
KBS TEKNISK RAPPORT

50

**Lakningsförsök med högaktivt franskt
glas i Studsvik**

Göran Blomqvist

AB Atomenergi november 1977

LAKNINGSFÖRSÖK MED HÖGAKTIVT FRANSKT
GLAS I STUDSVIK

Göran Blomqvist, AB Atomenergi
1977-11-30

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.

Titel och författare Utlakningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik			Org enh och nr TPM-M-361
Göran Blomqvist			Antal ex/Antal sid Datum 1977-11-30
Ersätter	Kompletterar	Konto nr 5212001	Godkänd av <i>Walter Kuller</i>
Distribueras till			

Text

Leaching experiments with highly radioactive French glasses at Studsvik

Göran Blomqvist

Glasses with incorporated highly active radioactive waste is now leached at Studsvik with solutions approximating subsurface water from crystalline rocks. Results at ambient temperature give leach rates somewhat higher than the values obtained by the French, but the values are still incomplete. For Pu, the values obtained are about $4 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ which is somewhat higher than the French values of approximately $2 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$. The temperature factor seems to be approximately 10 for Sr and Cs and very small for Pu.

The active glasses contain approximately 20 % waste oxides compared to 9 % contracted for waste from Swedish reactors.

1977-11-30

1. Syfte med försöken

Försöken avsåg att undersöka i första hand om variationer i grundvattnets sammansättning kunde påverka de resultat från utlakningsexperiment, som man i Frankrike erhållit med glas av den typ, som avses för inkorporering av högaktivt avfall från lättvattenreaktorer. Man ville också kontrollera om franska uppgifter om temperaturberoendet hos lakningsraten stämde med de erfarenheter, som vi kunnat uppnå. Speciellt är man då intresserad av temperaturer upp till 60°C, som är den högsta temperatur, som glasbehållarnas yta kan uppnå vid förvaring i berg med det koncept, som valts för svenska förhållanden (1). Man är intresserad av ovanstående data såväl för de långlivade fissionsprodukterna som för aktiniderna, som efter ca 1 000 år kraftigt kommer att dominera riskbilden. Mätningar har därför vid sidan av Cs och Sr också utförts på Pu såväl vid rumstemperatur som vid 60°C.

2. Prover för utlakning

För att erhålla så realistiska förhållanden som möjligt har utlakningarna genomförts med aktiva glasprover, som tagits in från Frankrike (Marcoule). Glaset har levererats i form av cylindrar med höjden 140 mm och diametern 85 mm. De har tillverkats genom omsmältning av glascylindrar som tidigare lakats i Frankrike med höjden 100 mm och diameterna 100 mm. Skälet till att en omsmältning var nödvändig var att behållarna med den större diametern ej gick att få in i en bränsleelementflaska, som samtidigt kunde anslutas till den täta cell (Vulcain), som användes vid omsmältning. Av de fem prover, som totalt levererats till Studsvik, utgjordes två av glas med en sammansättning motsvarande glas för lättvattenreaktoravfall, medan en kom från s k Sicralglas och en från en MTR-reaktor. Sammansättningen hos glaset med inkorporerade fissionsprodukter enligt de uppgifter, som lämnats av Marcoule, finns upptagna i Appendix 1. För att erhålla en rimlig strålningsnivå var endast en del av

1977-11-30

materialen i form av aktiva fissionsprodukter, medan resten förekommer i form av simulerade fissionsprodukter. Denna metod används i Frankrike närmast för att man annars skulle få betydande säkerhetsproblem vid tillverkning och hantering av proverna. Det bör redan här påpekas, att de LWR-glas, som vi fått, motsvarar en halt på ca 20 % fissionsprodukter i glaset, medan det glas, som skall förvaras i svenskt urberg, har en halt motsvarande 9 % fissionsprodukter. Förändringen medför dels att den kvantitet fissionsprodukter i laktlösningen eller lösningar i kontakt med avfall i det verkliga fallet kommer att minska med en faktor på något mer än två, dels sannolikt att man kan få fram ett bättre glas, som har lägre relativ utlakningsrat. De data, som hittills har kommit fram vid våra experiment kan ännu inte sägas verifiera den senare av dessa utsagor. Det är emellertid för tidigt att dra några generella slutsatser, då den glassammansättning, som är bäst lämpad för inkorporering av den lägre fissionsprodukthalten ännu ej är utexperimenterad.

Förutom på glas innehållande fissionsprodukter har utlakningsförsök också utförts på ett glas innehållande 3.6 % Pu och ca 20 % simulerade fissionsprodukter i ett LWR-glas. Den angivna Pu-halten är ca 300 gånger större än den som kan förväntas i verkligt avfall från upparbetning av svenskt bränsle. Orsaken till att man valt en mycket hög Pu-halt är att den är önskvärd för att erhålla en tillräckligt hög analyskänslighet. Man har i själva verket gått så högt som möjligt som är förenligt med kravet på att man inte skall få utskiljning av en speciell Pu-rik fas med betydligt högre Pu-halt, som skulle kunna påverka utlakningen. Som framgår av sammansättningen som är angiven i Appendix 1, förekommer också mindre mängder Am i provet.

Som ovan nämnts har vissa preliminära försök också gjorts med ett simulerat glas innehållande motsvarigheten till 9 % fissionsprodukttoxider i glaset. Dessa undersökningar har framför allt företagits för att undersöka i vilken

1977-11-30

mån förändringar i pH och hög temperatur kan påverka utlakningsraterna. Vi avser att senare också komplettera dem med data från utlakning av ett kristalliserat glas med motsvarande sammansättning. Utlakningsförsöken avses kompletteras med bestämningar på inaktivt glas som levereras av fransmännen. Detta kan ha en något avvikande sammansättning mot det som vi nu undersöker.

De ovan nämnda inaktiva glasproverna har en sammansättning, som anges i Appendix 2. De utgöres vardera av tre plattor med de ungefärliga dimensionerna 30 x 30 mm och tjockleken 2 mm. Ytan och vikten hos de olika proverna framgår också av Appendix 2.

3. Lakmedel

Samtliga lakningar av glas har utförts med det lakmedel, som framgår av Appendix 3. Detta lakmedels sammansättning överensstämmer med uppfattningen om grundvattnets sammansättning på större djup framför allt vad avser halten bikarbonatjoner samt vad avser kloridjoner, där man dock med olika antaganden i vissa fall antagit väsentligt högre värden exempelvis motiverat av att man skulle få inflöde av fossilt saltvatten. Höga kloridhalter bör enligt gängse teorier inte ha någon direkt inverkan på lakningsraten för glas. De kan däremot självklart påverka de mekanismer, med vilka de bildade jonerna kommer att lämna glaset och eventuellt lösa upp skyddande skikt på glasets yta, som kan verka retarderande på glasutlakningen. Inverkan av utlakningen av höga halter kloridjoner (dock avsevärt högre än som kan vara aktuellt vid de koncept för slutlig förvaring, som man här avser att efterlikna) har beskrivits i tyska källor för framför allt americium (2).

Det använda vattnet har lägre halter av kalcium och magnesium än vad som antas vara det normala vid de djup och den plats (Forsmark) som är mest aktuell. Beträffande kalcium är denna effekt avsedd. Det bedömdes,

1977-11-30

att man genom att tillåta höga halter kalcium kunde få en avsättning av kalciumkarbonat som ett skyddande skikt på behållarna vid de höga bikarbonathalter, som här är aktuella. Man kunde också få en utfällning av kalciumkarbonat i själva utlagningsvätskan, som skulle utgöra en störning och som skulle kunna ge upphov till medutfällning av strontium, som skulle kunna göra hela försöket oöverskådligt och eventuellt ge upphov till för låga halter Sr. I det verkliga fallet, där man får en förhöjning av bergartstemperaturen under lagringen måste man räkna med att kalciumkarbonat åtminstone delvis kommer att utfällas i det uppvärmda berget och inte nå fram till glaskroppen.

Den faktiska motiveringen till de relativt låga kloridhalterna i jämförelse med de som valts exempelvis för undersökningen av resistensen hos titanet i den metalliska kapslingen är risken för allvarliga korrosionsangrepp i de lakkärl, som används för de aktiva försöken. För att dessa kärl skall kunna motstå inverkan av de högre kloridhalterna vid förhöjd temperatur och längre tider erfordras användande av resistent material som titan i kärnen. Den tid, som stod till buds för att starta dessa försök var otillräcklig för att få fram utrustning av detta material. Då arbetet med aktiva material förutsätter, att försöken går under relativt lång tid och då olika skäl, bl a risken för kontaminering i celler, som tidigare använts för andra radioaktiva ändamål, bedömdes olägenheterna som mindre att för dessa försök använda ett vatten med en kloridhalt, som mera liknar normala grundvatten. Man får då också på köpet att lakmedlet blir kompatibelt med de undersökningar, som i ett tidigare skede utfördes med inaktiva glasprover, som tagits från England.

4. Försökets utförande

4.1 Huvudförsöket

Försöksupställningen vid huvudförsöket framgår av Fig 1.

1977-11-30

Den är med undantag för mindre dimensionsändringar betingad av uppställningsplatsen identisk med den som användes i Marcoule.

Lakningen sker i ett kärl av rostfritt stål med diametern 110 mm och höjden 175 mm. Vid utformningen har man fått ta hänsyn till att man vid omsmältningen fått glaskroppar med ett mera långsmalt utseende än vid de franska försöken. Glaskropparna ligger i separata korgar av rostfritt stål, som var nödvändiga för överföringen av kropparna från transportflaskan till den blycell, i vilken utlakningen sker och som också är bra för den fortsatta hanteringen av glaskropparna. De möjliggör exempelvis att glaskropparna kan lyftas upp ur lakkärl för inspektion. Lakkärlen är försedda med ett hölje som är avsett som värmemantel. Detta medger att lakningsförsök kan utföras också vid förhöjd temperatur.

Huvuddelen av de franska försöken har utförts med s k dynamisk lakning, vilket innebär att glaskropparna växelvis torrlagts och nedsänkts i vatten. Detta förfaringsätt motsvarar naturligtvis inte de förhållanden, som gäller vid slutlig förvaring men har bedömts ge förhållanden, som ej kan ge lägre utlakning än enbart nedsänkning, s k statisk lakning. Anläggningen i Studsvik utrustades för försök med dynamisk lakning närmast för att erhålla försöksbetingelser motsvarande dem, som användes för samma undersökningar i Frankrike. Det kan redan här påpekas, att samtliga de lakningsbetingelser, som använts både av fransmännen och oss motsvarar orealistiskt höga förhållanden mellan lakmedel och glasyta. I jämförelse med förhållandena vid slutlig förvaring liksom att utbytet av lakvätska sker med oerhört mycket kortare intervall. Som framgår av diskussionen längre fram bör detta innebära att de lakdata, som erhålls med denna utrustning är mycket konservativa i jämförelse med de värden, som skulle erhållas under fullt realistiska förhållanden. För att erhålla dynamisk lakning har kärlet

1977-11-30

utrustats med en övre behållare tillräckligt stor för att rymma den totala vätskevolymen (750 ml). Liksom vid motsvarande uppställning i Marcoule användes vakuum för att lyfta upp lakmedlet. Principen framgår av Fig 1. Med hjälp av en vakuumpump evakueras ett ballastkärl V_1 till ett tryck på ca 0.2 bar. Som pump användes här en membranpump för att undvika föroreningen av olja i systemet. Dess prestanda är helt tillräckliga för detta ändamål. Evakueringen av behållarna styrs av en tryckkänslig givare som startar pumpen vid ett tryck på 0.4 bar och stoppar pumpen vid 0.2 bar. I begynnelseläget är magnetventilerna M_1 till M_5 stängda. På en signal från styrutrustningen öppnas de fem ventilerna (eller en del av dem). (Styrutrustningen är så utformad att de olika ventilerna kan styras individuellt.) Därvid stängs backventilen i återspolningsröret, och man får en trycksänkning i de övre behållarna i de lakkärl, som är kopplade till vakuumsystemet. Vattnet kommer därvid att sugas upp i de övre behållarna. M_1 till M_5 hålls öppna under totalt en minut. Denna tid är väl tilltagen för att tillåta att allt vattnet kan sugas upp i den övre behållaren. Den är längre än de 30 sekunder, som fransmännen har avsatt för denna process. Detta är motiverat av att de lokala förhållandena framtvingat en något annorlunda ledningsdragningsritning för att göra det möjligt att en så stor del av apparaten som möjligt skall vara tillgänglig för ingrepp utifrån utan att man skall behöva gå in på område med stark strålning. Under slutet av perioden stiger trycket i allmänhet till över 0.4 bar, och hjälppumpen startar åter. När M_1 till M_5 stängs luftas de övre behållarna vilket medför att backventilen i återspolningsröret åter öppnas, och vattnet spolar ner över glaskropparna. Mätningar visar, att denna process med den av oss använda utrustningen tar approximativt 1 minut. Glaset får sedan vara nedsänkt i vatten under ca 1.2 min. Fransmännen använder 30 sekunders uppumpning, 30 sekunders nedspolning och 30 sekunder med glaset i vila i vattnet. Det svenska förfarandet innebär således en viss för-

1977-11-30

längning av samtliga ingående parametrar. Efter de 2.2 minuterna öppnas ventilerna på nytt, och man får en kontinuerlig upprepning av hela processen. Under perioden med dynamisk lakning upprepas ovan beskrivna process kontinuerligt utom under tömning- och påfyllningsstegen.

Tömning av vattnet i kärlden och påfyllning av nytt lakmedel sker en gång per dygn. Också detta är automatiserat. Magnetventilerna M_1 till M_5 luftas och ventilerna M_6 till M_8 öppnas. Därvid kommer vattnet i de tre första behållarna att rinna ut i i förväg iordningställda provflaskor. Om man också vill byta vatten i de övriga provflaskorna måste detta ske manuellt för att man skall kunna bibehålla frihetsgraden att kunna genomföra längre lakningar i dessa flaskor. När 2 minuter har gått stängs $M_6 - M_8$. Med hjälp av en liten vätskepump överföres tillräckligt mycket vatten från ett förvaringskärl för lakmedel till ett doseringskärl, där den inpumpade vattenmängden regleras noggrant med hjälp av en nivåregulator baserad på ledningsförmåga. Prov visar att avvikelserna i de påfyllda vattenmängderna med denna metod understiger 5 ml på totalt 750 ml. När doseringskärlet är fyllt öppnas motsvarande magnetventil och vattnet får rinna in i behållaren. När en i förväg inställd tid (2 min) har gått, stängs ventilen och lakkärlet fylls på nytt. Processen upprepas till samtliga tre behållare, som är konstruerade för automatisk fyllning, har bytts. När så är fallet kopplas den dynamiska lakningen åter in, och proverna lakas ytterligare ett dygn.

Den ovan beskrivna påfyllningsmekanismen användes också vid statisk lakning, dvs lakning utan uppumpning och nedspolning av vatten. Denna lakningsmetod användes framför allt vid högre lakmedelstemperaturer, då riskerna för betydande lakmedelsförluster genom avdunstning annars kan bli stora. Då lakningen är ganska starkt temperaturberoende och då man bör undvika allt för stora temperaturvariationer hos glaskropparna av det skälet,

1977-11-30

att temperaturskillnader kan ge upphov till spänningar och ev sprickbildningar i dessa med risk för åtföljande okontrollerad ytförstoring förvärms vattnet i behållaren i detta fall till en temperatur, som ligger något över den temperatur, som skall användas vid själva lakningen. En viss avkylning kommer alltid att förekomma i doseringskärlet och i ledningarna. Vid försöken med lakning vid förhöjd temperatur värms lakkärnen med vatten från ett termostaterat system, som passerar genom de tidigare nämnda värmemantlarna. Detta system styrs av termoelement nedsatta i lakvattnet. Det är också här möjligt att köra vissa lakningar vid rumstemperatur genom att stänga av värmemantlarna för dessa försök. Temperaturkonstansen är god ($\pm 1^{\circ}\text{C}$ mätt med termoelementen). Statisk lakning vid omgivningstemperatur genomfördes under perioden fram till 1977-08-15, då statisk lakning påbörjades. Övergången till 60°C skedde 1977-09-05. Även vid den statiska lakningen har lakmedlet bytts en gång per dygn.

4.2 Försök med inaktivt glas

Försök med inaktivt glas har utförts i kärl av teflon, där lakmedlet med hjälp av värmemantlar uppvärmts till 70°C . Lakmedlet har även i detta fall bytts en gång per dygn. För att undvika att glasbitarna utsatts för alltför stora temperaturväxlingar har man använt förvärt vatten. Tömningen har skett med utnyttjande av förhöjt gastryck. För att undvika vätskeförluster vid försöken, har lakkärnen varit försedda med en kylare av teflon.

4.3 pH i lösningar i kontakt med glas

I ett tidigare försök genomfördes utlakning av ett glaspulver med inkorporerade simulerade fissionsprodukter. I detta var förhållandet mellan lakningsmedlets volym och den exponerade glasytan mera realistiskt än vid senare experiment. Detta medför, att lakmedlets sammansättning efter lång tid bör kunna approximeras genom undersökning av lösningen. Speciellt är pH-värdet av intresse för bedömningen av lämpligt lakmedel för dessa experiment. Ca 9 månader efter starten av lakningen var pH ca 8. Detta ger stöd åt antagandet att

1977-11-30

man ej behöver riskera höga pH-värden i kontakt med dessa glas. Lakmedlet buffras till ett pH mellan 8 och 9. Studier av buffertverkan från bentoniten ger samma indikationer (ca pH 9).

5. Analyser

5.1 Analyser av aktiva lösningar

Som redan nämnts utgöres fissionsprodukterna, som finns inkorporerade i de aktiva glasen, väsentligen cesium-137 och strontium-90. Det finns dessutom mindre mängder rutenium-106 och cerium-144 samt cesium-134. Mätningar av dessa senare isotoper har endast utförts sporadiskt. Intresset för dem är begränsat, då halveringstiderna generellt är så korta, att man inte kommer att ha detekterbara mängder aktivitet kvar vid tidpunkten för slutlig förvaring.

Den volym vatten, som tas ut från varje lakförsök, är ca 750 ml/dygn. För att undvika, att man får svårigheter med utfällning i lösningarna efter provtagningen försätts de omedelbart med så mycket saltsyra, att proverna från fissionsproduktglasen blir ca 0.1 M och proverna från Pu-glasen blir ungefär 1 M. Av dessa lösningar tas 10 - 50 ml ut för analys. Dessa lösningar försättes med bärare.

Analyserna av Cs-137 sker genom direkt gammamätning på energin 0.667 MeV och jämförelse med Cs-137 källor med känd styrka. Mätningarna på samtliga de extra isotoper som nämnts ovan sker på samma sätt.

Analyserna på ingående Sr-90 sker genom betamätning efter minst 10 dagar för att man skall kunna vara säker på att jämvikten med yttrium-90 verkligen har uppnåtts. Isotopen Y-90 har en halveringstid på 64 timmar. Pu-analyserna sker med hjälp av mätning av total alfa på elektrodeponerade prover.

1977-11-30

5.2 Analyser på inaktiva lösningar

Vid lakningsförsöken på inaktiv glas med 9 % simulerade fissionsprodukter sker analyserna med avseende på Sr och Cs. För Sr föreligger en relativt omfattande serie analyser utförda med flamlös atomabsorption. För Cs är den tillgängliga utrustningen för atomabsorption inte tillräckligt känslig för detta ändamål. Vissa analyser med neutronaktiveringsanalys har genomförts. Därvid överföres Cs-133 till Cs-134, som har en halveringstid på 2.34 år. Dessa analyser tar en förhållandevis lång tid på grund av att lösningen innehåller ett stort antal utlakade ämnen, däribland uran som vid bestrålning ger upphov till fissionsprodukter. Slutsatserna från denna rapport baseras i allt väsentligt på Sr-analyserna.

6. Beräkningar

Man använder generellt utlakningsraten som ett mått på lakningsresistensen hos glas. Den definieras enligt formeln

$$l = \frac{a \times P}{A \times S} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$$

där a betecknar den utlakade mängden per dygn av ett ämne eller hela glaset och A den totala mängden av ämnet i fråga i den utlakade glaskroppen. a och A måste uttryckas i samma enhet, exempelvis båda i viktsenheter (g) eller i enheter för aktivitetsmängd (Ci). P är glaskroppens totalvikt i g och S den yta i cm^2 , som den exponerar mot lakmedlet.

7. Resultat

Resultat av intresse föreligger för närvarande endast från det så kallade LWR-glas, dvs glas med 20 % fissionsprodukter från upparbetning av lättvattenreaktorbränsle, samt från glas innehållande plutonium. Det finns också tillgång till

1977-11-30

analysdata från lakningen av inaktivt glas med 9 % simulerade fissionsprodukter, i detta fall huvudsakligen från strontium.

Analysvärdena för Cs-137 och Sr-90 framgår av Tabell 2 - 5. Det är uppenbart, att utlakningsvärdena för glas med beteckningen A64 har väsentligt lägre utlakningsvärde än glas med beteckningen A63. De uppgifter, som har angivits från Marcoule, som ju tidigare har lakat exakt dessa glas före omsmältningen, gav inte anledning att vänta några signifikanta skillnader mellan de två glasen. Det är i dagens läge inte möjligt att ge en entydig förklaring till att ett av glasen uppträder anomalt. Närmast med utgångspunkt från en jämförelse med franska data verkar det mest troligt att glaset med den lägre utlakningsraten dvs A64 skulle betraktas som typiskt. Inspektion av de två glasen antyder någon form av fasutskiljning på glas A63, men denna har inte undersökts noggrannare och kan inte i sig anses utgöra ett bevis för att detta glas skulle ge atypiska data. Det hittills föreliggande svenska undersökningsmaterialet ger efter 45 dygn lagningsrater på 6×10^{-7} och $1.5 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$ för resp ^{137}Cs och ^{90}Sr hos det glas, som bedöms som normalt (A64). Motsvarande siffror för glaset med högre utlakningsrat (A63) är $2 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$ för ^{137}Cs och $3 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$ för ^{90}Sr . Dessa värden är högre än de, som angivits av fransmännen efter 83 dygns lakning (ca $2 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$ i samtliga fall). Det bedöms som sannolikt, att ^{137}Cs -utlakningen hos A64 skulle ha gått ner till värden jämförbara med de franska efter 83 dygn, medan övriga värden fortfarande skulle vara signifikant högre.

De hittills föreliggande analysvärdena för Pu-haltigt glas anger värden på storleksordningen $(3 - 5) \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$, (Tabell 1). Dessa resultat ligger ganska nära dem

1977-11-30

som fransmännen själva har givit. En relativt stor spridning av plutoniumvärdena är karakteristisk för de resultat, som nås idag och en följd av att lakningsmekanismen sannolikt är komplicerad och att också olika typer av utfällningsmekanismer såväl på glasytan som på kärnväggarna kommer att påverka resultaten.

De hittills föreliggande resultaten från lakning vid högre temperatur är knapphändiga och kommer att kompletteras med försöksrapporter, som avges senare. De första resultaten visar, att den i riskanalysen använda faktorn på ca 10 verkar vara giltig för Cs och Sr. För Pu är de preliminära resultaten väsentligt gynnsammare och antyder, att vi inte har någon större ökning vid temperaturhöjningar. Dessa resultat är likvärdiga med de sista resultat, som vi erhållit från Marcoule och som där tolkas som orsakade av att man fått ett skyddande lager på glaset. Vi bedömer dock att dessa resultat måste tas med en betydande reservation och att fortsatta studier av aktinidglasens uppträdande är nödvändig för att nå en bättre förståelse som i sin tur kan ge bättre prognoser för deras uppträdande under långa tider.

8. Parametrar till riskanalysen

Med utgångspunkt från att det material, som föreligger från utlakning av aktiva glas i Sverige är mycket litet bedöms det rimligt att för en uppskattning av den sannolika lakningsraten också ta hänsyn till det mycket större material, som föreligger från franska lakningsförsök. Detta gäller desto mera som den omgjutning och den extra hantering, som de i Sverige lakade glasen utsatts för, uppenbart medfört betydande skillnader mellan de båda undersökta glasen när det gäller lakningsegenskaper och utseende. Vi bedömer därför att en lakningsrat på $2 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$ är sannolik sedan tillräckligt lång tid förflutit efter det att lakningen inletts. Detta gäller för Sr och Cs vid relativt stor vattenomsättning. Vid de utomordentligt låga vattenflöden, som förutses i de utrymmen, där avfallet skall slutligt förvaras, är det på grund av kiseldioxidens låga löslighet sanno-

1977-11-30

likt att lakningsraten kommer att stabiliseras på ett betydligt lägre värde. Plutoniumförsök antyder att lakningsraten också här kan sättas lika med $2 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$ vid rumstemperatur. Vid högre temperatur (60°C) ökar utlakningen med en faktor 10 - 15 för Cs/Sr. För Pu är ökningen mindre.

9. Referenser

1. Project for the handling and storage of vitrified high level waste. Saint-Gobain. Techniques Nouvelles 1055/77 KBS, Oct 19, 1977.
2. SCHEFFLER K, RIEGE U
Investigations of long-term radiation stability of borosilicate glasses against alpha-emitters. KFK-2422 (1977).

Allmän referens:

IMBERT I C, PACAUD F
Contribution à l'étude de la diffusion en relation avec la lixiviation des verres.
CEA-R-4550 (1974).

1977-11-30

Tabell 1. Utlakning av Pu från glasblock

Datum	Temp °C	Utlakningsrat g cm ⁻² dygn ⁻¹	
770718	ca 25	1.69 x 10 ⁻⁷	dynamisk lakning
770720	"	1.81 x 10 ⁻⁷	
771021	"	1.37 x 10 ⁻⁷	
771022	"	3.2 x 10 ⁻⁷	
770723	"	2.0 x 10 ⁻⁷	
770724	"	2.7 x 10 ⁻⁷	
770725	"	2.7 x 10 ⁻⁷	
770726	"	3.0 x 10 ⁻⁷	
770727	"	3.7 x 10 ⁻⁷	
770728	"	3.4 x 10 ⁻⁷	
770729	"	4.4 x 10 ⁻⁷	
770730	"	4.1 x 10 ⁻⁷	
770731	"	4.1 x 10 ⁻⁷	
770802	"	6.1 x 10 ⁻⁷	
770804	"	4.6 x 10 ⁻⁷	
770806	"	5.5 x 10 ⁻⁷	
770808	"	6.4 x 10 ⁻⁷	
770810	"	4.9 x 10 ⁻⁷	
770812	"	6.0 x 10 ⁻⁷	
770814	"	4.1 x 10 ⁻⁷	
770816	"	5.3 x 10 ⁻⁷	statisk lakning
770817	"	6.6 x 10 ⁻⁷	
770818	"	3.7 x 10 ⁻⁷	
770819	"	5.7 x 10 ⁻⁷	
770820	"	5.5 x 10 ⁻⁷	
770822		4.8 x 10 ⁻⁷	
770824		6.0 x 10 ⁻⁷	
770826		5.0 x 10 ⁻⁷	
770828		4.8 x 10 ⁻⁷	
770830		5.3 x 10 ⁻⁷	
770901		5.1 x 10 ⁻⁷	
770905		5.5 x 10 ⁻⁷	
770906	60	6.0 x 10 ⁻⁷	statisk lakning

1977-11-30

Tabell 1. Forts.

Datum	Temp °C	Utlakningsrat g cm ⁻² dygn ⁻¹
770907		4.1 x 10 ⁻⁷
770909		2.3 x 10 ⁻⁷
770912		2.4 x 10 ⁻⁷
770914		2.9 x 10 ⁻⁷
770916		5.0 x 10 ⁻⁷
770919		4.2 x 10 ⁻⁷
770921		5.0 x 10 ⁻⁷
770923		3.7 x 10 ⁻⁷
770926		4.7 x 10 ⁻⁷
770928		4.7 x 10 ⁻⁷
770930		4.5 x 10 ⁻⁷
771003		4.7 x 10 ⁻⁷
771005		5.8 x 10 ⁻⁷
771007		5.8 x 10 ⁻⁷
771010		6.6 x 10 ⁻⁷
771012		4.7 x 10 ⁻⁷
771014		5.3 x 10 ⁻⁷
771017		7.4 x 10 ⁻⁷
771019		7.6 x 10 ⁻⁷
771021		6.3 x 10 ⁻⁷
771024		7.6 x 10 ⁻⁷
771026		6.6 x 10 ⁻⁷
771028		5.8 x 10 ⁻⁷
771031		4.7 x 10 ⁻⁷
771102		7.4 x 10 ⁻⁷
771103		8.0 x 10 ⁻⁷
771107		5.8 x 10 ⁻⁷
771109		1.00 x 10 ⁻⁶
771111		2.9 x 10 ⁻⁷
771114		5.5 x 10 ⁻⁷

1977-11-30

Tabell 2. Utlakning av Cs-137 från glasblock A64.

Datum	Temp °C	Utlakningsrat g cm ⁻² dygn ⁻¹	
770718	25	1.71 x 10 ⁻⁶	dynamisk lakning
770720		1.43 x 10 ⁻⁶	
770721		1.08 x 10 ⁻⁶	
770722		1.07 x 10 ⁻⁶	
770723		1.06 x 10 ⁻⁶	
770724		1.10 x 10 ⁻⁶	
770725		1.06 x 10 ⁻⁶	
770726		9.2 x 10 ⁻⁷	
770727		8.7 x 10 ⁻⁷	
770728		8.7 x 10 ⁻⁷	
770729		8.6 x 10 ⁻⁷	
770730		8.8 x 10 ⁻⁷	
770731		7.8 x 10 ⁻⁷	
770802		8.6 x 10 ⁻⁷	
770804		1.18 x 10 ⁻⁶	
770806		7.6 x 10 ⁻⁷	
770808		7.4 x 10 ⁻⁷	
770810		7.3 x 10 ⁻⁷	
770812		6.9 x 10 ⁻⁷	
770814		6.2 x 10 ⁻⁷	
770816		6.4 x 10 ⁻⁷	statisk lakning
770817		6.5 x 10 ⁻⁷	
770818		7.2 x 10 ⁻⁷	
770819		7.8 x 10 ⁻⁷	
770820		6.5 x 10 ⁻⁷	
770822		5.9 x 10 ⁻⁷	
770824		7.1 x 10 ⁻⁷	
770826		7.3 x 10 ⁻⁷	
770828		5.4 x 10 ⁻⁷	
770830		6.0 x 10 ⁻⁷	
770909	60	9.6 x 10 ⁻⁶	statisk lakning
770912		8.9 x 10 ⁻⁶	
770914		9.1 x 10 ⁻⁶	
770919		9.8 x 10 ⁻⁶	

1977-11-30

Tabell 2. Forts.

Datum	Temp °C	Utlakningsrat $\text{g cm}^{-2} \text{dygn}^{-1}$	
770921	60	9.7×10^{-6}	statisk lakning
770923		9.5×10^{-6}	
770926		9.5×10^{-6}	
770928		9.4×10^{-6}	
770930		1.01×10^{-5}	
771003		1.01×10^{-5}	
771005		1.04×10^{-5}	
771007		1.00×10^{-5}	
771010		1.06×10^{-5}	
771012		1.03×10^{-5}	
771014		1.01×10^{-5}	
771017		1.08×10^{-5}	
771019		1.07×10^{-5}	
771020		1.06×10^{-5}	
771024		1.19×10^{-5}	
771026		1.09×10^{-5}	
771028		1.07×10^{-5}	
771031		1.13×10^{-5}	
771102		1.18×10^{-5}	
771103		1.19×10^{-5}	
771107		1.22×10^{-5}	
771109		1.11×10^{-5}	
771111		1.11×10^{-5}	
771114		1.12×10^{-5}	

1977-11-30

Tabell 3. Utlakning av Cs-137 från glas A63.

Datum	Temp °C	Utlakningsrat g cm ⁻² dygn ⁻¹	
770718	25	8.9 x 10 ⁻⁶	dynamisk lakning
770720		7.6 x 10 ⁻⁶	
770721		7.1 x 10 ⁻⁶	
770722		6.4 x 10 ⁻⁶	
770723		5.9 x 10 ⁻⁶	
770724		6.4 x 10 ⁻⁶	
770725		1.2 x 10 ⁻⁵	
770726		6.0 x 10 ⁻⁶	
770727		5.4 x 10 ⁻⁶	
770728		5.8 x 10 ⁻⁶	
770729		5.8 x 10 ⁻⁶	
770730		5.2 x 10 ⁻⁶	
770731		4.8 x 10 ⁻⁶	
770802		4.4 x 10 ⁻⁶	
770804		5.2 x 10 ⁻⁶	
770806		3.1 x 10 ⁻⁶	
770808		2.7 x 10 ⁻⁶	
770810		2.8 x 10 ⁻⁶	
770812		2.5 x 10 ⁻⁶	
770814		2.8 x 10 ⁻⁶	
770816	2.3 x 10 ⁻⁶	statisk lakning	
770817	2.3 x 10 ⁻⁶		
770818	2.7 x 10 ⁻⁶		
770819	3.1 x 10 ⁻⁶		
770820	2.6 x 10 ⁻⁶		
770822	2.3 x 10 ⁻⁶		
770826	2.7 x 10 ⁻⁶		
770828	2.3 x 10 ⁻⁶		
770830	2.2 x 10 ⁻⁶		
770901	2.3 x 10 ⁻⁶		
770905	60	1.3 x 10 ⁻⁶	statisk lakning
770906		5.3 x 10 ⁻⁶	
770907		8.0 x 10 ⁻⁶	
770909		2.2 x 10 ⁻⁵	

1977-11-30

Tabell 3. Forts.

Datum	Temp °C	Utlakningsrat g cm ⁻² dygn ⁻¹
770912		1.48 x 10 ⁻⁵
770914		1.34 x 10 ⁻⁵
770916		1.21 x 10 ⁻⁵
770919		1.19 x 10 ⁻⁵
770921		1.05 x 10 ⁻⁵
770923		1.06 x 10 ⁻⁵
770926		1.02 x 10 ⁻⁵
770928		1.06 x 10 ⁻⁵
770930		1.14 x 10 ⁻⁵
771003		9.1 x 10 ⁻⁶
771005		8.6 x 10 ⁻⁶
771007		8.2 x 10 ⁻⁶
771010		9.9 x 10 ⁻⁶
771012		4.9 x 10 ⁻⁶
771014		1.06 x 10 ⁻⁵
771017	60	8.6 x 10 ⁻⁶
771019		8.4 x 10 ⁻⁶
771021		6.1 x 10 ⁻⁶
771024		8.0 x 10 ⁻⁶
771026		7.8 x 10 ⁻⁶
771028		5.3 x 10 ⁻⁶
771031		7.6 x 10 ⁻⁶
771102		7.7 x 10 ⁻⁶
771103		7.6 x 10 ⁻⁶
771107		7.7 x 10 ⁻⁶
771109		7.5 x 10 ⁻⁶
771111		7.5 x 10 ⁻⁶
771114		9.0 x 10 ⁻⁶

1977-11-30

Tabell 4. Utlakning av Sr-90 från glasblock A64.

Datum	Temp °C	Utlakningsrat $\text{g cm}^{-2} \text{dygn}^{-1}$	
770718	25	2.8×10^{-6}	dynamisk lakning
770720		2.8×10^{-6}	
770721		2.0×10^{-6}	
770722		2.0×10^{-6}	
770723		1.87×10^{-6}	
770724		2.2×10^{-6}	
770725		2.1×10^{-6}	
770726		1.95×10^{-6}	
770727		1.81×10^{-6}	
770728		1.89×10^{-6}	
770729		1.83×10^{-6}	
770730		1.95×10^{-6}	
770731		1.52×10^{-6}	
770802		1.91×10^{-6}	
770804		2.5×10^{-6}	
770806		1.63×10^{-6}	
770808		1.55×10^{-6}	
770810		1.63×10^{-6}	
770812		1.64×10^{-6}	
770814		1.48×10^{-6}	
770816		1.47×10^{-6}	statisk lakning
770817		1.32×10^{-6}	
770818		1.63×10^{-6}	
770819		1.86×10^{-6}	
770820		1.54×10^{-6}	
770822	25	1.30×10^{-6}	
770824		1.76×10^{-6}	
770826		1.55×10^{-6}	
770828		1.43×10^{-6}	
770830		1.46×10^{-6}	
770909	60	2.1×10^{-5}	statisk lakning

1977-11-30

Tabell 5. Utlakning av Sr-90 från glasblock A63.

Datum	Temp °C	Utlakningsrat g cm ⁻² dygn ⁻¹	
770718	25	4.3 x 10 ⁻⁶	dynamisk lakning
770720		4.5 x 10 ⁻⁶	
770721		3.6 x 10 ⁻⁶	
770722		3.7 x 10 ⁻⁶	
770723		3.5 x 10 ⁻⁶	
770724		3.6 x 10 ⁻⁶	
770725		1.02 x 10 ⁻⁵	
770726		3.2 x 10 ⁻⁶	
770727		3.0 x 10 ⁻⁶	
770728		3.8 x 10 ⁻⁶	
770729		3.5 x 10 ⁻⁶	
770730		3.7 x 10 ⁻⁶	
770731		3.8 x 10 ⁻⁶	
770802		3.6 x 10 ⁻⁶	
770804		4.4 x 10 ⁻⁶	
770806		3.2 x 10 ⁻⁶	
770810		3.2 x 10 ⁻⁶	
770812		3.2 x 10 ⁻⁶	
770814		3.6 x 10 ⁻⁶	
770816		3.3 x 10 ⁻⁶	statisk lakning
770817		2.5 x 10 ⁻⁶	
770818		3.9 x 10 ⁻⁶	
770819		4.1 x 10 ⁻⁶	
770820		3.8 x 10 ⁻⁶	
770822		3.5 x 10 ⁻⁶	
770824		3.7 x 10 ⁻⁶	
770826	25	4.0 x 10 ⁻⁶	
770828		3.4 x 10 ⁻⁶	
770830		3.2 x 10 ⁻⁶	
770901		3.5 x 10 ⁻⁶	
770905		1.79 x 10 ⁻⁶	
770906	60	6.7 x 10 ⁻⁶	statisk lakning
770907		9.8 x 10 ⁻⁶	

1977-11-30

Tabell 6. Utlakningsrater för strontium i glas med simulerat avfall innehållande 9 % fissionsprodukter.

Utlakningsraterna l i $\text{g cm}^{-2} \text{dygn}^{-1}$. Prov 1 har lakats vid pH 8.5 och prov 2 vid pH 10.5.

Datum	Glas 1		Glas 2		l_1/l_2
	l_1	pH	l_2	pH	
770921	9.3×10^{-5}	8.9	6.5×10^{-5}	10.3	0.70
770922	6.1×10^{-5}	9.2	5.9×10^{-5}	10.3	0.97
770923	5.2×10^{-5}	8.9	5.5×10^{-5}	10.1	1.06
770924	9.3×10^{-5}	-	1.14×10^{-4}	-	1.23
770925	5.5×10^{-5}	-	8.7×10^{-5}	-	1.58
770926	6.0×10^{-5}	9.0	7.4×10^{-5}	10.2	1.23
770927	6.0×10^{-5}	8.9	1.17×10^{-4}	10.3	1.95
770928	6.6×10^{-5}	8.9	1.17×10^{-4}	10.2	1.77
770929	6.6×10^{-5}	9.0	1.40×10^{-4}	10.3	2.12
770930	6.6×10^{-5}	9.1	1.34×10^{-4}	10.4	2.03
771001	5.9×10^{-5}	-	1.34×10^{-4}	-	2.27
771002	6.2×10^{-5}	-	1.29×10^{-4}	-	2.08
771003	6.6×10^{-5}	9.1	1.36×10^{-4}	10.3	2.06
771004	6.8×10^{-5}	8.9	1.16×10^{-4}	10.1	1.70
771005	5.9×10^{-5}	8.9	1.13×10^{-4}	10.4	1.92
771006	6.2×10^{-5}	9.0	1.10×10^{-4}	10.3	1.77
771007	6.2×10^{-5}	8.9	1.10×10^{-4}	10.3	1.77
771008	5.2×10^{-5}	-	8.6×10^{-5}	-	1.65
771009	4.8×10^{-5}	-	8.6×10^{-5}	-	1.79
771010	5.2×10^{-5}	8.9	7.9×10^{-5}	10.4	1.52
771011	5.5×10^{-5}	8.9	8.6×10^{-5}	10.4	1.56
771012	5.2×10^{-5}	8.9	8.2×10^{-5}	10.3	1.58
771013	4.8×10^{-5}	8.9	4.8×10^{-5}	10.4	1.00
771014	6.4×10^{-5}	8.9	8.9×10^{-5}	10.2	1.37
771015	5.7×10^{-5}	-	6.4×10^{-5}	-	1.12
771016	4.8×10^{-5}	-	6.4×10^{-5}	-	1.33
771017	5.5×10^{-5}	8.9	8.9×10^{-5}	10.4	1.62
771018	6.4×10^{-5}	8.9	8.9×10^{-5}	10.3	1.39
771019	5.5×10^{-5}	8.9	8.9×10^{-5}	9.9	1.62
771020	5.1×10^{-5}	9.0	7.8×10^{-5}	10.0	1.53

Tabell 6. Forts.

Datum	Glas 1		Glas 2		l_2/l_1
	l_1	pH	l_2	pH	
771021	4.8×10^{-5}	9.0	5.5×10^{-5}	10.0	1.15
771022	5.8×10^{-5}	-	6.3×10^{-5}	-	1.09
771023	4.4×10^{-5}	-	6.0×10^{-5}	-	1.36
771024	3.6×10^{-5}	9.0	5.4×10^{-5}	10.0	1.50
771025	3.3×10^{-5}	9.0	3.3×10^{-5}	9.9	1.00
771026	4.1×10^{-5}	9.0	5.4×10^{-5}	9.9	1.32
771027	3.6×10^{-5}	9.1	6.0×10^{-5}	9.9	1.67
771028	4.4×10^{-5}	9.1	6.0×10^{-5}	10.0	1.36
771029	3.6×10^{-5}	-	6.3×10^{-5}	-	1.75
771030	3.6×10^{-5}	-	5.7×10^{-5}	-	1.58
771031	3.6×10^{-5}	9.0	6.0×10^{-5}	10.0	1.67
771101	4.4×10^{-5}	9.0	6.0×10^{-5}	9.9	1.36
771104	4.1×10^{-5}	-	5.4×10^{-5}	-	1.32
771106	5.2×10^{-5}	-	6.6×10^{-5}	-	1.27
771108	4.6×10^{-5}	9.1	5.4×10^{-5}	10.0	1.17
771110	3.3×10^{-5}	8.6	6.0×10^{-5}	10.0	1.82

Appendix 1

Sammanställning av data för franska glas i Studsvik. Enligt uppgift från Marcoule har de lakade franska glasen följande sammansättning:

A64	
SiO ₂	46 %
Na ₂ O	9.8 %
B ₂ O ₃	16.8 %
Al ₂ O ₃	1.8 %
UO ₂	3.4 %
Fissionsprodukttoxider	21.1 %
Diverse (Fe ₂ O ₃ etc)	1.1 %
Aktivitet 1976-02-01:	
¹⁰⁶ Ru-Rh	1.55 Ci
¹³⁷ Cs	15.9 Ci
¹⁴⁴ Ce-Pr	21.9 Ci
⁹⁰ Sr + Y	28.8 Ci
A63	
SiO ₂	42.9 %
Na ₂ O	9.6 %
B ₂ O ₃	18.7 %
Al ₂ O ₃	1.8 %
UO ₂	3.5 %
Fissionsprodukttoxider	22.4 %
Diverse (Fe ₂ O ₃ etc)	1.1 %
Aktivitet 1976-01-15	
¹⁰⁶ Ru-Rh	1.84 Ci
¹³⁷ Cs	13.5 Ci
¹⁴⁴ Ce-Pr	18.35 Ci
⁹⁰ Sr + Y	23.5 Ci

Plutoniumglas (A51)	
SiO ₂	44.1 %
Na ₂ O	9.6 %
B ₂ O ₃	19.7 %
PuO ₂	3.6 %
Fissionsproduktoxider	22.3 %
Diverse (Fe ₂ O ₃ etc)	0.7 %

Med fissionsprodukter avses i detta glas simulerade inaktiva fissionsprodukter.

Plutonet har följande isotopsammansättning:

Pu-238	0.16 %
Pu-239	42.32 %
Pu-240	43.11 %
Pu-241	9.38 %
Pu-242	4.17 %
Am-241	0.85 %

Den totala aktiviteten hos de alfastrålande ämnena är 12.5 Ci.

Följande lakningsrater har uppmätts i Frankrike (25°C):

A64 (83 dygn)	⁹⁰ Sr	$3 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$
	¹³⁷ Cs	$1.5 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$
A63 (83 dygn)	⁹⁰ Sr	$2 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$
	¹³⁷ Cs	$2 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$
A51 (Pu) (110 dygn)		$2 \times 10^{-7} \text{ g cm}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$

Appendix 2

Glas med 9 % simulerade fissionsprodukter. Glaset har tillverkats vid glasforskningsinstitutet i och har enligt Glasforskningsinstitutets Rapport 3410 av 1977-09-09 följande sammansättning i vikts-%:

SiO ₂	53.0
Na ₂ O	11.3
B ₂ O ₃	19.4
Al ₂ O ₃	2.1
UO ₂	3.9
Fe ₂ O ₃	1.3
Cs ₂ O	0.88
SrO	0.26
BaO	0.46
Y ₂ O ₃	0.15
ZrO ₂	1.28
MoO ₃	1.63
MnO ₂	0.77
CoO	0.21
NiO	0.37
Ag ₂ O	0.011
CdO	0.026
SnO	0.014
Sb ₂ O ₃	0.0036
CeO ₂	0.75
La ₂ O ₃	0.71
Nd ₂ O ₃	1.21
Pr ₂ O ₃	0.35

1977-11-30

Glacen lakas vid dessa försök i form av små skivor. Vid försök 1 (pH 8.5) är de tre skivornas yta 49.92 cm^2 och deras vikt 13.65 g. Motsvarande data för försök 2 (pH 10.5) är 50.10 cm^2 och 14.38 g.

Appendix 3

Lakmedlets sammansättning:

HCO_3^-	300 mg/l
Cl^-	27 mg/l
SO_4^{2-}	9 mg/l
F^-	1.5 mg/l
Na^+	125 mg/l
Ca^{2+}	6 mg/l
K^+	2 mg/l
Mg^{2+}	3 mg/l
SiO_2	8 mg/l
pH = 8.5	

För tillverkning av lakmedel med pH = 10.5 tillsättes erforderlig mängd NaOH.

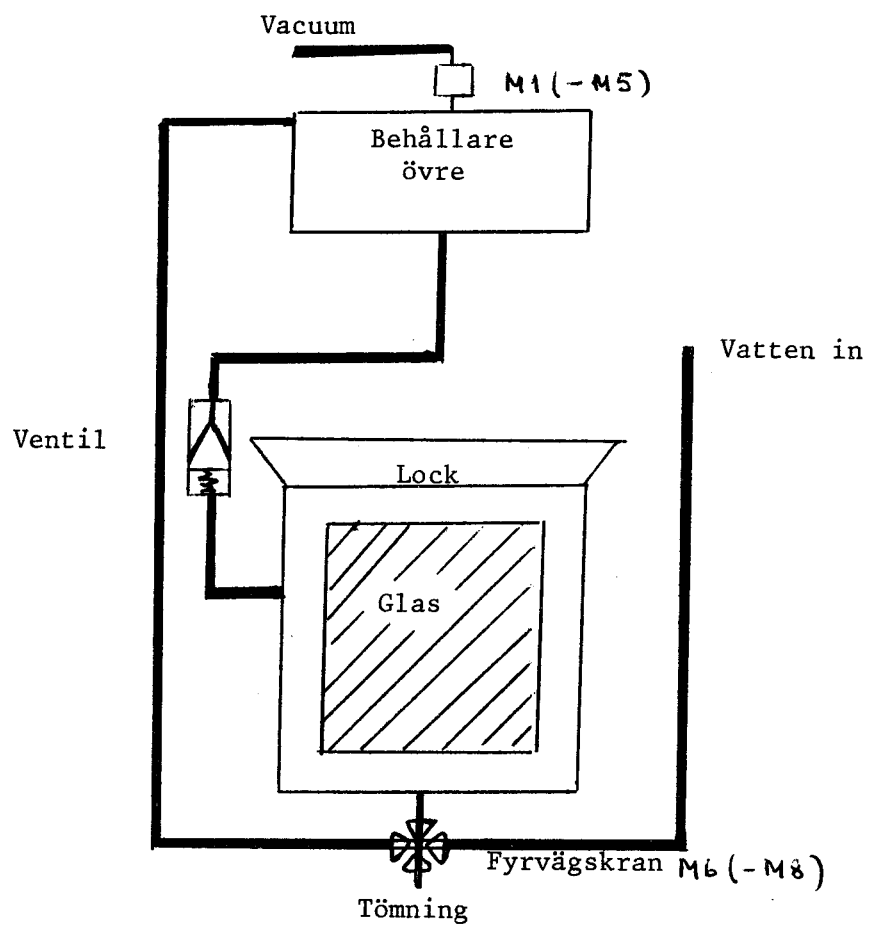


Fig 1. Principiell försöksupställning vid aktiv lakning.

Utlakning av plutoniumglas

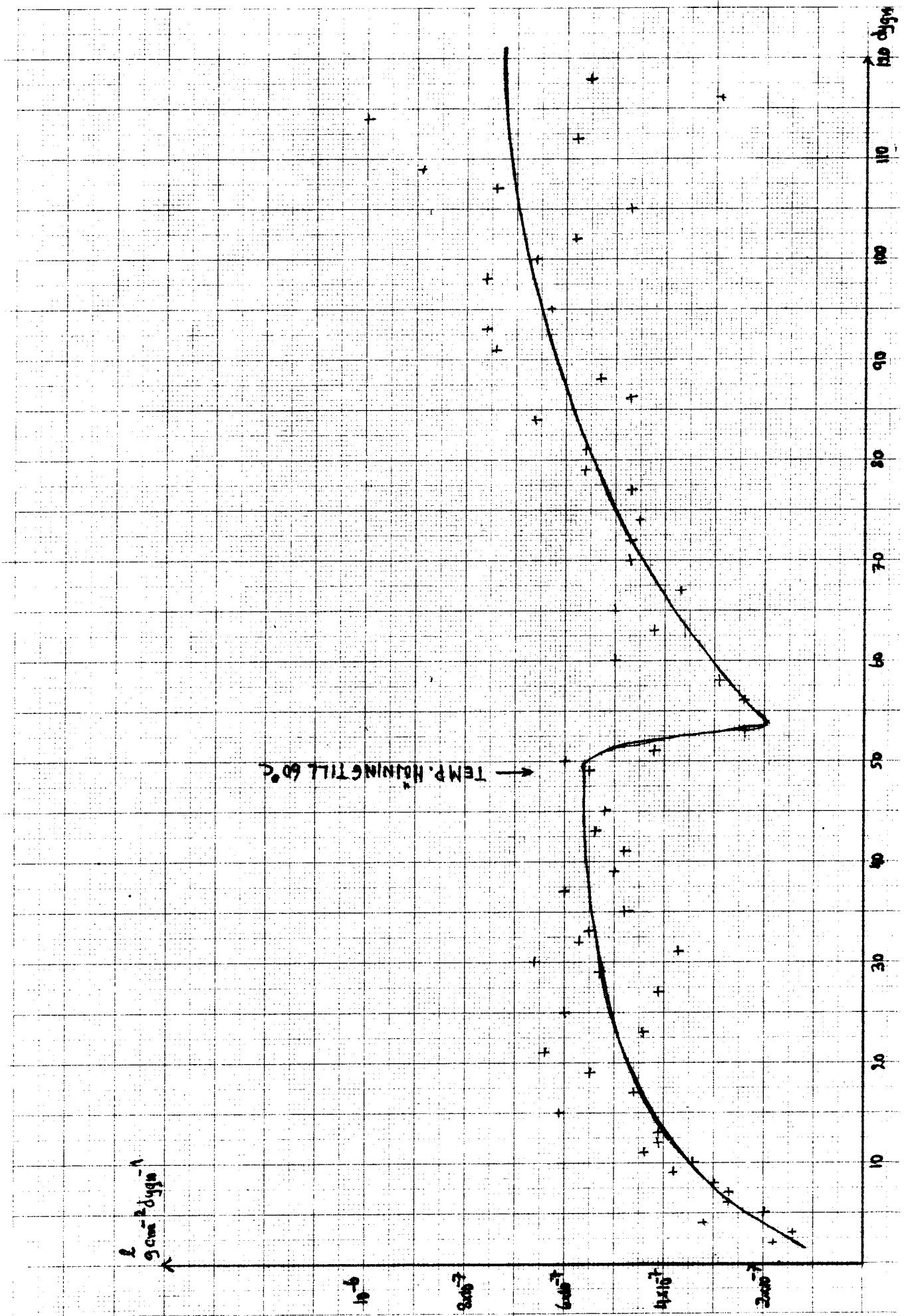


Fig 3

Utlakning av glas A64:3r

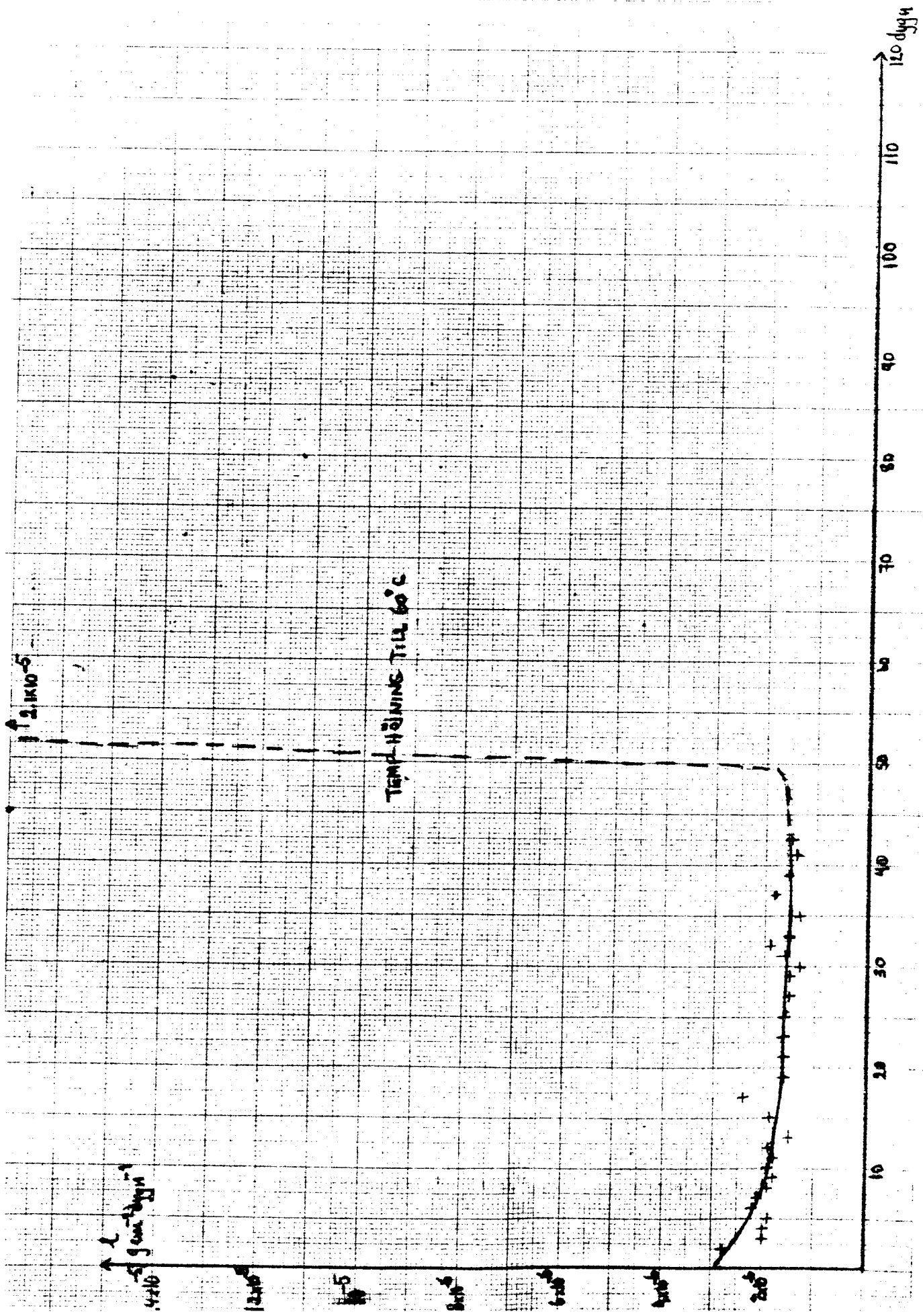
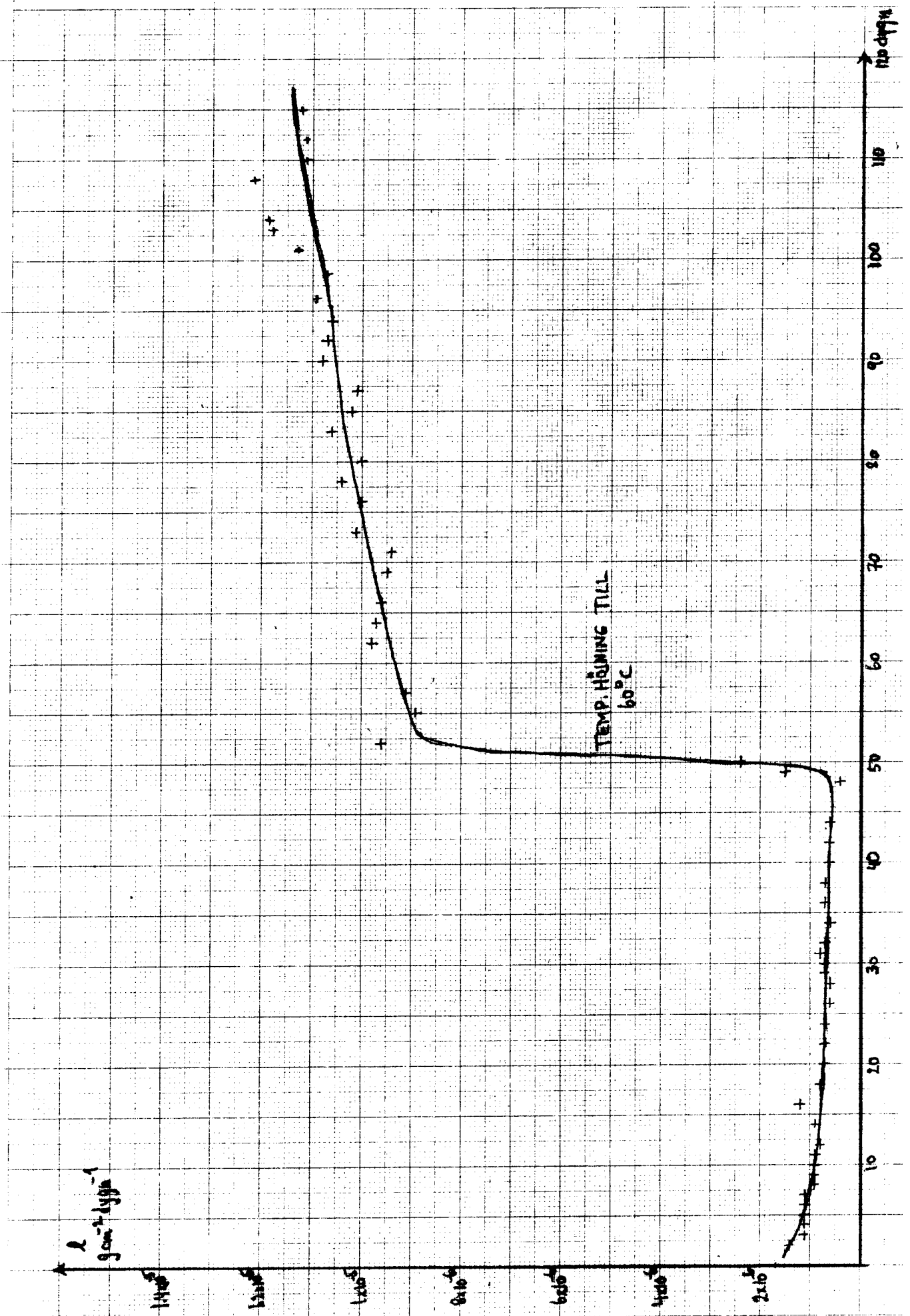
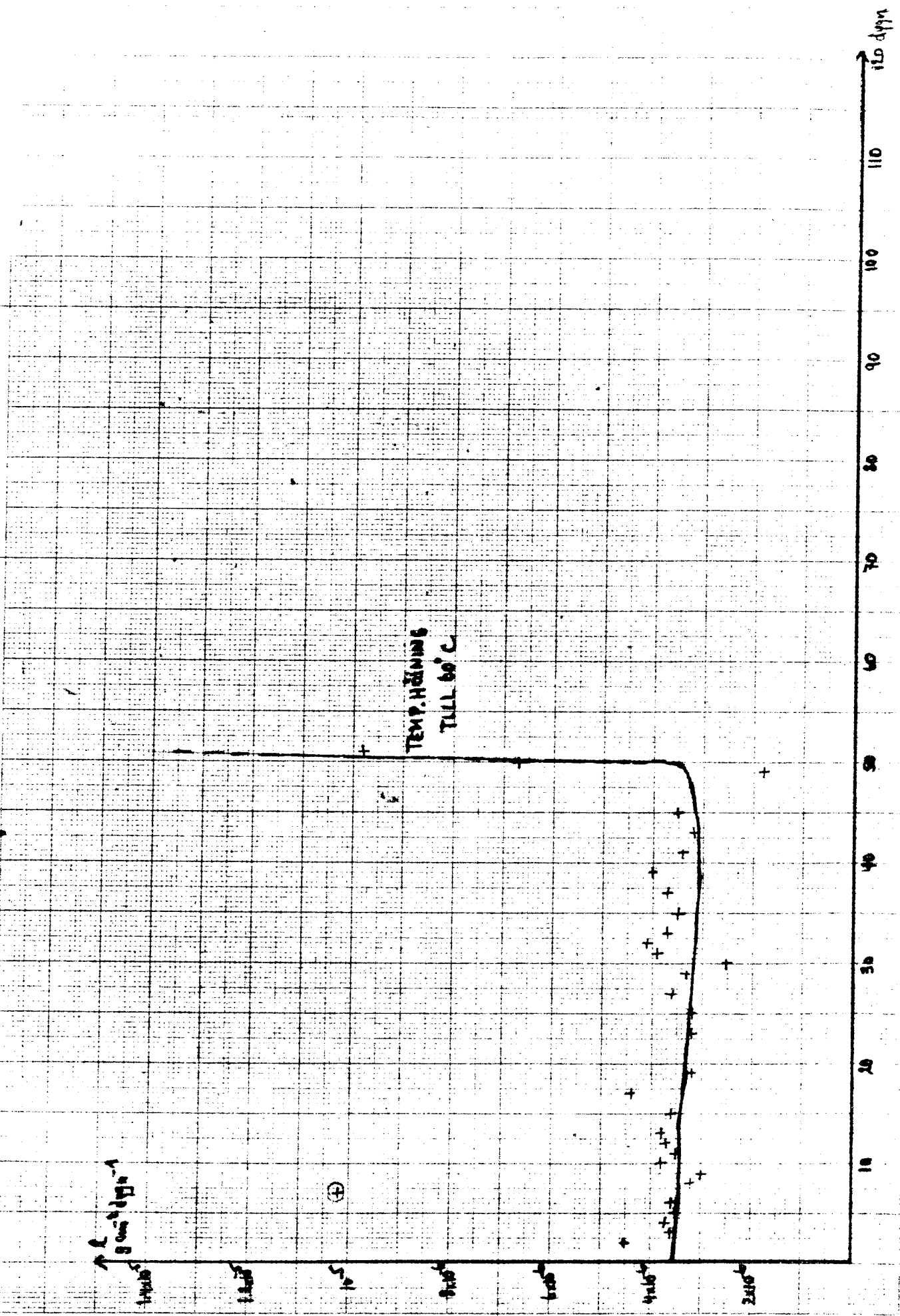


Fig 4

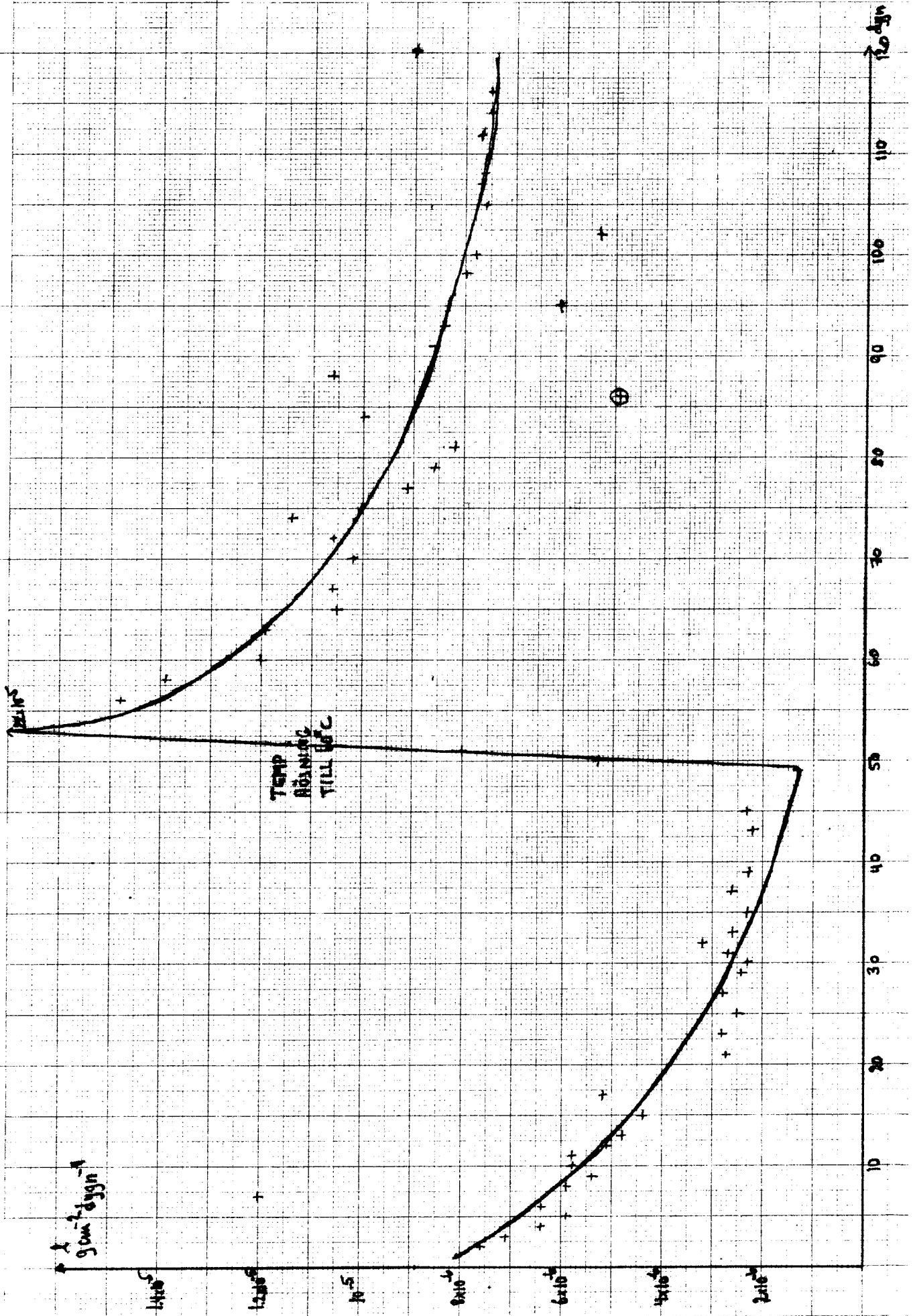
Utlakning av glas A64: Cs



Utlakning av glas A63: Sr



Utlakning av glas A63: Cs



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 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 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
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan
Gunnar Walinder
AB Atomenergi