
KBS TEKNISK RAPPORT

95

Separering av C-14 vid upp- arbetningsprocessen

**Sven Brandberg
Ann-Margret Ericsson**

Kemakta mars 1978

SEPARERING AV C-14 VID UPPARBETNINGSPROCESSEN

Sven Brandberg
Ann-Margret Ericsson
Kemakta mars 1978

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.

Separering av C-14 vid uppberetningsprocessen.

Utredning utförd på uppdrag av KBS.

Sven Brandberg
Ann-Margret Ericsson
KEMAKTA Konsult AB
Mars 1978

REMOVAL OF C-14 AT REPROCESSING PLANTS

by Sven Brandberg and
Ann-Margret Ericsson

Carbon-14 is formed during the operation of nuclear reactors both in the fuel, in the cooling water and in the core hardware. The part from the cooling water is released to the off-gas-system of the reactor and amounts to about 5 Ci/GWe - yr. The quantity formed in the fuel is related to the presence of nitrogen. At 10 ppm N 12 Ci/GWe - yr is formed. It is released as CO_2 during dissolution of the spent fuel at the reprocessing plant.

The contribution of C-14 to the biosphere due to nuclear power is still small. However, on a long-term it will become of the same order as the natural formation if no counter-measures are taken.

Presently C-14 is not removed from the off-gases either at the reactors or the reprocessing plants.

Promising development is however going on. A pilot plant is in operation based upon absorption of CO_2 in a fluorocarbon solvent. A CO_2 -decontamination of 99.99% is obtained and Kr-85 and iodine are absorbed at the same time.

Other methods as caustic scrubbing and separation by molecular sieves are also considered. These methods have not been tested for this special purpose but are well-known in the chemical industry.

The quantity of C-14 released during reprocessing is small. If it is recovered as CaCO_3 and the dilution with C-12 is 20-fold the whole

Swedish nuclear program of about 10 GWe will produce only 4 kg/yr.
This quantity will contain 120 Ci as β -emitter with a half life
of 5 730 years.

Innehållsförteckning.

	Sid
1. Sammanfattning.	1
2. Kol-14-problemets omfattning.	2
2.1 Bildning.	2
2.2 Utsläpp.	2
2.3 Konsekvenser.	3
3. Separeringsmetoder.	5
3.1 Uttvättning av CO_2 med alkali.	5
3.2 Absorbtion av CO_2 m m i lösningsmedel R12.	7
3.3 Separering av CO_2 med molekylsikt.	8
4. Slutprodukten.	9
Referenser	10

1. Sammanfattning.

I kärnkraftreaktorerna genereras kol-14 såväl i bränslet som i kylvattnet och härdens strukturmaterial. Den mängd som genereras i vattnet avgår via stationens avgasutsläpp och utgör ca 5 Ci/GWe-år. Den mängd som bildas i UO₂-bränslet är starkt beroende av mängden kväveföroreningar, vilka följaktligen skall hållas så låga som möjligt. För bränsle med låg kvävehalt (10 ppm) är den genererade mängden 12 Ci/GWe-år. Denna mängd frigöres som CO₂ vid upplösning av bränslet i upparbetningsanläggningen.

Kärnkraftens bidrag till halten kol-14 i biosfären är ännu så länge litet men skulle på lång sikt bli av samma storleksordning som den naturliga om inga åtgärder vidtages.

För närvarande avskiljes ej kol-14 från vare sig reaktorerens avgaser eller upparbetningsanläggningars. Några metoder härför är dock under utveckling och verkar lovande. Främst gäller detta absorption av CO₂ i lösningsmedel av freon-typ. En pilot-anläggning har givit 99.99 % dekontaminering. Metoden ger även goda resultat för Kr-85 och jod.

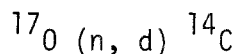
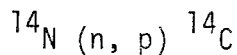
Även tvättning av avgaserna med alkali och separering med molekylsikt verkar lovande. De sistnämnda metoderna är ej utprovade för det här aktuella ändamålet men är välkända från kemisk industri.

Viktmängden kol-14 som frigöres vid upparbetning och skulle behöva avskiljas är liten. Om avskiljningen sker i form av CaCO₃ och utspädningen med kol-12 är 20-faldig utgör den ungefärligen 4 kg/år för ett svenskt kärnkraftsprogram på 10 GWe. Denna mängd innehåller ca 120 Ci i form av β -strålare med halveringstiden 5 730 år.

2. Kol-14-problemets omfattning.

2.1 Bildning.

Kol-14 bildas främst genom reaktionerna:



Bildningen ur kväve dominerar för kapsling och härdens strukturmateriäl medan syre-reaktionen givetvis dominerar i vattnet. För bränslet varierar kol-14-bildningen starkt med kvävehalten, men även vid låga halter ger kväverekationen det största bidraget (1).

Några beräknade värden ha sammanställt i nedanstående tabell.

Tabell 1. Beräknad kol-14-bildning i LWR (Ci/GW_(e)-yr)

Material	BWR ^{x)}	PWR ^{x)}	Barsebäck ^{xx)}
Strukturmat.	37	26	} 20 - 30
Kapsling	15	10	
UO ₂ (10 ppm N)	9	10	12
Vatten	5	5	6

x) Enligt referens (1)

xx) " " (2)

2.2 Utsläpp.

De mängder kol-14 som f n släpps ut kommer från reaktorvattnet och bränslet, medan det som bildats i kapsling och strukturmateriäl är fixerat. Beräknade och mätta värden stämmer någorlunda väl överens (1) och redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 2. Utsläpp av C-14 från reaktorstationer (Ci/GW_(e)·yr)

	Utsläpp		Form
	Beräknad	Mätt	
BWR (Nine Mile Point)	5	8	95 % CO ₂ , 2.5 % C, 2.5 % kolväten
PWR (Indian Point 1+2)	5	6	80 % kolväten små mängder CO ₂

En ökad kvävehalt i vattnet kan emellertid väsentligt höja dessa siffror.

Det kol-14 som bildats i bränslet frigöres fullständigt vid upplösningen av UO₂ i upparbetningsanläggningen. Mängden bildat kol-14 är starkt beroende av kvävehalten i bränslet. Kvävet kan dels föreligga bundet i UO₂matrix och dels som kvävgas i bränslestavens spalter och fissgasutrymme om ofullständig evakuering och He-fyllning tillämpats. På detta sätt kan följande variationer uppkomma (1).

Tabell 3. Beräknad C-14-bildning i bränslet beroende på olika kvävgashalt (Ci/GW_(e)·yr)

	BWR	PWR
10 ppm N	9	10
25 "	18	19
75 "	46	50

Oberoende av i vilken form C-14 föreligger i UO₂-matrix, oxideras det till CO₂ vid upplösningen i upparbetningsanläggningen.

2.3 Konsekvenser.

Kol-14 har en halveringstid på 5 730 år och emitterar β -strålning med energin 0.156 MeV.

Den naturliga bildningen av kol-14 sker huvudsakligen genom neutronreaktion med kväve i den övre atmosfären. Denna bildning har uppskattats till ca 30 000 Ci/år (6, 7, 8). Genom mänsklig aktivitet erhålles nu tillskott av samma storleksordning. Dessa tillskott har ännu ej nämnvärt påverkat det totala inventariet av kol-14 men skulle göra det om inga åtgärder vidtogs.

Tabell 4. Beräknat inventarium av kol-14 och dess förändring genom mänsklig aktivitet.

	M Ci kol-14	Ref.
Naturligt inventarium	240	(8)
Bidrag från kärnvapen	6.4	"
Akkumulerat utsläpp från kraftreaktorer		
till 1980	0.08	(5, 6)
" 2000	2.0	"
" 2020	11	(5)

Effekten av sådana tillskott till kol-14-inventariet skulle bli en ökning av den globala dosbelastningen med storleksordningen 10 % år 2000 och en fördubbling på 100 år (7).

Slutsatsen av dessa siffror blir att åtgärder bör vidtagas för att minska framtida utsläpp av kol-14 från kärntekniska anläggningar. De utsläpp som fortfarande sker ger dock än så länge marginella tillskott till det existerande inventariet av kol-14.

3. Separeringsmetoder.

Inga separeringsanläggningar för kol-14 är i drift vare sig vid reaktorstationer eller uppberetningsanläggningar. Ett flertal metoder är dock tänkbara, några har provats i pilot-skala och givit tillfredsställande resultat (4).

Separering av kol-14 från reaktorstationernas avgaser bedöms som svårare (4). Utspädningen är vanligen större och flera olika kolföreningar ingår. Metoder som föreslås är tvättning med alkali respektive adsorption på molekylsiktar (3).

Vid uppberetningsanläggningar är utsläppet av kol-14 väl lokaliserat till upplösarna för UO_2 . Endast begränsade mängder torde följa den starkt sura lösningen till efterföljande processsteg (4).

Avgasen från upplösarna är en blandning av gaser som frigjorts ur bränslet. Gasblandningens huvudkomponenter är kväve, syre och kväveoxider. Den dominerande aktiva komponenten är Kr-85. Av den ingående halten CO_2 på ca 300 ppm består 1/100 till 1/10 av $^{14}CO_2$.

Gasblandningen genomgår vanligen endast ofullständig rening innan den släpps ut. Några av de reningsprocesser som tillämpas respektive studeras i pilot-skala har visat sig vara användbara för avskiljning av kol-14 fastän de egentligen utvecklats för separering av ädelgaserna. Dit hör lågtemperaturmetoderna och absorption i lösningsmedel av freontyp.

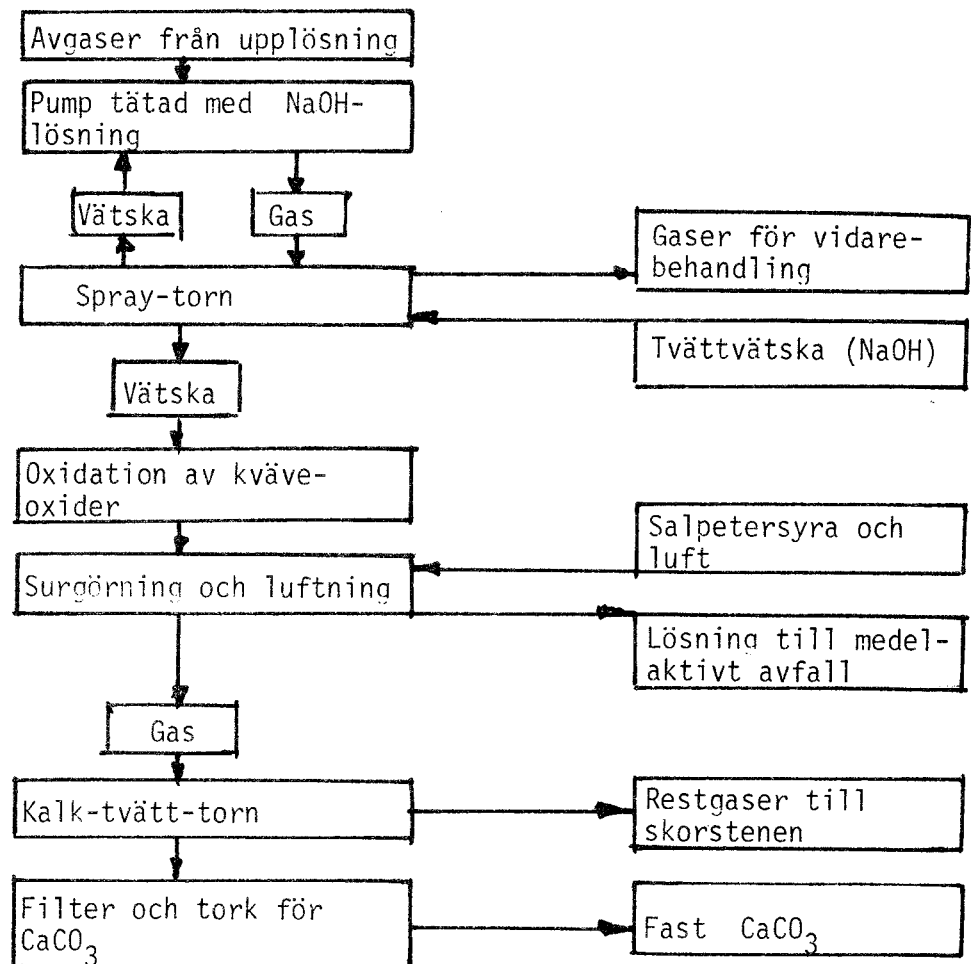
3.1 Uttvättning av CO_2 med alkali.

Vid Idaho Chemical Processing Plant (9) har tekniken att tvätta ut CO_2 ur avgaserna från upplösarna utnyttjats. Som tvättvätska användes natronlut som möter gasen i motström. Absorptionen sker dels i de vätsketätade utsugningspumparna och dels i ett spraytorn. Avsikten med denna behandling är ej att isolera kol-14 utan att befria gasströmmen från

sådana komponenter som annars skulle störa efterföljande utfrysning av krypton och xenon. Därvid har det visat sig att 99 % av ingående CO_2 absorberas i natronluten och i princip skulle kunna tas omhand. Även andra sura gaser absorberas samtidigt, främst NO och NO_2 .

Processen illustreras bäst av ett blockschema (4) enligt Fig 1. Som ovan sagts är de första absorptionsstegen etablerad teknik vid uppberbetning (ICPP). Detta gäller ej efterföljande steg som dock är välkända från kemiska anläggningar.

Fig 1. Uttvättning av CO_2 med alkali.



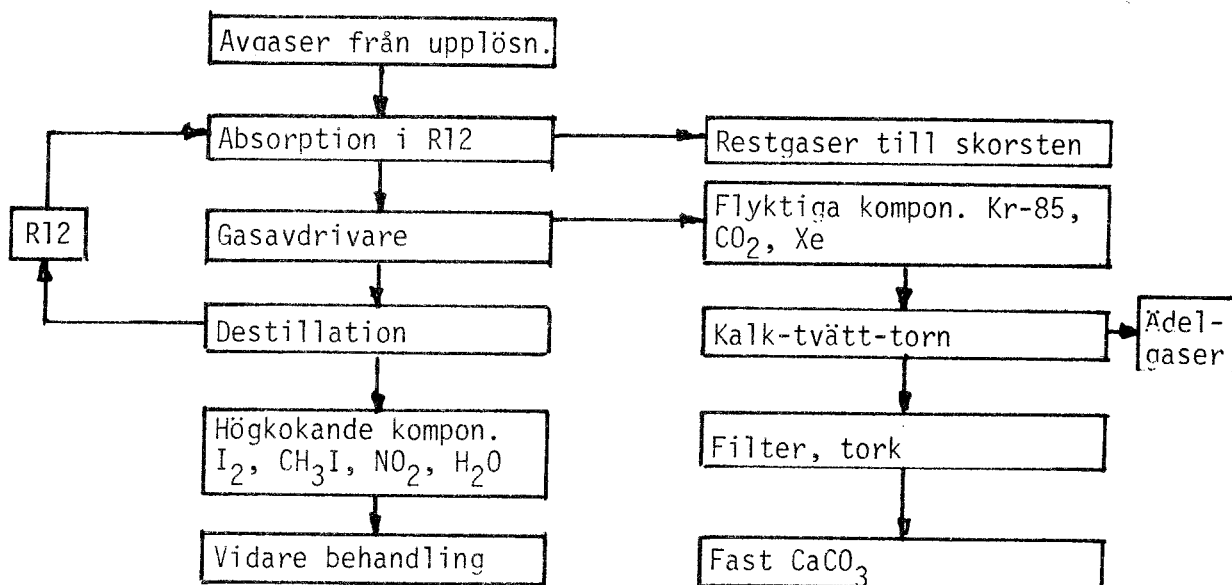
3.2 Absorption av CO₂ m m i lösningsmedel R12.

Ämnen av typen freon varav ett benämnes R12 (CCl₂F₂) har visat sig vara goda lösningsmedel för många av de komponenter som förekommer i avgaser från upplösningen av utbränt bränsle. Detta har utnyttjats vid en anläggning i Oak Ridge (3, 10, 11, 12), Fördelningskoefficienten är särskilt fördelaktig för tunga molekyler som I₂, CH₃I, NO₂ och CO₂, men även Xe och Kr absorberas villigt. Dekontamineringsfaktorer på bättre än 99.9 % har erhållits för Kr-85 och bättre än 99.99 % för kol-14 i form av CO₂ (13).

De utförda pilot-försöken har även visat att processen tål störningar från andra komponenter i avgaserna såsom kväveoxider m m. Demonstrationskörningar med verkliga avgaser saknas dock ännu och väntas ej kunna ske förrän om några år.

Med ledning av referens (4) och (13) har ett blockschema ritats för att illustrera processstegen i en utbyggd anläggning.

Fig 2. Absorption av CO₂ m m i lösningsmedel R12.

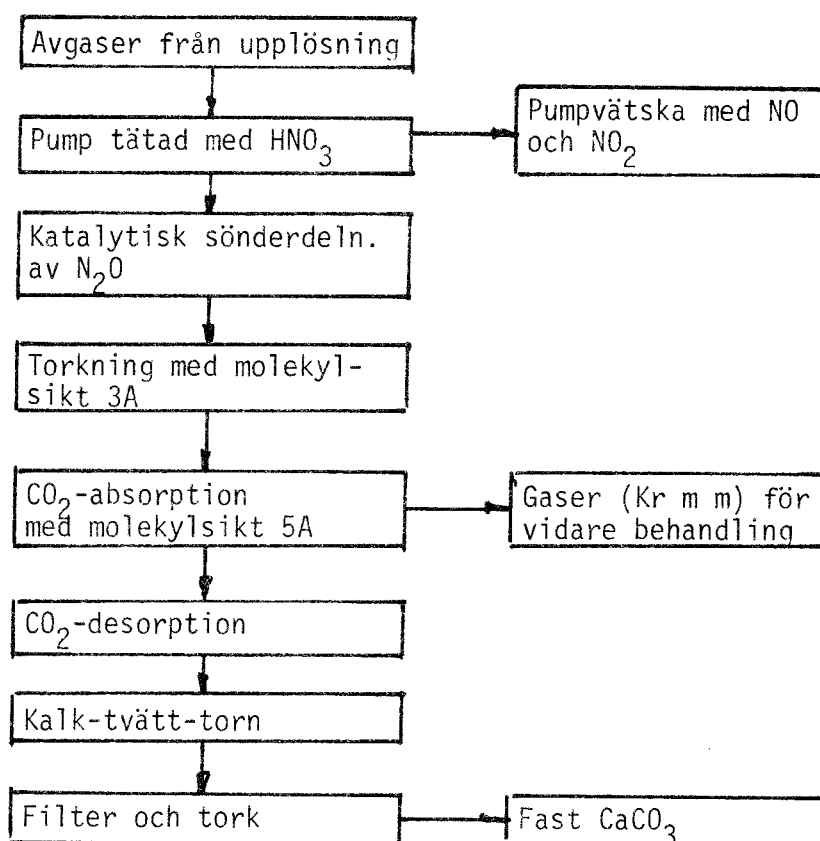


3.3 Separering av CO₂ med molekylsikt.

Tekniken att separera CO₂ och vatten med molekylsikt är välkänd men ej utprovad för avgaser från upplösning av bränsle. En process byggd på denna princip (4) skulle kunna utformas enligt Fig 3.

Avgaserna transporteras från upplösningen med en pump som har HNO₃ som tätningsvätska. Därigenom löses NO och NO₂. I nästa steg oxideras N₂O med hjälp av katalysator. Efter torkning med molekylsikt 3A absorberas selektivt CO₂ med en annan molekylsikt 5A. Efter desorption kan sedan CO₂-gaser bringas att reagera med kalk till CaCO₃.

Fig 3. Separering av CO₂ med molekylsikt.



4. Slutprodukten.

Den mängd kol-14 som är aktuell vid upparbetning av bränsle från ett svenskt kärnkraftsprogram är ungefär 120 Ci/år. Siffran baseras på 12 Ci/GWe·år och 10 GWe installerad effekt.

Om man antar att 100 % av denna kol-14-mängd bindes som $\text{Ca}^{14}\text{CO}_3$ erhålles en nettovikt av 200 g $\text{Ca}^{14}\text{CO}_3$ per år. Den faktiska vikten blir dock många gånger större genom att avgaserna späds ut med luft så att kol-14-andelen endast blir 1 - 10 % i slutprodukten (4). Utspädningen kan givetvis göras godtyckligt stor. Antar man 20 ggr utspärning blir den årliga mängden fast slutprodukt 4 kg eller ca 2 liter med aktiviteten 120 Ci (primärt) som ren β -strålning.

Hur denna blygsamma viktsmängd med förhållandevis hög aktivitet och lång livslängd skall hanteras har ännu ej diskuterats i litteraturen. Vissa synpunkter har dock redovisats från motsvarande problem vid HTGR-upparbetning enligt KALC-processen (Krypton Adsorption in Liquid Carbon Dioxide) (14). Mängderna är dock här betydligt större, eftersom det rör sig om grafitbränsle.

Referenser.

- (1) Wallace Davis Jr. Carbon-14 Produktion in Nuclear Reactors. ORNL/NUREG/TM-12. Jan. 1977.
- (2) Olsson, Göran. C¹⁴-bildning i kraftreaktorer. S-541. AB Atomenergi 1976.
- (3) Hesböl, R. Analys av transport och avskiljning av kol-14 i kärntekniska anläggningar. TPM-SM-31. AB Atomenergi 1977-06-08.
- (4) Bertlett, John W. et.al. Alternatives for Managing Wastes from Reactors and Post-fission Operations in the LWR Fuel Cycle. Vol. 2. Alternatives for Waste Treatment ERDA-76-43. Vol. 2.
- (5) Magno, P.J. et.al. A Consideration of the Significance of Carbon-14-Discharge from the Nuclear Power Industry. Proceedings of the 13th AEC Air Cleaning Conference. CONF-740807. Vol. 2.
- (6) Veluri, V.R. et.al. The Environmental Impact of ¹⁴C Released by a Nuclear Fuel-Reprocessing Plant. Nuclear Safety. Vol. 17. No 5. Sept.- Oct. 1976.
- (7) Bergman, R. m.fl. Dose and Dose Commitment due to Carbon-14 from the Nuclear Industry. S-548. AB Atomenergi 1977.
- (8) Hayes, D.W. et.al. Carbon-14 Production by the Nuclear Industry. Health Physics, Pergamon Press 1977. Vol. 32, p 215-19.
- (9) Bendixen, C.L. et.al. 1974 Operation of the ICPP Rare Gas Recovery Facility. ICP-1057. March 1975.
- (10) Merriman et.al. Removal of ⁸⁵Kr from Reprocessing Plant Off-Gas by Selective Absorption.

- (11) Stephenson, M.J. et.al. ORGDP Selective Absorption Pilot Plant for Decontamination of Fuel Reprocessing Plant Off-Gas.
- (12) US Patent No 3 762 133. Process for Separation fo Components from Gas Mixtures. Stephenson, M.J. Oak Ridge.
- (13) Stephenson, M.J. et.al. Development of the FASTER Process for Removing Krypton-85, Carbon-14 and Other Contaminants from the Off-Gas of Fuel Reprocessing Plants. Proceedings of the 14th ERDA AIR Cleaning Conference. Conf-760822-P2 1976.
- (14) Croff, A.G. An Evaluation of Options Relative to the Fixation and Disposal of ^{14}C -Contaminated CO_2 as CaCO_3 . ORNL/TM-5171. April 1976.

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 tunnlrar 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 constituents 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 aktinider från en cylinder av franskt glas
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 1977-07-27
- 25 Blekinge kustgnejs, Geologi och hydrogeologi
Ingemar Larsson KTH
Tom Lundgren SGI
Ulf Wiklander SGU
Stockholm, augusti 1977
- 26 Bedömning av risken för fördröjt brott i titan
Kjell Pettersson
AB Atomenergi 1977-08-25
- 27 A short review of the formation, stability and cementing properties of natural zeolites
Arvid Jacobsson
Högskolan i Luleå 1977-10-03
- 28 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt
Sven Knutsson
Högskolan i Luleå 1977-09-20
- 29 Deformationer i sprickigt berg
Ove Stephansson
Högskolan i Luleå 1977-09-28
- 30 Retardation of escaping nuclides from a final depository
Ivars Neretnieks
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm 1977-09-14
- 31 Bedömning av korrosionsbeständigheten hos material avsedda för kapsling av kärnbränsleavfall. Lägesrapport 1977-09-27 samt kompletterande yttranden.
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp

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

- 42 Säkerhet vid hantering, lagring och transport av använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall
Ann Margret Ericsson
Kemakta november 1977
- 43 Transport av radioaktiva ämnen med grundvatten från ett bergförvar
Bertil Grundfelt
Kemakta november 1977
- 44 Beständighet hos borsilikatglas
Tibor Lakatos
Glasteknisk Utveckling AB
- 45 Beräkning av temperaturer i ett envänings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3
Roland Blomquist
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för använt bränsle
Taivo Tarandi
VBB
- 47 Teoretiska studier av grundvattenrörelser
Preliminär rapport oktober 1977
Slutrapport februari 1978
Lars Y Nilsson
John Stokes
Roger Thunvik
Inst för kulturteknik KTH
- 48 The mechanical properties of the rocks in Stripa, Kråkemåla, Finnsjön and Blekinge
Graham Swan
Högskolan i Luleå 1977-09-14
- 49 Bergspänningsmätningar i Stripa gruva
Hans Carlsson
Högskolan i Luleå 1977-08-29
- 50 Läckningsförsök 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

- 57 Stråldoser vid haveri under sjötransport av kärnbränsle
Anders Appelgren
Ulla Bergström
Lennart Devell
AB Atomenergi 1978-01-09
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan
Gunnar Walinder
FOA 4 november 1977
- 59 Tectonic lineaments in the Baltic from Gävle to Simrishamn
Tom Flodén
Stockholms Universitet 1977-12-15
- 60 Förarbeten för platsval, berggrundsundersökningar
Sören Scherman
- Berggrundvattenförhållande i Finnsjöområdet nordöstra del
Carl-Erik Klockars
Ove Persson
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 61 Permeabilitetsbestämningar
Anders Hult
Gunnar Gidlund
Ulf Thoregren
- Geofysisk borrhålsmätning
Kurt-Åke Magnusson
Oscar Duran
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 62 Analyser och åldersbestämningar av grundvatten på stora djup
Gunnar Gidlund
Sveriges Geologiska Undersökning 1978-02-14
- 63 Geologisk och hydrogeologisk grunddokumentation av
Stripa försöksstation
Andrei Olkiewicz
Kenth Hansson
Karl-Erik Almén
Gunnar Gidlund
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1978
- 64 Spänningsmätningar i Skandinavisk berggrund - förutsättningar,
resultat och tolkning
Sten G A Bergman
Stockholm november 1977
- 65 Säkerhetsanalys av inkapslingsprocesser
Göran Carleson
AB Atomenergi 1978-01-27
- 66 Några synpunkter på mekanisk säkerhet hos kapsel för
kärnbränsleavfall
Fred Nilsson
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm februari 1978

- 67 Mätning av galvanisk korrosion mellan titan och bly samt mätning av titans korrosionspotential under γ -bestrålning.
3 st tekniska PM.
Sture Henrikson
Stefan Poturaj
Maths Åsberg
Derek Lewis
AB Atomenergi januari-februari 1978
- 68 Degraderingsmekanismer vid bassänglagring och hantering av utbränt kraftreaktorbränsle
Gunnar Vesterlund
Torsten Olsson
ASEA-ATOM 1978-01-18
- 69 A three-dimensional method for calculating the hydraulic gradient in porous and cracked media
Hans Häggblom
AB Atomenergi 1978-01-26
- 70 Lakning av bestrålat UO_2 -bränsle
Ulla-Britt Eklund
Ronald Forsyth
AB Atomenergi 1978-02-24
- 71 Bergspricktätning med bentonit
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-11-16
- 72 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av kompakterad bentonit
Sven Knutsson
Högskolan i Luleå 1977-11-18
- 73 Self-injection of highly compacted bentonite into rock joints
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-02-25
- 74 Highly compacted Na bentonite as buffer substance
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-02-25
- 75 Small-scale bentonite injection test on rock
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-03-02
- 76 Experimental determination of the stress/strain situation in a sheared tunnel model with canister
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1978-03-02
- 77 Nuklidvandring från ett bergförvar för utbränt bränsle
Bertil Grundfelt
Kemakta konsult AB, Stockholm
- 78 Bedömning av radiolys i grundvatten
Hilbert Christenssen
AB Atomenergi 1978-02-17

- 79 Transport of oxidants and radionuclides through a clay barrier
Ivars Neretnieks
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-02-20
- 80 Utdiffusion av svårlösliga nuklider ur kapsel efter kapselgenombrott
Karin Andersson
Ivars Neretnieks
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-07
- 81 Tillverkning av kopparkapsel
Kåre Hannerz
Stefan Sehlstedt
Bengt 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 följd av en mekanisk skada
Göran Eklund
Institutet för Metallforskning september 1977 - april 1978
- 86 Diffusivitetmätningar av metan och väte i våt lera
Ivars Neretnieks
Christina Skagius
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-01-09
- 87 Diffusivitetmätningar i våt lera Na-lignosulfonat, Sr^{2+} , Cs^+
Ivars Neretnieks
Christina Skagius
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-16
- 88 Ground water chemistry at depth in granites and gneisses
Gunnar Jacks
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm april 1978

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