

---

# **KBS** TEKNISK RAPPORT

---

**36**

**Sammansättning av grundvatten på  
större djup i granitisk berggrund**

Jan Rennerfelt

Orrje & Co, Stockholm 1977-11-07

SAMMANSÄTTNING AV GRUNDVATTEN PÅ STÖRRE  
DJUP I GRANITISK BERGGRUND

Jan Rennerfelt  
ORRJE & CO, STOCKHOLM 1977-11-07

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av KBS. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarens och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarens.

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

KBS

SAMMANSÄTTNING AV GRUNDVATTEN PÅ  
STÖRRE DJUP I GRANITISK BERGGRUND

Stockholm den 7 november 1977  
INGENJÖRSFIRMAN ORRJE & CO AB  
VA-avdelningen

52.2684-01

KBS

SAMMANSÄTTNING AV GRUNDVATTEN PÅ STÖRRE DJUP I GRANITISK BERGGRUND

Sammanfattning

Inverkan av olika lösta ämnen i grundvatten på korrosions- och urlakningsförlopp diskuteras. Lämplig sammansättning på vatten för lakningsförsök anges. Tekniken för vattenprovtagning i urberg på stora djup diskuteras. Vattenanalyser från olika undersökningar redovisas och ett förslag ges på sannolikt sammansättningsintervall och maximalvärden. Grundvattnet kan väntas innehålla mycket låga syrehalter, relativt höga  $\text{Fe}^{2+}$ -halter och låga organiska substanshalter, som dock kan öka genom urlakning från bentonit.

KBS

COMPOSITION OF GROUND WATER IN DEEP LAYERS OF BEDROCK

Summary

The effect of different types of dissolved solids in ground water on corrosion and leaching is discussed. A suitable composition of water for leaching tests is indicated. The technique for sampling of water in bedrock at large depths is discussed.

Water analyses from different investigations are presented and a probable interval of water composition as well as some maximum values are given. Very low oxygen concentrations, relatively high  $\text{Fe}^{2+}$  concentrations and low levels of organic substance can be expected. Leaching of bentonite can increase the concentration of organic substance.

---

<u>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</u>	Blad
1. Problemställningar	1
1.1 Väsentliga faktorer i vattensammansättningen med hänsyn till korrosion och urlakning	1
1.2 Faktorer som påverkar vattensammansättningen	3
1.3 Möjligheter att definiera sammansättningen	5
2. Vatten för lakningsförsök	5
2.1 Lakning av glas	5
2.2 Lakning av bentonit	7
3. Metodik för provtagning av grundvatten i Forsmarksregionen	8
4. Jämförande diskussion av analyser på syntetiska och naturliga vatten	10
4.1 Sammansättning av syntetiska och naturliga vatten som diskuterats inom projektet	10
4.2 Sannolik sammansättning på grundvatten inom ett granitiskt urbergsområde	11
5. Referenser	14
6. Bilagor. Analysdata, Förslag till lakningsförsök, Analysdata	

## KBS

### SAMMANSÄTTNING AV GRUNDVATTEN PÅ STÖRRE DJUP I GRANITISK BERGGRUND

#### 1. Problemställningar

##### 1.1 Väsentliga faktorer i vattensammansättningen med hänsyn till korrosion och urlakning

Vid lagring av högaktivt kärnbränsleavfall spelar sammansättningen av grundvatten en väsentlig roll för beständigheten av kapslingsmaterialet och urlakningen av glas och okapslat material.

För korrosion av koppar är följande egenskaper hos vattnet av betydelse. Sannolikheten för att de nedan berörda ogynnsamma egenskaperna hos vattnet skall föreligga diskuteras bl a i avsnitt 1.2 och 4.2.

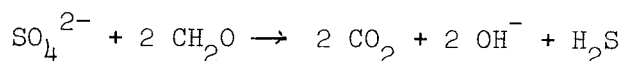
#### Syre

Förekomst av ett oxidationsmedel i vattnet är nödvändig för oxidation av metallisk koppar. Syre löst i vatten är ett sådant oxidationsmedel. Finns syre kvar i grundvattnet på förvarets nivå kan detta leda till kopparkorrosion i den mån som vattnet kan transporteras genom bentonit-sand-materialet till kopparkapseln.

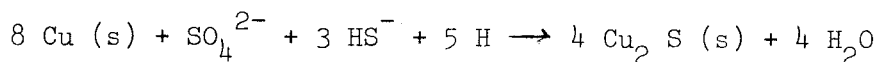
#### Sulfat och sulfid

Kopparkorrosion kan inträffa genom reduktion av  $\text{SO}_4^{2-}$  vid närvaro av andra redoxsystem, t ex bly och nickel. Härvid bildas koppar-sulfid. Vid en  $\text{SO}_4^{2-}$ -halt av ca 100 g/m<sup>3</sup> oxideras teoretiskt 130 g koppar per m<sup>3</sup> vatten. (1).

Vissa mikroorganismer kan utnyttja sulfater som syredonator i stället för löst syre. Härvid bildas svavelväte (sulfider).



Koppar kan attackeras av sulfider och sulfat under medverkan av biologiska system.



Denna korrosionsväg kan ej uteslutas.

### Nitrathalt

Liksom sulfat kan nitrat tjänstgöra som syrekälla för oxidation av koppar.

$\text{Cu}_2\text{O}(\text{s})$ -bildning sker redan vid låga  $\text{NO}_3^-$ -halter. Cu förbrukas motsvarande  $5 \times [\text{NO}_3^-]$ . (1).

Denna korrosionsväg måste beaktas.

### Tvåvärt järn, $\text{Fe}^{2+}$

Förekomst av  $\text{Fe}^{2+}$  i grundvattnet är fördelaktigt med hänsyn till koppars stabilitet.

Om  $\text{Fe}^{2+}$  finns i grundvattnet innebär detta samtidigt att halten löst syre är mycket låg, då syre lätt reagerar med  $\text{Fe}^{2+}$  under bildning av  $\text{Fe}^{3+}$ .

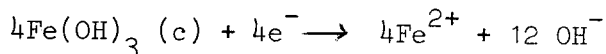
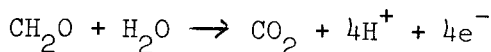
Vidare reagerar  $\text{Fe}^{2+}$  med sulfidjoner  $\text{HS}^-$  under bildning av svår-löslig  $\text{FeS}$ . Härigenom undandras sulfider från den tidigare diskuterade kopparoxidationsreaktionen.

### Mikroorganismer

Flera av de tänkbara oxidationsförloppen förutsätter samtidiga biologiska reaktioner, dvs närvaro av mikroorganismer. Främst torde bakterier kunna komma i fråga.

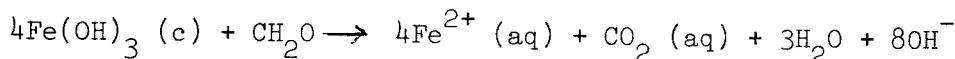
Tillgång på organisk substans i grundvattnet eller i buffertmaterial (bentonit) torde i allmänhet vara ett villkor för bakteriernas tillväxt.

Bakterierna behöver däremot ej löst syre för sina livsprocesser. De kan t ex utnyttja 3-värd järn,  $\text{Fe}^{3+}$ . (2).



(c = kristalliniskt)

Summareaktionen blir då



Som förut påpekats kan också sulfater och nitrater leverera erforderligt syre.

I princip kan man tänka sig en förekomst av bakterietyper som ej kräver organisk substans, s k autotrofa bakterier. De kan syntetisera sin cellsubstans från kolsyra.



Det är dock sannolikt att fritt syre krävs för dessa bakteriers tillväxt.

Förekomst av bakterier torde ej helt kunna uteslutas. Se vidare avsnitt 4.2.

#### Organisk substans

Organisk substans är väsentlig för tillväxten av bakterier och är därför indirekt en faktor som påverkar korrosionen.

Organisk substans kan i princip härröra från det ytvatten som bildar grundvatten. En annan källa till organisk substans är det buffertmaterial, som används i förvaret.

Förekomst av organisk substans i grundvattnet kan ej uteslutas. Se avsnitt 4.2.

#### Kolsyra, bikarbonat och karbonat

Vid lakning av uran är karbonathalten av betydelse. En ökning av karbonathalten kan väntas medföra förhöjd lösningshastighet. (3).

#### pH

Koppar står efter väte i den elektrolytiska spänningskedjan, varför någon korrosion av koppar ej sker i icke oxiderande medium. Lakningsförlopp är däremot pH-beroende, varför det är väsentligt att veta pH i grundvattnet och det vatten som står i kontakt med bentonit och sand.

#### Klorid

Kloridhalten i vatten kan påverka vissa kapslingsmaterial, t ex titan. Klorider kan tillföras med grundvattnet från geologiska formationer med sk relikvatten, dvs i allmänhet vatten som kvarblivit i lersediment, som bildats i kloridhaltigt havsvatten, eller också från infiltrerat havsvatten om sådant finns nära.

I båda fallen erfordras en ändring av grundvattnets naturliga gradientförhållanden genom t ex utpumpning av grundvatten om den ursprungliga naturliga kloridhalten är låg.

#### 1.2 Faktorer som påverkar grundvattensammansättningen

Grundvattensammansättningen på aktuellt djup kan påverkas av ett stort antal faktorer. De viktigaste av dessa är följande.

#### Vattnets ursprung

Vattnet har ursprungligen tillförts som regnvatten, med all sannolikhet från högt belägna områden i terrängen (som ej täckts av lera) och transporterats genom sprickor i berget.

Vattnets sammansättning bör därför vara påverkad av det ursprungliga regnvattnets sammansättning vid den tid som transporten började. Undersökningar från olika delar av Sverige av berggrundvattens ålder med C-14-metodik tyder på mycket höga åldrar, i storleksordningen 1500-4000 år eller ännu högre.

#### Transporthastighet och reaktioner i marken

Med en låg transporthastighet har vattnet haft lång tid att komma i jämvikt med bergmaterialet. Om området ej är vattentäckt kommer CO<sub>2</sub> att bildas i det översta marklagret (rotzonen) och om kalcit, CaCO<sub>3</sub> finns i den intermediära zonen kommer CO<sub>2</sub> att lösa upp karbonaterna under bildning av HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. CO<sub>2</sub> produceras i överskott, varför vattnet vid inträde i grundvattenzonen kommer att innehålla höga halter av Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> och CO<sub>2</sub>. Om ingen CaCO<sub>3</sub> finns i den intermediära zonen och CaCO<sub>3</sub> finns i grundvattenzonen kommer CO<sub>2</sub> att förbrukas i grundvattenzonen under bildning av Ca<sup>2+</sup> och HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Den maximala Ca<sup>2+</sup>-halten kommer att vara samma som halten CO<sub>2</sub> i det vatten som transporteras in i zonen. Ca<sup>2+</sup>-halten blir ringa. (2).

Om området är vattentäckt finns endast den CO<sub>2</sub>, som står i jämvikt med luften, tillgänglig för CaCO<sub>3</sub>-upplösning.

#### Saltavlagringar, relikvatten

Som tidigare nämnts kan det finnas områden med salt havssediment och sprickzoner med salt "relikv" vatten som kan påverka grundvattenkvaliteten på större djup. Vid en bortpumpning av vatten i samband med ursprängning av förvaret kan vatten med högre salthalt sätta sig i rörelse mot tunnelsystemet. Vid naturlig återfyllning av förvaret med grundvatten kan kvaliteten därför bli en annan än före utsprängningen, med t ex högre salthalt som följd, om inte särskilda motåtgärder vidtas. Om högre salthalt erhålles vid återfyllningen och naturliga gradientförhållanden återställs för grundvattnet blir den högre kloridhalten temporär genom att det kloridhaltiga vattnet borttransporteras och ersätts med grundvatten av ursprunglig kvalitet.

#### Urlakning från fyllningsmaterial

Lika väl som berggrundens sammansättning påverkar vattensammansättningen kan buffertmaterialet påverka grundvattensammansättningen. Speciellt kan buffertmaterialet spela roll för pH-värdet samt för magnesium-, aluminium- och silikathalterna. Beroende på bentonitens halt av organiskt material kan halten organiska ämnen öka i grundvattnet i slutförvaret.

#### Temperatur- och tryckförhållanden

Vid förvaringen av högaktivt kärnbränsleavfall sker en temperaturstegring i förvaret under de första årtiondena. Temperaturstegringen påverkar

kalk-kolsyra-jämvikten så att  $\text{CaCO}_3$  kan falla ut ("termisk avhärdning") med  $\text{CO}_2$ -avgång och lägre Ca- och bikarbonathalter som följd.

Råder däremot fullt grundvattentryck förefaller det osannolikt att  $\text{CO}_2$  kan avgå, varför  $\text{Ca}^{2+}$  och  $\text{HOC}_3^-$  borde förbli oförändrade.

#### Diffusion av syre i bergssprickor

Under fyllningen av förvaret kan gasformigt syre från luften tränga in i sprickor i berget och lösa sig i grundvattnet.

Detta kan innebära att syrerikt vatten når kapslarna när förvaret åter fylls med vatten. Äger biologiska processer rum konsumeras dock syret efter hand.

#### 1.3 Möjligheter att definiera grundvattensammansättningen

Av avsnitt 1.2 har framgått att grundvattensammansättningen påverkas av en mångfald faktorer och inte kan exakt förutsägas.

Då grundvattensammansättningen kan variera i tid och rum torde det vara nödvändigt att definiera ett intervall inom vilket sammansättningen kan variera för att kunna göra bedömningar av korrosions- och urlakningsförhållanden och välja lämpliga syntetiska vatten för lakningsförsök.

### 2. Vatten för lakningsförsök

#### 2.1 Lakning av glas

Krav på sammansättning hos syntetiskt vatten

Vattnet bör i princip motsvara grundvattnet på 500 meters djup i ett urbergsområde.

Förutom kravet på representativitet ställs kravet på att vattnet skall kunna användas vid försöken, som sker vid förhöjd temperatur, utan att vattnet själv ger upphov till fällningar.

Rekommendationer för syntetiska vatten

Den lämpligaste sammansättningen av ett syntetiskt vatten för lakning diskuterades vid ett sammanträde i Studsvik 77-09-07 (G Blomqvist, R Forsyth, U-B Eklund, J Rennerfelt).

Det tidigare använda syntetiska vattnet (Bil 1) baserades bl a på grundvattenanalyser från Norrland och överväganden om vilka bikarbonathalter och pH-värden som kan förväntas i urbergsgrundvatten i jämvikt med bentonit.

Man kan vänta sig bikarbonathalter som överstiger 120 mg/l och eventuellt uppgår till ca 300 mg/l samtidigt som pH genom den "aggressiva" kolsyrans reaktioner med kalcium- och magnesiummineral stiger till 8 - 8,5. I jämvikt med bentonit kan pH väntas stiga till ca 9,0.

Temperaturen i grundvattnet på 500 m djup kan anses vara ca 15°C. Genom det radioaktiva materialets värmeutveckling stiger dock temperaturen till ca 60°C. Lakningsförsöken skall därför utföras vid denna temperatur.

Då ett grundvatten med bikarbonathalten 300 mg/l i form av Ca- och Mg-bikarbonat uppvärms kommer lösligheten av CO<sub>2</sub> att minska, varvid CO<sub>2</sub> avgår och jämvikten förskjuts så att CaCO<sub>3</sub> utfälls (termisk avhärdning). I verkligheten kan trycket på 500 m djup vara så stort att CO<sub>2</sub> ej kan avgå varvid CaCO<sub>3</sub> utfällningen uteblir.

Under försöksförhållandena kan av försökstekniska skäl endast atmosfärstryck upprätthållas varför en fällning kommer att uppstå, som minskar Ca- och bikarbonathalten.

Det är ur lakningssynpunkt önskvärt att upprätthålla en hög bikarbonathalt (högre löslighet av U-föreningar) samtidigt som man vill undvika utfällningar på provmaterialet. Enda möjligheten att åstadkomma detta är att hålla bikarbonathalten hög samtidigt som kalciumhalten är så låg att någon utfällning ej sker. Järn kan ej heller ingå i detta vatten med hänsyn till risken för Fe(OH)<sub>3</sub>-utfällning.

Detta leder till ett vatten av den typ Atomenergi tidigare använt vid lakning av glas. Det bör betonas att sammansättningen ej avspeglar de sannolika förhållandena i förvaret utan är en kompromiss för att möjliggöra lakningsförsöken. Det kan samtidigt konstateras att lakningsresultatet ändå kommer att bli lika rättvisande som om det "sannolikaste" grundvattnet skulle användas vid lakning under högre tryck.

Försöksvattnet bör ha följande sammansättning.

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	300	mg/l
Ca	6	"
K	2	"
F	1,5	"
Mg	3	"
SiO <sub>2</sub>	10	"

Bilaga 1 innehåller ett recept för framställning av detta vatten.

## 2.2 Lakning av bentonit

Sammansättningen av grundvattnet som står i kontakt med bentonit är väsentlig vid bedömningen av beständighet av kapslingsmaterial och urlakning av okapslat material.

För dessa bedömningar är det nödvändigt att känna till om och i vilken grad grundvattnet påverkas vid kontakt med bentonit under längre tid.

### Lakningsförsök med bentonit

Vatten som står i kontakt med bentonit (t ex MX-80) vid rumstemperatur får ett pH-värde av ca 9,0 (Grenthe).

Vid högre temperaturer, 150-200°C synes bentoniten reagera med vattnet, vilket bl a medför en nedgång av pH-värdena från ursprungliga 8, 9 och 10 till ca 5,5 efter 4 dygn (Sten Andersson).

Detta kan dels innebära att man får en oförmånlig förändring av bentonitens struktur och egenskaper och dels medför reaktionen att grundvattnet förändras påtagligt.

### Grundvattensammansättningens inverkan på bentonitens stabilitet

Diskussioner om vattensammansättningens roll har förts med Sten Andersson, Lund och Ingmar Grenthe, KTH. Avsikten har varit att undersöka om "normalgrundvattnet" borde förändras (inom de gränser som kan vara sannolika) för att åstadkomma ökad eller minskad bentonitnedbrytning.

I princip borde en ökad halt av Al, Mg och Si motverka sönderfallet av bentonit, men man håller dock för sannolikt att mindre förändringar i grundvattnet ej påverkar reaktionen i nämnvärd grad.

I stället torde den eventuella nedbrytningen av bentonit komma att kraftigt påverka vattensammansättningen.

### Kompletteringar av stabilitetsundersökningarna

Med hänsyn till den funna pH-sänkningen vid försöken i Lund var det angeläget att konfirmera resultaten med vissa kompletterande försök. Även om mera långsiktiga och omfattande försök kan bli nödvändiga var det motiverat med en kortare serie försök för att studera pH-effekten.

Förutsättningarna för dessa kompletterande försök återfinns i Bilaga 2.

### 3. Metodik för provtagning av grundvatten i Forsmarksregionen

#### Provplatser

I princip bör provtagning ske på ca 500 meters djup för att få ett representativt vattenprov.

I praktiken kan detta vara svårt att genomföra om de 500-metershål som borrats fortfarande är påverkade av kort grundvatten och måste pumpas under längre tid för att ge riktiga grundvattenprover.

Man kan därför få lov att nöja sig med prov från mindre djup.

Bergborrade brunnar eller nedlagda gruvor ger ytterligare en möjlighet att ta ut grundvattenprover. Värden från bergborrade brunnar är dock inte helt representativa, då dessa i allmänhet fås från områden med god vattentillgång och därmed en snabbare vattenomsättning än som kan väntas vid förvaret. En gruva innebär en så stark störning i grundvattnets strömning att inte heller dess grundvatten är representativt.

Trots detta kan det vara försvarbart att ta prover i djupa bergborrade brunnar för att erhålla en bild av vattensammansättningens variationer hos det korta grundvattnet.

#### Provtagningsteknik. Analysteknik

Det är ovillkorligen nödvändigt att ta ut "ostörda" prov av vattnet på djup nivå.

Proven bör därför tas ut med provtagare som sänks ner genom vattnet till önskad nivå eller genom pumpning utan luftinblandning.

Den första metoden bygger på att provtagaren innehåller en glasampull som först fyllts med kvävgas och sedan vakuumpumpats och smälts igen. Ampullen har en smal sidoarm, som krossas av en vikt då provtagaren nått rätt nivå. Vatten rusar då in i ampullen, som hissas upp med provtagaren och omedelbart förseglas med en gummimembran så att ingen lufttillförsel kan ske. Reagenskemikalierna injiceras i ampullen med spruta. Reagenskemikalierna skall vara syrefria. Vätskeöverskottet får avgå genom en smal kanyl.

Den andra metoden bygger på att vattnet pumpas upp ur borrhålet och att vattnet fylls direkt i kvävgasfyllda s k serumflaskor försedda med gummiproppar. Fyllningen sker genom kanyl och kvävgasen får avgå genom en smal kanyl. Syrefria reagenskemikalier injiceras i flaskorna med spruta. Vätskeöverskottet får avgå genom en smal kanyl.

---

Not. Kort grundvatten = grundvatten med relativt sett kort uppehållstid i jord och/eller berggrund innan det når recipient.

I de bergborrade brunnar som är försedda med pump kan sannolikt endast pumpning med befintlig pump komma i fråga under det att am-pullprovtagning kan ske i de brunnar och borrhål som saknar pump.

I borrhålen kan det tänkas att vattnets kvalitet ändras vid pumpning, varför provtagning borde ske efter olika tidsintervall.

### Analys

Följande analyser är väsentliga för bedömning av grundvatten.

### Syrehalt

Förekomst av syre leder till oxidation av koppar. Det kan antas att syrehalten är låg, men man bör även undersöka detta analytiskt.

### Sulfider

Sulfider kan tänkas förekomma i grundvatten med mycket låga syrehalter. Med sulfater kan sulfider åstadkomma bakteriell korrosion av koppar. Sulfidhalten skall därför bestämmas.

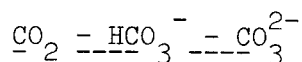
### Järn(II) och Järn(III)

Förekomst av tvåvärt järn, Fe(II) visar indirekt att syre ej finns i vattnet. Syret åtgår annars för att oxidera  $Fe^{2+}$  till  $Fe^{3+}$  så länge som  $Fe^{2+}$  finns i lösning.

$Fe^{2+}$  är även av andra skäl intressant att analysera. Ett överskott av  $Fe^{2+}$  i vattnet sörjer för att fälla bort sulfidjoner, som skulle kunna påverka koppar.

### pH

pH påverkar korrosionsangrepp och urlakningsprocesser och visar hur jämvikten  $CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{2-}$  är förskjuten.



Totalhalten och fördelningen av kolsyrekomponenterna har betydelse för urlakningen av glas och okapslat kärnbränsle och bör bestämmas.

### Organisk substans

Förekomst av organisk substans innebär att bakteriella oxidations- och reduktionsförlopp kan tänkas äga rum i grundvattnet med svavelvätebildning, kopparkorrosion eller bakteriell järnutfällning som följd.

Organisk substans skall därför bestämmas, dels med en icke specifik oxidationsmetod (permanganatoxidation) och dels med UV-spektrogram vid 260-300 nm.

### Övriga analyser

I övrigt analyseras vattnet på innehåll av  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , kisel-syra,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  och ev  $\text{Na}$  och  $\text{K}$ .

Vattnen bör åldersbestämmas med tritiumanalys och C-14-analys.

## 4. Jämförande diskussion av analyser på syntetiska och naturliga vatten

### 4.1 Sammansättning av syntetiska och naturliga vatten som diskuteras inom projektet

I bilaga 3 har ett antal vattenanalyser tabellerats.

Dessa analyser kan kommenteras på följande sätt.

Det syntetiska vattnet som framtagits för korrosionsförsök och som använts vid lakning av bentonit i Lund har en osannolikt hög Na-halt som dels orsakas av en tillsats av NaCl (för att simulera saltvatteninnehåll) och dels orsakats av att  $\text{HCO}_3^-$ -joner tillsatts som  $\text{NaHCO}_3$ . Egentligen borde vattnet prepareras genom bubbling av  $\text{CO}_2$ -gas i en  $\text{CaCO}_3$ -suspension.

Det syntetiska vatten, som använts för lakning av glas, har också en osannolikt hög Na-halt, beroende på sättet att preparera vattnet. Ca- och Mg-halterna är osannolikt låga, vilket som förut berörts beror på kravet att hindra utfällning av karbonater vid uppvärmning.

Lahermos vattenanalyser synes betydligt bättre motsvara de halter som kan förekomma i ett grundvatten på större djup. Dock är det något förvånande att magnesiumhalterna är högre än kalciumhalterna.

Kråkemålavattnen och Juktanvattnen (4) har betecknats som påverkade av ytvatten resp yngre grundvatten, vilket medfört att ledningsförmåga, pH och kloridhalt är lägre än man kan vänta sig i ett äldre grundvatten.

Ca- och Mg-halterna kan också rimligen väntas vara högre i ett äldre grundvatten.



Ett av Kråkemålavattnen uppvisar en högre ledningsförmåga, som är knuten till den högre NaCl-halten.

Orsakerna till förekomst av NaCl i grundvatten har tidigare diskuterats. Grundvattnet kan vara påverkat av saltare "fossilt" vatten eller kan i sin helhet härröra från en tid då ytvattnet på platsen var salt.

Vattnet i Norrskedika gruva kan vara påverkat av ytvatten, men uppvisar dock en grundvattenkaraktär.

Vattnet från borrhålet Forsmark 1 kan fortfarande vara något påverkat av ytvatten från borrhningen. Vattnet visade sig vara syrefritt och innehöll stora mängder 2-värt järn.

Som jämförelse har även nutida ytvattenanalyser medtagits.

#### 4.2 Sannolik sammansättning på grundvatten inom ett granitiskt urbergsområde

I det föregående har de olika faktorer diskuterats som kan påverka vattensammansättningen. Om hänsyn tas till dessa faktorer kan följande konstateranden göras om sammansättningen av ett grundvatten på 500 m djup i granitiskt urberg.

#### Syre

Syrehalten i vatten som står i jämvikt med atmosfären är beroende av temperaturen på följande sätt:

°C	O <sub>2</sub> mg/l
0	14,63
5	12,77
10	11,28
15	10,07
20	9,08
25	8,26

Om kort grundvatten direkt tränger ner i förvaret styrs syrehalten av vattnets temperatur och sedan av förvarets temperatur samt eventuell syreatgång för oxidation av organiskt material.

Syremängden i det regnvatten, som tränger ner genom marklagren och bildar grundvatten, förbrukas i stor utsträckning genom biologisk aktivitet i rotzonen. Eventuellt resterande syre kan förbrukas vid oxidation av

tvåvärt järn ( $\text{Fe}^{2+}$ ) till trevärt järn ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Man kan därför räkna med att syrehalten i grundvattnet skall vara mycket låg.

Som påpekats i avsnitt 1.2 kan dock syre lösa sig i grundvattnet under arbetena med tunnarna.

#### Sulfat

Alla analyser tyder på att grundvattnet kommer att innehålla sulfater. Halter på några få mg/l till ca 50 mg/l har uppmätts.

#### Sulfid

Sulfidhaltsanalyser har i allmänhet ej utförts. Man fann dock i Forsmark 1 en sulfidhalt av 5 mg/l, möjligen beroende på att organisk substans kommit in med spolvattnet och brutits ner biologiskt under sulfatreduktion. Sulfiden är sannolikt bunden till järn och torde ej förekomma i fri form.

#### Nitrat

Nitrathalt förekommer sannolikt i grundvattnet fastän i mindre mängder, <1 mg/l, då ingen ytvatteninblandning sker.

#### Järn

Järnhalten kan variera med järninnehållet i berggrunden. Järnet kan väntas föreligga både i tvåvärd och trevärd form, vilket visats i Forsmark 1.

#### Mikroorganismer

Sannolikheten är låg för att mikroorganismer skall ha nått 500-m djup. Vid utsprängningen av förvaret kommer dock med säkerhet bakterier att föras ner till denna nivå och kan tillväxa om organiska ämnen finns att tillgå.

#### Organisk substans

I princip kan man vänta sig att halten organisk substans skall vara låg i grundvattnet. Emellertid har  $\text{KMnO}_4$ -värden mellan 5 och 30 mg/l observerats. Delvis kan detta bero på ytvatteninblandning och delvis kan det bero på att  $\text{KMnO}_4$  åtgått för oxidation av 2-värd till 3-värd järn.

Det synes dock rimligt att räkna med att grundvattnet innehåller organisk substans. Ett sådant tillskott kan också komma från buffertmaterialet. Lakningsförsök med bentonit och sand har utförts i Lund (Bil 2) vid  $95^\circ\text{C}$ , varvid lakvattnets  $\text{KMnO}_4$ -värde blev 140, motsvarande en kemisk syreförbrukning av 35 mg/l. Motsvarande organiska substanshalt (vattenlöslig) kan uppskattas till ca 30-40 mg/l, motsvarande ca 200 mg/kg bentonit eller 20 mg/kg bentonit-sand. Lakning av bentonit-kvarts med organiska lösningsmedel har utförts vid CTH (9). Halten organisk substans uppskattades preliminärt till 700 ( $\pm 50\%$ ) mg/kg.

Den sannolika halten organisk substans i grundvattnet motsvarar 1-10 mg/l (bedömd ur COD-värdena) och denna halt kan öka till 30-40 mg/l genom urlakning ur bentoniten. Denna halt är tillräcklig för att underhålla tillväxt av bakterier under en begränsad tid.

### Kolsyregruppen

Grundvattnet kommer alltid att innehålla bikarbonat och vid högre pH-värden även karbonater. Halterna kan väntas variera mellan 150-300 mg/l i olika områden.

Halten fri kolsyra kan beroende på vattnets förhistoria variera mellan något mg/l till några tiotals mg/l.

### pH

Vatten med låga bikarbonathalter kan vid jämvikt väntas få höga pH-värden. Buffertmaterialet (bentonit) kan styra pH mot 8,5 - 9,0. Vid högre temperaturer (150-200°C) och stora vattenhalter kan bentoniten brytas ner, vilket orsakar en pH-sänkning, men det är ej sannolikt att detta sker under de betingelser som råder i förvaret.

### Klorider

Kloridhalten är primärt beroende av bergområdets läge och berggrundvattnets tryckgradient gentemot havsytan eller närbelägna inneslutningar av relikvatten (främst lågt belägna lerområden, där leran sedimenterat i salt hav och senare varit otillräckligt omsatt).

Vid flacka kustnära områden kan på grund av saltvattnets högre täthet salt grundvatten påträffas på stora djup. Av samma orsak kan vid stigande havsvattenstånd gränsytan mellan sött och salt grundvatten långsamt vandra inåt från kusten tills nytt jämviktsläge uppnåtts.

Om ett område väljes, där mark- och grundvattenytan ligger högt över havet minskar risken för att hög kloridhalt skall erhållas under någon geologisk tidsepok. I ett sådant läge minskar också risken för att relikvatten skall påverka kloridhalten.

I vattentäkter har påverkan av relikvatten med höga kloridhalter påvisats. Som exempel kan anföras följande. (7,8)

<u>Plats</u>	Cl <sup>-</sup> mg/l
Strängnäs (grusås 11-12 m under Mälarens nivå)	3000
Mälardalen (6 bergborrade brunnar)	1620 <sup>±</sup> 590 (max 2500)
Skärgården (3 bergborrade brunnar)	1130 <sup>±</sup> 210 (max 1370)
N. Uppland (3 bergborrade brunnar)	370 <sup>±</sup> 100 (max 480)
Brunn vid Fysingen	1500
Finland, urberg (8)	1270

Det torde inte vara sannolikt att man i förvaret skall få in vatten med högre kloridhalt än 3000 mg/l. I områden där påverkan av relikvatten ej förekommer torde det ej vara sannolikt att kloridhalten överstiger 400 mg/l och sannolikt intervall är 20-100 mg/l.

#### Övriga analysvärden

Övriga värden påverkar ej korrosion och urlakning i samma grad och diskuteras därför ej i detalj.

Ett sannolikt analysintervall har sammanställts i Bilaga 3, blad 2. Ett försök att ange maximala värden har även gjorts.

#### 5. Referenser

1. I Grenthe och T Wallin. Rapport till KBS 1977-07-25.
2. E Eriksson och H Holtan, Hydrokemi. Nordic IHD Report No 7. (1974).
3. Medd. vid sammanträde i Studsvik 77-09-07. G Blomqvist, R Forsyth och U-B Eklund.
4. G Gidlund. Analyser och åldersbestämningar av grundvatten på stora djup. Sept 77.
5. C-G Wenner, Å Möller och B Kjellin. Vattnets beskaffenhet i svenska brunnar. Vatten, Årg 30 (1974) sid 370-389.
6. Analyser från bergborrade brunnar. Uppgifter till hälsovårdsnämnderna i Uppsala och Norrtälje.
7. Personl. medd. P Engqvist SGU.
8. Donner, J.J. and Jungner, H. Radiocarbon dating of salt water found in wells drilled into the bedrock in the coastal area of Finland. Bull. Geol. Soc. Finland 47, 79-81.
9. Allard, B. Delrapport till KBS 77-04-23.

Stockholm den 7 november 1977  
INGENJÖRSFIRMAN ORRJE & CO AB  
VA-avdelningen

*Jan Rennerfelt*  
Jan Rennerfelt

Sammanställning av simulerat vatten för lakningsförsök

Salt	mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
NaHCO <sub>3</sub>	413	300	-	-	113	-	-	-	-	-
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	22	-	6	-	-	-	-	10,5	-	-
KCl	3,8	-	-	-	-	2	-	1,8	-	-
NaF	3,3	-	-	-	1,8	-	-	-	1,5	-
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	30,4	-	-	3	-	-	-	-	-	11,8
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	36,9	-	-	-	6	-	10	-	-	-
Summa		300	6	3	121	1	10	12,3	1,5	11,8

ORRJE & CO  
SCANDIACONSULT  
Stockholm

J Rennerfelt/KB

1977-10-03

UTREDNING

52.2684-01

Bilaga 1  
Blad 1

### Kompletterande lakningsförsök med bentonit

För att så vitt möjligt efterlikna förväntade betingelser i förvaret utfördes de kompletterade försöken på följande sätt.

- Autoklivering (eller kokning med återflödeskylare) sker vid 50° och 100°C. En högre temperatur kan vid ett silikatmineral medföra en annan reaktionsmekanism.
- En blandning av 10 % bentonit och 90 % kvarts uppslammas i grundvatten och autokliveras.  
  
En högre koncentration än tidigare väljes, 3 g bentonit, 27 g sand och 21 g vatten.
- Prov uttas efter 1, 2, 4 och 8 dygn för att studera pH-förändringen och utlösningen av t ex Mg, Al och Si samt i något prov även organisk substans.  
  
pH bestäms direkt i slurryn, prov för kemisk analys kan kräva en spädning före centrifugering.
- Röntgendiffraktogram kan utföras dels på oautokliverat prov och efter så lång tid att en tydlig pH-nedgång erhållits.
- Parallellförsök utförs med enbart bentonit i vatten (3 g bentonit och 21 g vatten) för att kunna konstatera om någon skillnad föreligger mellan bentonit och bentonit-kvartsblandning.

Analyser på syntetiska och naturliga vatten

Analys	Sort	Vatten, <u>synt</u>									
		för korrosions- försök (Lund)	för laknings- försök (Studsвик)	Hanford för lakn (Batelle)	Lahermo MV	Kråkemåla K2(510 m) K1(407 m)		Stripa Dbh2 360 m	Juktan intervall 15 prov	Håksberg intervall 4 prov	Östersjö- vatten Forsmarks- området
Ledningsförmåga	µS/cm				590	280	1000	260	180-280	230-335	
pH			8,5	7,9	7,23	7,25	8,45	8,65	8,0-8,6	7,25-7,50	
Färg	Pt mg/l										
KMnO <sub>4</sub> -förbr	mg/l				14	27	25	4			
COD <sub>Mn</sub>	O <sub>2</sub> mg/l										
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	66,9	6	31	34,2	44	24	17,5	24-40	25-39	410
Mg <sup>2+</sup>	"	30,0	3	7,1	78	7	6,5	0,5	1,5-5	4-19	1290
Na <sup>+</sup>	"	306,1	121	25	?	14	190	38	9-24	8-16	10.680
K <sup>+</sup>	"	14,0	1	5,4	13,9	2,2	3,2	0,2	0,3-0,5	0,5-1,4	385
Fe-tot	"				3,3	19	4,0	0,04	< 0,02-0,99	0,23-0,79	0,001
Fe <sup>2+</sup>	"	4,0									
Mn <sup>2+</sup>	"	1,0			0,34	0,62	0,33	0,04	< 0,02-0,12	0,02-0,28	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	"	120,0	300	168	120	178	211	81	107-155	127-143	142
CO <sub>2</sub>	"	-	-	-	21				0 (aggr)	-	
Cl <sup>-</sup>	"	600	12,3	3,1	136	7	222	44	3-23	8-14	3300 19.215
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	"	100,0	11,8	20	30,3 (som SO <sub>2</sub> )	6,9	34	2,1	1,2-5,4	11-43	2709
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	"	0,3		4,2	7,8	11	0,08	0,1	0,09-0,49	0,10-0,33	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	"					0,04	0,03	< 0,01	< 0,01-0,04	< 0,01-0,11	
F <sup>-</sup>	"	1,5	1,5		1,84	2,5	7,5	5,5	2,0-4,0	1,1-2,3	
SiO <sub>2</sub>	"	30	10		13,6	8,6	3,0	12,4	16,5-20,5	4,0-12,3	
H <sub>2</sub> S											
NH <sub>4</sub>	mg/l	0,1			0,33	0,29	0,02				
NO <sub>2</sub>	"	0,2				< 0,01	< 0,01	< 0,01			
°dH	°dH					7,7	4,9	2,5			
O <sub>2</sub>	mg/l										
TU	-										
Ålder	år										

Analyser på naturliga vatten från Norra Uppland samt sannolika analysvärden på grundvatten

Analys	Sort	Vattenhygien art. (Wenner et al.) Forsmarksomr.	Norrskedika	Hallstavik	Forsmark I	Forsmark I	Ytvatten	Grundvatten urberg	Saltpåver- kad brunn i Uppsala- området, 100 m	Lakvatten bentonit- sand 95°C 8 dygn	
			gruva 78 m	70 m 1963	175 m 1977	450 m 450 m 77-09-26 <sup>xx)</sup>	450 m 77-10-05	Forsmark			sannolik analys intervall
Ledningsförmåga	µS/cm		580	504	440	460	121	154	400-600	1100	1920
pH		7,1 - 7,5	7,1		8,1	7,2	7,0	6,9	7,2 - 8,5	9,0 min 6,5	8,0
Färg	Pt mg/l		50	10			95	85			
KMnO <sub>4</sub> -förbr	mg/l	16-32	32	11	32	33	73	68	5-35	50	-
COD <sub>Mn</sub>	O <sub>2</sub> mg/l		8						1,2-9	12,5	-
Ca <sup>2+</sup>	mg/l		} 97 som Ca	} 35 som Ca			9	16	20-60	100	-
Mg <sup>2+</sup>	"						16	19	15-30	150	-
Na <sup>+</sup>	"								(~20-40)	200	-
K <sup>+</sup>	"										
Fe-tot	"	0,4 - 0,7	7,9	0,12	2,0	29	15	0,26	0,22	1-20	30
Fe <sup>2+</sup>	"				0,5	11	15			0,5 - 15	30
Mn <sup>2+</sup>	"	0,1 - 0,4	1,1	0,08		0,30	0,37	0,05	0,06	0,1 - 0,5	3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	"	>90	381	246	390	390	53	55	150-400	500	92
CO <sub>2</sub>	"	0-14	(9 aggr)	(1 aggr)	27	21	7 (aggr)	10 (aggr)	0-25	50	0
Cl <sup>-</sup>	"	30-60	18	27	40	45	9	11	20-100	400	558
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	"		<1	22	10	9	8,8	7,4	20-40	100	40
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	"		0,38	2	0,24	0,23	0,72	0,78	0,1 - 2	10	0,01
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	"		0,11	0,1			<0,01	0,13	0,1 - 0,6	1	0,19
F <sup>-</sup>	"				1,0	1,0	-	-	0,5 - 3	8	-
SiO <sub>2</sub>	"		19		20	22	2,8?	17	15-40	60	14
HS <sup>-</sup> (tot)					<0,1	5	5	-	-	<0,2 - 5	10
NH <sub>4</sub>	mg/l		0,02	<0,1		0,04	0,14	0,10	0,04	0,1 - 0,4	5
NO <sub>2</sub>	"		<0,001	0,01		0,075	0,11	0,00	0,0	0,01 - 0,1	0,5
°dH	°dH	7-14	13,6	4,9		7,3	7,3	5,0	6,6	6-15	50
O <sub>2</sub>	mg/l				(<0,6)	<0,01	<0,01			<0,01	1
TU	-										
Ålder	år										

x) Grundvattnet kan vara påverkat av ytvatten.

xx) Uppskattad sannolikhet för att max.värdet ej skall överskridas är 95 %.



Protokoll över  
**FYSIKALISK-KEMISK VATTENUNDERSÖKNING**

Uppdrags-  
 givare KBS

Prov på bergboreade brunnar inom Uppsala kommun. Uppgifter erhållna på  
Hälsovårdsnämnden i Uppsala 1977 (6)

Provet inkom den                      / 19 Antal brunnar: 14 st

Provet märkt                     

Provets beteckning		Undre kvartil	Median	Övre kvartil		
Temperatur (enl. uppg.)	°C					
Färg	Pt mg/l					
Grumlighet*)	A.E. × 10 <sup>5</sup>					
Bottensats						
Lukt						
Spec. ledningsförmåga × 10 <sup>6</sup> ohm <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup>		500	530	850		
Glödgningsrest (beräkn.)	mg/l					
Permanganatförbrukning	KMnO <sub>4</sub> mg/l	4	6	9		
pH		7,4	7,6	8,0		
Ammonium	NH <sub>4</sub> mg/l	<0,1	<0,1	0,1		
Totalhårdhet	Ca mg/l	17	39	69		
"	°dH	2,4	4,8	9,7		
Järn	Fe mg/l	<0,05	<0,05	0,06		
Järn, luftat och filtr. prov	Fe mg/l					
Mangan	Mn mg/l	<0,05	<0,05	0,05		
Aluminium	Al mg/l					
Alkalitet (ber. som bikarbonat)	HCO <sub>3</sub> mg/l	234	281	321		
Kolsyra, aggr. (ber.)	CO <sub>2</sub> mg/l	0	0	0		
Klorid	Cl mg/l	17	34	110		
Fluorid	F mg/l	0,5	0,9	1,8		
Sulfat	SO <sub>4</sub> mg/l	21	33	50		
Nitrat	NO <sub>3</sub> mg/l	<2	3	8		
Nitrit	NO <sub>2</sub> mg/l	<0,01	<0,01	0,01		
Fosfat	PO <sub>4</sub> mg/l	<0,05	<0,05	0,2		
Kiselsyra (löst)	SiO <sub>2</sub> mg/l					
Djup		50	70	80		

Bedömning

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\*) Mätt med Sigrist fotometer. < = mindre än > = större än

11.69 2 000 - 500  
 Radsprång 1/2  
 4820

Protokoll över  
 FYSIKALISK-KEMISK VATTENUNDERSÖKNING

Uppdrags-givare	KBS				
Prov på	bergborrade brunnar inom Norrtälje kommun. Uppgifter erhållna på Hälsovårdsnämnden i Norrtälje (6)				
Provet inkom den	/ 19		Antal brunnar: 10 st		
Provet märkt					
Provets beteckning		Undre kvartil	Median	Övre kvartil	
Temperatur (enl. uppg.)	°C				
Färg	Pt mg/l	5	10-15	30	
Grumlighet*)	A.E. X 10 <sup>5</sup>				
Bottensats			Ingen		
Lukt			Ingen		
Spec. ledningsförmåga X 10 <sup>6</sup> ohm <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup>		520	835	1040	
Glödningsrest (beräkn.)	mg/l				
Permanganatförbrukning	KMnO <sub>4</sub> mg/l	12	15	21	
pH		7,3	7,6	7,9	
Ammonium	NH <sub>4</sub> mg/l	<0,1	<0,1	0,1	
Totalhårdhet	Ca mg/l	49	71	93	
"	°dH	6,7	9,9	13	
Järn	Fe mg/l	0,05	0,07	0,49	
Järn, luftat och filtr. prov	Fe mg/l				
Mangan	Mn mg/l	0,07	0,15	0,20	
Aluminium	Al mg/l				
Alkalitet (ber. som bikarbonat)	HCO <sub>3</sub> mg/l	271	318	357	
Kolsyra, aggr. (ber.)	CO <sub>2</sub> mg/l	0	0	1	
Klorid	Cl mg/l	26	115	167	
Fluorid	F mg/l	0,4	0,8	1,0	
Sulfat	SO <sub>4</sub> mg/l	29	44	68	
Nitrat	NO <sub>3</sub> mg/l	<2	<2	<2	
Nitrit	NO <sub>2</sub> mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	
Fosfat	PO <sub>4</sub> mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	
Kiselsyra (löst)	SiO <sub>2</sub> mg/l				
Djup	m	65	70	91	
Bedömning					
* ) Mätt med Sigrist fotometer. < = mindre än > = större än					
STOCKHOLM den / 19		Namn			

Radspräng 1 1/2  
 11.69 2 000 - 500

Protokoll över  
 FYSIKALISK-KEMISK VATTENUNDERSÖKNING

Uppdrags-givare	KBS				
Prov på	Bergborrade brunnar inom Uppsala och Norrtälje kommun				
Provet	enl. uppgift taget den	/	19	kl	av
Provet	inkom den	/	19		
Provet märkt			Intervall	Intervall II	Max-
Provet beteckning			median	UK <sub>min</sub> - ÖK <sub>max</sub>	värde
Temperatur (enl. uppg.)	°C				
Färg	Pt mg/l		10-15	5-30	40
Grumlighet*)	A.E. × 10 <sup>5</sup>				
Bottensats					
Lukt					
Spec. ledningsförmåga × 10 <sup>6</sup> ohm <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup>			530-835	500-1040	1605
Glödgningsrest (beräkn.)	mg/l				
Permanganatförbrukning	KMnO <sub>4</sub> mg/l		6-15	4-21	25
pH			7,6	7,3-8	8,4
Ammonium	NH <sub>4</sub> mg/l		<0,1	<0,1-0,1	0,33
Totalhårdhet	Ca mg/l		39-71	17-93	112
"	°dH		4,8-9,9	2,4-13	15,7
Järn	Fe mg/l		<0,05-0,07	<0,05-0,49	1,2
Järn, luftat och filtr. prov	Fe mg/l				
Mangan	Mn mg/l		<0,05-0,15	<0,05-0,20	0,25
Aluminium	Al mg/l				
Alkalitet (ber. som bikarbonat)	HCO <sub>3</sub> mg/l		281-318	234-357	384
Kolsyra, aggr. (ber.)	CO <sub>2</sub> mg/l		0	0-1	6
Klorid	Cl mg/l		34-115	17-167	400
Fluorid	F mg/l		0,8-0,9	0,4-1,8	2,6
Sulfat	SO <sub>4</sub> mg/l		33-44	21-68	97
Nitrat	NO <sub>3</sub> mg/l		<2-3	<2-8	18
Nitrit	NO <sub>2</sub> mg/l		<0,01	<0,01-0,01	0,05
Fosfat	PO <sub>4</sub> mg/l		<0,05-<0,1	<0,05-0,2	0,9
Kiselsyra (löst)	SiO <sub>2</sub> mg/l				
Djup	m		70	50-91	113
Bedömning					
*) Mätt med Sigrist fotometer. < = mindre än > = större än					
STOCKHOLM den	/	19	Namn		

Redsprång 1/2

4879 11.69 2 000 - 500

## 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 tunular 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 Tahrandi  
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 Stripa granite  
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 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
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan  
Gunnar Walinder  
AB Atomenergi