
KBS TEKNISK RAPPORT

56

Radiolys av utfyllnadsmaterial

**Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg**

Chalmers tekniska högskola 1977-10-15

RADIOLYS AV UTFYLLNADSMATERIAL

Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers Tekniska högskola
1977-10-15

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.

JONBYTESREAKTIONER MM FÖR LÅNGLIVADE RADIOAKTIVA ÄMNEN
I LEROR OCH BERGSPRICKOR
(Objekt 19:01, KBS)

RADIOLYS AV UTFYLLNADSMATERIAL

B Allard, H Kipatsi, J Rydberg

Institutionen för kärnkemi
Chalmers tekniska högskola
Fack, 402 20 Göteborg 5

1977-12-15

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	II
SUMMERY	III
1. INLEDNING	1
2. RADIOLYS I VATTEN	1
3. BESTRÅLNING AV BUFFERTMATERIALET	2
3.1. Doshastigheten i inpackningsmaterialet	2
3.2. Lerans jonbytesegenskaper	3
3.2.1. Vattensammansättningen vid jämvikt med lera	3
3.2.2. Inverkan av gammastrålning	4
3.3. Strukturförändringar	6
3.3.1. Röntgendiffraktionsstudier	6
3.4. Gasutveckling vid radiolys i lera/vatten	9
3.4.1. Val av försöksvatten	9
3.4.2. Beräknad gasutveckling	10
3.4.3. Uppmätt gasutveckling	11
4. STRÅLNINGSINDUCERAD KORROSION AV TITAN	12
5. SLUTSATSER	13
5.1. Tillgängliga mätresultat	13
5.2. Behov av kompletterande mätningar	14
6. REFERENSER	14

SAMMANFATTNING

Inverkan av gammastrålning på egenskaper hos tänkbara buffertmaterial bentonit (10 vikts% bentonit, 90 vikts% kvarts) har diskuterats, huvudsakligen kvalitativt.

Förändringar av jonbytesegenskaper och struktur hos leran till följd av bestrålning i vattenlösning har studerats.

Gasutvecklingen (vätgas) till följd av radiolys har bestämts som funktion av mottagen gammastråldos.

Titans resistens mot korrosionsangrepp i ett strålningsfält har demonstrerats.

SUMMARY

The effect of gamma irradiation on the properties of the possible buffer material bentonite (bentonite:quartz, 10:90) has been discussed, mainly in qualitative terms.

Changes in ion exchange properties and lattice structure of the clay mixture due to irradiation in an aqueous solution have been studied.

The production of gas (hydrogen) due to radiolysis has been determined as a function of the radiation dose.

The resistance to corrosion of titanium in a radiation field has been demonstrated.

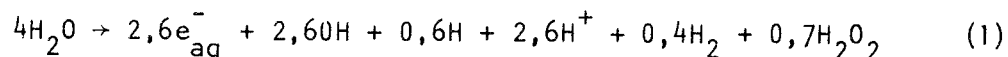
1. INLEDNING

Kraftigt ändrade kemiska betingelser till följd av radiolys i zonen närmast ett slutförvar för radioaktivt avfall, och därmed sammanhängande förändrat sorptionsförlopp för utläckande radionuklider kan inte uteslutas. Framför allt bör redoxbetingelserna i grundvattnet ändras och förändringar i jonbytesförmågan etc. hos bestrålade mineral möjligen påverkas.

Objekt 19:01 har avsett att kartlägga de kemiska och fysikaliska parametrar som har betydelse för spridningen av långlivade radionuklider i leror och berg. Häri ingår även studium av radiolytiskt betingade förändringar i ler- och vattensammansättningen i buffertzonen kring ett avfallsförvar.

2. RADIOLYS I VATTEN

Vid bestrålning av rent vatten kan reaktionerna till följd av radiolys beskrivas av (för 100 eV absorberad energi)¹



Koefficienterna motsvarar här definitionsmässigt G-värdet för bildning av respektive specie.

Speciellt är e_{aq}^- och H reducerande medan OH är oxiderande.

I frånvaro av andra redoxpar i systemet sker en rekombinering av produkterna i reaktion (1), t.ex. enligt



Ett jämviktstillstånd kan förväntas med låga och konstanta halter av radiolysprodukter.² Om däremot en reducerbar eller oxiderbar produkt finns i systemet eller om en borttransport av någon produkt kan ske

kan uppkomsten av ett jämviktsläge förhindras med en nettoproduktion av någon specie , t.ex. H_2 , som följd.

3. BESTRÅLNING AV BUFFERTMATERIALET

3.1. Doshastigheten i inpackningsmaterialet

Olika kapslingsalternativ har diskuterats i samband med uppskattningen av doshastigheten utanför kapseln.

a. Glaskropp

Doshastigheten är hög. Värdet 40000 rad/tim efter 10 års avsvälningstid och 3500 rad/tim efter 100 år har angivits.³ Ett något högre värde har framräknats vid inst. för kärnkemi, nämligen 55000 rad/tim efter 10 års avsvälning.⁴

b. Keramisk inkapsling (sintrad Al_2O_3)

Doshastigheten har reducerats avsevärt. Värdet 304 rad/tim efter 10 års avsvälning motsvarande 27 rad/tim efter 100 år har angivits.⁵

c. Strålskyddad inkapsling (Fe , Fe_3O_4 eller Pb)

Radiolysen kan troligen försummas.

Det är angeläget att nedbringa doshastigheten utanför kapseln av flera skäl. Vid radiolysen i vattnet kring kapseln kan, om t.ex. syre bildas, miljön ändras från reducerande till oxiderande. Eventuellt utläckt Pu övergår till Pu(VI) med ökad risk för bildning av lösliga komplex med liten tendens till sorption i inpackningsmaterialet och berget.⁶ Radiolysen kan möjligen försämra inpackningsmaterialets egenskaper bl.a. genom att gaser frigörs. Radiolysprodukterna kan vidare orsaka korrosionsproblem på kapslingens ytteryta. Dock bör risken för galvanisk korrosion i kontaktytan mellan kapsling och ett eventuellt metalliskt strålskydd beaktas.

Om alternativ c genomförs bortfaller radiolysproblemet. För alternativ b har radiolysen kraftigt nedbringats och några av nackdelarna med alternativ a eliminerats.

I tabell 1 anges doshastigheten och mottagen dos under olika betingelser.

Tabell 1. Mottagna doser vid olika doshastigheter (olika kapslingsalternativ) och olika uppehållstider.

Upphållstid, år		1	10	100
Alternativ a (55 krad/tim efter 10 år)	Dos, rad	$4,8 \cdot 10^8$	$4,3 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^{10}$
Alternativ b (304 rad/tim efter 10 år)	Dos, rad	$2,7 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^7$	$7,9 \cdot 10^7$

I bestrålningsförsöken har mottagna doser varit $10^7 - 10^9$ rad.

3.2. Lerans jonbytesegenskaper

Tidigare har jonbyteskapaciteten (m.a.p. Na) uppmätts till 120-150 mekv/100 g ren bentonit.⁶ Av större intresse är kvalitativa utbytet med övriga joner i grundvattnet samt eventuella förändringar till följd av bestrålning.

3.2.1. Vattensammansättningen vid jämvikt med lera och berg

Jonbytet mellan vatten och lera har studerats genom att vatten med känd sammansättning har bringats till jämvikt med lera i skakförsök, varefter vattnets joninnehåll har bestämts. Försök har gjorts vid 25°C och 70°C. (Med lera avses här blandningen bentonit/kvarts; 10:90). Vid försöken användes ett artificiellt vatten innehållande Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Al, Cl, F, SO₄, NO₃, PO₄, SiO₄, och HCO₃ enligt tabell 3. Efter 7 dygns kontakttid och ett fasförhållande fast fas: vatten = 1:10 separerades fast och flytande fas genom centrifugering följt av filtrering (membranfiltrering; porstorlek 0.05 µm). Vattensammansättningen efter jämvikt ges i tabell 3.

Ändringen av jonhalterna i vattnet medger en kvalitativ tolkning av lerans jonbytesegenskaper.

Na ($r_9=1.32$) ¹⁾	Leran tycks framför allt innehålla Na som lättrörlig katjon; Na lämnar leran trots en relativt hög halt i vattnet. Temperaturen har obetydlig inverkan.
K ($r_9=1.55$)	Halten är konstant vid kontakten med lera.
Mg, Ca ($r_6=0.66$ resp. 0.99)	En utvandring av Mg från leran sker, speciellt vid hög temperatur. En upptagning av Ca i leran sker med obetydlig temperaturinverkan.
Fe, Mn	Fe tas upp av leran eller faller ut som hydroxid (troligast). Även Mn tas upp av leran.
Al	Någon Al kan ej påvisas.
Cl, F	Halterna är konstanta vid kontakt med leran.
NO ₃	En påtaglig ökning av halten sker vid kontakt med leran.
PO ₄	Halterna är genomgående låga.
SiO ₂	En utlakning av silikat sker i leran, speciellt vid den högre temperaturen. Någon motsvarande höjning av katjonhalten kan ej observerad med undantag för Na-halten, vilken dock är temperaturoberoende.
HCO ₃	En ökning av halten sker vid kontakt med leran.

Anmärkningsvärt är, att K ej tas upp av leran, liksom att Ca har större tendens att tas upp än Mg.

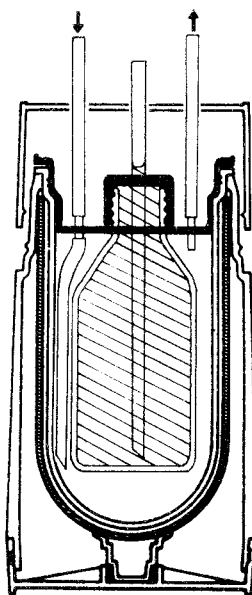
3.2.2. Inverkan av gammastrålning

Prov 4 och 5 (jfr. tabell 2 och 3) bestrålades vid 90°C (ca 1 dygn) med totaldosen $1,3 \cdot 10^7$ rad. Bestrålningen utfördes i plastkärl (prov 4) respektive glaskärl (prov 5).

1) Jonradien normaliserad till i index angivet koordinationsstal.

Några drastiska skillnader i jonsammansättning mellan prov 3, 4 och 5 föreligger ej. En förhöjd Na-halt i prov 5 kan orsakas av en utlakning av glas. Halten K är oförändrad liksom halten Ca. Dock har mängden utvandrad Mg ökat något i de bestrålade proven. En intressant förändring sker med NO_3 -halten, som minskar samtidigt som en påtaglig reduktion till NO_2 sker. (En indikation på närvaro av organiska ämnen som nedbryts i strålfältet?) En ökning av totala silikathalten sker även. Anmärkningsvärt är att pH är tämligen konstant oberoende av bestrålningen. (En glasupplösning kan möjligen förklara pH-sänkningen i prov 5, liksom den ökade silikathalten).

Figur 1. Anordning för termostaterad bestrålning av vatten och lera.



Tabell 2. Prover för lera/vattenjämviktsstudier

Prov nr	Innehåll
1	Standardvatten
2	Standardvatten i jvt med lera, 25°C
3	Standardvatten i jvt med lera, 70°C
4	Standardvatten i jvt med lera, 70°C 1)
5	Standardvatten i jvt med lera, 70°C 1)

1). Bestrålade prover

Fasförhållande: Fast fas : vatten = 1:10
 Kontakttid: 7 dygn

Tabell 3. Vattensammansättning efter jämvikt med lera (mg/l)

Jon	Halt, prov nr				
	1 1)	2	3	4	5
Na	184	330	320	280	350
K	12	12	13	11	13
Mg	3,4	4,6	12	20	20
Ca	35	18	18	16	19
Fe 2)	3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Mn	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Al	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cl	398	402	391	389	421
F	3,2	3,5	3,2	3,2	3,5
SO ₄					
NO ₃ 3)	2,1	4,5	4,3	1,3	1,0
PO ₄	0,01	0,01	0,04	0,12	
SiO ₂	28	56	113	141	150
HCO ₃	136		161	143	
pH	8,24	8,17	8,21	8,20	7,39

1) Invägd mängd Mg, Ca och HCO₃ motsvarade 20, 75 resp. 200 mg/l

2) Luftat system; en oxidation till Fe(III) och utfällning som hydroxid sker

3) Inklusive nitrit: 1 - 2 % i prov 2 o. 3; 40 - 50 % i prov 4 o. 5

Några tecken på signifikant ändrade jonbytesegenskaper till följd av radiolytisk nedbrytning av leran föreligger alltså ej. Visserligen sker en ökad utlösning av silikater, vilket dock kan betingas av den högre temperaturen under bestrålningen. En nedbrytning av lergittret, vilket a priori förefaller osannolikt, skulle ge en utlösning av Al, vilket dock ej har kunnat observeras. Dock kan eventuellt utlösta Al-joner tas upp av jonbytaren eller bilda vattenlösliga hydroxidkomplex.

3.3. Strukturförändringar

3.3.1. Röntgendiffraktionsstudier

Lerprover har framställts enligt tabell 4. Upptagna diffraktogram ges i fig. 2.

Vid lerans kontakt med vatten sker en påtaglig strukturpåverkan som leder till ändrade planavstånd, framför allt en minskning av det långa avståndet kring 12 - 14Å, som möjligen motsvarar avståndet mellan huvudskikten i leran. Vid upphettning till 70°C sker en ytterligare minskning av detta planavstånd, samt även andra signifikanta mindre

förändringar. Skillnaderna mellan bestrålat och obestrålat prov är små, men påtagliga. Några mindre toppar försvinner (vid 6,46 Å och 1,72 Å) vid bestrålningen, och en ny topp (kring 3,65 Å) kan påvisas. Tidigare har visats, att en utlösning av Mg och SiO_2 sker vid höjning av temperaturen från 25°C till 70°C . Denna utlösning ökar påtagligt vid bestrålningen. I stället för Mg tycks Na tas upp av gittret. En upplösning av SiO_2 är a priori ej oväntad, eftersom vattnets pH är högt (~ 8.2). En viss förändring av gittret vid byte av katjon (Mg(II); $r = 0.66$ Å mot Na(I); $r = 1.32$ Å) kan ej uteslutas. Någon nedbrytning av leran indikerad av utlöst Al kan ej påvisas.

Tabell 4. Lerprover för röntgendiffraktionsstudier

Prov nr	Sammansättning ¹⁾
1	Torr obehandlad lera (bentonit)
2	Lera + vatten, 25°C ; under 1 tim
3	Lera + vatten, 70°C ; under 1 vecka
4	Lera + vatten, 70°C ; under 1 vecka, samt bestrålning med $3 \cdot 10^8$ rad

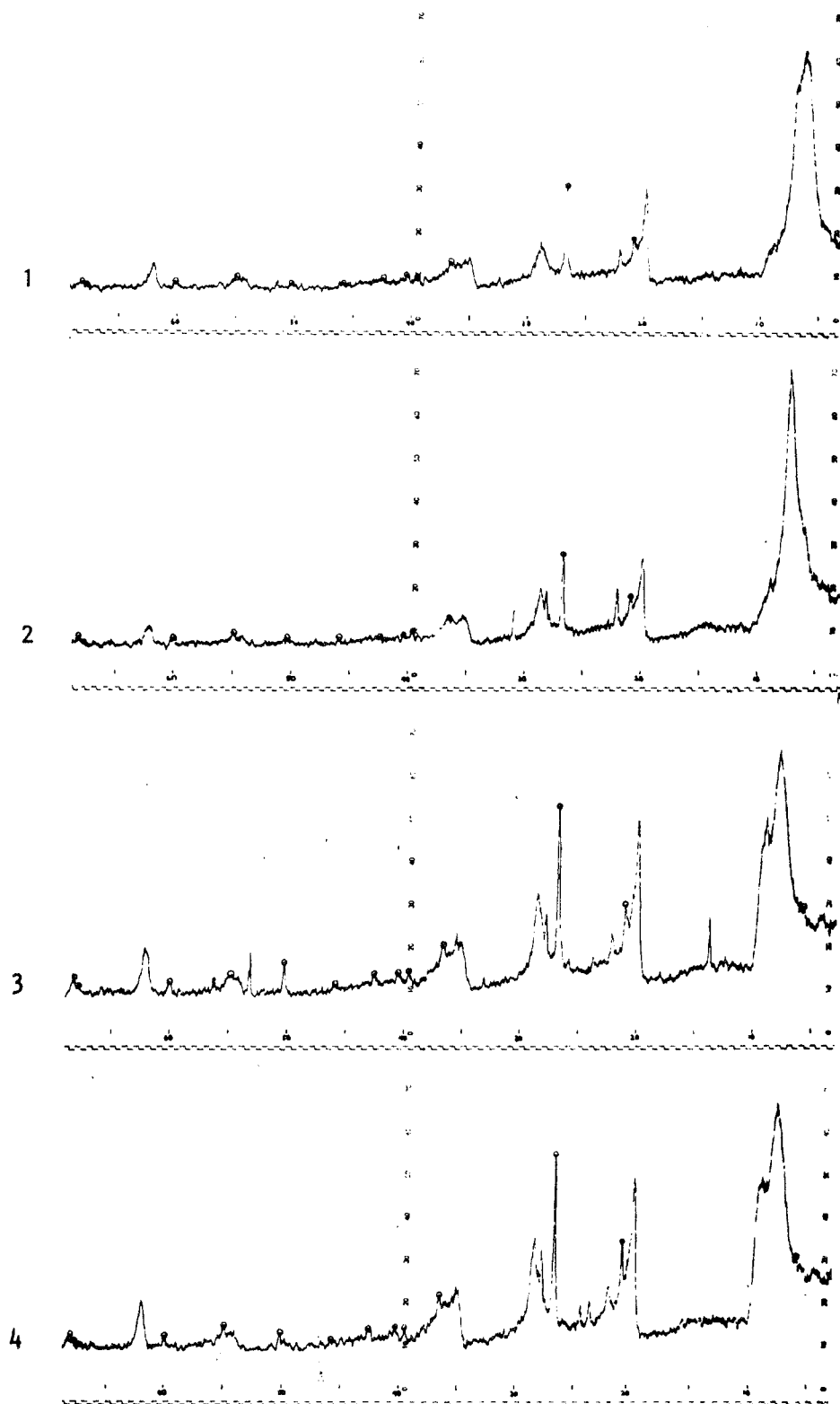
1) Torra pulveriserade prov; för prov 1-4 har c:a 2% kvarts tillsats som referensmaterial. Med vatten avses höghaltsvattnet.

Tabell 5. Gitterplanavstånd (d, Å) motsvarande toppar i diffraktogrammen i figur 2 (exkl. kvarts; vs = mycket stark; s = stark; m = medium; w = svag; sh = shoulder)

d, prov nr				
1	2	3	4	
14,3(vs)	12,1(vs)	11,5(vs)	11,5(vs)	
12,8(sh)				
9,9(w)	9,9(w)	9,9(m)	9,8(m)	
		6,46(m)		
4,46(m)	4,46(m)	4,46(s)	4,46(s)	
4,02(w)	4,02(w)	4,02(w)	4,02(w)	
		3,75(w)	3,77(w)	
			3,65(w)	
3,10(m)	3,16(w)	3,21(m)	3,21(m)	
	3,11(m)	3,14(m)	3,14(m)	
	2,89(w)			
2,56(w)	2,55(w)	2,48(m)	2,48(m)	
		1,72(w)		
1,49(w)	1,49(w)	1,49(w)	1,49(w)	

Figur 2. Diffraktogram för lerprover

(CuK_α -strålning; 50 kV, 28 mA; Scanning: $2^\circ/\text{min}$ för 2θ)



Leran tycks alltså i huvudsak bibehålla sin struktur och jonbytande egenskaper vid de aktuella bestrålningsförsöken. En eventuell omvandling av leran till följd av lång tids kontakt med höghaltigt vatten vid förhöjd temperatur kan givetvis ej indikeras genom en accelererad korttidsmätning, liksom ej heller inverkan av en lägre doshastighet under lång tid med samtidig förhöjd temperatur. Att en faktisk omvandling kan ha påbörjats indikeras av de påvisade förändringarna i diffraktogrammen.

3.4. Gasutveckling vid radiolys i lera/vatten

3.4.1. Val av vattensammansättning

Ett standardvatten har framställts innehållande Na, K, Mg, Ca, Cl, F, SO_4 och HCO_3 i halter i nivå med de högsta som uppmätts i grundvatten från stort djup.⁶ Risken för bildning och utfällning av svårlösliga specier har beaktats vid valet av lämpliga halter. (En från de flesta naturliga vatten avvikande för hög halt av HCO_3 har föredragits för att en eventuell bildning av lättlösliga CO_3 -komplex ej skall förbises.) Jonstyrkan har höjts med NaCl till en total salthalt av 1105 mg/l. Ett pH av ca 8 kan förväntas i vattnet (framför allt bestämt av halten HCO_3).

Genom en reduktion av halten NaCl med en faktor 5-6 och övriga halter med en faktor 2 har ett representativt vatten med låg salthalt, 293 mg/l, erhållits.

De två standardvattnen innehåller ej Fe, Mn, NO_3 , PO_4 eller SiO_2 , vilka finns i vattnet använt vid jonbytesförsöken med leran. I ett luftat system kommer Fe snabbt att falla ut som $Fe(OH)_3$. Både Mn och Fe i lösning kan förväntas tas upp av leran, men eftersom halterna är låga påverkas troligen ej övriga jämvikter signifikant. Halterna av NO_3 och PO_4 är låga i de naturliga vattnen och påverkar troligen ej upptaget av katjoner i leran. Dessutom kan PO_4 ge svårlösliga utfällningar med Ca, Mg m.m. redan vid tillverkningen av vattnet. Genom närvaron av kvarts och silikatmineral i leran kommer en utlakning av silikat vid det aktuella pH-värdet att ske tämligen

snabbt under försökets gång. En tillsats av silikat i vattnet från början kan medföra en bildning av icke-önskvärda svårslösliga silikater i stället för att ge en önskad halt av upplöst silikat.

I tabell 6 ges halter av olika specier i standardvatten.

Tabell 6. Halter av olika specier i standardvattnen

Jon	Halter			
	Aq ₁₁₀₅		Aq ₂₉₃	
	mg/l	mM	mg/l	mM
Na	288	12,53	42	1,83
K	10	0,26	5	0,13
Mg	15	0,62	7,5	0,31
Ca	75	1,87	37,5	0,94
Cl	500	14,10	93	2,62
F	1,5	0,08	0,75	0,04
SO ₄	15	0,16	7,5	0,08
HCO ₃	200	3,28	100	1,64
Tot	1105	35,54 ¹⁾	293	8,92 ¹⁾

1) mekv/l

3.4.2. Beräknad gasutveckling

Tidigare har radiolys i grundvatten utan kontakt med lera teoretiskt analyserats. Som resultat av gammabestrålning erhålles ²

O₂ Ursprunglig O₂-halt minskar något

H₂, H₂O₂ En bildning av H₂ och H₂O₂ sker

Fe Fe(II) oxideras delvis till Fe(III)

Vid jämvikt kan halter i ppb-området förväntas för H₂, O₂ och H₂O₂ för ett bestrålat representativt grundvatten. Effekten av NO₃⁻, HCO₃⁻ och CO₂ i vattnet är obetydlig.

Resultterande jämviktshalter bör uppnås redan efter <10 tim.

Beräkningar för lera/vattenblandning har ej kunnat utföras.

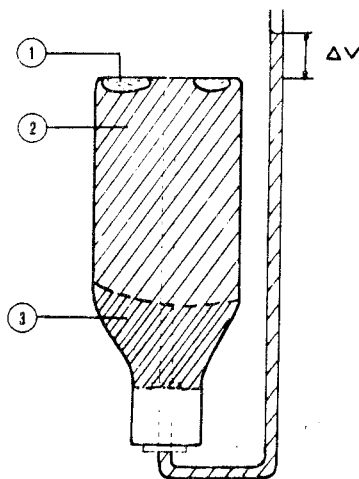
3.4.3. Uppmätt gasproduktion

En uppslamning av lera i vatten (fast fas: vätska = 1:10) mättad med luft vid kända PT-förhållanden bestrålades med gammastrålning (^{60}Co , 70k rad/tim, total bestrålningstid ca 1 vecka). Volymförändringen till följd av gasproduktionen mättes som funktion av mottager: stråldos (jfr. fig. 3)

Figur 3. Anordning för uppskattning av producerad gasvolym vid bestrålning av lera/vatten.

Glasflaskans totalvolym, 200 ml.

- 1) Bildad gasvolym.
- 2) Vatten.
- 3) Uppslammad lera.

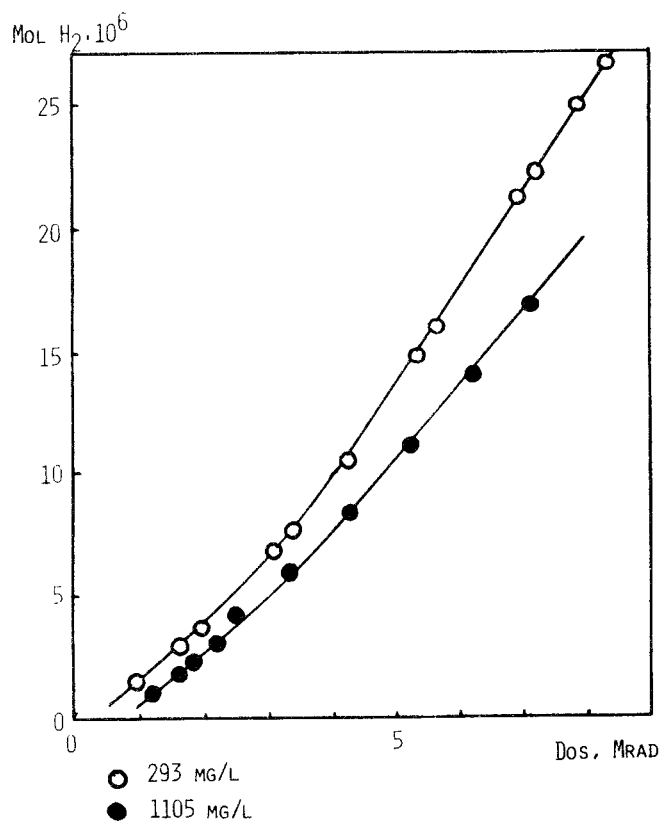


Försöken har utförts med de två vattensammansättningar som anges i tabell 6 och vid $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Mängden fast fas (bentonit:kvarts = 1:10) var 20 g vid varje försök.

Resultatet av två representativa mätningar ges i figur 4. Uppmätt gasvolym var i det närmaste proportionell mot dosen i hela det studerade dosintervallet. Spridningen mellan olika försök var dock stor. I några fall erhöles betydligt lägre gasutvecklingshastighet (otät apparatur?) och i ett fall betydligt högre värde (~5 gånger; möjligen tillfällig förorening i lerprovet?). Något större gasut-

veckling erhöjls för låghaltsvattnet än för höghaltsvattnet, men skillnaden är ej helt säkert signifikant.

Figur 4. Bildad vätgasmängd som funktion av mottagen dos
(Temperatur: 20°C; 20 g bentonit/kvarts + 200 g vatten)



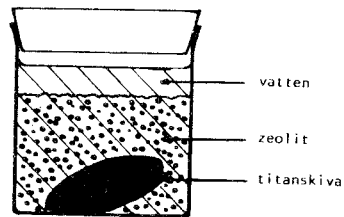
Den bildade gasen bestod nästan helt av H₂. Ur figur 4 har G-värdet för bildat väte i lera/vatten (1:10) beräknats till $G_{H_2} = 0,10-0,12$ med avseende på bentonit/kvartsblandningen. (För en mätning erhöjls maximivärdet $G_{H_2} = 0,26$)

4. STRÄLNINGSINDUCERAD KORROSION I TITAN

Två titanskivor (vikt ca 1 g) placerades i var sin glasbehållare med vattenmättad zeolitblandning (salthalt: 1105 mg/l, temperatur: 20°C). Den ena bestrålades med gammastrålning (⁶⁰Co) till en totaldos av 10⁹ rad under 48 dygn. Ingen påtaglig viktsförändring (<0.0001 g) kunde observeras för någondera av proven. Ej heller kunde tendenser

till punktfrätning eller andra korrosionsangrepp iakttagas i mikroskop (100 gånger förstoring).

Figur 5. Korrosionsstudie av titan.



5. SLUTSATSER

5.1. Tillgängliga mätresultat

Buffertmaterialet bentonit/kvarts i kontakt med grundvatten har bestrålats och vattensammansättningen bestämts. De kemiska förändringarna i lera/vattensystemet till följd av radiolys är obetydliga. En något ökad Mg-halt och silikathalt erhålles efter bestrålningen, medan NO_3 delvis reduceras till NO_2 .

Röntgendiffraktogram visar endast mycket små skillnader mellan bestrålad och obestrålad lera, och någon gitternedbrytning med drastiskt ändrade leregenskaper som följd indikeras ej.

I stort sett oförändrade sorptions- och jonbytesegenskaper kan alltså förväntas, förutsatt att erhållna resultat från försöken kan anses representativa även för en långtidsexponering vid lägre doshastighet.

Vid bestrålning av lera/vatten erhålls framför allt vätgas ($G_{\text{H}_2} = 0,1 - 0,3$), vilket ej hade förväntats i ett rent vattensystem, där rekombineringsreaktioner skulle ha lett till en mycket låg jämviktshalt av både syre och väte.

Någon tendens till ökade korrosionsangrepp på Ti till följd av bestrålning observerades ej.

5.2. Behov av kompletterande mätningar

Projektet har genomförts under mycket stor tidspress och många undersökningar har ej kunnat utföras i önskad omfattning av tidsskäl.

Av speciellt intresse är en fortsatt studie av gasproduktionen till följd av radiolysen i lera/vatten. Den här använda metoden förefaller något osäker eftersom svårighet förelåg att få reproducerbara resultat. (Otäta behållare eller igensatta kapillärrör ?)

Ur uppmätta G-värden kan producerad gasvolym som funktion av tiden (eller dosen) beräknas. En bedömning av risken för blåsbildning i leran bör därigenom vara möjlig, utgående från representativa data för löslighet, temperatur, tryck, diffusionshastighet etc.

Av primär betydelse för utlaknings- korrosions- och sorptionsförloppet är redoxbetingelserna i radiolyszonen. Direkta mätningar av redoxpotentialer vore önskvärda liksom teoretisk analys av tänkbara redoxreaktioner i de aktuella systemen. Skillnader mellan alfa- och gamma-inducerad radiolys bör beaktas.

6. REFERENSER

1. M. Haissinsky, "Nuclear Chemistry and its Applications", Addison-Wesley Publ. Comp., Reading, Mass. 1964.
2. H. Christensen, "Beräkningar av radiolys i vattenlösningar vid slutlig förvaring av högaktivt avfall", AE-MC-174, 1977-07-02
3. Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Del II, SOU 1976:3, Stockholm 1976.
4. Uppgift från J.O. Liljenzin, Inst. f. kärnkemi; CTH
5. Uppgift från K. Hannerz, Asea-Atom
6. B. Allard, H. Kipatsi, J. Rydberg, "Sorptions av långlivade radionuklider i lera och berg. Del I", KBS Teknisk Rapport 55, Stockholm 1977.

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-
sisters 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 Lagningsförsök 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 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