

# **KBS** **TEKNISK** **RAPPORT**

**91**

957055855

## **Korttidsvariationer i grundvattnets trycknivå**

Lars Y Nilsson

Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm september 1977

**KÄRN -  
BRÄNSLE -  
SÄKERHET**

*POSTADRESS: Kärnbränslesäkerhet, Fack. 102 40 Stockholm. Telefon 08-67 95 40*

## KORTTIDSVARIATIONER I GRUNDTVATTNETS TRYCKNIVÅ

Lars Y Nilsson  
Kungl Tekniska Högskolan september 1977

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.

INSTITUTIONEN FÖR KULTURTEKNIK  
KUNGL. TEKN. HÖGSKOLAN

UNDERSÖKNINGAR RÖRANDE GRUNDVATTENSTRÖMNING I BERG KRING LAGRINGSUTRYMMEN  
FÖR KÄRNBRÄNSLE

KORTTIDSVARIATIONER I GRUNDVATTNETS TRYCKNIVÅ  
SHORT-TIME VARIATIONS OF THE GROUND WATER LEVEL

LARS Y NILSSON  
STOCKHOLM SEPTEMBER 1977

**INNEÅLL  
CONTENTS**

<b>Sammanfattning</b>	<b>1</b>
<b>Summary</b>	<b>2</b>
<b>1. Inledning</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	
<b>2. Dataunderlag</b>	<b>4</b>
<b>Data</b>	
<b>3. Korttidsvariationer i grundvattnets trycknivå</b>	<b>6</b>
<b>Short-time variations of the ground water level</b>	
<b>3.1 Gravitationseffekten</b>	<b>6</b>
<b>Tidal-effect</b>	
<b>3.2 Lufttryckseffekten</b>	<b>13</b>
<b>Atmospheric pressure effect</b>	
<b>3.3 Jordbävningseffekten</b>	<b>16</b>
<b>Earthquake effect</b>	
<b>4. Referencer</b>	<b>20</b>
<b>References</b>	

## KORTTIDSvariationer i Grundvattnets Trycknivå

Lars Y Nilsson

### Sammanfattning

Undersökningar har visat att grundvattennivån i svenska urbergsakvifärer varierar korttidsmässigt utan att deras vatteninnehåll ändras. Grundvattnets trycknivå påverkas bl a av

- tidvattenrörelser som regelbundet förekommer i den "fasta" jordskorpan
- förändringar i atmosfärtryck
- kraftiga jordbävningar som inträffar runt om i världen

Dessa effekter visar att

- urbergets spricksystem inte är stabila
- grundvattnets strömningsförhållanden kompliceras av förekomsten av såväl vatten- som luftfyllda sprickor.

## SHORT-TIME VARIATIONS OF THE GROUND WATER LEVEL

Lars Y Nilsson

### Summary

Investigations have demonstrated that the ground water level of aquifers in the Swedish bedrock shows short-time variations without changing their water content. The ground water level is among other things affected by

- regular tidal movements occurring in the "solid" crust of the earth
- variations in the atmospheric pressure
- strong earthquakes occurring in different parts of the world

These effects proves that

- the system of fissures in the bedrock are not stable
- the ground water flow is influenced by both water- and airfilled fissures

## 1. Inledning

Sedan lång tid tillbaka bedrivs olika hydrologiska undersökningar inom ramen för forskningsverksamheten vid institutionen för Kulturteknik vid KTH. Dessa undersökningar omfattar såväl kvantitativa som kvalitativa aspekter på enskilda hydrologiska processer och hela vattenomsättningen inom olika avrinningsområden i Sverige och även i andra länder.

I samband med dessa undersökningar har bl a grundvattnets trycknivå studerats med avseende på tidsmässiga och geografiska variationer.

Av primärt intresse har varit att kartlägga de klimatiskt betingade (säsongsbundna) variationerna och grundvattnets roll i vattnets totala omsättning. Förutom dessa variationer har emellertid kunnat konstateras att det finns korttidsvariationer i grundvattnets trycknivå. Några av dessa variationer förekommer i urberget och utgör ett direkt belegg för att vår "stabila" berggrund ständigt befinner sig i rörelse och därför har dessa variationer ett direkt intresse när det gäller att bedöma det svenska urbergets lämplighet för förvaring av kärnbränsleavfall.

Ett relativt omfattande datamaterial har insamlats vilket kan användas för en ingående analys av berggrundens spricksystem, hålrumsvolymer och rörelser. I föreliggande preliminära rapport ges emellertid endast en sammanfattande beskrivning av dessa variationer, deras förekomst och orsaker.

## 2. Dataunderlag

Registrering av grundvattnets trycknivå i svenskt urberg har pågått sedan mitten av 60-talet i samband med forskning vid inst. för Kulturteknik. Sammanlagt har ca 150 bergborrhål studerats i detta avseende och vid ca 60 av dessa finns registreringar som sträcker sig över längre tidsperioder (mer än 2 månader). Vissa serier är upp till 10 år långa och pågår fortfarande.

Observationshålens geografiska belägenhet framgår av fig 1 (sid 5). Förutom dessa finns observationer i områden med annan berggrund (t ex Skåne och Gotland). Bland borrhålen finns såväl brunnar som hål borrade för vetenskapliga ändamål.

Merparten av borrhålen har varit föremål för provpumpning och olika typer av loggningar

temperatur  
diameter  
resistivitet  
självpotential.

Vidare finns kemiska analyser av vattnet på olika djup, vissa mikroseismiska undersökningar och tillrinningsområdena har studerats med avseende på geologi, tektonik, hydrologi m m.

Borrhålens djup varierar i intervallet 20 - 200 m och kapaciteten från 50 - 10 000 l/tim.

Registrering av vattennivån har i de flesta fall skett med mekaniska skrivarinstrument. Beträffande tids- och höjdskala i registreringarna hänvisas till fig 8 (sid 18).



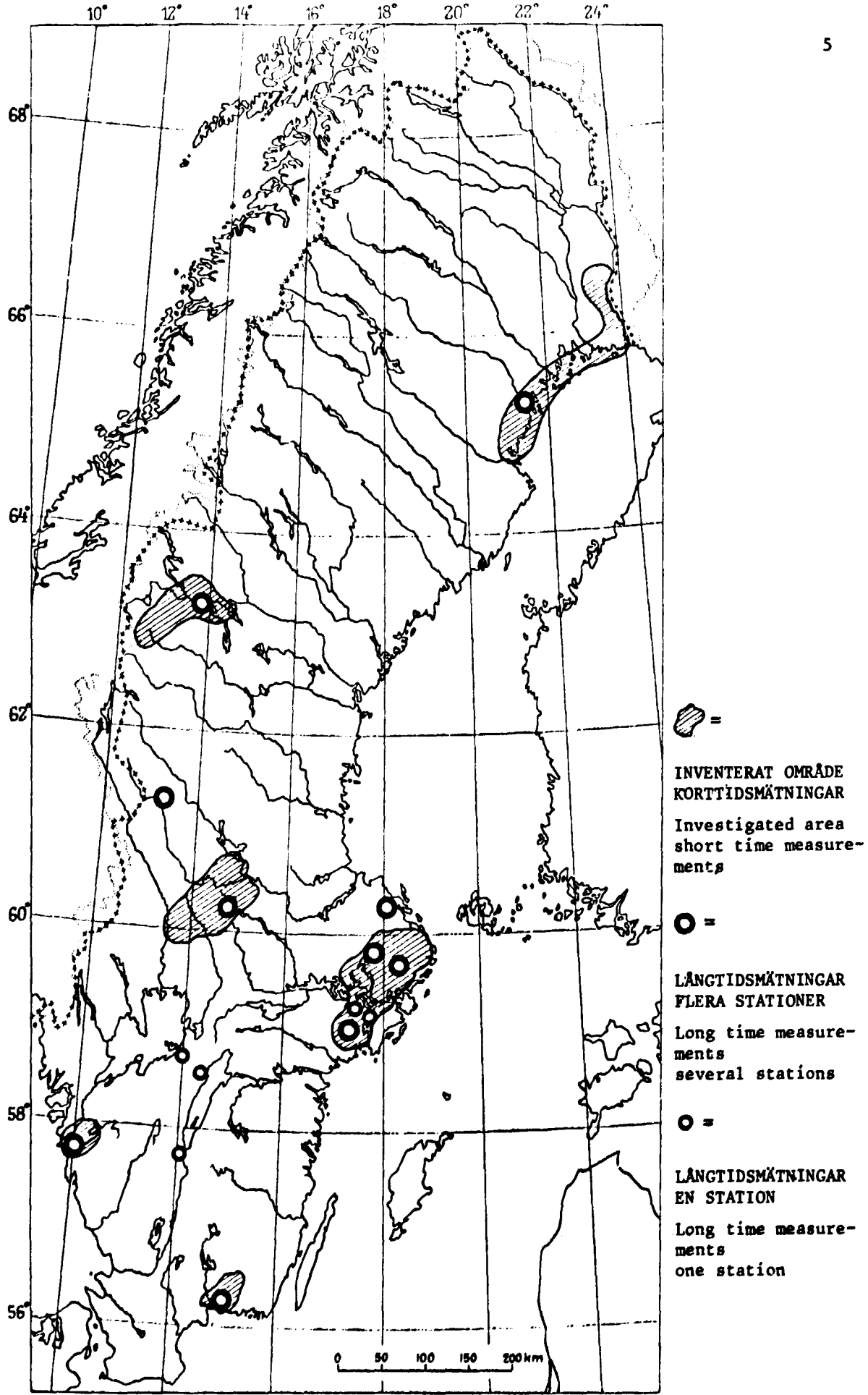


Fig 1.

### 3. Korttidsvariationer i grundvattnets trycknivå.

När man vid borrhning i berg kommer i kontakt med vattenförande sprickor stiger i allmänhet vattnet i borrhålet dvs vattnet står under övertryck. I enstaka fall sjunker vattnet efter hand under det vattenförande lagrets nivå dvs undertryck råder. Generellt kan man säga att den grundvattenyta man observerar i ett borrhål svarar mot grundvattenmagasinets (akvifärens) tryck och förändringar i grundvattenytans läge svarar mot tryckförändringar. Förändringar i tryck kan naturligtvis åstadkommas genom att grundvattenmagasinets vatteninnehåll ändras på grund av infiltration och perkolation eller genom tappning.

I följande underrubriker kommer att redovisas ett antal faktorer som påverkar trycket i grundvattenmagasin utan att deras vatteninnehåll förändras.

#### 3.1 Gravitationseffekten

Grundvattenytan kan fluktuera regelbundet på grund av variationer i tyngdkraften. Effekten hänger samman med de ebb- och flodfenomen som förekommer i jordskorpan analogt med ebb och flod i haven. Jorden är alltså i viss utsträckning elastisk. Denna rörelse i jordskorpan medför att trycket i akvifärerna kan ändras. När trycket lättar, dvs när tyngdaccelereringen g avtar, medför detta en sänkning av vattennivån. När g ökar stiger trycket och därmed grundvattennivån. Variationerna i g hänför sig i första hand till månens och i andra hand till solens rörelser.

Varje punkt på jordytan påverkas av två krafter, gravitationskraften och centrifugalkraften. Dessa krafter bildar en kraftresultant, riktad mot centrum av jordklotet, vars storlek bestämmer gravitationens storlek i punkten som observeras

och vars riktning definierar lodlinjen i punkten. Dessa båda storheter är inte konstanter för en viss punkt, beroende på att i första hand månen och i andra hand solen påverkar punkten genom attraktion, vilken är variabel på grund av planeternas rörelser. Det är detta förhållande som förorsakar tidvattenseffekter i haven och även i den fasta jordskorpan. På en absolut fast jordskorpa skulle vi med perfekta instrument observera en magnitud hos lodlinjen av  $0'',04$  och en variation i  $g$  på  $0,2 \text{ mgal}$  ( $\text{gal} = \text{enhet för acceleration. } 1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$ ). Nu är emellertid jordklotet inte en absolut stel kropp utan i viss grad elastisk och viskös, vilket kan åstadkomma korttidsvariationer hos en grundvattenyta. Jordklotets form ändras alltså under inflytande av månens och solens attraktion, och de verkliga gravitationsförändringarna i en punkt kan avvika från de värden som man teoretiskt kan beräkna med den celesta mekaniken. En gravimeter på jordytan, t ex, som när månen är i zenit skall uppvisa  $g$ -minimum, lyfts samtidigt med jordskorpan på grund av den ökade attraktionen, och det blir en ytterligare minskning i  $g$ . Situationen kompliceras vidare av den volymsutvidgning som förekommer samtidigt.

Första gången sådana här fenomen omnämns i litteraturen är av Plinius den äldre i *Historia Naturalis*, i vilken han berättar om en brunn där vattnet stiger och sjunker på samma sätt som i havet men vid andra tidpunkter. Emellertid var det först på 1800-talet som man mera allmänt började acceptera tanken på jordklotets elastiska egenskaper, och det var då man byggde det första instrumentet för mätning av variationer i  $g$ , en horisontalpendel. I slutet på 1800-talet gjordes vissa undersökningar över tidvattenvågor med lång period, och man fann då att amplituden hos dessa inte överensstämde med teoretiska beräkningar utan var ungefär  $2/3$  av den väntade. Man drog då den slutsatsen att det förekom en tidvattenseffekt i den fasta jordskorpan som svarade mot den resterande tredjedelen. Man hade ju hela tiden mätt mot, som man

trodde, "fixa" punkter på jordytan. Med utgångspunkt från dessa mätningar beräknades även jordens elasticitet, som man fann vara av ungefär samma storleksordning som stålets.

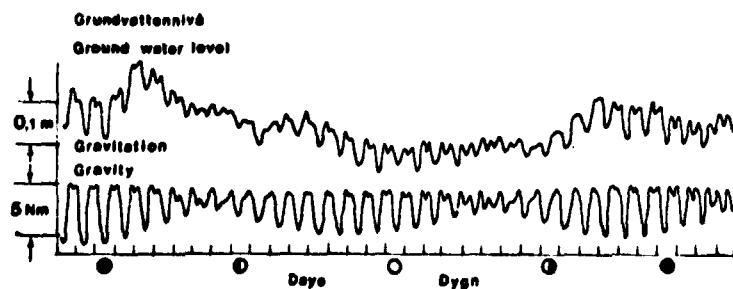
För att ge en teoretisk bakgrund till tidvattenvågorna har Newton och Laplace utvecklat en statisk teori för dessa. Teorin har dock sin begränsning genom de resonansfenomen som förekommer i oceanerna, och man har på senare tid här utvecklat en dynamisk teori och även tagit hänsyn till de resonansfenomen som förekommer på grund av vattenmagasinens geometriska egenskaper. För den fasta jordskorpan kan man emellertid mycket väl använda sig av den statistiska teorin som en angreppspunkt för bestämning av tidvattenseffekten. Detta på grund av jordklotets begränsade viskösa egenskaper vilket utesluter resonansfenomen.

Numeriskt ger den statistiska teorin en variation i  $g$  på maximalt 0,16 mgal på grund av månen och 0,076 mgal på grund av solen, eller sammanlagt 0,24 mgal. Dvs 1 ton ändrar sin vikt med ungefär 0,2 gram på grund av solens och månens attraktion.

Den radiella deformationen varierar mellan + 356 mm och - 178 mm på grund av månen och mellan + 164 och - 82 mm på grund av solen. Den sammanlagda maximala amplituden blir 780 mm, vilket alltså är den deformation som skulle förekomma om jorden kunde betraktas som en perfekt vätska. Om jorden vore helt stel, skulle deformationen vara 0. Nu är jorden varken det ena eller andra, utan det verkliga värdet ligger någonstans mellan dessa båda. Ett maximalt värde anges till 0,4 m (1).

Allt eftersom nätet av gravimetrar ökar världen över, och dessa instrument förfinas, får man allt större möjlighet att bestämma storleken av dessa rörelser.

Den nedre kurvan i figur 2 visar hur gravitationspotentialen ändrats under ett månvarv. Den övre kurvan visar hur grundvattennivån i ett borrhål fluktuerar under samma tidsperiod. Vid ny- och fullmåne är amplituderna som störst, eftersom månen och solen då verkar i samma riktning, och vid dessa tillfällen uppvisar grundvattenkurvan 1 minimum och 1 maximum under dygnet. Under mellanperioderna, när planeterna inte samverkar på samma sätt, uppvisar grundvattenkurvan en tvåtoppighet under dygnet, och amplituderna är mindre.



Figur 2. Grundvattenfluktuationer under ett månvarv jämförda med gravitationspotentialens förändringar under samma tidsperiod.  
(Ground water fluctuations through lunation compared with the changes of the gravity potential during the same period).

Gravitationseffekten förekommer allmänt i svenskt urberg. Av alla borrhål som varit föremål för undersökning har endast i något enstaka fall effekten inte kunnat påvisas.

Dygnsamplituden varierar mellan enskilda borrhål och kan uppgå till ca 100 mm. För att exemplifiera effekten och den lokala variationen har valts 6 st borrhål i nordöstra Uppland vid Hållnäs (fig 3). Borrhålen är belägna inom en yta på 5x5 km. Deras djup varierar mellan 50-130 m, kapaciteten mellan 30-2400 l/tim och den maximala dygnsamplituden till följd av gravitationseffekten mellan 27-69 mm. Grundvattenvariationerna uppträder i allmänhet tidsförskjutna i förhållande till g-variationerna dvs det råder en viss tröghet i systemet. För Hållnäsborrhålen kan tidsskillnaden variera mellan 1,5 - 3,1 timmar (tabell 1 sid 11).

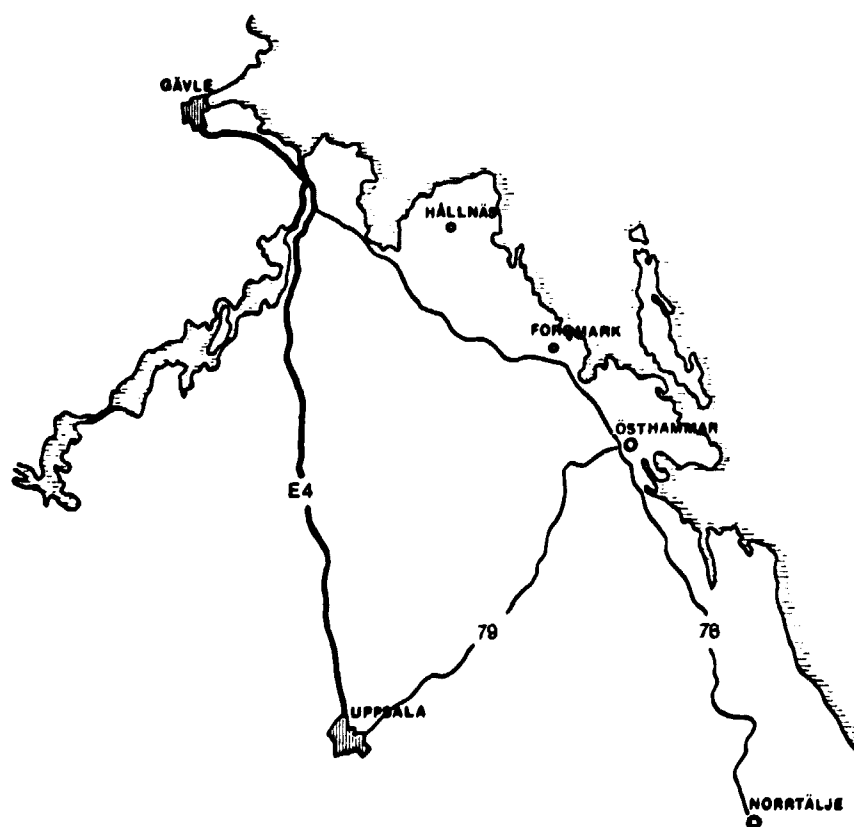


Fig 3. Undersökt område. Hållnäs, Uppland.  
(Investigated area. Hållnäs, Uppland)

BORRHÅL (well)	DJUP (depth)	KAPACITET (capacity)	MAX GRAVITA- TIONS EFFEKT (max tidaleffect)	TIDSFÖR- SKJUTNING (time delay)
	m	l/tim (1/hour)	mm	tim (hours)
1	66	30	38	2,2
2	130	50	27	2,5
3	62	50	33	3,1
4	81	300	69	2,1
5	95	100	27	2,2
6	53	2400	48	1,5

Tabell 1. Data från 6 st borrhål vid Hållnäs.  
(Data from 6 wells at Hållnäs)

I fig 4 sid 12 åskådliggörs grundvattenvariationer i dessa borrhål i relation till gravitationsförändringar.

Samma mönster återfinns inom övriga regioner i landet där observationer skett.

Sammanfattningsvis kan beträffande gravitationseffekten konstateras att den förekommer allmänt i svenska urbergs-akvifärer. De rörelser som ständigt förekommer i jordskorpan påverkar urbergets spricksystem på så sätt att sprickorna regelbundet utvidgas och sluts och därmed påverkas tryckförhållandena. Dessa ständiga tryckförändringar kan på enkelt sätt registreras genom vattenytans variationer i bergborrhål.

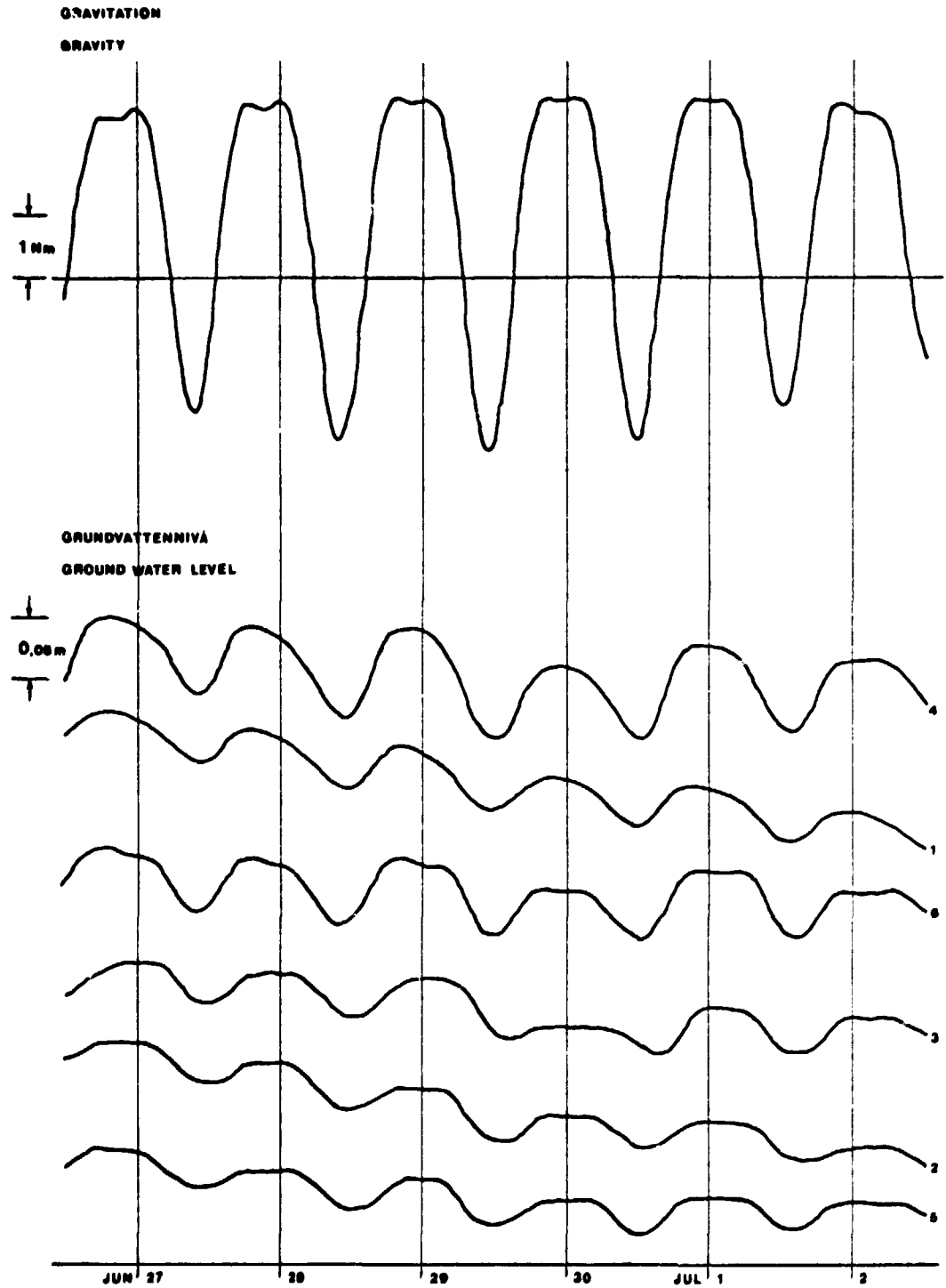


Fig 4. Variationer i grundvattnets trycknivå i 6 olika borrhål (Hållnäs) i relation till gravitationsförändringar.

(Changes of the ground water level in 6 different wells (Hållnäs) compared to gravity changes).



### 3.2 Luftryckseffekten

I praktiskt taget alla borrhål har förutom gravitationseffekten kunnat konstateras att grundvattenytan samvarierar med atmosfärtrycket. En ökning i atmosfärtryck medför en sänkning av vattenytan i borrhålen och vise versa.

Om man för akvifärer i porösa media utgår från vattnets kompressibilitet (som är mycket liten), det fasta materialets kompressibilitet (som i de flesta fall är mycket liten) och själva akvifärens kompressibilitet kan man härleda ett samband mellan luftrycksberoendet och akvifärens magasin-koefficient (ett mått på dess vattengivande förmåga). I urbergsakvifärer kan detta samband knappast användas eftersom dessa inte är ett poröst medium i vanlig mening.

Luftryckseffekten i urberg förklaras enkelt om man antar att det finns inestängda luftvolymmer som står i kontakt med akvifären men som inte står i direkt förbindelse med atmosfären. Dessa inestängda luftvolymmer expanderar och komprimeras i takt med förändringar i atmosfärtrycket.

Exempel finns där effekten är så stor som 80% dvs vattennivåvariationen svarar mot 80% av variationen i atmosfärtryck. En ändring på 50 mbar i luftryck kan alltså medföra en ändring i vattennivån på 0,4 m.

Effekten uppvisar stora lokala variationer och som exempel på detta ges resultat från de tidigare beskrivna borrhålen vid Hållnäs (sid 11) som har ett luftrycksberoende som varierar i intervallet 11 - 33% (tabell 2 sid 14).

BORRHÅL (well)	DJUP (depth) m	KAPACITET (capacity) l/tim (l/hour)	LUFTRYCKSEFFEKT (atmospheric pressure effect) %
1	66	30	11
2	130	50	17
3	62	50	19
4	81	300	33
5	95	100	18
6	53	2400	22

Tabell 2. Data från 6 st borrhål vid Hållnäs  
(Data from 6 st wells at Hållnäs)

Någon tidsförskjutning mellan lufttrycksförändringen och ändringar i vattennivå har inte kunnat registreras. I fig 5 sid 15 åskådliggörs lufttrycksberoendet i Hållnäsbrunnarna.

Sammanfattningsvis kan konstateras att lufttryckseffekten förekommer allmänt i svenskt urberg. Den kan i extrema fall medföra att vattennivån i borrhål ändras 0,5 m inom loppet av några få timmar. Effekten visar att i urbergsakvifererna finns såväl vattenfyllda som luftfyllda sprickor som står i kontakt med varandra och som komplicerar grundvattnets strömning.

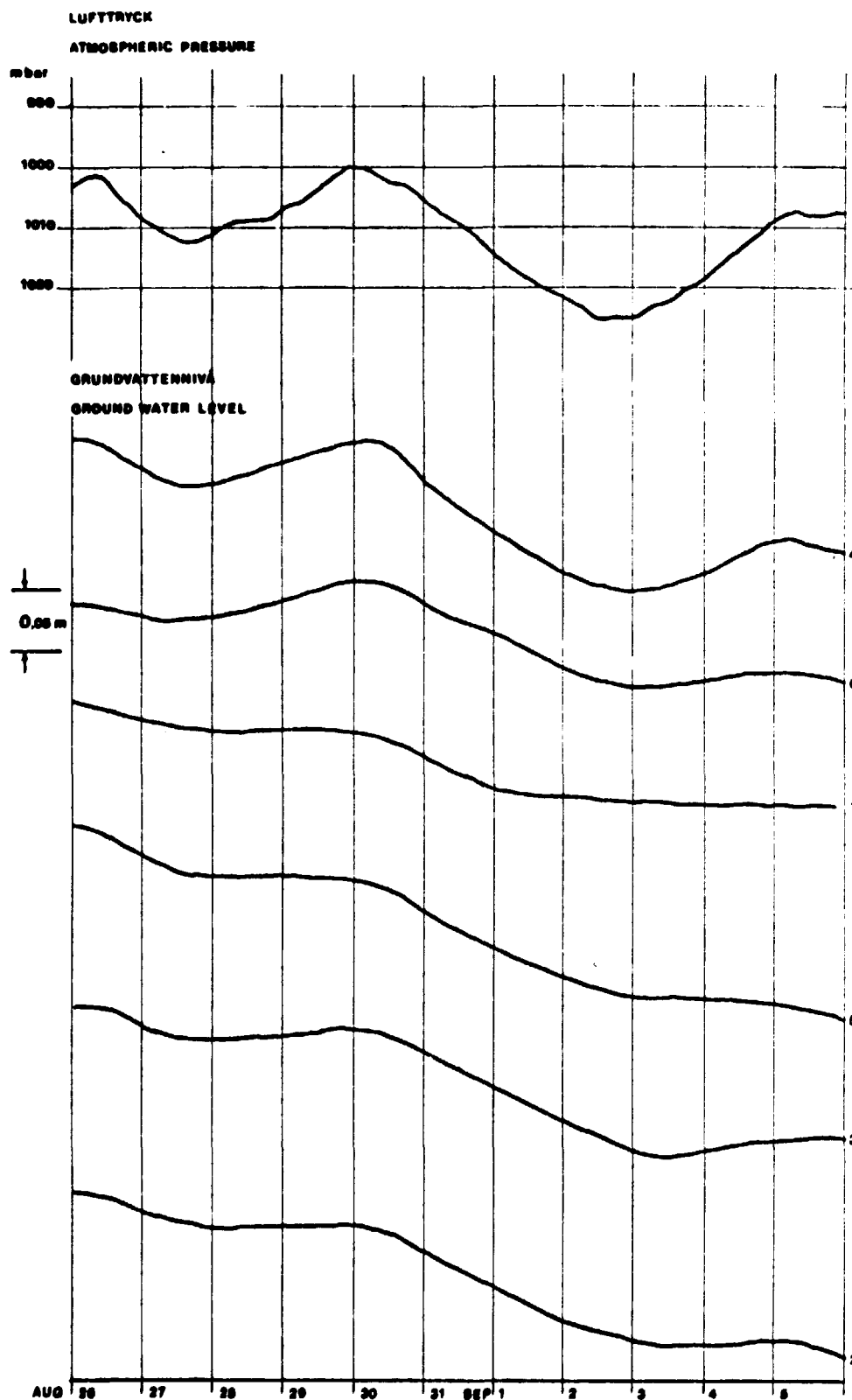


Fig 5. Variationer i grundvattnets trycknivå i 6 borrhål (Hållnäs) i relation till förändringar i atmosfärtryck.  
(Changes of the ground water level in 6 wells (Hållnäs) compared to atmospheric pressure changes)

### 3.3 Jordbävningseffekten

Genom de rörelser som förekommer i grunden i samband med jordbävningar sker en snabb kompression och expansion av akvifererna vilket kan resultera i hastiga svängningar i grundvattnets trycknivå. Sådana effekter har konstaterats i en lång rad borrhål i samband med kraftiga jordbävningar som ägt rum på olika håll i världen (magnitud >7,5 Richter). Vattennivåförändringar på upp till 100 mm har registrerats och kunnat korrolleras till seismogram. Ett exempel på detta ges i figur 6.

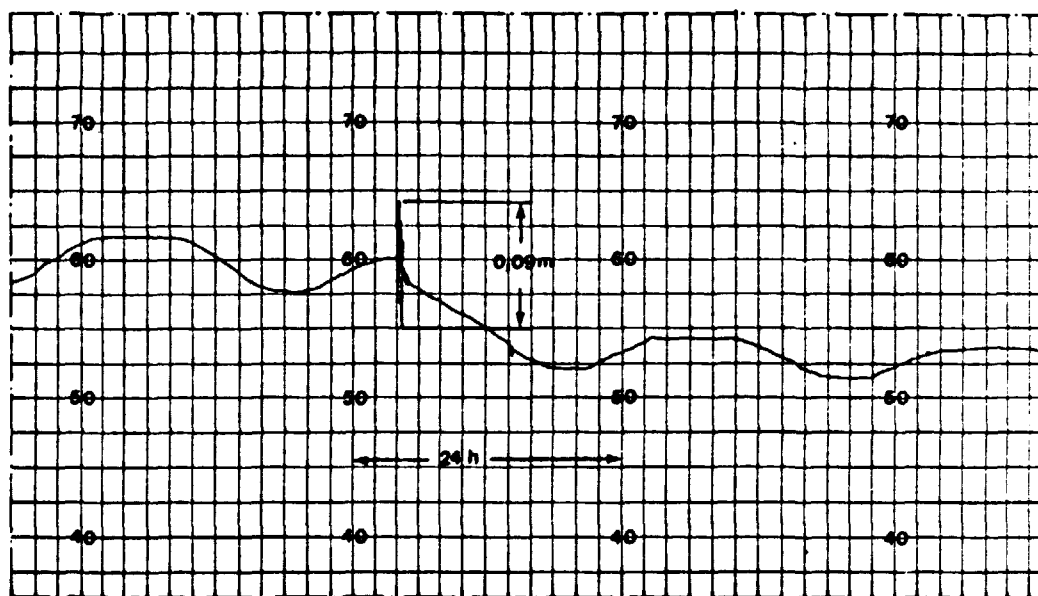


Fig 6. Grundvattennivå påverkad av jordbävning i Japan den 16 maj 1968 (Markim, Uppland)

Ground water level affected by earthquake in Japan 16 May 1968 (Markim, Uppland)

Under enbart år 1968 "registrerades jordbävningar" vid ytterligare ett 10-tal tillfällen i olika borrhål i Sverige.

Vid den kraftiga jordbävningen utanför Portugal i februari 1969 (fig 7 sid 17) registrerades utslag i grundvattennivån vid borrhål runtom i landet (fig 8 sid 18). Amplituden varierade mellan några enstaka mm upp till 50 mm.

# Jordbävning

LISSABON (TT-Reuters, AP, UPI). Minst 58 personer skadades i Lissabon vid fredagsmorgnens kraftiga jordbävning som främst drabbade Portugal och Marocko. Även Spanien hade känning av skälvet. För fyra av de skadade i Lissabon är tillståndet kritiskt. Många behandlas på sjukhus för chock.

Hundratals skorstenar störtade sömman i Lissabon. En del brakade igenom taken på husen. Sprickor uppstod i väggarna på många byggnader.

Jordbävningen förorsakade också ett 15 minuter långt strömbrytt i staden.

Tusentals personer i Lissabon hoppade genom fönstren ut på ga-

torna i bara nattdräkterna sedan de vaknat av skälvet. På morgonen var stränder och gator i den portugisiska staden fulla av turister och stadsbor som var rädda för att ännu kraftigare skälvt skulle kunna komma.

Den portugisiska radion sände ständiga meddelanden till befolkningen att ta det lugnt och gå hem till sina hus igen eftersom det inte fanns någon överhängande risk för nya skälvt.

I Madrid vibrerade byggnader, och personer kassades ur sängarna vid jordskälvet. Flera hundra personer hade ett tiotal minuter efter

skälvet samlats på öppna platser och i parker av fruktan för nya skälvt.

I Rabats förstader störtade också en byggnad sömman under sig. Vår, som var kända i den Marocko.

Följande den portugisiska nyhetsbyrå har fått påföljande tre skadade blomm växterna. Man befärad att några personer har omkommit. Följande byrån åtföljes de land skälvt av ett stort antal. Det andra skälvt pågick i 10 sekunder.

Många som hade rusat ut vid skälvten förklarade att tillbringa natten i det fria. En del sov i bilar.

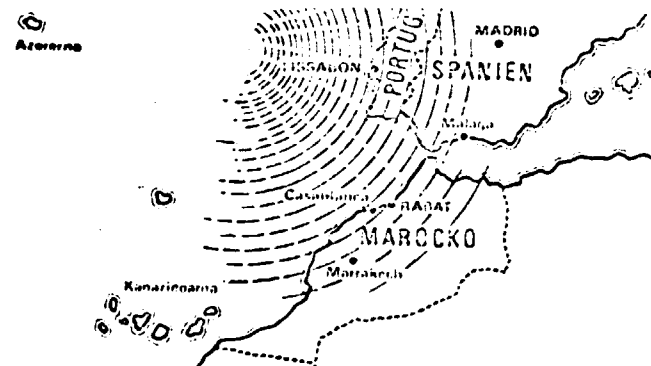
## Kraftigt utslag i Uppsala

UPPSALA (TT). Jordbävningen i Portugal registrerades av seismologiska institutionen i Uppsala kl 03.16.10 svensk tid på fredagsmorgonen. Den var mycket kraftig och kunde lokaliseras i Atlanten strax utanför Portugals kust i närheten av 38 grader nord 13 grader väst.

Richter-magnituden har beräknats till 8,0.

— Det är mycket sällsynt med så stora jordbävningar i detta område och man får gå tillbaka till den 25 november 1911 till ett skälvt av jämförbar styrka utsträckt i ungefär samma område, upplyser Markus Bath.

Man kan också påminna om att den kända Lissabon-jordbävningen 1755 torde ha haft sitt epicentrum i detta område.

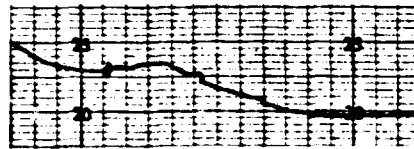
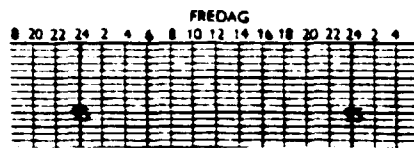


Jordbävningen tidigt i morgon hade sitt centrum mellan Portugal och ögruppen Azorens. I hela den iberiska halvön (Spanien och Portugal) hade känning av skälvt liksom Nordafrikafjälk.

1969	28	Up	iP	02 46 40.5	C	K1	iP	02 47 36.5	C
Feb.			iS	02 51 34				micr	sec
				micr	sec		P	E	68 6
			P	E	67 12		P	N	65 6
			P	N	53 12		P	Z	120 8
			P	Z'	3.3 0.7		P	Z'	8.4 1.0
			S	E	1960 25	Sk	iP	02 46 49.7	C
			S	N	850 20	Um	iP	02 47 12.0	C
			Mx	E	2520 24	Ud	iP	02 46 28.8	C
			Mx	N	2620 23	De	iP	02 46 08.6	C
				D = 3300 km = 29 1/2°.		Atlantic Ocean, off Portugal (h = 20 km).			
						m = 7.7, M = 7.9 (Up, K1).			
						(cont.)			

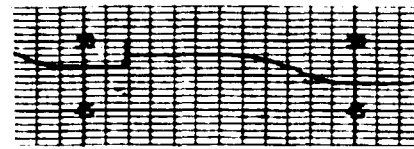
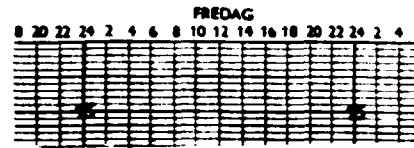
Fig 7. Data från jordskalv den 69 02 28  
(Data from earthquake 69 02 28)

DIAGRAM 1:5

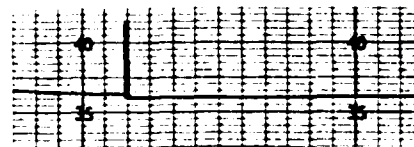


Velen  
Västergötland

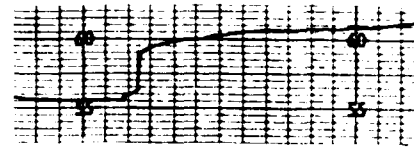
DIAGRAM 1:5



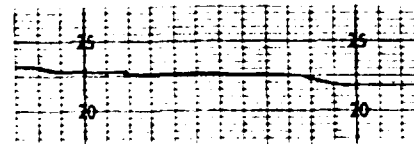
Hällsta V 3  
Södermanland



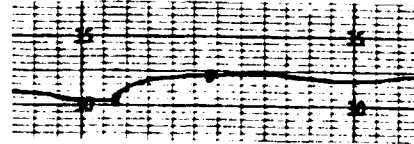
Hällsta V 7  
Södermanland



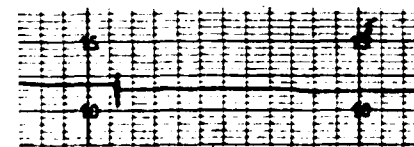
Hällsta V 8  
Södermanland



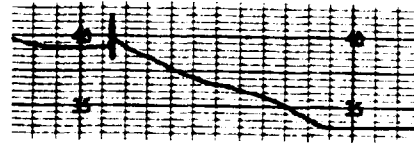
Prästgården  
Markim, Uppland



Skokloster V 2  
Uppland



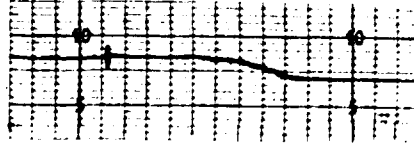
Skokloster V 4  
Uppland



Skokloster V 6  
Uppland



Brunnsvik  
Dalarna



Roknäs  
Norrbotten

Fig 8. Grundvattenförändringar till följd av jordskalv  
69 02 28  
(Ground water fluctuations caused by earthquake  
69 02 28)

Grundvattnets trycknivå kan vidare påverkas indirekt av närbelägna ytvattenmagasin (hav, sjöar). Det är i dessa fall inte fråga om en direkt förbindelse mellan de båda vattenmagasinen utan istället en påverkan genom trycköverföring.

Vidare finns i litteraturen exempel på mera tillfälliga belastningar på grunden vilket givit utslag i grundvattnets trycknivå (t ex tåg som passerat i närheten).

Stockholm september 1977

## 4. REFERENSER

1. Bjerhammar Arne                      Forskning och framsteg, 1977:1
2. Andersen, L.J.                      Korttidsvariationer i grundvandstanden i relation till jordskælv och barometerstand. - Vand Teknik Arg.33, sid. 38-42, juni 1965, sid. 53-55, aug.1965.
3. George, W.O.,  
Romberg, F.E.                      Tide-producing forces and artesian pressures. - Trans. Amer. Geophysical Union, sid. 369-371, vol. 32, 1951.
4. Heck, N.H                              Relation of seismology to hydrology.- Trans. Amer. Geophysical Union, vol. 14, sid. 34-36, 1933.
5. La Rocque Jr, G.A.                      Fluctuations of water-levels in wells in the Los Angeles basin, California, during five strong earthquakes, 1933-1940. - Trans.Amer. Geophysical Union, vol. 22, sid. 374-386, 1941.
6. Nilsson, L.Y.                          Short-time variation of the ground water and its reasons. - Från internationella symposiet om grundvattenproblem i Stockholm, 1966.
7. Parker, G.G.,  
Stringfield, V.T.                      Effects of earthquakes, tides, winds and atmospheric pressure changes on water in the geologic formations of southern Florida. - Econ. Geol.,vol. 45, sid. 441-460, 1950.
8. Piper, A.M.                              Fluktuationer of water-surface in observation-wells and at stream gaging-stations in the Mokelumne Area, California, during the earthquake of december 20, 1932. - Trans. Amer. Geophysical Union, vol. 14, sid. 471-475, 1933.
9. Robinson, T.W.                          Earth-tides shown by fluktuationer of waterlevels in wells in New Mexico and Iowa.- Trans. Amer. Geophysical Union, vol. 20, sid 656-666, 1939.
10. Todd, D.K.                              Ground Water Hydrology. New York, 1959.
11. Tuinzaad, H.                              Influence of the atmospheric pressure on the head of artesian water and phreatic water.- Assemblée Générale de Rome, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique, vol. 2, sid. 32-37, 1954.



12. Vorhis, R.C. Interpretation of hydrologic data resulting from earthquakes.- Geologische Rundschau, vol. 43, sid. 47-52, 1955.
13. Vorhis, R.C. Earthquake-induced water-level fluctuations from a well in Dawson County, Georgia.- Bull. Seism. Soc. Am., vol. 54, no. 4, sid. 1023-1033, 1964.
14. Eaton, J.P. och Takasaki, K.J. Seismological interpretation of earthquake-induced water-level fluctuations in wells.- Seism. Soc. America Bull. vol. 49, nr 3, sid. 227-245, 1959.
15. Jacob, C.E. Fluctuations in artesian pressure produced by passing railroad-trains as shown in a well on Long Island, New York.- Trans. Amer. Geophysical Union, vol. 20, sid. 666-674, 1939.
16. Wendell Marine I. Water-Level Fluctuations Due to Earth Tides In a Well Pumping from Slightly Fractured Crystalline Rock.
17. Melchior, P. The Earth Tides. Pergamon Press. 1966.

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

- 79 Transport of oxidants and radionuclides  
through a clay barrier  
Ivars Neretnieks  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-02-20
- 80 Utdiffusion av svårlösliga nuklider ur kapsel  
efter kapselgenombrott  
Karin Andersson  
Ivars Neretnieks  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-07
- 81 Tillverkning av kopparkapsel  
Kåre Hammerz  
Stefan Sehlstedt  
Bengt Lönnerberg  
Liberth Karlson  
Gunnar Nilsson  
ASEA, ASEA-ATOM
- 82 Hantering och slutförvaring av aktiva metalldelar  
Bengt Lönnerberg  
Alf Engelbrektsson  
Ivars Neretnieks  
ASEA-ATOM, VBB, KTH
- 83 Hantering av kapslar med använt bränsle i slutförvaret  
Alf Engelbrektsson  
VBB Stockholm april 1978
- 84 Tillverkning och hantering av bentonitblock  
Alf Engelbrektsson  
Ulf Odebo  
ASEA, VBB
- 85 Beräkning av kryphastigheten hos ett blyhölje inne-  
hållande en glaskropp under inverkan av tyngdkraften  
Anders Samuelsson
- Förändring av krypegenskaperna hos ett blyhölje som  
följd av en mekanisk skada  
Göran Eklund  
Institutet för Metallforskning september 1977 - april 1978
- 86 Diffusivitetmätningar av metan och väte i våt lera  
Ivars Neretnieks  
Christina Skagius  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-01-09
- 87 Diffusivitetmätningar i våt lera Na-lignosulfonat,  
Sr<sup>2+</sup>, Cs<sup>+</sup>  
Ivars Neretnieks  
Christina Skagius  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-16
- 88 Ground water chemistry at depth in granites  
and gneisses  
Gunnar Jacks  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm april 1978

- 89 Inverkan av glaciation på en deponeringsanläggning  
belägen i urberg 500 m under markytan  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1978-03-16
- 90 Koppar som kapslingsmaterial för icke upparbetat  
kärnbränsleavfall - bedömning ur korrosionssynpunkt  
Lägesrapport 1978-03-31  
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp
- 91 Korttidsvariationer i grundvattnets trycknivå  
Lars Y Nilsson  
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm september 1977
- 92 Termisk utvidgning hos granitoida bergarter  
Ove Stephansson  
Högskolan i Luleå april 1978
- 93 Preliminary corrosion studies of glass ceramic code  
9617 and a sealing frit for nuclear waste canisters  
I D Sundquist  
Corning Glass Works 78-03-14
- 94 Avfallsströmmar i upparbetningsprocessen  
Birgitta Andersson  
Ann-Margret Ericsson  
Kemakta mars 1978
- 95 Separering av C-14 vid upparbetningsprocessen  
Sven Brandberg  
Ann-Margret Ericsson  
Kemakta mars 1978



