

**Beräkning av temperaturer i ett
envånings slutförvar i berg för
förglasat radioaktivt avfall.
Rapport nr 3**

Roland Blomquist

AB Atomenergi 1977-10-19

BERÄKNING AV TEMPERATURER I ETT ENVÅNINGSS
SLUTFÖRVAR I BERG FÖR FÖRGLASAT RADIOAKTIVT
AVFALL RAPPORT 3

Roland Blomquist

AB Atomenergi 1977-10-19

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.

TITLE

KBS OBJECT 21.12

TEMPERATURE CALCULATIONS FOR A ROCK STORAGE IN ONE LEVEL
FOR FINAL DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE

SUMMARY

Introductory calculations of temperatures in rock storages for final disposal of radioactive waste have earlier been performed, see KBS Technical Reports 05 and 15. In those calculations the values of important parameters such as geometrical arrangement, age of waste, thermal conductivities, etc. have been varied in order to show their influence on temperatures.

Gradually the main interest have been directed to a storage in one level covering a horizontal area of 1 x 1 km. A mixture of quartz sand and bentonite has been chosen as filling material around the waste containers.

This paper reports on temperature calculations for a storage of this model.

KBS. Objekt 21.12
Beräkning av temperaturer i ett envånings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall.
Roland Blomquist

TPM-RV-475

1977-10-19

54309

K. Luthman

INLEDNING

Temperaturberäkningar avseende slutförvaring i berg av höggradigt radioaktivt avfall har under året utförts i olika etapper, se ref 1, 2, 3 och 4. Beräkningarna har avsett förvar av varierande geometri och storlek. Olika antaganden har också gjorts beträffande bl a värmeledningsegenskaperna i fyllnadsmaterialet närmast kring behållaren.

Så småningom har huvudintresset inriktats mot ett förvar i en våning med en horisontell utsträckning av 1 x 1 km. Som fyllnadsmaterial kring behållaren har valts kvarts-sand blandad med bentonit. Så länge förvaret är öppet hålls fyllnadsmaterialet med hjälp av speciell utrustning vattengenomdränkt, detta för att underlätta värmeavgivningen. Sedan förvaret stängts förutsätts att fyllnadsmaterialet p g a omgivande grundvatten förblir vattenmättat.

Föreliggande rapport visar resultat av temperaturberäkningar för ett sådant förvar avsett för förglasat avfall.

BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Förglasat avfall

Varje avfallsbehållare förutsätts innehålla 150 l aktivt glas inneslutet i en stålbehållare med längden 1500 mm och diametern 400 mm. Behållaren antas vidare helt omgiven av 10 cm bly och utanpå detta 5 mm titan.

Värmeutvecklingen i glaset har hämtats från AB Atomenergi TPM-RF-77-2246/SM-48. Därvid har följande förutsatts:

Avfallet härrör från PWR-reaktor

Utbränning 33 000 MWd/ton U

Effektuttag 38,5 MW/ton U

Reprocessing 10 år efter uttag ur reaktorn

Deponering 40 år efter uttag ur reaktorn

Värmeutvecklingen vid deponering blir 525 W/behållare.

Glasetts värmeledningsförmåga har antagits vara 1.2 W/m⁰C.

Förvarets layout

Förvarets layout har antagits enligt följande:

Horisontell utsträckning	1000 x 1000	m
Antal våningar	1	st
Antal parallella horisontella tunnlar	41	st
Avstånd mellan tunnlar	25	m
Avstånd mellan vertikala hål	4	m
Antal behållare per hål	1	st
Håldiameter	1	m
Totalt antal behållare	10 250	st

Värmeledningsförmåga för fyllnadsmaterial

Fyllnadsmaterialet i spalten kring behållarna antas bestå av en vattenmättad blandning av 85 % kvartssand och 15 % bentonit. Enligt ref 5 kan värmeledningsförmågan för ett sådant material beräknas enligt

$$\lambda = \lambda_v^n \cdot (2^{1-q} \cdot 7.7^q)^{1-n}$$

där

n = poriositet	= 0.41
q = volymandel kvarts i fast fas	= 0.85
λ = blandningens värmeledningsförmåga	
λ_v = vattnets värmeledningsförmåga	= 0.64 W/m ⁰ C

Genom insättning i ovan angivna formel kan blandningens värmeledningsförmåga beräknas till 2.5 W/m⁰C.

Fysikaliska data för stål, bly, titan och granit

Stål, värmeledningsförmåga	17 W/m ⁰ C
Bly, "	35 "-
Titan, "	15 "-
Granit, värmeledningsförmåga	3.0 "-
Granit, specifikt värme	2.3 MJ/m ³ 0C

Ostörda bergets temperatur

Ostörda bergets temperatur vid förvarets nivå har antagits 20°C.

Beräkningsmetodik

Beräkningarna har skett med hjälp av ett datorprogram för behandling av transient värmeledning i tre dimensioner i en kropp med oändlig utsträckning. Det teoretiska underlaget för detta program finns redovisat i bilaga till ref 1. Temperaturfördelningen i den enskilda avfallsbehållaren och i kvarts/bentonitskiktet närmast omkring behållaren har beräknats för den förenklade förutsättningen att värmeflödets riktning är rent radiell.

För att förenkla beräkningen har hela deponeringen antagits ske vid samma tidpunkt.

Hänsyn har ej tagits till den temperatursänkande effekt som kan fås genom att under viss tid efter deponeringen upprätthålla forcerad ventilation av tunnelutrymmena.

RESULTAT

Fig 1 visar det beräknade temperaturförloppet vid titanytan för förvarets varmaste behållare, dvs en behållare i förvarets centrala del.

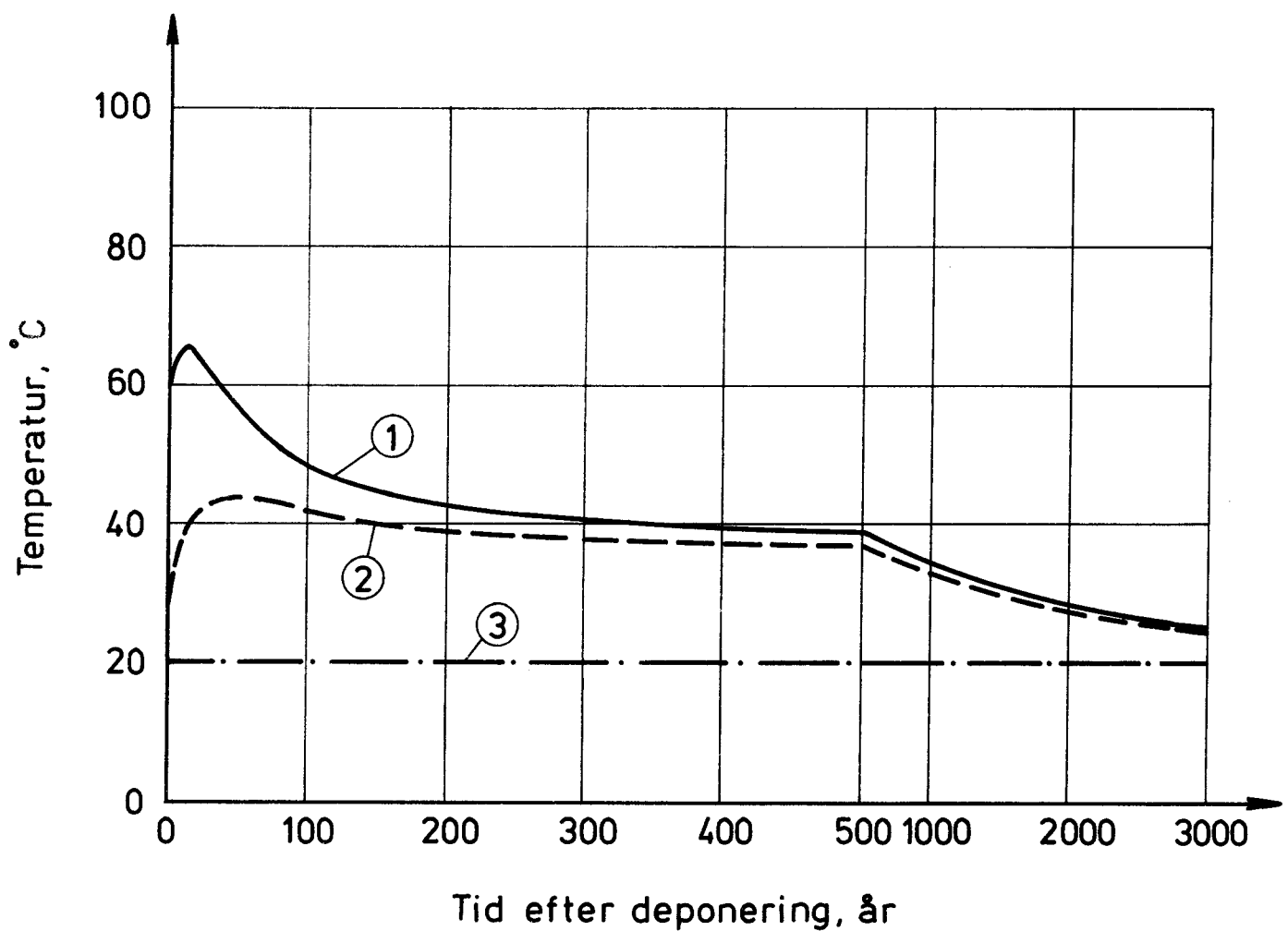
Beräkningar har också gjorts beträffande temperaturförloppet i förvaret i dess helhet. Dessa sk makroskopiska beräkningar bygger på förutsättningen att den utvecklade värmeeffekten är jämnt fördelad i en bergvolym med längd 1000 m, bredd 1000 m och höjd 1.7 m. Den streckade linjen i fig 1 visar det beräknade makroskopiska temperaturförloppet i förvarets centrum. Fig 2 visar beräknade temperaturstörningar i berget längs en horisontell och en vertikal axel genom förvarets centrum för tidpunkterna 50, 600, 1500 och 3000 år efter deponering. Fig 3 och 4 visar med hjälp av uppritade isotermer hur temperaturstörningen utbreder sig i det omgivande berget.

Fig 5 visar den beräknade radiella temperaturfördelningen i och närmast kring förvarets varmaste behållare vid tidpunkterna 12, 50 och 200 år efter deponeringen. Som framgår av fig 1 uppnås max titantemperatur efter ca 12 år.

REFERENSER

1. ROLAND BLOMQUIST
KBS. Objekt 19.02. Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall.
AB Atomenergi, TPM-RV-454, 1977-03-17
2. ROLAND BLOMQUIST
KBS. Objekt 19.02. Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall. Rapport nr 2.
AB Atomenergi, TPM-RV-465, 1977-05-17
3. ROLAND BLOMQUIST, TAIVO TARANDI
Temperaturberäkningar avseende slutförvaring i berg av radioaktivt avfall.
AB Atomenergi, TPM-RV-469.
AB Vattenbyggnadsbyrån, VBB reg.nr 58115, 1977-08-04
4. ROLAND BLOMQUIST
KBS. Objekt 19.02. Beräkning av temperaturer i ett envånings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall.
AB Atomenergi, TPM-RV-473, 1977-09-09
5. SVEN KNUTSSON
Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt.
Avd. för Geoteknik, Högskolan i Luleå, 1977-09-20

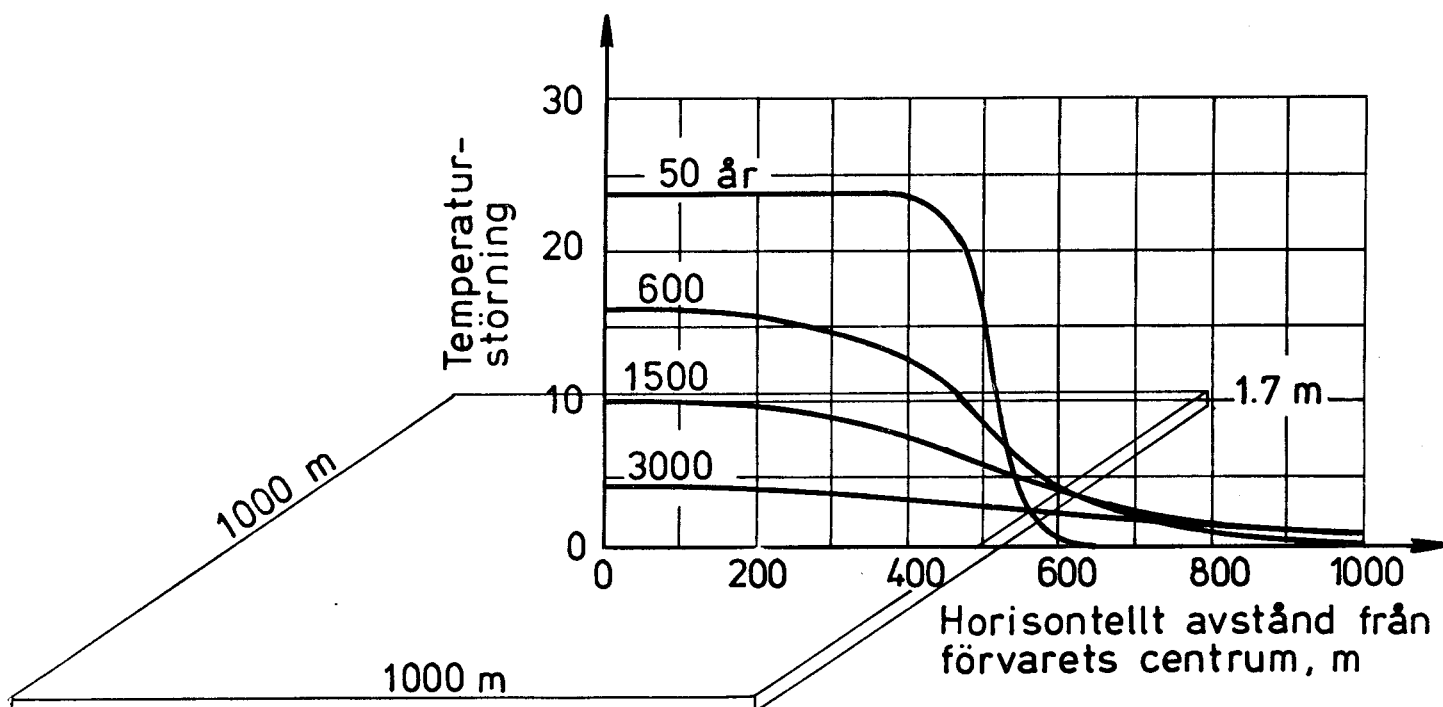
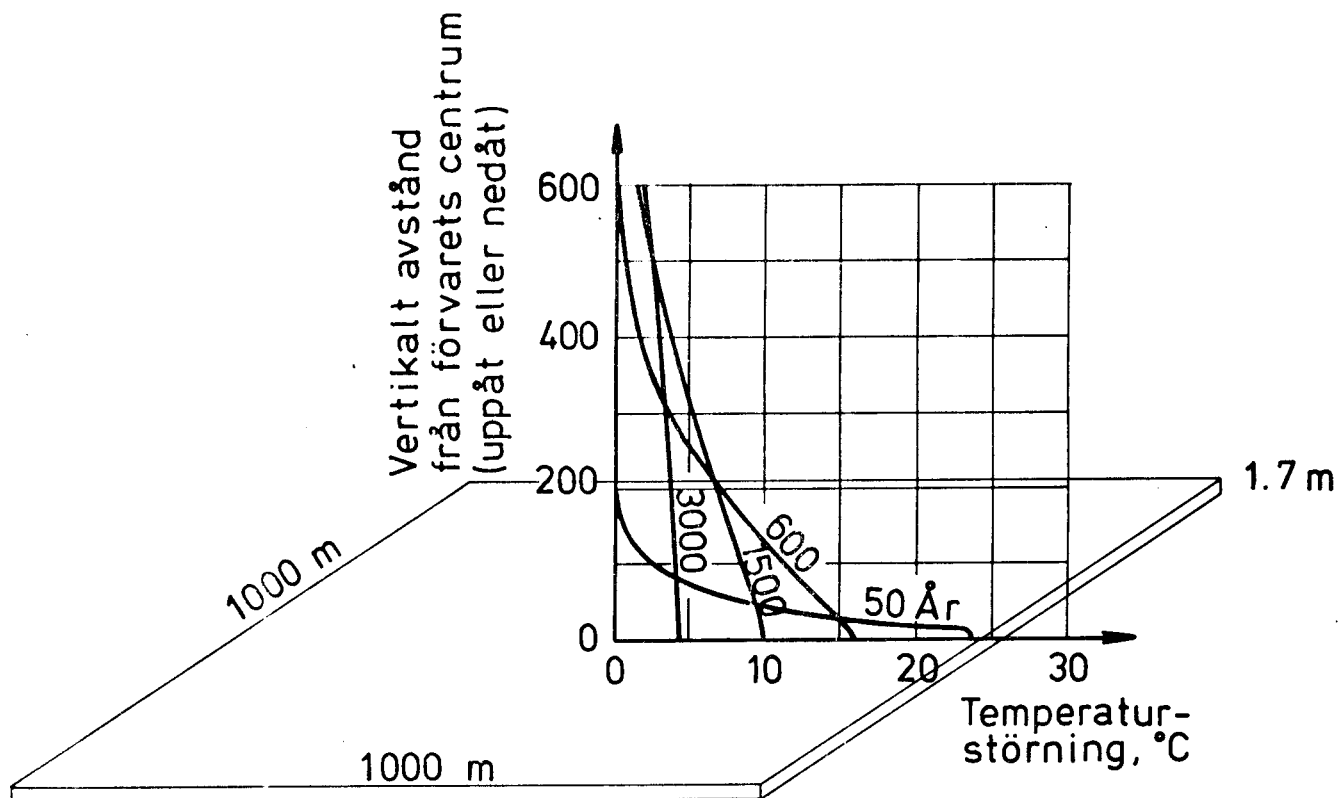
- ① Temperaturförlopp vid titanytan för förvarets varmaste behållare, d.v.s. behållare i centrum av förvaret.
- ② Makroskopiskt temperaturförlopp i förvarets centrum.
- ③ Ostörda bergets temperatur.



Förvar i en våning för förglasat avfall.
Makroskopisk temperaturstörning 50, 600,
1500 och 3000 år efter deponering.

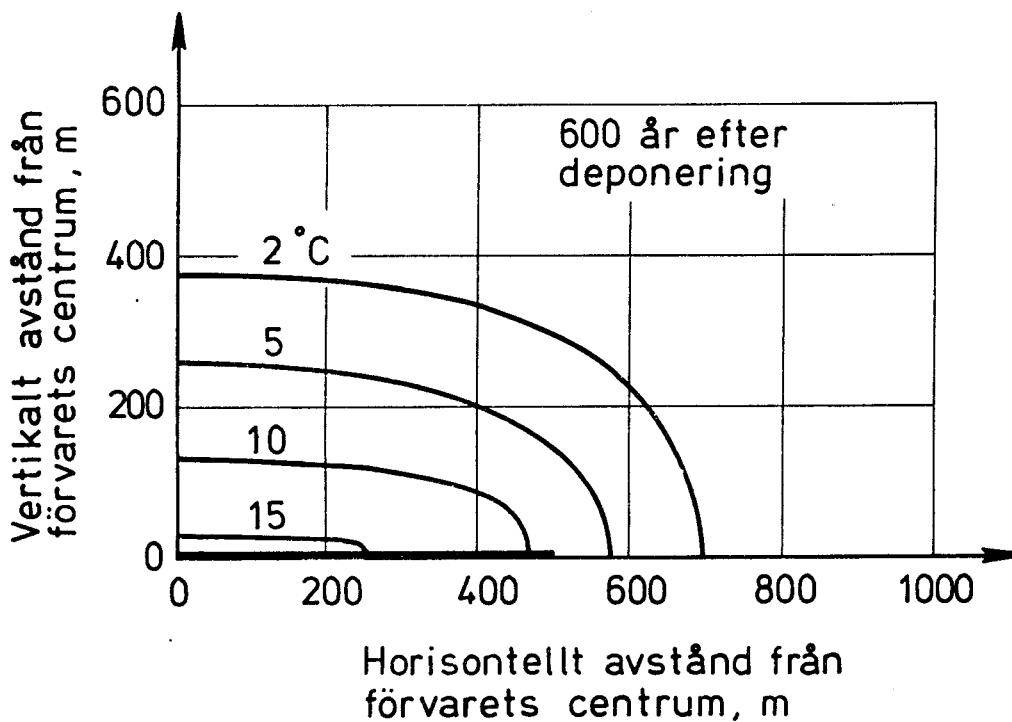
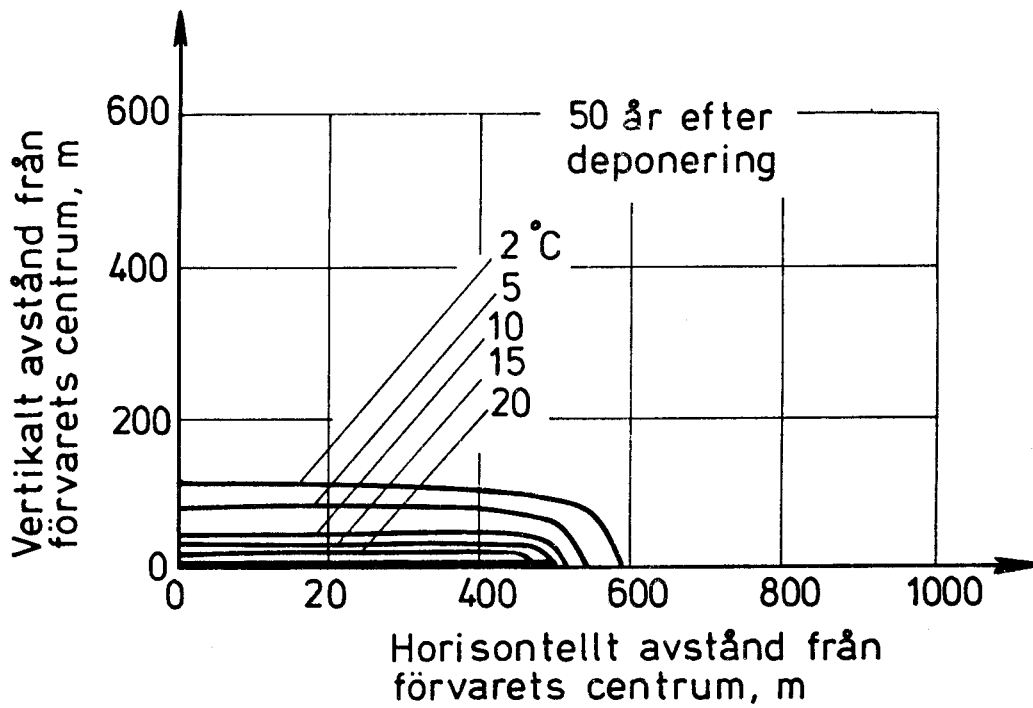
TPM-RV-475

Fig. 2



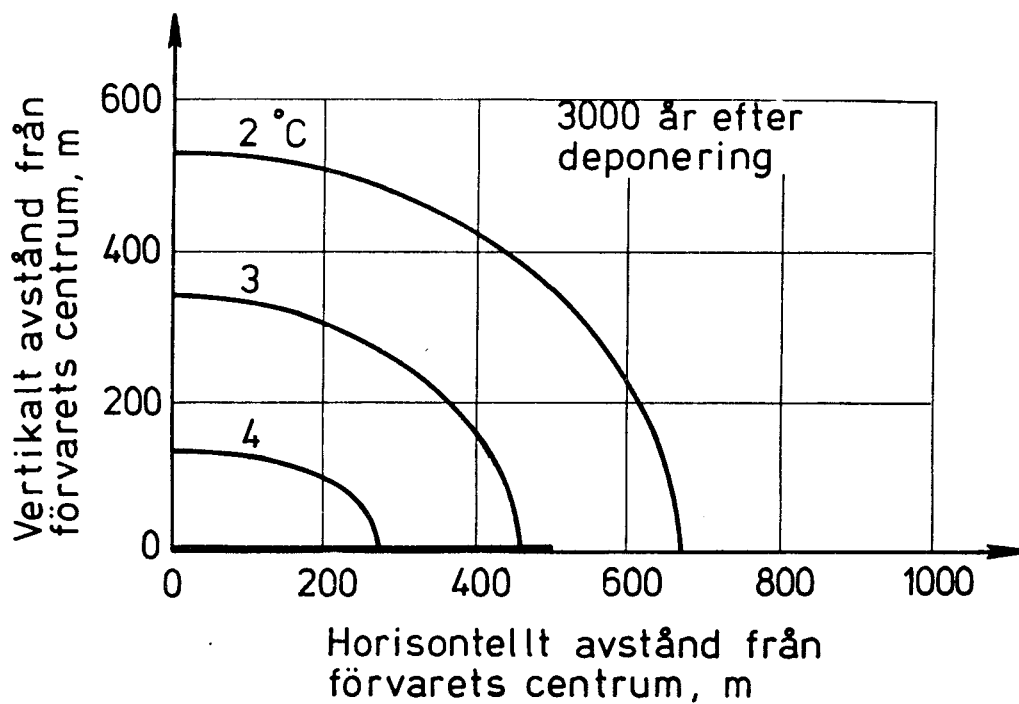
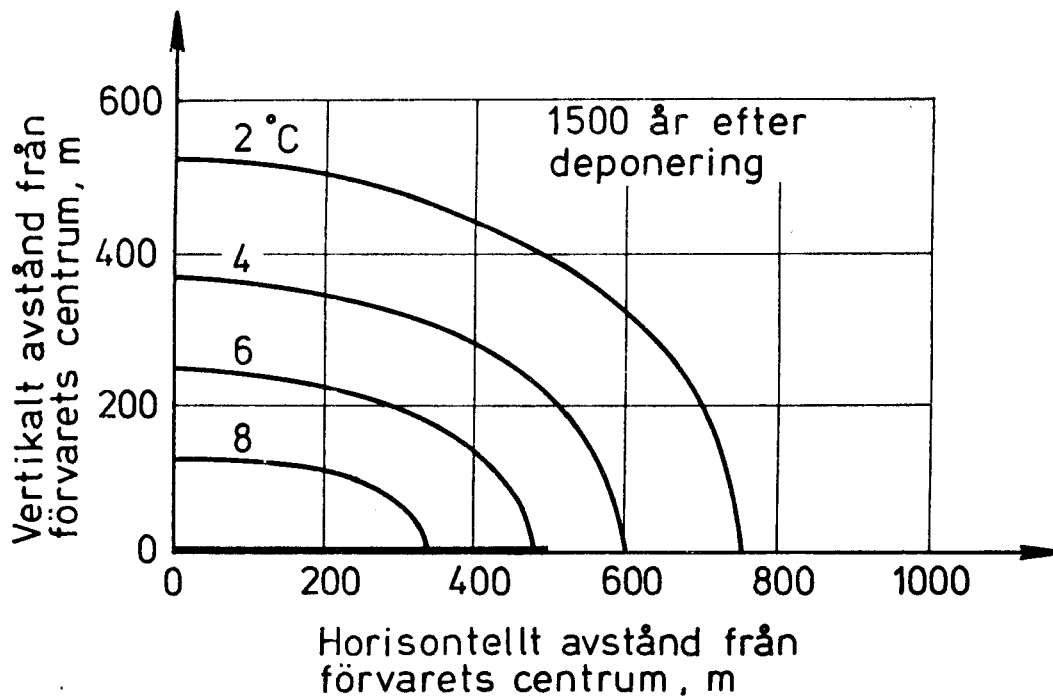
Förvar i en våning för förglasat avfall.
Makroskopisk temperaturstörning 50
och 600 år efter deponering.

TPM-RV-475
Fig.3



Förvar i en våning för förglasat avfall.
Makroskopisk temperaturstörning 1500
och 3000 år efter deponering.

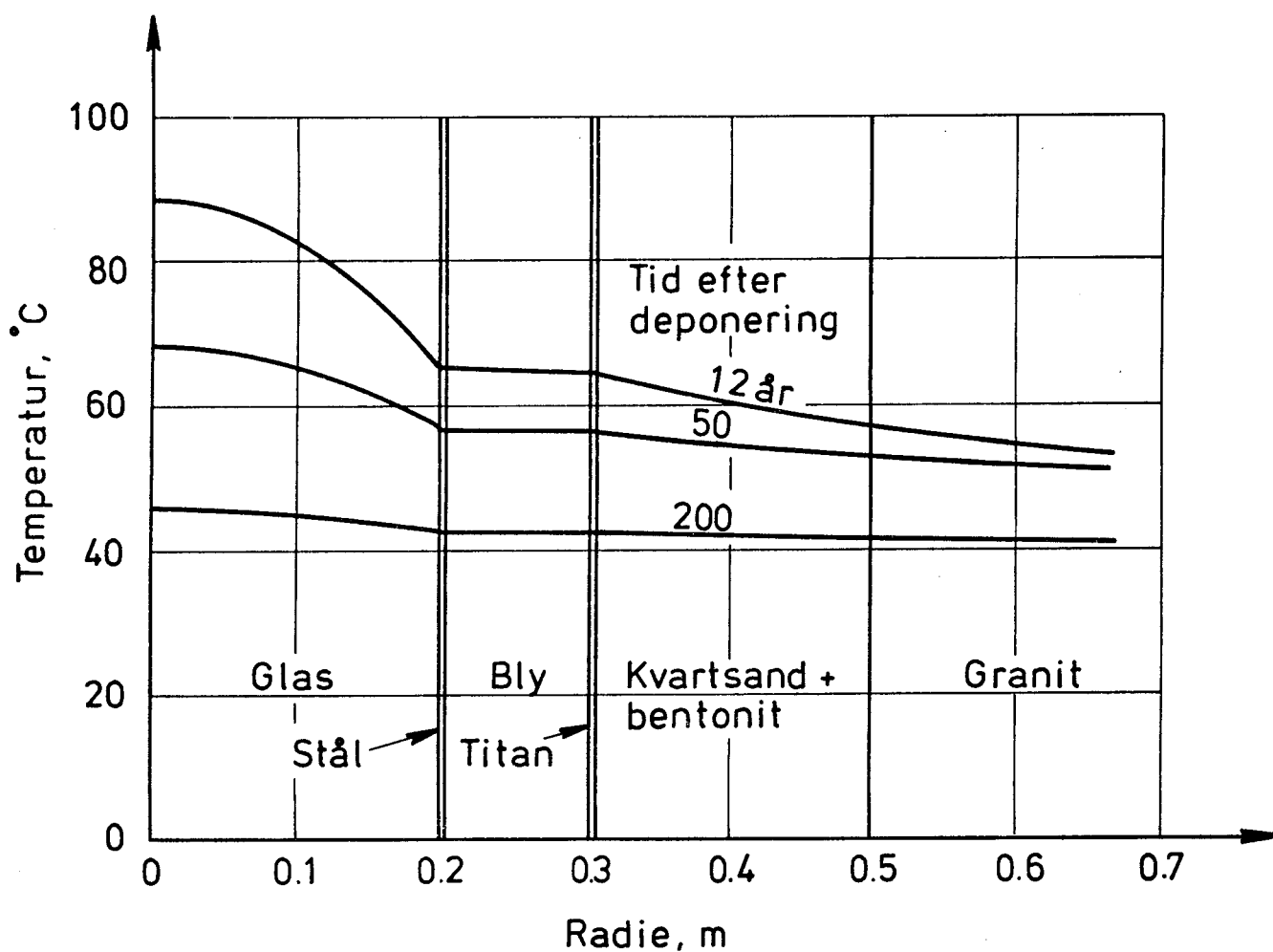
TPM-RV-475
Fig. 4



Förvar i en våning för förglasat avfall.
Radiell temperaturfördelning i och kring
förvarets varmaste behållare.

TPM - RV-475

Fig. 5



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 I, 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
Glasteknisk Utveckling AB
- 45 Beräkning av temperaturer i ett envånings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3
Roland Blomquist
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för använt bränsle
Taivo 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 Lagningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik
Göran Blomqvist
AB Atomenergi november 1977
- 51 Seismotectonic risk modelling for nuclear waste disposal in the Swedish bedrock
F Ringdal
H Gjöystdal
E S 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