

KBS TEKNISK RAPPORT

101

Utläckning av NI-59 från ett bergförvar

**Ivars Neretnieks
Karin Andersson**

Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-04-24

UTLÄCKNING AV NI-59 FRÅN ETT BERGFÖRVAR

Ivars Neretnieks
Karin Andersson

Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-04-24

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

UTLÄCKNING AV Ni-59 FRÅN ETT BERGFÖRVAR

1978-04-24

Ivars Neretnieks

Karin Andersson

Lennart Henstam

Summary

Radioactive metal parts are compacted and placed in concrete boxes. The boxes are placed in a tunnel in good rock at 500 m depth. They are surrounded by a buffer mass consisting of a clay/quartz mixture with very low water permeability. The metal parts consist of zircaloy, stainless steel and inconel. The total amount of metal is 720 tons. 78 tons of this is nickel. The most important radionuclide in the metals is nickel-59 with a halflife of nearly 80 000 years.

It is not quite clear if the nickel in the alloys will corrode or not. In this study it has been assumed that it will be oxidized to Ni(II). The solubility of nickelhydroxide is very low < 1 mg/l in water with pH between 10 and 13. This pH is maintained by dissolution of the hydroxides from the concrete. It is furthermore assumed that organic complexing agents in the groundwater may increase the solubility of nickel to 30 mg/l.

If the concrete and the buffer mass are not destroyed, the leachrate of nickel is very low. It will take about 20 million years for all the nickel to escape under these circumstances.

The barriers may be degraded by several mechanisms. The clay might be destroyed by the hydroxyl ions from the concrete and the concrete will be degraded as its hydroxyl ions escape. The clay could be destroyed in 100 000 years if very high and unlikely reaction rates are assumed.

Under the very unlikely circumstances that the concrete and the clay/quartz mixture becomes very permeable to water flow due to degradation, the maximum leach rate for nickel will be $2 \cdot 10^{-6}$ parts per year.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
1 Sammanfattning	1
2 Bakgrund	2
3 Förvarets konstruktion	3
4 Kemiska miljön i förvaret	4
4.1 Grundvattensammansättning	4
4.2 Grundvattensammansättning vid närvaro av betong	4
5 Korrosion av metallerna	5
6 Löslighet av nickel	6
7 Uttransport av nickel	8
7.1 Materietransportmotstånd	8
7.2 Transporthastighet vid intakta barriärer	8
8 Stabilitet hos barriärerna	12
8.1 Betongens stabilitet	13
8.2 Bentonit/kvartsblandningen	13
9 Diskussion och slutsatser	15
10 Referenser	17
Bilagor	

1 Sammanfattning

Metalldelar som lagts i betonglådor i en tunnel på ca 500 m djup kan eventuellt komma att korrodera så att Ni-59 oxideras och går i lösning. Lösligheten av $\text{Ni}(\text{OH})_2$ är så låg att det inom aktuella pH ej överstiger 30 mg/l. Sannolikt är halten mycket lägre < 1 mg/l. Betongen vittrar genom att $\text{Ca}(\text{OH})_2$ löses ut till förbiströmmande vatten och genom att bentonit som packats i tunneln kan reagera med $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Bentoniten som har tätande funktion kan därvid förstöras. Denna vittring och bentonitförstöring tar under ogynnsamma omständigheter mer än 100 000 år. Under denna tid kan ävenledes under ogynnsamma omständigheter högst 1/5 av nickelmängden läcka ut. De ogynnsamma omständigheterna innebär höjt vattenflöde ($1 \text{ l/m}^2, \text{år}$) i berget, och så sprucken betong och ler/kvartsblandning att strömmande vatten kan komma i direkt kontakt med metallen.

2 Bakgrund

Metalldelarna från reaktorerna kommer att innehålla vissa mängder radioaktivt nickel - Ni-59. Nickel ingår i flera av de metallegeringar som använts: zircaloy 2 och 4, rostfritt stål och inconel 650 och 718. Ni-59 har en halveringstid av nästan 80 000 år och måste därför förvaras så att det ej når biosfären. De mängder metall som totalt skall hantearas är ca 720 ton metall varav ca 78 ton olika nickelisotoper.

3 Förvarets konstruktion

Förvaret är tänkt förläggas på stort djup 200-500 m där vattenflödet är lågt. För att lätt kunna hantera metallen placeras den i betonglådor ca 1.6 m i kub med ca 0.4 m tjocka betongväggar. Betonglådorna placeras på en bädd av bentonit/kvartssand (10/90) i en tunnel 9 m bred och 8.5 m hög. Lådorna läggs 3 på bredden och 2 på höjden. Tunneln som blir totalt ca 300 m lång fylls sedan med bentonit/kvarts (15/85) vid förslutningen. Eventuellt kan bentonit/kvartsblandningen bytas mot betong.

4 Kemiska miljön i förvaret

Den kemiska miljön i och omkring ett bergförvar för radioaktivt avfall är betydelsefull för att kunna bedöma risken för korrosion av metaller och transport av radiokativa ämnen med grundvattnet.

4.1 Grundvattensammansättning

Grundvattnets sammansättning på aktuellt djup (ca 500 m) har mätts inom projektet. En sannolik sammansättning framgår av tabell 4, vilken är hämtad ur KBS tekniska rapport nr 36 (8) med komplettering den 7 mars 1978, "sannolik sammansättning av grundvatten i urberg på större djup". Tabellen visar grundvattensammansättningen i berggrundsområden som från geologisk och hydrologisk synpunkt är gynnsamma för ett slutförvar. Förutom de i tabellen angivna ämnena förekommer maximalt 0.5 milliekvivalenter fulvosyror ($M = 500 - 70\ 000$ g/mol) per liter vatten. pH ligger mellan 7.2 och 8.5.

4.2 Grundvattensammansättning vid närvaro av betong (9)

Då betong förekommer i stora mängder i förvaret kommer grundvattnet att påverkas. I ett första skede ökar vattnets pH till 13-14 på grund av utlösningen av små mängder NaOH och KOH i betongen. Därefter löser sig den fria $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i betongen och pH stabiliseras på 12.6. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ utgör några % av betongen. Efter ytterligare tid löses Ca ur silikat och aluminat ut varvid betongens hållfasthet försvinner. Grundvattnets pH håller sig omkring 10 under detta skede. Dessa föreningar utgör 10-15 % av betongvikten.

I detta arbete har korrosionsbenägenheten av nickel ej bedömts. Ren nickel kan komma att vara ganska inert i aktuell miljö (5). En del av de andra metallerna bl a järn kommer sannolikt att korrodera under vätgasutveckling.

6 Löslighet av nickel

Hos nickel är oxidationstalet två helt övervägande i aktuell miljö om det överhuvudtaget korroderar. Totalkoncentrationen av nickel i vattenlösning är summan av de enskilda nickelkomplexens koncentrationer som bestäms av respektive stabilitetskonstant vid jämvikt. Av de i grundvattnet förekommande anjonerna bildar nickel svårlösliga föreningar med OH^- , PO_4^{3-} , S^{2-} och CO_3^{2-} . Eventuellt föreligger nickel-fulvosyra komplex men då järn(II) binds starkare till fulvosyra än nickel (2) och järnhalten är hög, är antagligen nickel-fulvosyra komplexen av underordnad betydelse (4). Ammoniak bildar enbart svaga komplex med nickel varför man kan bortse från dem.

Nickelsulfid är mycket svårlöslig ($K_s = 10^{-19,4}$ för $\alpha\text{-NiS}$) men då mängden nickel är stor i förhållande till sulfidmängden i grundvattnet kan man inte räkna med att nickelkoncentrationen bestäms av nickelsulfidens löslighet. Samma resonemang kan föras beträffande nickelfosfat vars löslighet dock är större än för nickelsulfiden (1).

Maximala nickelhalten bestäms av karbonat eller hydroxidkomplexen. Vid de låga karbonathalter som förekommer i grundvattnet (60-400 mg/l) är det nickelhydroxidernas stabilitetskonstanter som avgör grundvattnets maximala koncentration av nickel. Totala koncentrationen nickel som funktion av pH vid närvaro av

S^{2-} ($[S]_{\text{tot}} = 0,1 \text{ mg/l}$) och OH^- framgår av diagram 1. Då karbonaten är mer löslig än hydroxiden, kommer hydroxiden att bestämma lösligheten. Karbonatjämvikten har därför ej inritats.

Kurvorna är framtagna för 25°C och jonstyrkan 0. Nickelhalten, som bestäms av hydroxidjämvikterna, minskar med ökande pH upp till pH ca 10.5 på grund av att nickelhydroxid fälls ut. Därefter ökar lösligheten igen då $\text{Ni}(\text{OH})_3^-$ bildas.

Eftersom de uppgifter på nickelhydroxidens löslighetsprodukt som finns givna i litteraturen (10) varierar kraftigt ($K_s = 10^{-18,06} - 10^{-13,82}$) är osäkerheten stor. Den maximala ($K_s = 10^{-13,82}$) och den sannolika (11) nickelhalten ($K_s = 10^{-15,21}$) vid jämvikt finns inritade i diagram 1. Maximala halten av nickel i grundvattnet är sannolikt $1,5 \text{ g/l}$ (pH = 7,2, $K_s = 10^{-15,21}$). Vid de pH som uppstår då vattnet är i kontakt med betongen är nickelkoncentrationen betydligt lägre.

I diagrammet har även inritats den halt nickel som skulle kunna finnas i lösningen om fulvosyrakomplexen vore mycket starka.

7 Uttransport av nickel

7.1 Materietransportmotstånd

Efter det att vatten genomdränkt ler/kvartsblandningen och betongen, kommer materietransport att ske både in till metallerna (lösta ämnen från grundvattnet) och ut från denna (korroderad metall). Dessutom kommer kalciumhydroxid att lösas ut ur betongen och spridas ut i leran.

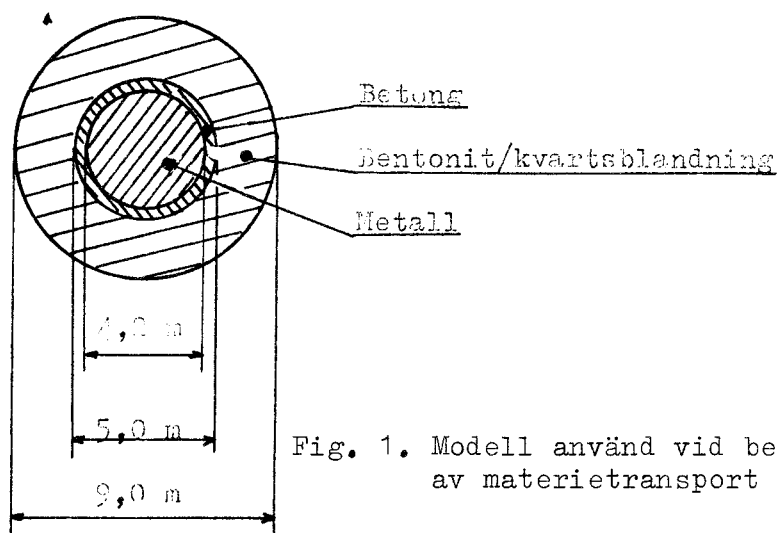
Så länge betong- och ler/kvartsblandningen är intakta, kommer den huvudsakliga transportmekanismen genom dessa att vara diffusion. Ett ytterligare materietransportmotstånd utgör det så kallade "filmmotståndet" vid överföringen från leran till det strömmande vattnet. Här förutsetts att nickel korroderat och gått i lösning - vilket ej är givet, eftersom nickel är en relativt ädel metall (5).

7.2 Transporthastighet vid intakta barriärer

Drivande kraft vid uttransport av korroderat nickel till grundvattnet kommer att vara halten löst nickel i vattnet kring metallerna.

Materieflödet ut från förvaret per m tunnel och drivande kraft har beräknats med hjälp av samma typ av samband, som använts av Neretnieks (6) vid beräkning av nuklidflödet ut från slutförvarade bränslestavar.

Vid beräkningarna har förvaret betraktats som koncentriska cylindrar, där skiktjocklekarna motsvarar de kortaste diffusionsvägarna i förvaret. Se fig 1.



Diffusiviteten för upplöst nickel i ler-/kvartsblandning har, utgående från diffusivitetsmätningar för strontium-joner i bentonit (7) satts till $1/10$ av diffusiviteten i vatten. Samma värde har använts för betong.

Beräkningar av materietransporthastigheten har gjorts för samma vattenflöden, sprickstorlek och -frekvens som vid Neretnieks beräkningar för bränsleförvar (6). Resultatet sammanfattas i tabell 1. Som framgår av denna, utgör filmmotståndet (= överföring lera/kvarts till strömmande vatten) det dominerande materieöverföringsmotståndet. Detta beror på att den yta, där bergets sprickor når förvaret utgör en mycket liten del av lerfyllningens kontaktyta med berget

Tabell 1. Transporthastighet genom barriärerna

Fall	$\frac{U_0}{\text{m/år}}$	S m	B mm	Res 1 (Betong)	Res 2 (lera)	Res 3 (film)	N/LΔc g/år, m, g/m ³
1	$1 \cdot 10^{-3}$	1	0.1	1	31	239	$84 \cdot 10^{-5}$
2	$1 \cdot 10^{-3}$	0.4	0.2	1	26	107	$170 \cdot 10^{-5}$
3	$2 \cdot 10^{-4}$	1	0.1	1	31	534	$40 \cdot 10^{-5}$
4	$2 \cdot 10^{-4}$	0.4	0.2	1	26	239	$86 \cdot 10^{-5}$

U_0 = vattenhastighet i berg m³/m², år

S = sprickavstånd m

B = sprickvidd, mm

Res= relativt transportmotstånd= motstånd/motstånd i betong

N/LΔc = transporterad mängd per m tunnellängd och drivande kraft.

Mängden nickel, som transporteras ut ur en 300 m lång tunnel liksom den tid det tar att transportera bort allt nickel (= 80 ton) ur förvaret har också beräknats. Härvid har förutsatts, att det under hela transportförloppet finns tillgång till nickel, löst till jämviktshalt, i kontakt med metallen. Resultatet av dessa beräkningar gjorda för jämviktshalterna 30 g/m³ och 1500 g/m³ framgår av tabell 2. För närmare diskussion av valet av jämviktshalter, se 6 ovan.

Tabell 2. Flöden av nickel ut från hela förvar

Fall (se tabell 1)	$\Delta c = 30 \text{ g/m}^3$		$\Delta c = 1500 \text{ g/m}^3$	
	N g/år	t år	N g/år	t år
1	7.6	$11 \cdot 10^6$	378	$0.21 \cdot 10^6$
2	15.3	$5,2 \cdot 10^6$	765	$0.10 \cdot 10^6$
3	3.6	$22 \cdot 10^6$	180	$0.44 \cdot 10^6$
4	7.8	$10 \cdot 10^6$	389	$0.21 \cdot 10^6$

Δc = koncentrationsdifferens

N = utflöde från 300 m tunnel

t = tid att transportera bort 80 ton nickel

Som framgår av tabellen, kommer det att ta minst 100 000 år att transportera bort allt nickel med den högsta gradienten och minst 5 milj år om det lägre värdet gäller. Om betong finns närvarande, gäller det lägre haltvärdet. Fall 3 i tabell 1 och 2 är det fall som bedöms som troligt. I detta fall tar det 22 milj år för allt nickel att transporteras ut.

8 Stabilitet hos barriärerna

Som framgått av beräkningarna ovan, utgör själva utfyllnaden av förvaret ett större hinder mot materieöverföring på grund av uppkomst av "filmmotstånd" än genom diffusionsmotstånd. Betongens roll kan helt anses vara att ge ett mekaniskt skydd samt att hålla pH högt.

En ändring av de mekaniska egenskaperna hos barriärmaterialen kan få till följd att vatten mer eller mindre fritt kan strömma genom detta. Om vatten kan strömma helt fritt genom förvaret kommer enligt Neretnieks (7) maximalt allt det vatten, som strömmar genom berget på en yta som motsvarar förvarets dubbla projicerade yta att utbyta materia med förvaret. Materieflöden och tid att transportera bort allt nickel om detta vatten hela tiden uppnår mättadshalt, framgår av tabell 3. Den högsta antagna lösligheten ger här en transporttid av minst 10 000 år, medan den lägre ger ca 1/2 miljon år. Detta gäller så länge betong finns och pH är högt (> 9). Observeras bör, att om ingen betong finns närvarande, kommer pH vara lägre och därmed lösligheten av nickel att vara högre än vid intakta barriärer.

Tabell 3. Flöden av nickel ut från förvar om materietransportbarriärer saknas dvs om betongen och ler/kvartsbarriären förstörts.

Fall (se tab 1)	$\Delta c = 30 \text{ g/m}^3$		$\Delta c = 1500 \text{ g/m}^3$	
	N g/år	t år	N g/år	t_0 år
1, 2	163	$0.49 \cdot 10^6$	$8.0 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$
3, 4	32	$2.5 \cdot 10^6$	$1.6 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$

Δc = koncentrationsdifferens t_0 = tid att transportera bort
 N = utflöde från 300 m tunnel 80 ton nickel

8.1 Betongens stabilitet

Sedan betongen genomdränkts med vatten, vilket torde ske inom loppet av några år, kommer den s k fria kalciumhydroxiden, vilken utgör ca 1 % av betongvikten, att diffundera ut genom leran. Så länge denna uttransport pågår, är betongen mekaniskt sett intakt. Tiden för uttransport av all fri kalciumhydroxid uppgår till några hundra år om den omedelbart tas emot av leran. Därefter kommer det kalcium som finns bundet i cementen i form av silikater och aluminater att lösas ut. Detta sker med en hastighet, som är ca 1/10 av utlösningshastigheten för det fria kalciumet. Cementen kommer härvid att förstöras och till slut återstår enbart de 90 vikt % av betongen, som utgörs av sand. Detta tar över 100 000 år om man antar att inget materieöverföringsmestånd finns utanför själva betongskiktet. Under denna tid underskrids ej pH 10. Tiderna kommer i praktiken att bli avsevärt längre då bentoniten ej omedelbart reagerar med kalciumhydroxiden. Denna måste då diffundera genom hela ler/kvartsskiktet vilket ökar tiden med minst 100 ggr.

8.2 Bentonit/kvartsblandningen

Bentonit/kvartsbarriären kan förstöras dels genom att bentonitens natriumjoner byts mot kalcium, varvid dennas svällningsegenskaper försämras och dels genom att barriärmaterialen genomgår någon kemisk reaktion.

En beräkning av tiden för ett fullständigt jonbyte på bentoniten, utgående från samma data angående jonbyteskapacitet som använts vid beräkningar i samband med diffusion kring bränsleförvar (6) ger vid handen att ett sådant tar minst 80 000 år.

Vid uppvärmning till 100-150°C av bentonit vid högt pH omvandlas den montmorillonit, vilken utgör bentonitens huvudbeståndsdel till en zeolit, analcime. Detta sker relativt snabbt vid 100-150°C (timmar upp till några veckor). Om denna reaktion skulle kunna ske vid lägre temperatur med längre reaktionstid är ej känt, men det anses mindre troligt att detta är möjligt vid 10-30°C (3).

Det åtgår ca 0.1 kg OH⁻ för att omvandla 1 kg bentonit till analcime. Den i betongen befintliga mängden hydroxid räcker till att omvandla all lera. Detta tar dock i storleksordningen 1 milj. år på grund av diffusionssträckorna.

Vid förläggning av metallavfallsförvaret på samma djup och i samma form av berg som bränslet är det osannolikt att nickel oxideras. Om så sker begränsas lösligheten i vatten till högst 30 mg/l om pH är mellan 9 och 13. Det senare kan åstadkommas genom att ha betong i förvaret. Redan begränsade (kokillerna) betongmängder håller pH i detta område i över 300 000 år. Detta värde gäller om vattnet har fri tillgång till betongen dvs allt vatten som kommer till förvaret jämviktas med betongen. Detta förutsätter dels att ler/kvartsblandningen blivit så porös att vatten kan strömma fritt i den och dels att betongen helt vittrat sönder till en porös massa. Om leran omedelbart reagerar med kalciumhydroxiden kan tiden minska till ca 100 000 år. Detta är dock osannolikt. Denna risk kan elimineras genom att byta ut ler/kvartsblandningen mot betong. Detta ökar dessutom avsevärt mängden $\text{Ca}(\text{OH})_2$ som finns i förvaret. Den risk som introduceras är att betongen spricker och att vattnet fritt kan strömma in till metallen. Detta fall har behandlats i tabell 3. I fall 1 och 2 med hög vattenströmning och där allt vatten som kommer till förvaret (inga "film"- eller diffusionsmotstånd finns) tar med sig lös- lig hydroxid tar det ca 3 milj. år att lösa ut all hydroxid. Under denna tid är nickels löslighet lägre än 30 mg/l och det tar ca 0.5 milj. år att lösa ut allt nickel. Detta gäller för det höga vattenflödet $11/\text{m}^2$ år.

Inverkan av eventuell vätgasutveckling på förvaret är svårbedömd. Så länge gasen ej ökar själva bergets porositet och därmed vattenflödet, påverkas ej ovanstående slutsatser.

10 Referenser

- 1 Allard, Bert., Institutionen för Kärnkemi, CTH. Personkontakt 3.4-1978
- 2 Andersson, Britt Marie. Sveriges Lantbrukshögskola, Ultuna. Personkontakt 18.4-1978
- 3 Feldt, L., Oorganisk kemi, LTH. Personkontakt
- 4 Grenthe, Ingmar, Institutionen för Oorganisk kemi, KTH. Personkontakt 31.3-1978
- 5 Grenthe, Ingmar m fl. Jämvikter i systemet $\text{Ni-H}_2\text{O-Cl}^- - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{F}^-$ vid olika redoxpotential och temperatur. Rapport till KBS. 1977
- 6 Neretnieks, I., Transport of oxidants and radionuclides through a clay barrier. KBS teknisk rapport nr 79. 1978
- 7 Neretnieks, I., Retardation of escaping nuclides from a final repository, KBS Teknisk rapport 30 1977
- 8 Rennerfelt, I., Sammansättning av grundvatten på större djup i granitisk berggrund. KBS Teknisk rapport 36 1977
- 9 Rombén, Lars, Cement och Betonginstitutet, Stockholm. Personkontakt 14.4-1978

- 10 Sillén, L.G. Stability Constants of Metal-ion Complexes.
Chem.Soc. Special Publication no 17. London 1964
- 11 Smith-Martell, Critical Stability Constants. Vol 4.
Inorganic Complexes 1976. Plenum Press N.Y.

Stabilitetskonstanter (11)

Nickel i vattenlösning, 25°C		I = 0
		log K
OH ⁻	ML/M·L	4,1
	ML ₂ /M·L ²	8
	ML ₃ /M·L ³	11
	M ₂ L/M ² ·L	3,3
	M ₄ L/M·L ⁴	28,3
	M·L/ML(s)	-15,21
CO ₃ ²⁻	M·L/ML(s)	- 6,87
NO ₃ ⁻	ML/M·L	0,4
	ML ₂ /M·L	- 0,6
PO ₄ ³⁻	MHL/M·HL	0,4
	M ³ ·L ² /M ₃ L ₂ (H ₂ O) ₈ (s) ~	- 36
S ²⁻	M·L/ML(s,α)	-19,4
	M·L/ML(s,β)	-24,9
	M·L/ML(s,γ)	-26,6
SO ₄ ²⁻	ML/M·L	2,32
	ML ₂ /M·L ²	~ 3
F ⁻	ML/M·L	< 1
Cl ⁻	ML/M·L	< 1
NH ₃	ML/M·L	2,72
	ML ₂ /M·L ²	4,89
	ML ₃ /M·L ³	6,55
	ML ₄ /M·L ⁴	7,67

	$ML_5/M \cdot L^5$	8,34
	$ML_6/M \cdot L^6$	8,31
H^+ i vattenlösning, $25^\circ C$, $I = 0$		$\log K$
S^{2-}	$HL/H \cdot L$	13,9
	$H_2L/H^2 \cdot L$	7,02
CO_3^{2-}	$HL/H \cdot L$	10,33
	$H_2L/H^2 \cdot L$	6,35

Tabell 4

Analys	Sort	Sannolikt Intervall	Minvärde ^{x)}	Maxvärde ^{x)}
Ledningsförmåga	$\mu\text{S/cm}$	400-600		1100
pH		7,2-8,5		9,0
KMnO ₄ -förbr.	mg/l	20-40		50
COD _{Mn}	"	5-10		12,5
Ca ²⁺	"	25-50	10	60
Mg ²⁺	"	5-20		30
Na ⁺	"	10-100		100
K ⁺	"	1-5		10
Fe-tot	"	1-20		30
Fe ²⁺	"	0,5-15		30
Mn ²⁺	"	0,1-0,5		3
HCO ₃ ⁻	"	60-400		500
CO ₂	"	0-25		35
Cl ⁻	"	5-50		100
SO ₄ ²⁻	"	1-15		50
NO ₃ ⁻	"	0,1-0,5		2
PO ₄ ³⁻	"	0,01-0,1		0,5
F ⁻	"	0,5-2		8
SiO ₂	"	5-30		40
HS ⁻	"	<0,1-1		5
NH ₄	"	0,1-0,4		2
NO ₂	"	<0,01-0,1		0,5
O ₂	"	<0,01-0,07		0,1

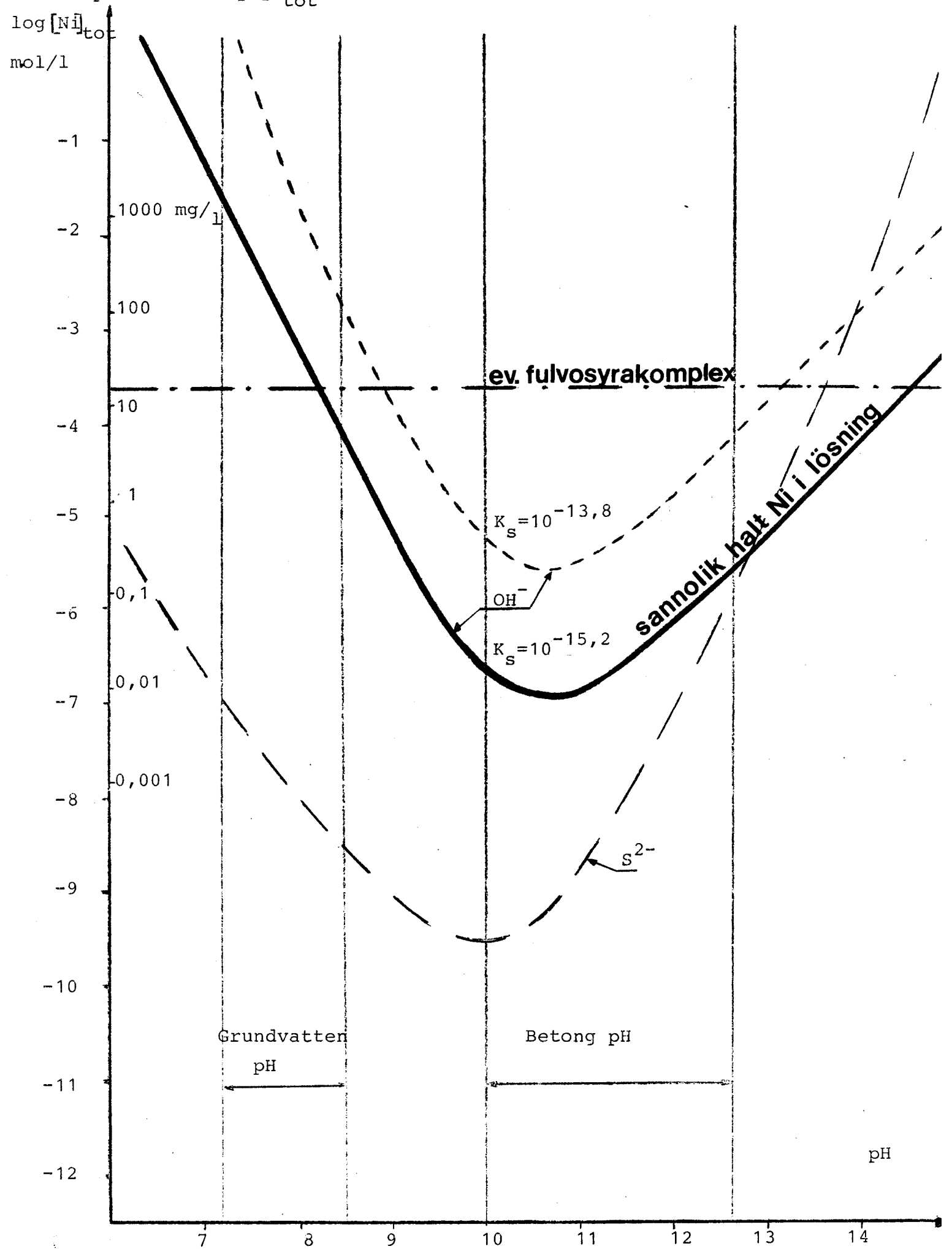
x) Uppskattad sannolikhet för att minvärdet ej skall underskridas resp. maxvärdet ej överskridas är 95%.

Fulvosyror

< 0,5 milliekvivalenter

Total koncentration Ni(II) som funktion av pH för S^{2-} ($[S]_{tot}=0,1$ mg/l) och OH^-

Diagram 1



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 radiøaktivt 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
Long term mineralogical properties of
bentonite/quartz buffer substance
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
VBB
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
VBB
- 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-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
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 Finnsjöområdets
nordöstra del
Carl-Erik Klockars
Ove Persson
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 61 Permeabilitetsbestämningar
Anders Hult
Gunnar Gidlund
Ulf Thoregren
- Geofysisk borrhålmätning
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
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
- 78 Bedömning av radiolys i grundvatten
Hilbert Christenssen
AB Atomenergi 1978-02-17
- 79 Transport av oxidants and radionuclides through
a clay barrier
Ivar Neretnieks
Kungsl 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 innehållande en glaskropp under inverkan av tyngdkraften
Anders Samuelsson
- Förändring av krypegenskaperna hos ett blyhölje som följt 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
- 100 Dos och dosinteckning 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
- 104 Finit elementanalys av bentonitfyllt bergförvar
Ove Stephansson
Kenneth Mäki
Tommy Groth
Per Johansson
Högskolan i Luleå
- 105 Neutroninducerad aktivitet i bränsleelementdetaljer
Nils A Kjellbert
AB Atomenergi 1978-03-30
- 106 Strålningsnivå och till vatten deponerad strålnings-
energi 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 Fenita elementanalyser
O Stephansson
Högskolan i Luleå
- 111 Nuklidhalter i använt LWR-bränsle och i högaktivt
avfall från återcykling av plutonium i PWR
Nils Kjellbert
AB Atomenergi
- 112 Säkerhetsanalys av hanteringsförfarandet vid inkapsling
av utbränt bränsle i kopparkapsel
Erik Nordesjö
ASEA-ATOM 1978-03-20