
KBS TEKNISK RAPPORT

72

**Värmeledningsförsök på buffert-
sub stans av kompakterad bentonit**

Sven Knutsson

Högskolan i Luleå 1977-11-18

VÄRMELEDNINGSFÖRSÖK PÅ BUFFERTSUBSTANS
AV KOMPakterad BENTONIT

Sven Knutsson
Högskolan i Luleå 1977-11-18

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.

TEKNISK RAPPORT **KBS 11**

RAPPORT ÖVER

VÄRMELEDNINGSFÖRSÖK PÅ BUFFERTSUBSTANS AV KOMPakterad BENTONIT

Luleå 1977-11-18

Avd för Geoteknik, Högskolan i Luleå

S KNUTSSON

THERMAL CONDUCTIVITY TESTS ON HIGHLY COMPACTED BENTONITE

Sven Knutsson

The report concerns the thermal conductivity of highly compacted bentonite which has been suggested as embedding substance for radioactive canisters.

The first part of the report gives a short summary of the theoretical relationships associated with the different heat transfer mechanisms in moist granular materials. The method of calculating the thermal conductivity of soils given by Ø Johansen is referred to as well.

Chapter 3 describes the experimental determination of the conductivity of a cylindrical body of compacted bentonite (diameter 105 mm, height 313 mm). The density of the bentonite was 2.02 t/m^3 which corresponds to a degree of water saturation of 66% since the water content was 11%.

Three tests were run at constant water content but at different mean temperature. No time dependence was found for the thermal conductivity, which implies that no water transportation was caused by the temperature gradient. A slight increase of the conductivity with increasing temperature was found, the maximum value being 0.78 W/m, K for 73°C . The stable water distribution is due to the strong bonds between water molecules and mineral surfaces when the water content is as low as 11%.

Complete water saturation corresponds to a water content of 16.5% which still is a very low value indicating that the degree of water fixation is high also in this state. This means that practically no water movement will take place when the

mass is saturated. Consequently the mass will have a thermal conductivity which can be estimated at 0.9-1.3 W/m, K.

2. Värmetransportmekanismer i jordmaterial

I ett poröst kornigt material som jord, leds värme genom i huvudsak fem processer. Dessa är:

1. värmeledning i fasta partiklar och vatten
2. värmeledning i porluft
3. värmestrålning mellan partiklar
4. ångdiffusion
5. konvektion

Om materialet är tätt och partiklarna små är värmeöverföringen på grund av värmestrålning mellan de enskilda partiklarna helt försumbar. Detsamma gäller värmetransporten på grund av konvektion av porgasen. Det är således värmeledningen i partiklar, vatten och luft samt ångdiffusionen som avgör värmeöverföringsförmågan i denna typ av material.

Som ett mått på den totala värmeöverföringsförmågan genom materialet anges i fortsättningen värmeledningstalet (λ), vilket alltså även inkluderar andra transportmekanismer än den direkta ledningen. Detta gör att λ blir beroende av bl a temperaturnivå och vattenmättnadsgrad.

Som visats i en tidigare rapport (Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt. Knutsson 1977) kan värmeledningstalet för ett kornigt flerkomponentsystem beräknas med olika metoder beroende på förhållandet mellan den bästa värmeledande komponentens och den sämsta ledande komponentens λ . Om förhållandet är måttligt ($< ca 15$) kan det resulterande värmeledningstalet beräknas som ett geometriskt medelvärde av de i systemet ingående komponenternas λ och deras respektive volymandelar. För ett helt vattenmättat material vars

delkomponenter består av vatten och mineralpartiklar kan alltså värmeledningstalet beräknas ur

$$\lambda_{\text{mättad}} = 0.6^n \cdot \lambda_{\text{part}}^{(1-n)} \quad (1)$$

där 0.6 = värmeledningstalet för vatten
(W/m,K)

λ_{part} = medelvärmeledningstalet för mineralpartiklarna

n = porositeten

Kravet att förhållandet mellan komponenternas respektive värmeledningstal inte får vara alltför stort är i de flesta fall uppfyllt då vattenmättnadsgraden är 100%. Det bäst värmeledande vanliga mineralet i jord är kvarts, vars $\lambda \approx 8$ W/m,K och många andra vanliga mineral har λ runt 2 W/m,K. Detta gäller även för de flesta lermineral, som i litteraturen uppges ha ett $\lambda \approx 2$ W/m,K. Vattens värmeledningstal är 0.6 W/m,K, vilket ger ett förhållande mellan bästa och sämsta värmeledningstal på 3-13.

Medelvärmeledningstalet för den fasta fasen kan beräknas på liknande sätt, dvs som ett geometriskt medelvärde av de ingående mineralens λ . Skälet till detta är att även i mineralfasen är förhållandet litet mellan bästa och sämsta värmeledningstal (ca 4)

$$\lambda_{\text{part}} = 2^{1-q} 8^q \quad (2)$$

där 2 = värmeledningstalet för de flesta vanliga mineralen i jord (W/m,K)

8 = värmeledningstalet för kvarts (W/m,K)

q = volymandelen kvarts

Används uttryck (1) och (2) för att beräkna värmeledningstalet för vattenmättat material uppger Ø Johansen att felet inte blir större än $\pm 15\%$.

Det bör observeras att materialets mikrostrukturella uppbyggnad saknar betydelse för att man tämligen väl ska kunna beräkna värmeledningstalet för den vattenmättade massan. Detta beror på att de ingående komponenternas respektive värmeledningstal inte skiljer sig alltför mycket från varandra. Däremot har massans mineralogiska sammansättning en avgörande betydelse och då i första hand dess innehåll av mineralet kvarts.

Innebörden av detta blir att den kompakterade bentonitens värmeledningstal i vattenmättat tillstånd bör kunna beräknas någorlunda väl. Detta trots att den mikrostrukturella uppbyggnaden troligen genomgår en radikal förändring under sammanpressningen av granulatet.

För den helt torra eller delvis vattenmättade substansen är kravet på måttligt förhållande mellan största och minsta värmeledningstal inte längre uppfyllt. Den bäst ledande substansen utgörs även i detta fall av mineralpartiklarna medan den sämst ledande är luften i porerna. Eftersom denna har ett värmeledningstal på 0.024 W/m,K blir förhållandet ca 80-400. Detta medför att systemets λ inte längre kan beräknas med hjälp av uttryck (1) och (2). En ytterligare konsekvens av den stora differansen mellan de olika fasernas värmeledningstal är att materialets mikrostrukturella uppbyggnad har stor inverkan på det resulterande värmeledningstalet, medan den mineralogiska sammansättningen spelar mindre roll. Detta medför att alla beräkningsmetoder för det torra materialets värmeledningstal måste baseras på empiriska eller semiempiriska formler. En sådan formel som föreslagit av Ø Johansen är

uttryck (3)

$$\lambda = 0.024 \frac{n + (1-n) 6.65}{n + (1-n) 0.053} \quad (3)$$

där n = porositeten

Detta uttryck gäller för naturliga jordmaterial med ett förhållande på 125 mellan bästa och sämsta värmeledningstal. För den helt torra kompakterade bentoniten bör uttryck (3) ge rimliga värden, eftersom förhållandet i detta fall är ca 100. Å andra sidan kan den mikrostrukturella uppbyggnaden efter sammanpressningen med 50 MPa vara väsentligt skild från den som förekommer vid naturliga jordmaterial. Detta skulle då kunna medföra att uttryck (3) inte ger riktigt värde. Skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde skulle då sannolikt bli att det beräknade värdet skulle vara lägre än det uppmätta. Detta är rimligt, eftersom man vid sammanpressningen troligen skapar en bättre värmeöverföringsförmåga genom att ett antal nya kontaktpunkter etableras mellan lerpartiklarna. I en naturlig jord blir varken kontaktpunkterna så många eller så effektiva som efter kompakteringen.

I ett delvis vattenmättat material är man liksom för det helt torra materialet hänvisad till semi-empiriska metoder för att beräkna λ . En metod är att beräkna ett normaliserat värmeledningstal, vilket benämns "Kerstens tal".

$$K_e = \frac{\lambda - \lambda_{\text{torr}}}{\lambda_{\text{mättat}} - \lambda_{\text{torr}}} \quad (4)$$

där λ = värmeledningstal för fuktigt material
 λ_{torr} = dito för torrt
 $\lambda_{\text{mättat}}$ = dito för vattenmättat

Beskrivet på detta sätt får faktorn K_e värdet 0 när jorden är helt torr och värdet 1 vid full vattenmättnad. En mängd experimentella mätningar på naturliga jordar visar att faktorn K_e kan uppskattas med ledning av materialets vattenmättnadsgrad. För finkornigt material med partiklar i silt och lerfraktionerna kan enligt Ø Johansen K_e beräknas ur

$$K_e = \log S_r + 1 \quad (5)$$

$$\text{om } S_r > 0.1$$

där S_r = vattenmättnadsgraden

Förutom genom direkt ledning transporteras värme i fuktigt poröst material genom diffusion. Denna uppkommer genom att i en porös massa som utsätts för en temperaturgradient uppstår det olika partialtryck i porluften. Dessa olika tryck ger upphov till en ångdiffusion i riktning mot fallande tryck. Diffusionen ger alltså upphov till en omfördelning av fukttinnehållet i massan. Samtidigt med detta sker också en värmetransport i diffusionens riktning. Denna orsakas av att vatten successivt förångas vid den varma sidan varpå ångan diffunderar mot område med lägre partialtryck, dvs område med lägre temperatur. Här kondenseras vattenångan, varvid värme frigörs. Vid förångningen åtgår värme som alltså "lagras" i vattenångan och frigörs vid den kalla sidan. För att denna transportmekanism ska uppkomma krävs, förutom en temperaturgradient, också att fritt porvatten finns tillgängligt. I en inte helt vattenmättad jord är vattnet olika fast bundet till mineralpartiklarna. Som ett mått på denna bindningskraft kan man använda materialets fuktpotentialkurva, se Fig 1.

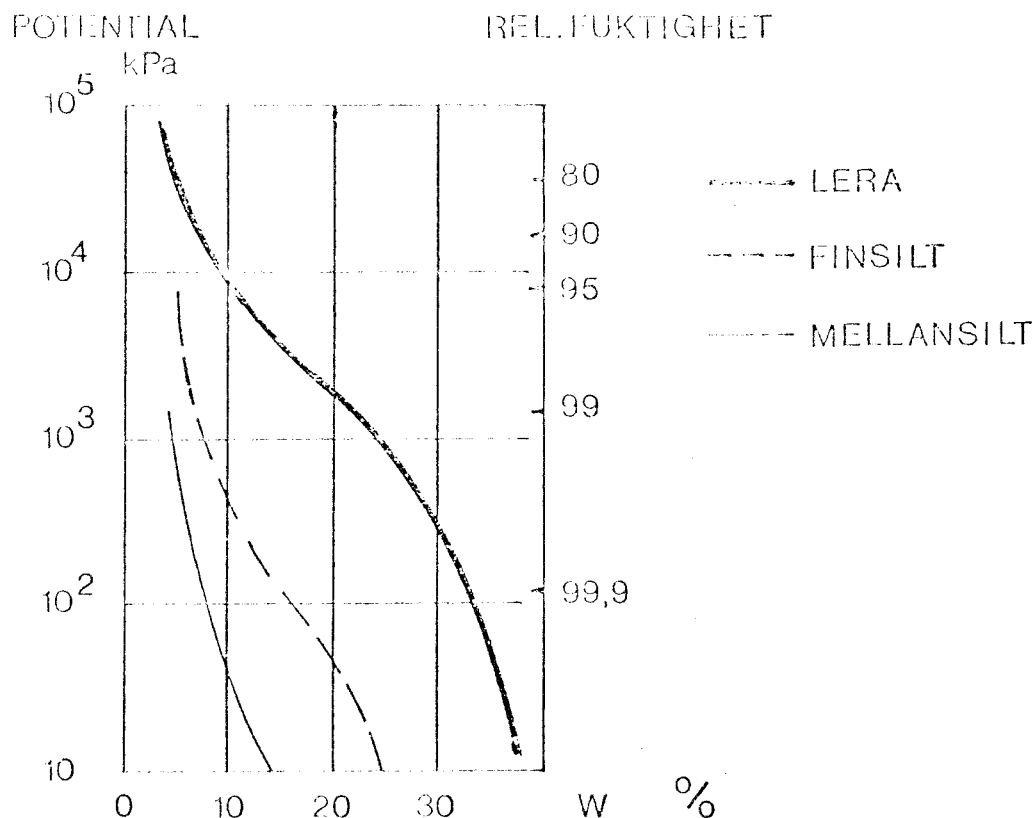


Fig 1. Exempel på fuktpotentialkurvor för tre olika jordtyper (Ø Johansen).

I Fig 1 ser man att fuktpotentialen avtar med ökande vattenkvot. Detta är ett uttryck för att vatten binds allt mindre fast ju högre vattenkvoten är samt ju längre ut från mineralytan vattnet är placerat. För kompakterad bentonit, där det aktiva lermineralet består av smektit, torde fuktpotentialkurvan ligga ännu högre än den för naturlig lera. Detta eftersom andelen aktiva lermineral är mindre i de vanliga lerorna än i den kompakterade bentoniten. Detta resulterar i att vatten upp till en vattenkvot av 10-15% är mycket fast bundet till mineralytan. Effekten av detta blir att en mycket ringa del av vattnet vid dessa vattenkvoter kan "ryckas loss" från sin ordinarie placering och diffundera i temperaturgradientens riktning. Detta har i sin tur till följd att värmeledningstalet får ett mycket litet tidsberoende sedan väl statio-

nära förhållanden inställt sig.

Laboratorieförsök

För att direkt bestämma den kompakterade bentonitens värmeledningstal har ett antal laboratorieförsök utförts. Dessa utfördes som stationära värmeledningsförsök i en cylindrisk apparat med radiellt värmeflöde. Den undersökta kroppen, som tillverkats av ASEA, hade cylindrisk form och var framställd av granulerad bentonit som pressats samman med ett tryck av ca 50 MPa. Efter pressningen svarvades kroppen till önskad dimensioner. Kroppens längd och ytterdiameter blev av presstekniska skäl begränsade till 313 mm respektive 105 mm.

Under försöket sker värmeförmedlingen genom upphettning av en centralt placerad värmekälla. Denna har diametern 20 mm och är placerad i ett hål i provkroppen vars diameter är 30 mm. Mellanliggande utrymme är fyllt med järnfilspån. Detta för att erhålla en så god värmetransport som möjligt mellan värmekälla och provkropp. Järnfilspånen förhindrar också uppkomsten av värmeisolerande luftspalter runt de något utskjutande temperaturgivarna.

Värmekällan är delad i tre partier, en övre och en nedre skärmsektion samt en mellanliggande mätsektion, allt för att garantera radiellt värmeflöde genom provkroppen. Inom respektive sektion kan värmeförmedlingen regleras. Detta sker genom att variera effektförmedlingen till de elektriska värmeelementen vilka är placerade i ursparingar i centrum av värmekällan. Genom att ha en något högre effektförmedling i de båda skärmsektionerna kan man kompensera för de värmeförluster som uppstår genom apparatens båda plana ändytor.

På provkroppen finns fäst sex strycken resistiva temperaturmätare av folietyp. Dessa är limmade direkt på kroppen för att så exakt som möjligt kunna fastställa yttemperaturen. Tre är placerade i

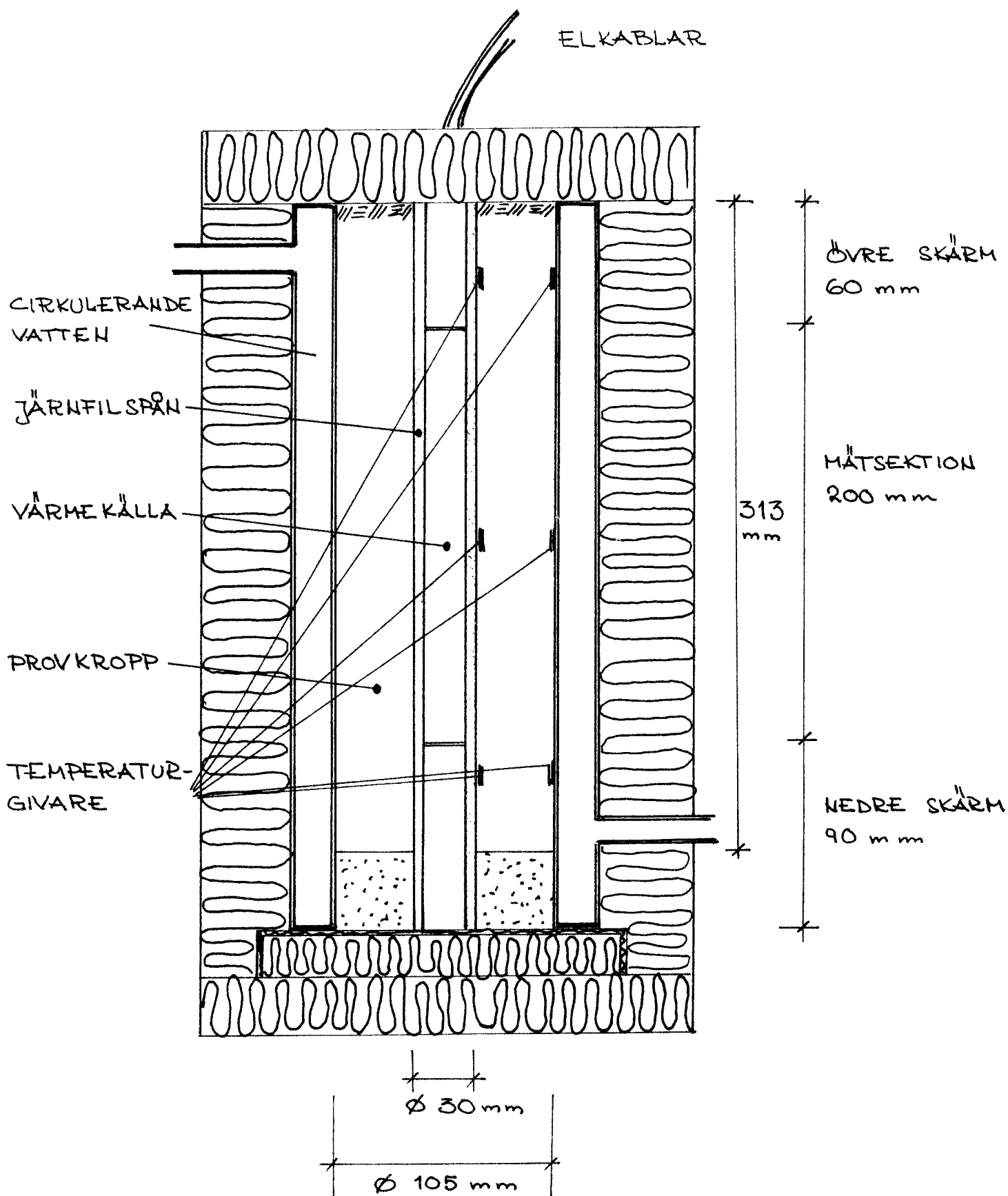


Fig 2. Schematisk skiss av testapparat med provkropp.

hållet för värmekällan och tre på den yttre periferin, se Fig 3.

Genom att korrigerera effekttillförseln i de olika sektionerna kan man uppnå samma temperaturer i provkroppens axialled. Detta medför att värmeutbytet i denna riktning blir obefintligt och att hela värmetransporten blir radiell.

Borttransporten av värmen längs provets yttre periferi ombesörjs av det i den yttre cylindern cirkulerande vattnet. För att erhålla fullgod kontakt mellan cylindern och provkroppen hölls järnfilspån i spalten mellan dessa. Kylvattnet hålls vid konstant temperatur med hjälp av en kryostat. Genom att ändra vattnets temperatur kan provkroppens värmeledningstal bestämmas vid olika temperaturnivåer.

När stationära förhållanden inställt sig i provet kan värmeledningstalet beräknas ur:

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{R_y}{R_i}}{2\pi L (T_i - T_y)} \quad (6)$$

där

- Q = tillförd värmeeffekt
- R_y = provkroppens yttre radie
- R_i = provkroppens inre radie
- L = mätsektionens längd
- T_i = yttemperaturen på provets inre periferi
- T_y = yttemperaturen på provets yttre periferi.

Regleringen av effekttillförseln har skett en gång i timmen med samtidig registrering av temperaturer, strömstyrka och spänning. Stabiliseringstiden, dvs tiden tills stationära temperaturförhållanden uppnåtts, har för alla tester varit ca 5 timmar. Försöken har därefter drivits ytterligare ca 20 timmar

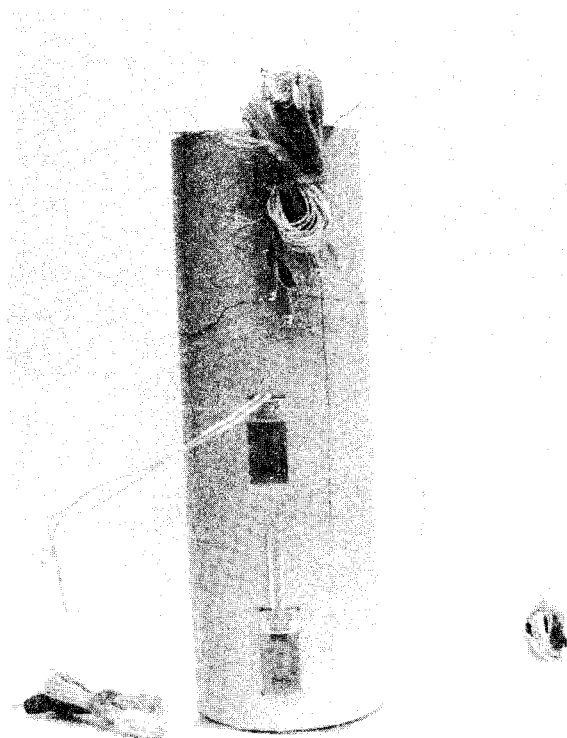


Fig 3. Provkropp med påklitrade temperaturgivare.

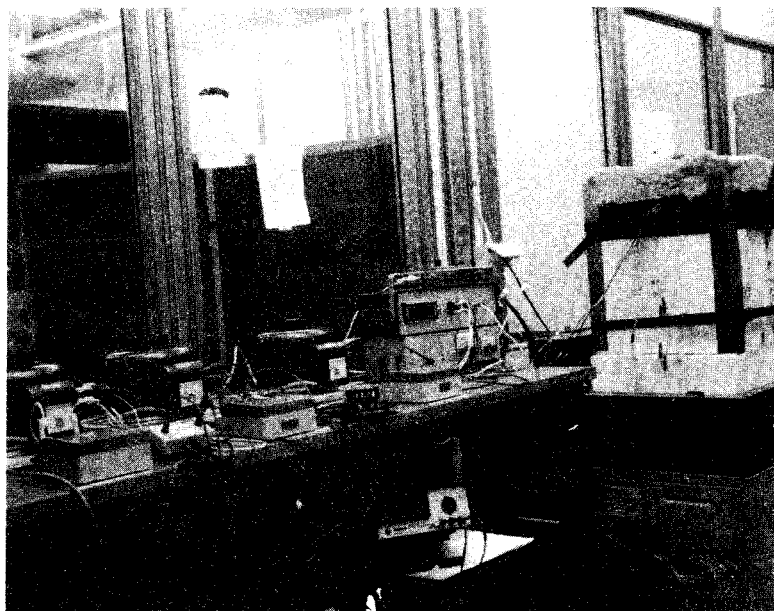


Fig 4. Försöksuppställning med anordning för effekt- och temperaturreglering, effekt-
mätning samt temperaturmätning i provkroppen.

utan att någon förändring i värmeledningsegenskaperna kunnat registreras.

Temperaturgradienten över provkroppen har vid de olika försöken varierat något men ligger i intervallet $0.8-0.9^{\circ}\text{C}/\text{cm}$. Denna gradient är av samma storleksordning som den som kan förväntas uppkomma vid en deponering av högaktivt avfall i berg.

Försöken har utförts på kompakterad bentonit med en skrymdensitet av $2.02 \text{ t}/\text{m}^3$. Materialet håller en hygroskopisk fuktighet i laboratoriemiljö som motsvarar en vattenkvot på 11%. Detta medför att materialets porositet är så hög som 30% samt att vattenmättnadsgraden är 66%. Porositeten kan synas hög med tanke på materialets fasthet samt att sammanpressningstrycket varit ca 50 MPa. Orsaken till denna höga porositet är att mineralpartiklarna i sig själva är porösa och att porerna inte finns i tomrummen mellan i sig själv helt kompakta partiklar, som fallet är i t ex sand.

Försöken har utförts på en och samma provkropp vid tre olika temperaturnivåer. Resultaten redovisas i Tabell 1.

Försök	Medeltemp $^{\circ}\text{C}$	Temperaturgradient $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$	Värmeledningstal $\text{W}/\text{m},\text{K}$
1	43.3	0.9	0.75
2	57.6	0.9	0.76
3	73.0	0.8	0.78

Tabell 1

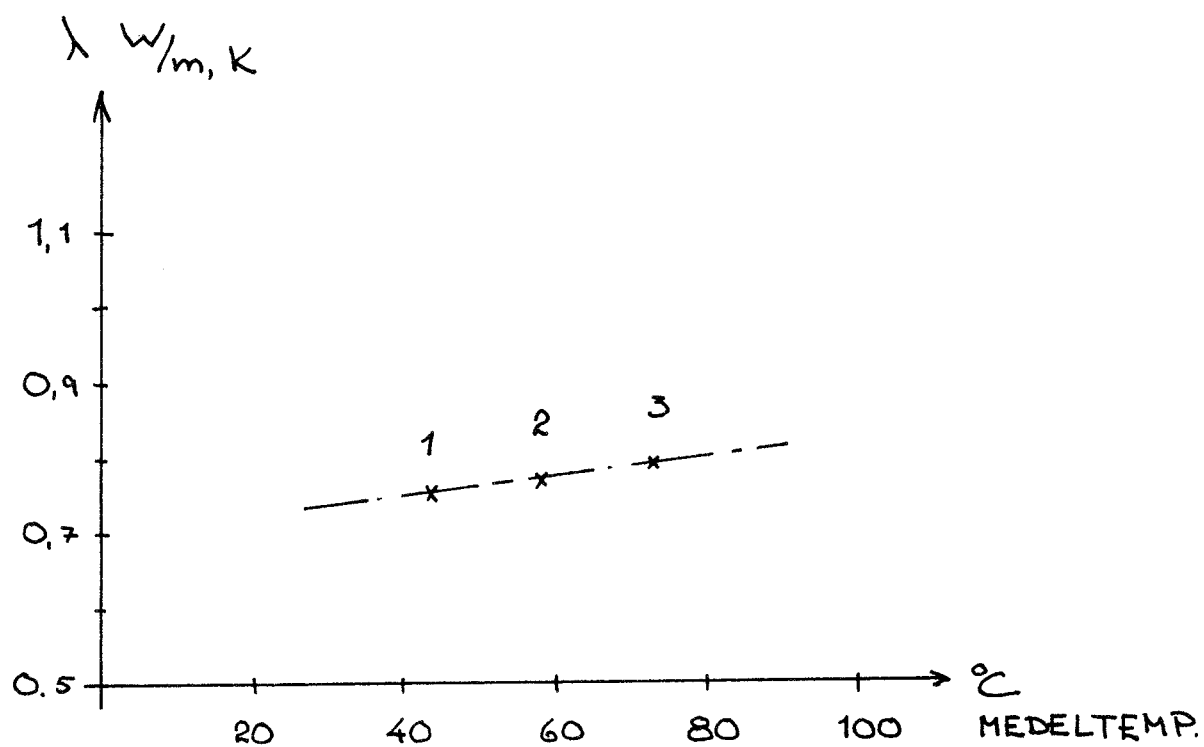


Fig 5. λ som funktion av temperaturnivån för kompakterad bentonit.

Under den tid då temperaturgradienten verkat över provet och förhållandena varit stationära, har ingen förändring av värmeledningstalet konstaterats. Detta visar att vattnet i massan är mycket fast bundet till mineralytorna. Temperaturgradienten har alltså inte varit stor nog för att slita bort vattnet från dessa och transportera det mot provets kalla sida.

4. Resultatanalys

Ingen fuktomfördelning kunde märkas i den testade provkroppen, eftersom värmeledningsegenskaperna var konstanta i tiden vid alla de undersökta temperaturnivåerna. Detta trots att vattenmättnadsgraden var så hög som 66%. Orsaken till detta stabila förhållande är att den aktuella vattenmättnadsgraden endast motsvarar en vattenkvot på 11%. Vid denna låga vattenkvot är vattnet mycket hårt fixerat till de aktiva lermineralens ytor. De påtvingade temperatugradienterna har därmed inte varit stora nog att slita bort vattnet. Full vattenmättnad för samma material, dvs ingen volymförändring, motsvaras av en vattenkvot på 16.5%. Även vid denna vattenkvot torde vattnet vara så fast fixerat till mineralytorna att de aktuella temperaturgradienterna inte förmår att flytta vattnet.

Detta innebär att man får helt stabila fukt- och temperaturförhållanden även då vattenmättnadsgraden är 100%.

En jämförelse mellan beräknat och uppmätt värmeledningstal ger för aktuell vattenmättnadsgrad och porositet att beräknat λ är högre än uppmätt, se Fig 6.

Att förhållandet är detta och inte det omvända kan förklaras av vattnets placering i lermineralens kristallgitter. Vattnet är alltså byggt in i de enskilda fasta partiklarna och ligger inte i meniskerna mellan dessa. Detta har till följd att det är de enskilda lerpartiklarna som får ändrat värmeledningstal. Systemet består alltså efter en vattenupptagning av fasta partiklar med lägre λ än de helt torra partiklarna. Om materialet inte är helt vattenmättat har de enskilda partiklarnas λ liten inverkan på det resulterande λ . Detta inne-

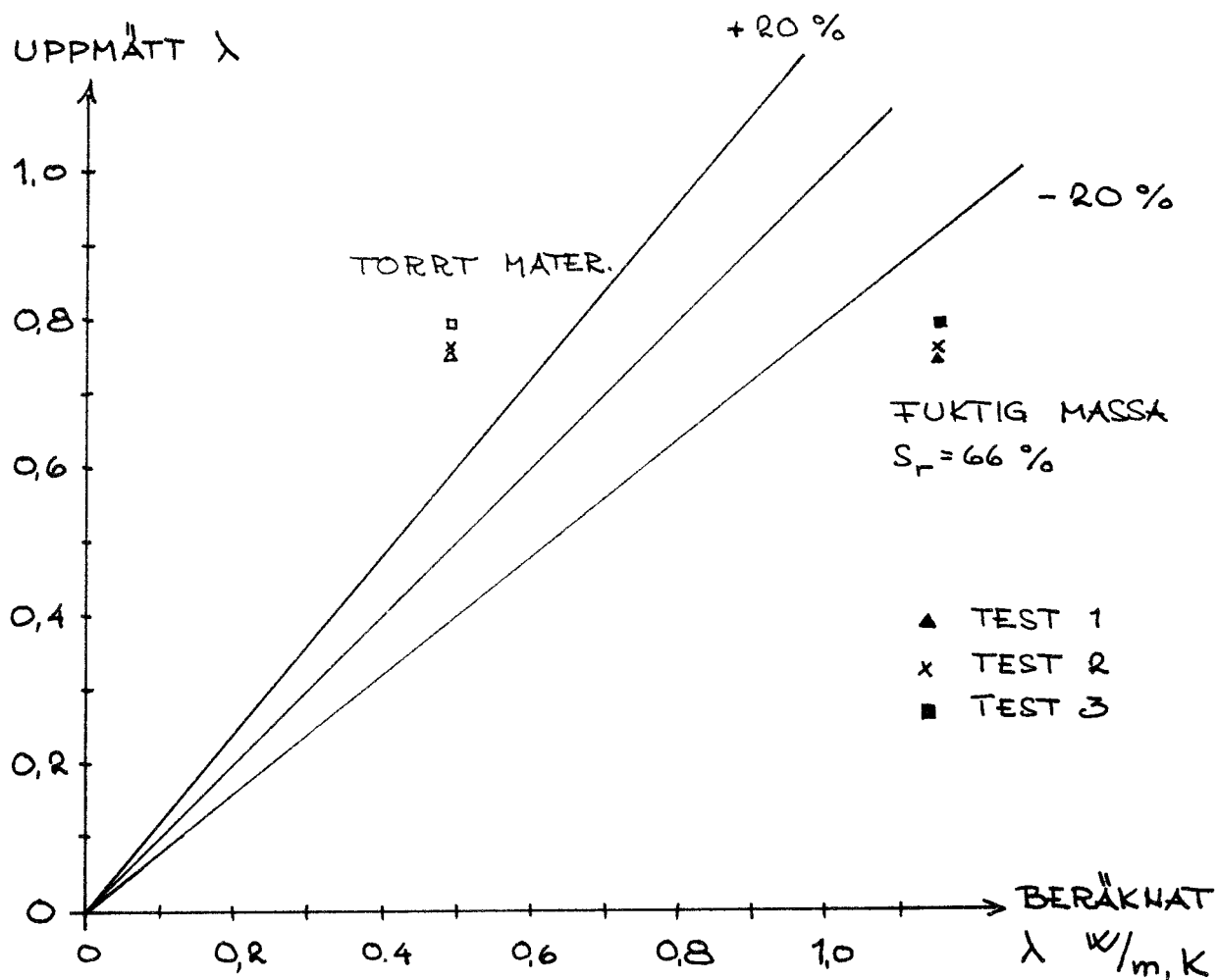


Fig 6. Jämförelse mellan beräknat och uppmätt λ .

bär att en beräkning av λ med hjälp av uttrycken (1), (3), (4) och (5) bör ge ett för högt värde, medan en beräkning med enbart uttryck (3) (för helt torrt material) bör ge ett för lågt λ . Detta förhållande bekräftas av de utförda mätningarna (Fig 6).

I vattenmättat tillstånd är λ säkert större än de i försöken uppmätta värdena. Beräknas λ med hjälp av den angivna beräkningsmodellen erhålls λ för vatten-

mättat material till 1.3 W/m,K. Antar man vidare att samma förhållande råder mellan uppmätt och beräknat värde vid full vattenmättnad, som då vattenmättnadsgraden är 66%, blir $\lambda \approx 0.9$ W/m,K.

5. Slutsatser

- * Kompakterad bentonit med skrymdensiteten 2.02 t/m^3 har vid temperaturnivåerna $40\text{--}70^\circ\text{C}$ ett värmeledningstal mellan 0.75 och 0.79 W/m,K .
- * Sedan stationära förhållanden uppnåtts har inget tidsberoende kunnat konstateras hos λ .
- * Ingen omfördelning av fukt har kunnat upptäckas under försöket.

FÖRTECKNING ÖVER KBS TEKNISKA RAPPORTER

- 01 Källstyrkor i utbränt bränsle och högaktivt avfall från en PWR beräknade med ORIGEN
Nils Kjellbert
AB Atomenergi 77-04-05
- 02 PM angående värmeledningstal hos jordmaterial
Sven Knutsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-04-15
- 03 Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-05-27
- 04 Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsubstans
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-01
- 05 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall, Rapport 1
Roland Blomqvist
AB Atomenergi 77-03-17
- 06 Groundwater movements around a repository, Phase 1, State of the art and detailed study plan
Ulf Lindblom
Hagconsult AB 77-02-28
- 07 Resteffekt studier för KBS
Del 1 Litteraturgenomgång
Del 2 Beräkningar
Kim Ekberg
Nils Kjellbert
Göran Olsson
AB Atomenergi 77-04-19
- 08 Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt glas med högaktivt avfall
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 77-05-20

- 09 Diffusion of soluble materials in a fluid filling a porous medium
Hans Häggblom
AB Atomenergi 77-03-24
- 10 Translation and development of the BNWL-Geosphere Model
Bertil Grundfelt
Kemakta Konsult AB 77-02-05
- 11 Utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för kärnbränsleavfall
Sture Henriksson
AB Atomenergi 77-04-18
- 12 Bedömning av egenskaper och funktion hos betong i samband med slutlig förvaring av kärnbränsleavfall i berg
Sven G Bergström
Göran Fagerlund
Lars Rombén
Cement- och Betonginstitutet 77-06-22
- 13 Urlakning av använt kärnbränsle (bestrålad uranoxid) vid direktdeponering
Ragnar Gelin
AB Atomenergi 77-06-08
- 14 Influence of cementation on the deformation properties of bentonite/quartz buffer substance
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-20
- 15 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall
Rapport 2
Roland Blomquist
AB Atomenergi 77-05-17
- 16 Översikt av utländska riskanalyser samt planer och projekt rörande slutförvaring
Åke Hultgren
AB Atomenergi augusti 1977
- 17 The gravity field in Fennoscandia and postglacial crustal movements
Arne Bjerhammar
Stockholm augusti 1977
- 18 Rörelser och instabilitet i den svenska berggrunden
Nils-Axel Mörner
Stockholms Universitet augusti 1977
- 19 Studier av neotektonisk aktivitet i mellersta och norra Sverige, flygbildsgenomgång och geofysisk tolkning av recenta förkastningar
Robert Lagerbäck
Herbert Henkel
Sveriges Geologiska Undersökning september 1977

- 20 Tektonisk analys av södra Sverige, Vättern - Norra Skåne
Kennert Röshoff
Erik Lagerlund
Lunds Universitet och Högskolan Luleå september 1977
- 21 Earthquakes of Sweden 1891 - 1957, 1963 - 1972
Ota Kulhánek
Rutger Wahlström
Uppsala Universitet september 1977
- 22 The influence of rock movement on the stress/strain
situation in tunnels or bore holes with radioactive con-
sistors embedded in a bentonite/quartz buffer mass
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 23 Water uptake in a bentonite buffer mass
A model study
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 24 Beräkning av utlakning av vissa fissionsprodukter och akti-
nider från en cylinder av franskt glas
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 1977-07-27
- 25 Blekinge kustgnejs, Geologi och hydrogeologi
Ingemar Larsson KTH
Tom Lundgren SGI
Ulf Wiklander SGU
Stockholm, augusti 1977
- 26 Bedömning av risken för fördröjt brott i titan
Kjell Pettersson
AB Atomenergi 1977-08-25
- 27 A short review of the formation, stability and cementing
properties of natural zeolites
Arvid Jacobsson
Högskolan i Luleå 1977-10-03
- 28 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt
Sven Knutsson
Högskolan i Luleå 1977-09-20
- 29 Deformationer i sprickigt berg
Ove Stephansson
Högskolan i Luleå 1977-09-28
- 30 Retardation of escaping nuclides from a final depository
Ivars Neretnieks
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm 1977-09-14
- 31 Bedömning av korrosionsbeständigheten hos material avsedda
för kapsling av kärnbränsleavfall. Lägesrapport 1977-09-27
samt kompletterande yttranden.
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp

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

- 42 Säkerhet vid hantering, lagring och transport av använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall
Ann Margret Ericsson
Kemakta november 1977
- 43 Transport av radioaktiva ämnen med grundvatten från ett bergförvar
Bertil Grundfelt
Kemakta november 1977
- 44 Beständighet hos borsilikatglas
Tibor Lakatos
Clasteknisk Utveckling AB
- 45 Beräkning av temperaturer i ett envånings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3
Roland Blomquist
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för använt bränsle
Taivo Tarandi
VBB
- 47 Teoretiska studier av grundvattenrörelser
Preliminär rapport oktober 1977
Slutrapport februari 1978
Lars Y Nilsson
John Stokes
Roger Thunvik
Inst för kulturteknik KTH
- 48 The mechanical properties of the rocks in Stripa, Kråkemåla, Finnsjön and Blekinge
Graham Swan
Högskolan i Luleå 1977-09-14
- 49 Bergspänningsmätningar i Stripa gruva
Hans Carlsson
Högskolan i Luleå 1977-08-29
- 50 Lagningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik
Göran Blomqvist
AB Atomenergi november 1977
- 51 Seismotectonic risk modelling for nuclear waste disposal in the Swedish bedrock
F Ringdal
H Gjøystdal
E S Hysebye
Royal Norwegian Council for scientific and industrial research
- 52 Calculations of nuclide migration in rock and porous media, penetrated by water
H Häggblom
AB Atomenergi 1977-09-14

- 53 Mätning av diffusionshastighet för silver i lera-sand-blandning
Bert Allard
Heino Kipatsi
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15
- 54 Groundwater movements around a repository
- 54:01 Geological and geotechnical conditions
Håkan Stille
Anthony Burgess
Ulf E Lindblom
Hagconsult AB september 1977
- 54:02 Thermal analyses
Part 1 Conduction heat transfer
Part 2 Advective heat transfer
Joe L Ratigan
Hagconsult AB september 1977
- 54:03 Regional groundwater flow analyses
Part 1 Initial conditions
Part 2 Long term residual conditions
Anthony Burgess
Hagconsult AB oktober 1977
- 54:04 Rock mechanics analyses
Joe L Ratigan
Hagconsult AB september 1977
- 54:05 Repository domain groundwater flow analyses
Part 1 Permeability perturbations
Part 2 Inflow to repository
Part 3 Thermally induced flow
Joe L Ratigan
Anthony S Burgess
Edward L Skiba
Robin Charlwood
- 54:06 Final report
Ulf Lindblom et al
Hagconsult AB oktober 1977
- 55 Sorption av långlivade radionuklider i lera och berg
Del 1 Bestämning av fördelningskoefficienter
Del 2 Litteraturgenomgång
Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers tekniska högskola 1977-10-10
- 56 Radiolys av utfyllnadsmaterial
Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15

- 57 Stråldoser vid haveri under sjötransport av kärnbränsle
Anders Appelgren
Ulla Bergström
Lennart Devell
AB Atomenergi 1978-01-09
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan
Gunnar Walinder
FOA 4 november 1977
- 59 Tectonic lineaments in the Baltic from Gävle to Simrishamn
Tom Flodén
Stockholms Universitet 1977-12-15
- 60 Förarbeten för platsval, berggrundsundersökningar
Sören Scherman

Berggrundvattenförhållande i Finnsjöområdet nordöstra del
Carl-Erik Klockars
Ove Persson
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 61 Permeabilitetsbestämningar
Anders Hult
Gunnar Gidlund
Ulf Thoregren

Geofysisk borrhålsmätning
Kurt-Åke Magnusson
Oscar Duran
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 62 Analyser och åldersbestämningar av grundvatten på stora djup
Gunnar Gidlund
Sveriges Geologiska Undersökning 1978-02-14
- 63 Geologisk och hydrogeologisk grunddokumentation av
Stripa försöksstation
Andrei Olkiewicz
Kenth Hansson
Karl-Erik Almén
Gunnar Gidlund
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1978
- 64 Spänningsmätningar i Skandinavisk berggrund - förutsättningar,
resultat och tolkning
Sten G A Bergman
Stockholm november 1977
- 65 Säkerhetsanalys av inkapslingsprocesser
Göran Carleson
AB Atomenergi 1978-01-27
- 66 Några synpunkter på mekanisk säkerhet hos kapsel för
kärnbränsleavfall
Fred Nilsson
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm februari 1978

- 67 Mätning av galvanisk korrosion mellan titan och bly samt mätning av titans korrosionspotential under 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