vidare in i diffusionscellen. Alla förbindelser på analysidan utgjordes av rostfria rör.

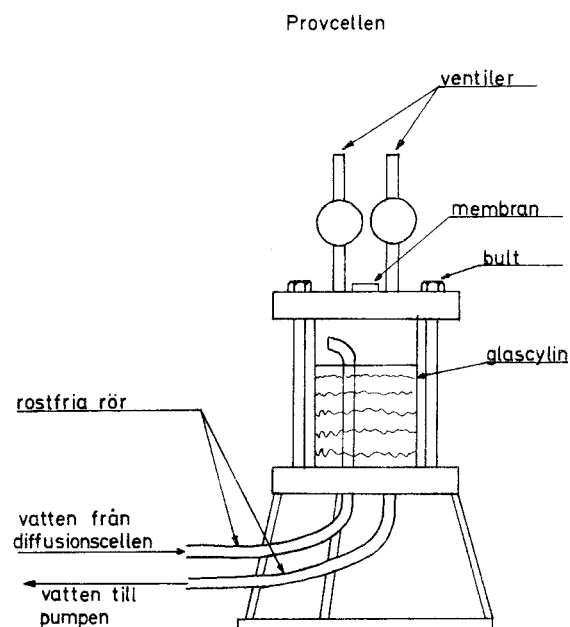


Fig 3. Provcellen.

### 2.1.2 Försöksutförande

Försöken utfördes med en tjocklek hos lerskiktet i diffusionscellen på 3 mm. Leran bestod av bentonit. Man ville ha en densitet av  $2.15 \text{ g/cm}^3$  på leran. För att erhålla denna densitet vägdes 12.66 g bentonit upp och fördes ner i diffusionscellen ovanpå den undre sintrade brickan. Bentonitpulvret fördelades så jämnt som möjligt och därefter lades den andra sintrade brickan ovanpå bentoniten.

Kolven med en bricka försedd med koncentrisk spår pressades därefter ned ovanpå den övre sintrade brickan så att höjden på bentonitskiktet blev 3 mm. Detta gjordes med en hydraulisk press, och krävde ett presstryck på ca 12 ton. När man erhållit en bentonittjocklek på 3 mm drogs kolvdelen i diffusionscellen fast i behållardelen med fyra bultar.

Diffusionscellen kopplades därefter ihop med övrig apparatur enligt figur 2. Diffusionscellen placerades i ett termostaterat vattenbad som under hela försöket höll en temperatur på ca 50°C. En lösning bestående av  $3.0 \cdot 10^{-5}$  mol/l natriumlignosulfonat, NaLS, i syntetiskt grundvatten fylldes på i buffertflaskan på höghaltsidan, medan syntetiskt grundvatten utan någon NaLS fylldes på i provcellen på analysidan. Därefter sattes de båda membranpumparna igång.

Prov på vattnet på analysidan togs i provcellen ca en gång per dygn. Proven analyserades därefter med avseende på NaLS. Efter analyserna återfördes proven till provcellen.

Vattnet på analysidan blev efter ett par dygn ganska grumligt. Detta berodde troligen på att små bentonitpartiklar hade passerat den sintrade brickan i diffusionscellen och följt med det cirkulerande vattnet. Eftersom grumligheten hade störande inverkan vid analyserna byttes efter en vecka vattnet på analysidan ut mot nytt grundvatten. Detta nya vatten blev också något grumligt, men inte så mycket som det tidigare.

Under försökets gång togs även prov på vattnet på höghaltssidan för att se om halten NaLS minskade med tiden.

### 2.1.3 Analys

Samtliga prov analyserades med UV-spektrofotometri. Natriumlignosulfonat har en karakteristisk topp i UV-området vid våglängden 280 nm. Som tidigare nämnts var vattnet på analys-

sidan något grumligt på grund av kolloider. Dessa kolloider störde UV-mätningarna. Varje prov membran filtrerades därför före analys. Filtreringen utfördes med ett membranfilter med porstorleken  $0.2 \mu$ . Efter filtrering av proven kunde man med ögat ej se någon grumlighet.

## 2.2 Resultat

Försöket pågick i 36 dygn (864 timmar) och prov för analys uttogs på analysidan ca en gång per dygn. Inget av proven gav vid UV-mätning någon topp vid våglängden 280 nm vilken är den karakteristiska våglängden för NaLS. Vid kalibrering av UV-spektrofotometern visade det sig att den lägsta halt NaLS som med tillräcklig noggrannhet kunde uppmätas var  $10^{-7}$  mol/l.

Halten NaLS på höghaltsidan var vid försökets start  $3.0 \cdot 10^{-5}$  mol/l. Under försökets gång togs även prov på höghaltsidan. Analys av dessa prover visade att halten NaLS på höghaltsidan varierade mellan  $2.9 \cdot 10^{-5}$  mol/l och  $3.1 \cdot 10^{-5}$  mol/l. Avvikelsen från  $3.0 \cdot 10^{-5}$  mol/l beror förmodligen på analysnoggrannheten.

### 3 Bestämning av diffusiviteten för cesium och strontium

#### 3.1 Experimentella arbetet

##### 3.1.1 Apparatur

Vid bstämning av kinetiken i diffusionsförloppet användes samma typ av diffusionscell som i NaLS-diffusionsförsöket (se fig 1). Skillnaden var den att man i det här försöket hade vätska cirkulerande på endast ena sidan om lerskiktet. De båda vattenanslutningarna i cylinderdelen av diffusionscellen blockerades därför genom att införa två teflonpluggar. Dessutom placerades en tunn teflonplatta under den nedersta sintrade plattan inuti cellen.

Kolvdelen i diffusionscellen var ansluten till en buffertflaska samt en pump. Apparatuppställningen var densamma som i NaLS-diffusionsförsöket med den skillnaden att den s k analysidan tagits bort (se fig 4).

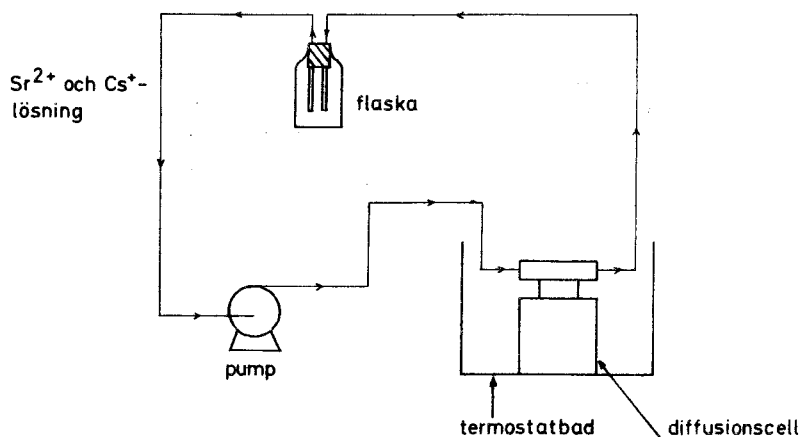


Fig 4. Apparatuppställning.

### 3.1.2 Försöksutförande vid kinetikbestämningen

Bentonitpulvret infördes i diffusionscellen på samma sätt i detta försök som i NaLS-diffusionsförsöket. Densiteten på leran var  $2.15 \text{ g/cm}^3$  räknat som lufttorr lera. Efter vattenupptagning fås en densitet av ca  $2.35\text{-}2.40 \text{ g/cm}^3$ . Tjockleken hos lerskiktet var 5 mm.

Diffusionscellen kopplades ihop med övrig apparatur enligt figur 4. Diffusionscellen placerades i ett termostaterat vattenbad som under hela försöket höll en temperatur på ca  $50^\circ\text{C}$ . Syntetiskt grundvatten fylldes på i flaskan och pumpen sattes igång. Detta vatten fick cirkulera kring bentoniten i en vecka. Detta gjordes för att bentoniten skulle ta upp vatten och bilda det egentliga lerskiktet.

Efter en vecka byttes det syntetiska grundvattnet ut mot en lösning innehållande ca 5 ppm  $\text{Cs}^+$ -joner respektive  $\text{Sr}^{2+}$ -joner i syntetiskt grundvatten. Prov på denna lösning togs före införandet i flaskan för att bestämma den exakta halten  $\text{Cs}^+$ - respektive  $\text{Sr}^{2+}$ -joner.

Prov på lösningen i flaskan togs under försökets gång ett par gånger per dygn. Vid varje provtagning uttogs 5 ml lösning. Proven analyserades därefter med avseende på  $\text{Cs}^+$  och  $\text{Sr}^{2+}$ .

### 3.1.3 Jämviktsförsöket

Ett försök utfördes för att bestämma jämviktshalterna av  $\text{Cs}^+$  respektive  $\text{Sr}^{2+}$ . Fem lösningar innehållande  $\text{Cs}^+$ -halter på ca 2, 4, 6, 8 samt 10 mg/l och fem andra lösningar innehållande  $\text{Sr}^{2+}$ -halter på ca 1, 2, 3, 4 samt 5 mg/l i syntetiskt grundvatten blandades till. Prov uttogs på samtliga dessa tio lösningar för att bestämma de exakta halterna av  $\text{Cs}^+$  och  $\text{Sr}^{2+}$ . Därefter blandades 25 ml av samtliga lösningar med vardera 50 mg bentonit i E-kolvar och skakades om. De tio E-kolvarna placerades i ett termostaterat vattenbad med en temperatur av  $50^\circ\text{C}$  och fick stå i drygt fem timmar. Under denna tid skakades kolvarna om regelbundet.

Efter fem timmar uttogs prov från alla tio kolvarna. Proven centrifugerades för att avskilja bentoniten. Lösningarna analyserades därefter med avseende på  $\text{Cs}^+$  och  $\text{Sr}^{2+}$ .

### 3.1.4 Analyser

Samtliga prov från kinetikbestämningen och jämviktsförsöket analyserades med hjälp av atomabsorptionspektrofotometri. Före analys späddes proverna med lika mängd av en lösning innehållande 8 000 ppm  $\text{K}^+$ . Detta gjordes för att förhindra jonisering av Cs- och Sr-atomerna under själva atomabsorptionsmätningen.

På grund av att halterna var låga, och att de dessutom späddes kan det ligga en del fel i analysresultaten.

### 3.2 Beräkningar

Diffusiviteten för cesium och strontium beräknades med ekvationen

$$\frac{M_t}{M_\infty} = (1+\alpha) [1 - \exp(-T/\alpha^2) \operatorname{erfc}(T/\alpha^2)^{1/2}] \quad 1$$

(enligt Crank J, The Mathematics of Diffusion, second edition, sid 58)

$M_t/M_\infty$  anger förhållandet mellan totala mängden komponent i leran vid tiden  $t$  och totala mängden komponent i leran vid oändlig tid. Detta förhållande kan även uttryckas som

$$\frac{M_t}{M_\infty} = \frac{1 + K \frac{V_b}{V}}{K \frac{V_b}{V}} \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) \quad 2$$

$K$  = jämviktskonstanten  $\frac{\text{kg komponent/m}^3 \text{ bentonit}}{\text{kg komponent/m}^3 \text{ vatten}}$

$V$  = totala volymen vatten  $\text{m}^3$

$V_b$  = totala volymen bentonit  $\text{m}^3$

$C$  = halten komponent i vattnet vid tiden  $t$   $\text{mg/l}$

$C_0$  = halten komponent i vattnet vid tiden

$t = 0$   $\text{mg/l}$

$\alpha$  är ett uttryck för förhållandet mellan vattenvolymen och bentonitvolymen.

$$\alpha = \frac{V}{V_b \cdot K} \quad 3$$

Parametern  $T$  som ingår i ekvation 1 definieras som

$$T = \frac{D \cdot t}{K \cdot l^2} \quad 4$$

$D$  = diffusiviteten  $\text{m}^2/\text{s}$

$t$  = tiden  $\text{s}$

$l$  = bentonittjockleken  $\text{m}$

Ur resultaten från jämviktsförsöken kan jämviktskonstanten  $K$  bestämmas. Resultaten från kinetikförsöket avsätts i diagram med  $C/C_0$  som funktion av  $t$ .  $C/C_0$  väljs till 0.5. Ur diagrammet erhålls motsvarande tid. Ur ekv 2 kan  $M_t/M_\infty$  beräknas, och  $\alpha$  beräknas med ekv 3. Därefter kan diffusiviteten  $D$  erhållas ur ekv 1 genom passningsräkning.

### 3.3 Resultat

I diagram 1 och 2 redovisas jämviktskurvorna för cesium respektive strontium. Ur dessa kurvor har jämviktskonstanten  $K$  för de båda komponenterna beräknats. Jämviktskonstanten  $K$  för Cs blev  $328 \frac{\text{mg Cs/g bentonit}}{\text{mg Cs/g vatten}}$  vilket är lika med  $328 \cdot \frac{2150}{1000} = 705 \frac{\text{kg Cs/m}^3 \text{ bentonit}}{\text{kg Cs/m}^3 \text{ vatten}}$ .

$K$ -värdet för Sr blev  $2667 \frac{\text{mg Sr/g bentonit}}{\text{mg Sr/g vatten}} = 2667 \cdot \frac{2150}{1000} = 5734 \frac{\text{kg Sr/m}^3 \text{ bentonit}}{\text{kg Sr/m}^3 \text{ vatten}}$ .

I diagram 3 och 4 redovisas  $C/C_0$  som funktion av tiden för de båda komponenterna.  $C/C_0 = 0.5$  ger för Cs tiden  $t = 225$  timmar och för Sr tiden  $t = 120$  timmar.

Genom insättande av ekvationerna 4, 3 och 2 i ekvation 1 beräknades diffusiviteten  $D$  till  $5.4 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  för cesium samt  $3,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  för strontium.

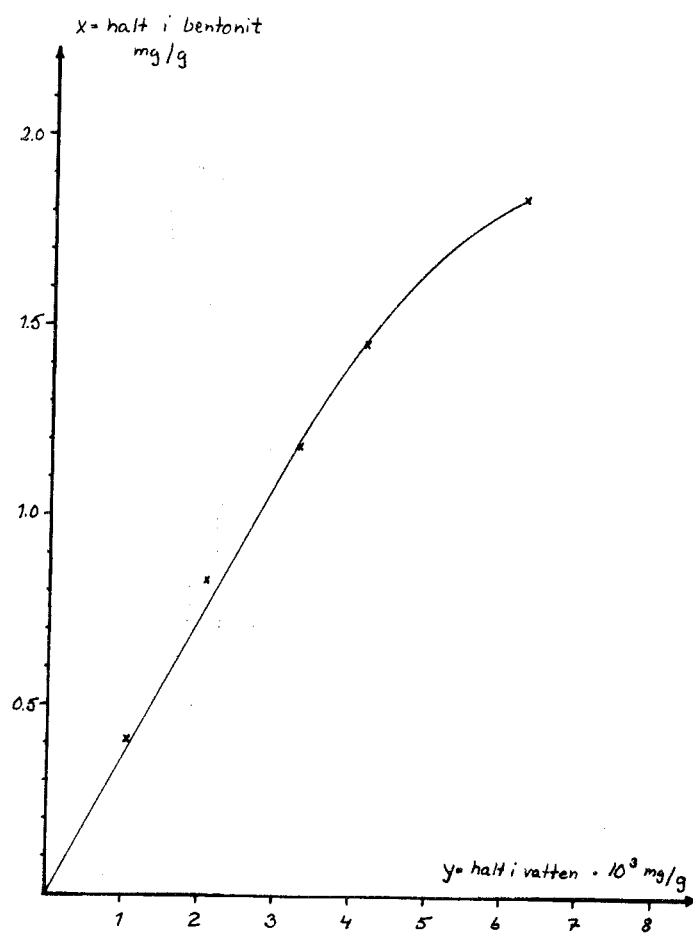


Diagram 1. Jämviktskurva för cesium.



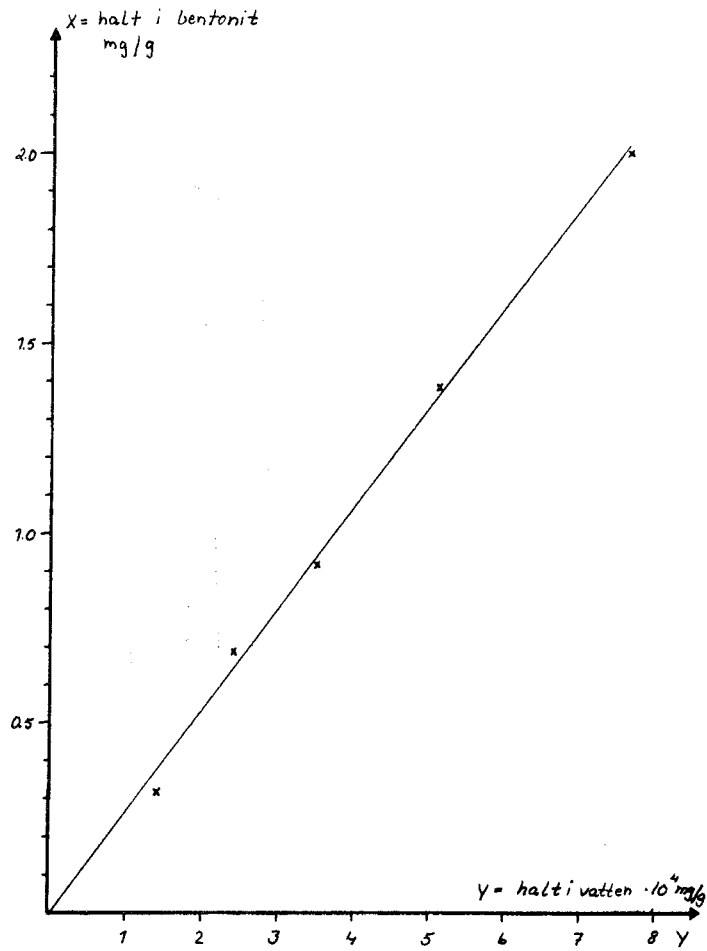
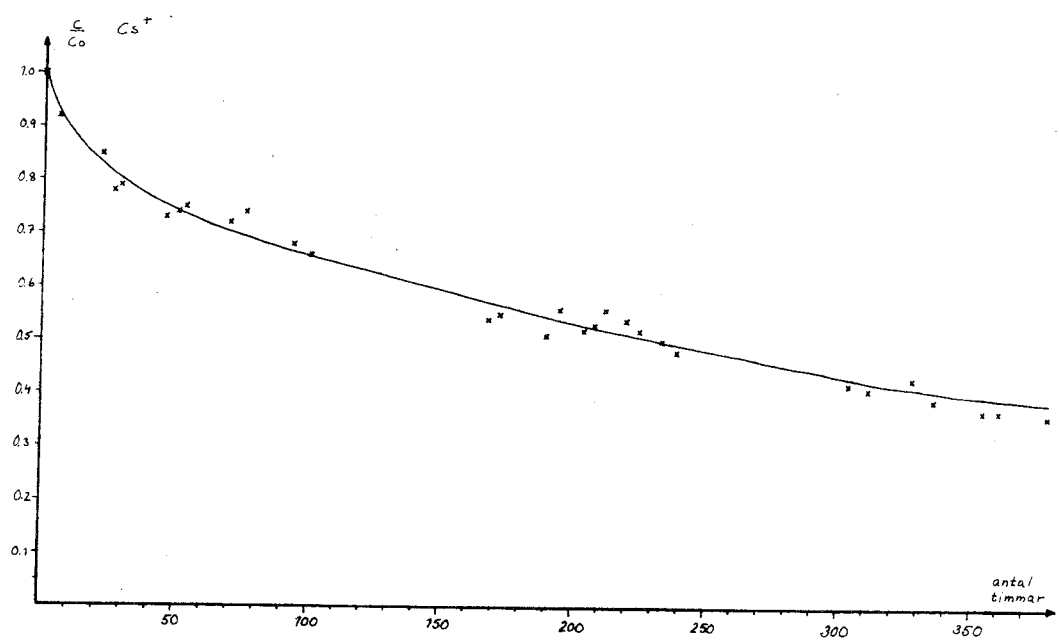


Diagram 2. Jämviktskurva för strontium.

Diagram 3.  $C/C_0$  som funktion av  $t$  för  $\text{Cs}^+$ .

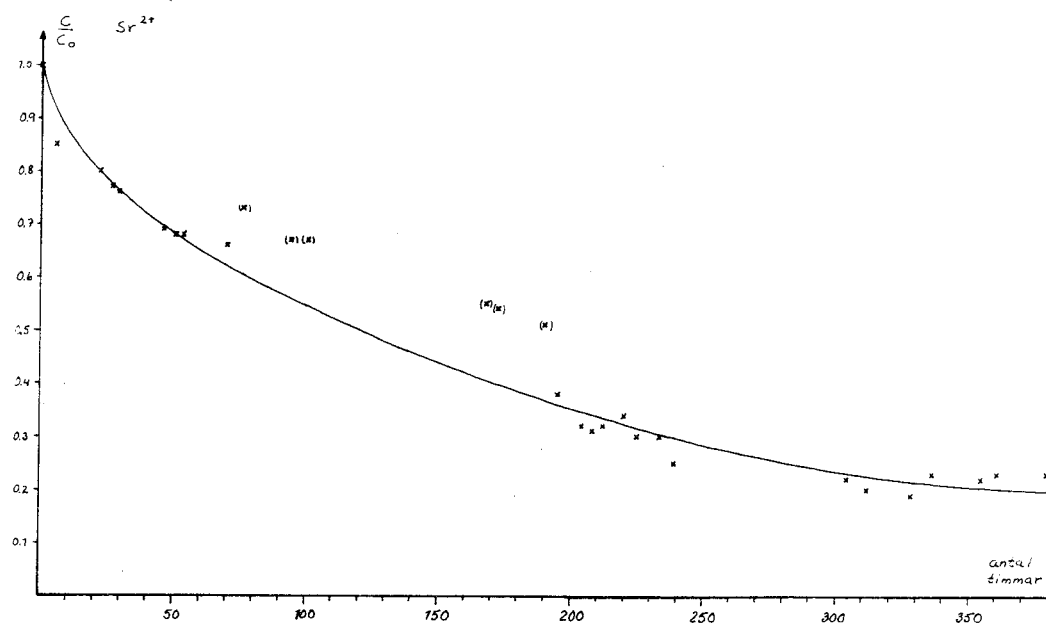


Diagram 4.  $C/C_0$  som funktion av  $t$  för  $Sr^{2+}$ .

Diskussion av resultat

Vid diffusionsförsöket med natriumlignosulfonat kunde man med hjälp av UV-spektrofotometri konstatera att det ej hade diffunderat någon NaLS genom bentonitskiktet. Analysmetoden hade dock den begränsningen att man ej kunde mäta halter lägre än ca  $10^{-7}$  mol/l. Man kan alltså med säkerhet säga att halten NaLS på analysidan ej översteg  $10^{-7}$  mol/l efter 864 timmar. Detta skulle medföra att diffusionskoefficienten för NaLS i kompakterad bentonit är mindre än ca  $3 \cdot 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/s. Detta värde är beräknat med ekvationen

$$N = A \cdot D \frac{dx}{dz}$$

N = mängden diffunderat material per tidsenhet kg/s

A = lerskiktets tvärsnittsarea, m<sup>2</sup>

D = diffusionskoefficienten, m<sup>2</sup>/s

x = halt, kg/m<sup>3</sup>

$\frac{dx}{dz}$  = koncentrationsgradienten över lerskiktet, kg/m<sup>3</sup>, m

Det troliga är dock att det ej diffunderat någon NaLS genom bentonitskiktet. Detta styrks även av att ingen NaLS förlo-  
rades på höghaltsidan.

I diagram 4 där  $C/C_0$  avsatts som funktion av tiden för strontium, har några mätpunkter satts inom parentes. Dessa sex prover analyserades samma dag, och förmodligen blev det den dagen något fel på kalibreringen av atomabsorptionspektrofotometern.

Vid bestämning av diffusiviteten för cesium och strontium erhöles diffusionskoefficienten för cesium till  $5.4 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s och för strontium till  $3.3 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s. Dessa diffusiviteter stämmer bra överens med diffusiviteten för metan i bentonit som i ett tidigare försök beräknats till  $3.9 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s.

## 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 korrosionshårdig 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 Gelín  
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 envånings 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 Gjøystdal  
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  $\gamma$ - 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 svårösliga 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 Lönnerberg  
Liberth Karlson  
Gunnar Nilsson  
ASEA, ASEA-ATOM
- 82 Hantering och slutförvaring av aktiva metalldelar  
Bengt Lönnerberg  
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<sup>2+</sup>, Cs<sup>+</sup>  
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