

**SKBF**  
**KBS**

**TEKNISK**  
**RAPPORT**

**79-06**

**Kompletterande permeabilitetsmätningar i Karlshamnsområdet**

Gunnar Gidlund  
Kenth Hansson  
Ulf Thoregren

Sveriges Geologiska Undersökning februari 1979

**SVENSK KÄRNBRÄNSLEFÖRSÖRJNING AB / PROJEKT KÄRNBRÄNSLESÄKERHET**

*POSTADRESS: Kärnbränslesäkerhet, Box 5864, 102 48 Stockholm, Telefon 08-67 95 40*

Kompletterande permeabilitetsmätningar i  
karlshamnsområdet.

Gunnar Gidlund  
Kenth Hansson  
Ulf Thoregren

Sveriges Geologiska Undersökning  
Februari 1979

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av SKBF projekt 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 SKBF projekt KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

## ABSTRACT

Water loss measurements have been carried out in four boreholes in the Karlshamn area, in the southeast parts of Sweden.

All of the boreholes are inclined and drilled down to a vertical deep of about 550 m, except one (Ka 1) which has a vertical depth of 780 m.

Measurements have been carried out with double- and single packer tests. By the doublepacker tests a section of 3 meter have been used.

Totally some 800 permeability tests have been brought out in the area.

The major part of the doublepacker testings shows sections with a permeability less than  $10^{-9}$  m/s.

The single-packer testings shows, especially towards the depth, large sections with permeabilities less than  $10^{-11}$  m/s.

Borehole Ka 1, which is situated in the central part of the investigation area presents many sections with a very low permeability.

The surrounding boreholes in the area generally show higher permeabilities, and in these individual fracture zones have also been identified.

Two of the boreholes (Ka 4 and Ka 5) are also measured by geophysical logging.

The geophysical borehole measurements in Ka 5 shows a very low degree of fracturing and a concentration of fractures to a few zones with an almost non-fractured rock-mass in between. The borehole diameter are constant along the borehole indicating closed fractures. An exception from this general picture are results from borehole Ka 4 which is drilled close to a major fracture zone located in the northern part of the investigated area. The resistivity measurements from this borehole shows a high frequency of fractures and a high water content in the fractures.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning
  - 1.1 Bakgrund
  - 1.2 Undersökningens omfattning
2. Vattenförlustmätningar
  - 2.1 Beräkningsmetod
  - 2.2 Mätmetodik
    - 2.2.1 Mätmetodik vid enkelmanschettmätningar
3. Resultat
  - 3.1 Borrhål Ka\_1
    - 3.1.1 Enkelmanschettmätningar
  - 3.2 Borrhål Ka\_2
    - 3.2.1 Enkelmanschettmätningar
  - 3.3 Borrhål Ka\_3
  - 3.4 Borrhål Ka\_5
    - 3.4.1 Enkelmanschettmätningar
4. Diskussion av felkällor
  - 4.1 Praktiska - tekniska felkällor
    - 4.1.1 Tryck
    - 4.1.2 Flöden
  - 4.2 Teoretiska felkällor
    - 4.2.1 Förutsättningar
    - 4.2.2 Permeabilitetsbestämningar genom vattenförlustmätningar
      - 4.2.2.1 Teori
      - 4.2.2.2 Skinfaktorns inverkan
5. Sammanfattning

Figurer 1-6

## 1. Inledning

### 1.1 Bakgrund

I regeringsbeslut 1978-10-05 krävdes ytterligare geologiska data för att påvisa förekomster av tillräckligt stora bergformationer, lämpade för slutförvar av högaktivt avfall.

Projekt Kärnbränslesäkerhet (KBS) gav därför Sveriges geologiska undersökning (SGU) i uppdrag att utföra ett antal nya kärnborrhål med åtföljande geologisk utvärdering.

I uppdraget ingick även att i borrhålen utföra mätningar av bergets vattengenomsläpplighet (permeabilitetsmätningar).

De upptagna borrhålen är belägna vid Finnsjön (Uppland) samt på Sternö (nära Karlshamn).

Denna rapport omfattar de permeabilitetsmätningar som utförts i Karlshamnsområdet.

### 1.2 Undersökningens omfattning

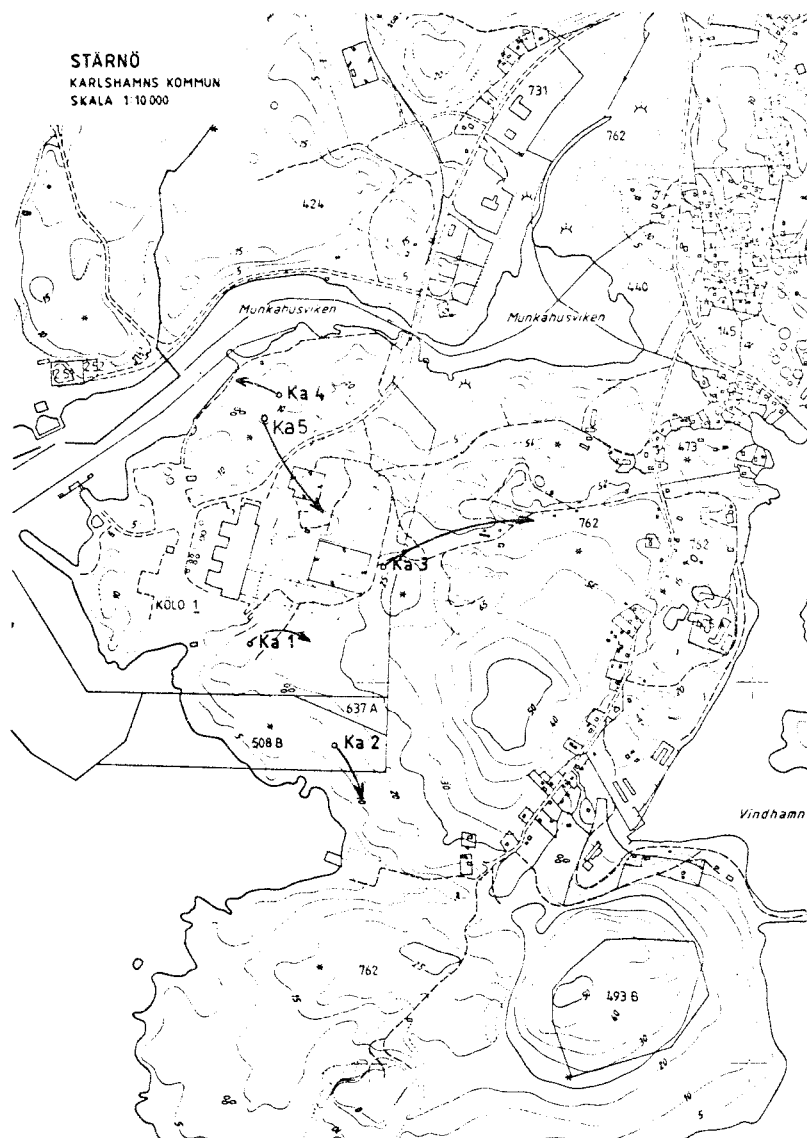
I Karlshamnsområdet har vattenförlustmätningar utförts för beräkning av berggrundens permeabilitet. Mätningarna ger en uppfattning om berggrundens hydrauliska ledningsförmåga i anslutning till borrhålen.

I borrhålen Ka 2, Ka 3 och Ka 5 redovisas inte de översta 250 metrarna av borrhålslängderna i denna första rapport.

Mätningarna har utförts i följande borrhål:

Borrhåls- beteckning	Gradning mot horisontalplanet	Undersökt borrhåls- avsnitt (m)	Motsv. vert. borrhåls- avsnitt (m)
Ka 1	80 <sup>0</sup>	490,5 - 778,5	483,0 - 766,7
Ka 2	75 <sup>0</sup>	248,8 - 571,8	240,3 - 552,3
Ka 3	50 <sup>0</sup>	248,6 - 764,6	190,4 - 585,7
Ka 5	61 <sup>0</sup>	250,8 - 576,8	219,3 - 504,5

De undersökta borrhålens läge och horisontella utsträckning framgår av nedanstående figur.



Borrhålens läge och horisontella utsträckning i Karlshamnsområdet.

## 2. Vattenförlustmätningar

### 2.1 Beräkningsmetod

Berggrundens permeabilitet kan beräknas på grundval av mätningar av det vattenflöde som kan pressas ut i berggrunden inom en känd mätsektion, med samtidig mätning av det utpressade vattnets tryck och med kännedom om grundvattnets trycknivå i borrhålet.

Enligt Banks (1972) kan permeabilitetskonstanten  $k$  beräknas ur följande ekvation:

$$k = C \frac{Q}{L H}$$

$k$	= permeabilitetskonstant	m/s
$C$	= permeabilitetskonstant	sortlös
$Q$	= vattenflöde	$\text{m}^3/\text{s}$
$L$	= mätvåningens längd	m
$H$	= diff. tryckhöjd	m.v.p.

Konstanten  $C$  är bestämd av Moye (1967) till:

$$C = \frac{1 + \ln(L/d)}{2 \pi}$$

där  $d$  = mätvåningens diameter.

Permeabilitetskonstantens värde för varje mätsektion har beräknats.

### 2.2 Mätmetodik

Samtliga dubbelmanschettmätningar har utförts i 3 m sektioner. Borrhål Ka 1 har tidigare undersökts ned till 500 m djup (se KBS Teknisk Rapport nr 61) och mätresultaten presenteras tillsammans med de nya mätningarna. Vid denna och den tidigare undersökningen användes 2 m mätsektioner. De nu utförda mätningarna har dessutom kompletterats med enkelmanschettmätningar i borrhålen Ka 1, Ka 2 och Ka 5.

Vid dubbelmanschettmätningarna har sektionerna avgränsats med manschetter, mellan vilka vatten tryckts ut genom ett perforerat rör. Manschetterna utgörs av gummi-packningar, vilka tätats mot borrhålets väggar med hjälp av hydraulik. För mätning av det utpressade vattnets tryck samt grundvattnets tryck på den aktuella mätnivån finns tryckgivare placerade intill den övre manschetten. Härigenom är trycken direkt avläsbara och hänsyn behöver ej tas till det nedpressade vattnets tryckförluster i rörgången. På ett avläsningsinstrument kan grundvattenpelarens tryck, det nedpumpade vattnets tryck samt differensstrycket mellan dessa avläsas.

Vid vissa tillfällen har den elektroniska tryckgivningen ej fungerat, varför trycket hos det nedpumpade vattnet har avlästs på manometrar vid markytan. Hänsyn har därvid tagits till rörgångens tryckförluster enligt en tidigare utförd kalibrering.

Givare och manschetter är kopplade till en rörgång med 2 m långa enheter som sänks med hydraulik. Vattnet leds genom rörgången som har en inre diameter av 10 mm. Vattenflödet har mätts med flödesmätare av rotametertyp. Dessa har en inbördes överlappning för flöden från 65 l/min till 0,00085 l/min.

Vid mätningarna har ett differensstryck av 0,2 - 0,6 MPa använts. De tidigare mätningarna har visat att ett differensstryck av 0,2 MPa gett de säkraste resultaten, varför dessa i allmänhet har valts att presenteras. De undre mätgränser som anges i diagrammen ( $= k_{\min}$ ) är beräknade på grundval av de minsta mätbara flödena.

Vid redovisning av t e x differensstrycket 0,2 MPa har värden i tryckintervallet 0,15 - 0,25 MPa medtagits i diagrammet. Vid beräkning av permeabilitetsvärdet har dock det faktiska tryckvärdet använts.

I borrhål Ka 1 har inte elektroniska tryckgivare använts. Grundvattenytan är här belägen ca 20 m under markytan, vilket medförde ett begynnelsestryck av 0,2 MPa vid vattenfylld rörgång. På grund av mättekniska skäl valdes här ett differensstryck av 0,6 MPa.

Mätningarna har i allmänhet ej utförts till fullt borrhålsdjup p g a sedimenterat borrhax i botten av borrhålen.



### 2.2.1 Mätmetodik vid enkelmanschettmätningar

Enkelmanschettmätningar har utförts i tre borrhål i Karlshamnsområdet, nämligen Ka 1, Ka 2 och Ka 5. Resultaten från dessa mätningar presenteras i tabellform i anslutning till respektive borrhålsbeskrivning.

Den mätvåning som undersöks vid enkelmanschettmätningar är avsnittet under manschetternas placering i borrhålet till borrhålets botten. Flödeskapaciteten hos systemet tillsammans med bergets permeabilitet är avgörande för hur stora avsnitt som kan mätas på detta sätt.

I Karlshamnsområdet har det ej varit några som helst problem med kapacitetens tillräcklighet även vid så långa sektioner som 750 meter.

De undersökta avsnitten av borrhålen avtätas effektivare vid enkelmanschettmätningar jämfört med vid dubbelmanschettmätningar. Mättiderna vid dessa mätningar har varit något för långa för att vara helt representativa vid användandet av Banks formel för beräkning av permeabilitet. Anledningen till detta var svårigheter att snabbt erhålla stabila flöden. I övrigt gäller vad som tidigare nämnts under 2.2.

## 3. Resultat

Resultaten av undersökningarna har sammanställts i diagramform, där k-värdena redovisas i logaritmisk skala.

Samtliga borrhål i Karlshamnsområdet är gradade hål. Hålens tredimensionella utsträckning har kartlagts med hjälp av krökningsmätningar (se kompletterande berggrundsundersökningar inom Finnsjö- och Karlshamnsområdena, bil 2).

I permeabilitetsdiagrammen presenteras, på y-axeln, skalor för borrhålslängd och vertikalt borrhålsdjup.

Berggrunden har ingen homogen sprickighet. En enstaka spricka på en sektion kan således ge samma k-värde som flera mindre sprickor tillsammans, i en annan sektion. Varje punkt i diagrammen anger således det genomsnittliga k-värdet för varje sektion. Av diagrammen framgår att betydande skillnader i k-värden kan föreligga mellan två intilliggande sektioner.

### 3.1 Borrhål Ka 1

Borrhålet Ka 1 är ansatt med  $80^{\circ}$  mot horisontalplanet i riktning ONO, avviker på mitten rent ostligt för att senare mot botten vika mot OSO, borrhålet är dessutom fördjupat från 500,7 m till 802,6 m. Mätningarna påbörjades vid borrhålslängden 490,5 m och avslutades vid 780,5 meter.

Borrhålets övre 496 m uppmättes under november månad 1977 och finns redovisat i KBS, Teknisk Rapport nr 61.

Dessa mätningar visar att vattenförluster uppmättes endast i 10 mätsektioner ned till 397 m borrhålslängd. I dessa 10 sektioner varierade k-värdena mellan  $7 \times 10^{-10}$  m/s och  $1 \times 10^{-8}$  m/s.

"Den längsta sektionen utan uppmätta vattenförluster är 136 m och belägen mellan 167 m och 303 m ( $k \leq 4 \times 10^{-10}$  m/s). Från 397 m ned till 496 m har vattenförluster erhållits i de flesta sektionerna. K-värdena är dock små och  $k_{\max}$  är där  $2 \times 10^{-9}$  m/s".

Vid de fortsatta mätningarna från 490,5 m och nedåt förfinades flödesmätarutrustningen, varför mätgränsen för permeabiliteten har sänkts från  $4 \times 10^{-10}$  m/s till  $5 \times 10^{-11}$  m/s vid mätningar med dubbelmanschett.

Från mätnivån 490,5 m ned till 520,5 m erhöles små, varierande vattenförluster, dock ingen sektion med högre permeabilitet än  $2,9 \times 10^{-9}$  m/s. I sektionen 520,5 m till 556,5 m uppmättes inga vattenförluster ( $k \leq 5 \times 10^{-11}$ ). Från 556,5 m till 670,5 m varierar k-värdena mellan  $1,8 \times 10^{-10}$  m/s och  $1,2 \times 10^{-9}$  m/s. Under nivån 670,5 m uppmättes små vattenförluster i samtliga

mätsektioner. k-värdena är dock små och  $k_{\max}$  är där  $2,7 \times 10^{-9}$  m/s ( $k_{\min} = 7,1 \times 10^{-10}$  m/s).

### 3.1.1 Enkelmanschettmätningar

Vid den tidigare mätperioden (nov -77) gjordes försök, där vattenförlusterna mättes med hela hålet som en sektion. Försöket upprepades 3 gånger med överensstämmande resultat. En beräkning av k-värdet på en 473 m lång sektion från 23 m till 496 m ger  $k \leq 2 \times 10^{-12}$  m/s (Moyés konstant anses vara 1 i detta fall).

Efter fördjupningen av borrhålet gjordes nya enkelmanschettmätningar från 29,5 m ner till 199,5 m.

Mätningarna är utförda på fem olika nivåer varvid tre olika differenstryck har utnyttjats. De olika trycken är 0,4, 0,6 och 0,8 MPa.

Resultaten från mätningarna redovisas i nedanstående tabell.

#### Enkelmanschettmätningar, Ka 1

Sektion	D i f f e r e n s t r y c k		
	0,8 MPa	0,6 MPa	0,4 MPa
29,5 - 778,5 m	$8,0 \times 10^{-10}$ m/s	$4,0 \times 10^{-10}$ m/s	$1,3 \times 10^{-10}$ m/s
33,5 - 778,5 m	$8,0 \times 10^{-10}$ m/s	$4,0 \times 10^{-10}$ m/s	$1,5 \times 10^{-10}$ m/s
99,5 - 778,5 m	$2,0 \times 10^{-10}$ m/s	$1,4 \times 10^{-10}$ m/s	$6,1 \times 10^{-10}$ m/s
149,5 - 778,5 m	$1,7 \times 10^{-10}$ m/s	$8,7 \times 10^{-11}$ m/s	$1,6 \times 10^{-10}$ m/s
199,5 - 778,5 m	$8,9 \times 10^{-12}$ m/s	$2,0 \times 10^{-12}$ m/s	$< 10^{-12}$ m/s

Av tabellen kan utläsas att, från 199,5 m, till hålets botten, befinner sig medelpermeabiliteten under  $10^{-12}$  m/s vid ett differenstryck av 0,4 MPa. Mellan 149,5 - 199,5 meter torde det finnas flera vattenförande sprickor.

### 3.2 Borrhål Ka 2

Borrhålet är ansatt med  $75^{\circ}$  mot horisontalplanet i riktning S0, hålet avviker med djupet något åt söder. Längden av borrhålet är 578,9 meter och permeabilitetsmätningarna är utförda till en borrhålslängd av 571,8 meter.

I avsnittet 248,8 - 332,8 meter sprider permeabiliteten mellan mätgränsen ( $1,9 \times 10^{-10}$  m/s) och  $8,3 \times 10^{-8}$  m/s. Flertalet mätvärden hamnar mellan  $1,0 \times 10^{-9}$  och  $1,0 \times 10^{-8}$  m/s.

Värdena mellan 332,8 - 475,8 meter är samlade mellan undre mätgränsen och  $1,2 \times 10^{-9}$  m/s, så när som på en sektion vars värde är obetydligt högre.

Avsnittet under 475,8 meter ner till mätningens avslutning på 571,8 meter uppvisar permeabiliteter som varierar mellan mätgränsen  $1,9 \times 10^{-10}$  m/s och  $8,0 \times 10^{-10}$  m/s.

#### 3.2.1 Enkelmanschettmätningar

I detta borrhål är mätningarna utförda på åtta olika nivåer och med tre olika differenstryck på varje nivå. De här använda differenstrycken är 0,2, 0,4 och 0,6 MPa.

De erhållna resultaten presenteras i tabellen nedan.

#### Enkelmanschettmätningar, Ka 2

Sektion	D i f f e r e n s t r y c k		
	0,6 MPa	0,4 MPa	0,2 MPa
100,0 - 575,8 m	$4,1 \times 10^{-9}$ m/s	$4,9 \times 10^{-9}$ m/s	$6,2 \times 10^{-9}$ m/s
150,0 - 575,8 m	$4,2 \times 10^{-9}$ m/s	$4,7 \times 10^{-9}$ m/s	$5,6 \times 10^{-9}$ m/s
200,0 - 575,8 m	$3,3 \times 10^{-9}$ m/s	$3,7 \times 10^{-9}$ m/s	$4,1 \times 10^{-9}$ m/s
250,0 - 575,8 m	$3,6 \times 10^{-9}$ m/s	$4,1 \times 10^{-9}$ m/s	$4,4 \times 10^{-9}$ m/s
300,0 - 575,8 m	$3,4 \times 10^{-9}$ m/s	$3,8 \times 10^{-9}$ m/s	$4,2 \times 10^{-9}$ m/s
350,0 - 575,8 m	$5,0 \times 10^{-12}$ m/s	$5,7 \times 10^{-12}$ m/s	$2,2 \times 10^{-11}$ m/s
400,0 - 575,8 m	$4,1 \times 10^{-12}$ m/s	$2,0 \times 10^{-12}$ m/s	$8,3 \times 10^{-12}$ m/s
450,0 - 575,8 m	$1,9 \times 10^{-12}$ m/s	$2,8 \times 10^{-12}$ m/s	$5,6 \times 10^{-12}$ m/s

Permeabiliteten under 350 meters nivån understiger  $2,2 \times 10^{-11}$  m/s (0,2 MPa). Mellan 300-350 m kan ett mer vattenförande avsnitt identifieras.

### 3.3 Borrhål Ka 3

Borrhålet är ansatt  $50^{\circ}$  mot horisontalplanet i riktning ONO, borrhålet avviker mer ostligt mot botten. Borrhålslängden är 774,5 meter och permeabilitetsmätningarna är utförda till en borrhålslängd av 764,6 meter.

Avsnittet 248,6 - 299,6 meter uppvisar mätvärden mellan  $1,9 \times 10^{-10}$  m/s (= mätgränsen för utrustningen) och  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s, endast två mätvåningar uppvisar något högre mätvärden ( $k_{\max} = 5,5 \times 10^{-9}$  m/s).

Mätningarna i intervallet 299,6 - 359,6 m uppvisar de största permeabiliteterna i borrhålet. Värden kring  $1,5 \times 10^{-6}$  finns representerade och merparten av mätvärdena i intervallet är större än  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s.

I avsnittet 359,6 - 764,6 meter varierar värdena mellan mätgränsen  $1,9 \times 10^{-10}$  m/s och  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s så när som på ett värde i sektionen 701,6 - 704,6 meter, vilken har ett permeabilitetsvärde av  $1,2 \times 10^{-9}$  m/s.

### 3.4 Borrhål Ka 5

Ansättningen av borrhålet Ka 5 är  $61^{\circ}$  mot horisontalplanet i riktning SSO. Längden hos borrhålet är 602,65 meter och permeabilitetsmätningarna har utförts till en borrhålslängd av 576,8 meter.

Borrhålet kan indelas i fyra sektioner med sinsemellan olika permeabilitetsintervall. Den översta sektionen, vilken omfattar avsnittet 250,8 m till 333,8 meter uppvisar en permeabilitet som varierar från  $1,6 \times 10^{-9}$  m/s till  $1,1 \times 10^{-8}$  m/s.

Sektionen därefter, mellan 333,8 meter och 366,8 meter, representeras permeabiliteten av mätgränsvärdet ( $1,9 \times 10^{-10}$  m/s) så när som på ett värde vilket har en permeabilitet av  $5,7 \times 10^{-10}$  m/s.

I den följande sektionen, mellan 366,8 meter och 516,8 meter, varierar permeabilitetsvärden mellan  $7,0 \times 10^{-10}$  m/s och  $3,8 \times 10^{-9}$  m/s.

Den understa sektionen, mellan 516,8 meter och 576,8 meter, har permeabilitetsvärden mellan  $1,2 \times 10^{-9}$  m/s och  $1,4 \times 10^{-8}$  m/s.

Under mätningarna av detta borrhål har det konstaterats att ett läckage hos utrustningen uppstått.

Läckaget började antagligen vid en borrhålslängd av 370 meter och har sedan dess tilltagit i omfattning. Vid demontage på markytan efter avslutad mätomgång har konstaterats ett brott på en o-ringstättning hos mätutrustningen i borrhålet. Detta brott bör ha gett en momentan flödesförhöjning. Vid fortsatt användande torde läckaget ha tilltagit på grund av slitage hos de utsatta delarna.

Till grund för denna teori kan anföras att vid reproducerbarhetsmätningar vid upptagningen av utrustningar från borrhålsbotten har högre och tilltagande permeabilitetsvärden noterats.

Vid en test på markytan efter avslutad mätomgång erhöles ett läckage som motsvarar ett permeabilitetsvärde kring  $7,5 \times 10^{-8}$  m/s.

#### 3.4.1 Enkelmanschettmätningar

På två av de fem uppmätta nivåerna i detta borrhål, har fyra olika differenstryck nyttjats, medan de tre återstående nivåerna mätts med tre olika differenstryck. Se tabell nedan.

Enkelmanschettmätningar, Ka 5

Sektion	D i f f e r e n s t r y c k		
	0,6 MPa	0,4 MPa	0,2 MPa
100,0 - 577,8 m	$1,8 \times 10^{-9}$ m/s	$1,7 \times 10^{-9}$ m/s	$1,9 \times 10^{-9}$ m/s
150,0 - 577,8 m	$1,2 \times 10^{-9}$ m/s	$1,2 \times 10^{-9}$ m/s	$2,1 \times 10^{-9}$ m/s
200,0 - 577,8 m	$1,1 \times 10^{-9}$ m/s	$8,6 \times 10^{-10}$ m/s	$8,8 \times 10^{-10}$ m/s
250,0 - 577,8 m	$1,8 \times 10^{-10}$ m/s	$1,7 \times 10^{-10}$ m/s	$1,7 \times 10^{-10}$ m/s
300,0 - 577,8 m	$4,0 \times 10^{-12}$ m/s	$2,7 \times 10^{-12}$ m/s	$2,4 \times 10^{-12}$ m/s

I avsnittet 100 - 300 meter verkar berget relativt permeabelt. Medelpermeabiliteten under 300 meter befinner sig kring  $2,4 \times 10^{-12}$  m/s (0,2 MPa).

#### 4. Diskussion av felkällor

Allmänt: De i undersökningen använda utrustningarna är relativt nyutvecklade varför ingen ingående studie av eventuella felkällor och deras storleksordning företagits inom detta projekts ramar.

En indelning av felkällorna kan göras i praktiska - tekniska och teoretiska felkällor.

Att mätutrustningen befinner sig på stora djup i berggrunden medför att det är svårt att kontrollera alla dess funktioner under mätningarnas gång.

Dessutom medför den nu utnyttjade mätgränsen ( $1,0 \times 10^{-10}$  m/s vid 0,2 MPa övertryck och 3 meters mätsektion) att extremt små flödesbestämningar måste ske på stort avstånd från de registrerade instrumentdelarna. Som en jämförelse kan nämnas att flödena vid mätgränsen är mindre än flödena vid en normal blodprovtagning. Att märka är att detta flöde mäts i sektioner 800 meter ned i berggrunden.

##### 4.1 Praktiska - tekniska felkällor

###### 4.1.1 Tryck

Den elektroniska tryckgivare som använts har en mätnoggrannhet på  $\pm 0,1$  meter vattenpelare vid mätning av differenstryck. Absoluttrycksmätningarna kan dock vara behäftade med något större fel på grund av instrumentdrift.

Vid de tillfällen då elektroniska tryckgivningen inte kunnat användas, har manometrar på markytan måst tillgripas. Manometrarnas felgränser är enligt tillverkaren i storleksordningen  $\pm 2$  %. Samtliga manometrar är dock kalibrerade.

I de fall tryckavläsning skett med hjälp av manometrar på markytan måste en kompensation för friktionsförluster i rörgången vidtagas.



En kalibreringskurva för kompensation av friktionsförlusterna i rörgången finns sedan tidigare upprättad för olika flöden och längder hos rörgången. Denna kurva baserar sig på mätningar av friktionsförlusterna utförda i en 750 meter lång rörgång utlagd på markytan.

Vid den här typen av mätningar är det av stor vikt att känna till det piezometriska trycket i mätsektion innan vattenförlustmätningen påbörjas. Uppbyggnaden av det piezometriska trycket är ibland mycket långsamt, framförallt i lågpermeabla bergformationer. Med anledning av detta har ej sådana mätningar kunnat utföras inom projektets begränsade tidsramar.

Avvikelserna i den piezometriska tryckhöjden torde i Karlshamnsområdet ej uppgå till mer än  $\pm 5$  meter vattenpelare. Vid mätningar utförda vid 0,2 MPa kan detta maximalt innebära ett fel på värdesiffrorna hos den angivna permeabiliteten på  $\pm 33$  %.

#### 4.1.2 Flöden

Flödena har mätts, som tidigare nämnts, med flödesmätare av rotametertyp. Dessa har varit sex till antalet och har haft en inbördes överlappning av sina mätområden.

De enligt tillverkaren angivna mätfelen för de två största flödesmätarna är  $\pm 2$  % och för de fyra minsta mätarna  $\pm 3$  % vid det maximala flödet.

De ventiler som använts för olika funktioner i mätutrustningen skall vara "helt täta" enligt tillverkaren. Små skador kan dock uppstå i ventilsäten och dyliskt.

Rörgången består av rör av två meters längd. Dessa gängas samman med en mycket noggrann gänga med en längd av 45 mm. I gängans ände finns ett skyddat o-ringssäte.

Vid den tidigare nämnda testen av friktionsförlusterna hos rör-  
gången utfördes samtidigt en test av systemets täthet. Därvid  
besiktigades varje rörskarv okulärt och det visade sig vid  
noggrann kontroll att ingen av de 375 rörskarvarna läckte.

Samma erfarenhet erhöles vid användandet av utrustningarna vid  
täta mätsektioner i borrhålen.

Detta gav sig tillkänna genom att inget tryckfall (= läckage)  
erhölls vid inestängda övertryck.

Trots alla försiktighetsåtgärder kan dock läckage uppstå i  
någon rörskarv.

Tätningdelarna hos manschetterna är relativt korta (300 mm)  
varför hydraulisk kontakt kan uppstå förbi manschetterna vid  
förekomst av sprickor parallella med borrhålet.

Denna effekt gör sig inte lika påmind vid enkelmanschettmätningar  
då tätningen i detta fall utgörs av dubbla manschettätningar med  
ett inbördes avstånd av 3 meter.

Till sist kan nämnas möjligheten till läckage i manschetten där  
vattnet passerar genom ett antal o-ringstätningar. Vid ett par  
tillfällen har så varit fallet, se exempelvis beskrivningar av  
borrhål Ka 5.

Vid kärnborrningarna torde en del borrhåll pressas in i eventu-  
ella sprickor och krosszoner. Detta kan ha en tätande effekt  
vilket kan medföra att för låga permeabilitetsvärden erhålles.  
För att motverka denna effekt har speciella pumpningar utförts  
(s k mammutpumpningar).

## 4.2 Teoretiska felkällor

### 4.2.1 Förutsättningar

Svenskt urberg utgör ett inhomogent medium för grundvattenströmning där sprickor utgör de vattenförande delarna i en i övrigt i det närmaste tät bergdel. Sett i ett större perspektiv torde urberget dock kunna betraktas som ett homogent medium där ingående bergmassa har en genomsläplighet bestämd av en för i frågavarande bergart normalt förekommande sprickighet. Till detta kommer zoner med förhöjd genomsläplighet i anslutning till större tektoniska zoner etc.

I antagande och diskussionerna under de följande rubrikerna rörande bestämningar av bergets genomsläplighet förutsätts homogena förhållanden. Detta innebär att bergmassan i sig kan ha varierande genomsläppande egenskaper men att inom varje betraktad zon eller del denna egenskap är konstant.

### 4.2.2 Permeabilitetsbestämningar genom vattenförlustmätningar

#### 4.2.2.1 Teori

Permeabilitetsbestämning utgörs genom att analysera responsen hos ett grundvatten på någon form av störning som påförs detta. Störningarna innebär exempelvis att vatten tillförs eller borttages och responsen är en förändring av grundvattennivå. Responsen kan analyseras dels som en funktion av tiden, transient skede, dels som funktion av det nya tillstånd som inställer sig vid ny jämvikt, stationärt skede.

Sambandet mellan vattentryck och flöde i ett borrhål kan tecknas (Matthews och Russe1 1967):

$$h_0 - h = \frac{Q}{2\pi T} (\sigma + \int) + cQ^2$$

där

$h_0 - h$  = Pålagt vattentryck minskat med ursprungligt vattentryck

$Q$  = Flödet

$T$  = Transmissiviteten =  $k_s \cdot L$

$k_s$  = Sektionens permeabilitet

$L$  = Sektionens längd

$\sigma$  = Brunnsfunktion

$\xi$  = Skinfaktor

$C$  = Faktor för den turbulenta borrhålsförlusten

Brunnsfunktionen  $\sigma$  har olika utseende beroende av stationärt eller transient skede enligt (Lohman 1972):

A Stationärt

$$\sigma = \ln \frac{R_0}{r_w}$$

där

$R_0$  = Influensradie (d v s där trycket är  $h$ )

$r_w$  = Borrhålets radie

B Transient

1. Konstant flöde  $Q$

$$\sigma = \frac{W(u)}{2}$$

där

$W(u)$  som är en funktion av  $u$  finns tabellerad

$$u = \frac{r_w^2 S}{4T \cdot t}$$

$S$  = magasinskoefficienten

$r_w$  = borrhålets radie

För små värden på  $u$ , d v s små  $r_w$ -värden och/eller stora  $t$ -värden kan  $\sigma$  tecknas:

$$\sigma = 1,15 \log \frac{2,25 T t}{r_w^2 S}$$

2. Konstant tryck  $h_0 - h$

$$\sigma = \frac{1}{G(u)}$$

där  $G(u)$  som är en funktion av  $u$  finns tabellerad

$$u = \frac{r_w^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

Med undantag av extremt små värden på  $t$  kan  $G(u)$  skrivas

$$G(u) = \frac{2}{W(u)}$$

$$\text{d v s} \quad \sigma = \frac{W(u)}{2}$$

eller för små värden på  $u$

$$\sigma = 1,15 \log \frac{2,25 T t}{r_w^2 S}$$

Skinfaktorn  $\xi$  uttrycker vid laminär strömning det tryckfall i borrhålet som beror av igensättning med borrhax etc utefter borrhålsväggarnas mikrosprickor. I detta fall är  $\xi$  positivt. Vid negativa  $\xi$ , vanliga vid borrhål i sprickiga avlagringar, har området närmast brunnen större permeabilitet än formationen i övrigt. Ett borrhåls effektiva radie  $r_{wf}$  kan definieras som radien vid vilken tryckfallet i en ideal avlagring är lika med det aktuella tryckfallet med skineffekt d v s

$$r_{wf} = r_w e^{-\xi}$$

Med hjälp av skin-faktorn kan också avvikelser från radiell strömning betraktas beroende av exempelvis sk ofullständig brunn- eller vattentryckning från begränsad sektion.

Den turbulenta borrhålsförlusten kan i flertalet fall negligeras, speciellt vid låga flöden och täta avlagringar. Enligt Carlsson och Carlstedt (1976) kan  $C$  tecknas som

$$C = \frac{1}{r_w T^{1,25}}$$

Vid vattenflöden av 5 l/min och permeabilitet av  $1,1 \times 10^{-6}$  m/s kommer borrhålsförlusten på grund av turbulent störning att vara cirka 2 m d v s 10 % av vattentrycket vid 20 m tryckdifferens. Vid permeabiliteten  $1,1 \times 10^{-10}$  m/s och flöde  $5 \times 10^{-4}$  l/min blir motsvarande värde cirka 5 cm d v s 2,5 % av vattentrycket. Detta innebär att man kan bortse från störningar orsakade av turbulens vid beräkning av permeabiliteten inom de mätområden som är aktuella.

#### 4.2.2.2 Skinfaktorns inverkan

I fig 5 visas tryckfördelningen i och omkring ett borrhål vid permeabilitetsbestämning genom vattenförlustmätning. För bestämning av skinfaktorns storlek fordras kännedom om tryckförändringsförloppet under transient skede för att magasinskoefficienten  $S$  i avlagringen och den magasinskoefficient som erhålles utifrån observationen i borrhålet skall kunna bestämmas. Avlagringens magasinskoefficient erhålles från vattentrycksobservationer i observationshål i anslutning till det provtryckta borrhålet.

Skinfaktorn  $\xi$  kan bestämmas enligt

$$\xi = 1,15 \log \frac{S_b}{S}$$

där  $S_b$  = magasinskoefficienten bestämd från observationen i det provtryckta borrhålet.

$S$  = avlagringens (bergets) magasinskoefficient

Magasinskoefficienten kan tecknas som

$$S = \rho L(n\beta + \alpha) = L \cdot S_s$$

där

$\rho$  = vattnets densitet

$L$  = mäktighet

$n$  = avlagringens porositet

$\beta$  = grundvattnets kompressibilitet

$\alpha$  = akviferens kompressibilitet

$S_s$  = specifika magasinskoefficienten

Akviferens kompressibilitet är inversen till bergmassans elasticitetsmodul mätt över ett avsnitt innehållande såväl tätt berg som sprickor. Mätningar vid Forsmark och Ringhals ger följande värden på  $\alpha$ .

$$\alpha = 2 \times 10^{-11} - 9 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$$

Vattnets kompressibilitet  $\beta = 5 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$

Porositeten i berg kan antas vara mycket låg, cirka  $10^{-3} - 10^{-4}$  vilket innebär att akviferens kompressibilitet är avgörande för storleken av magasinskoefficienten  $S$ . Teoretiskt är således

$$S_s = 3 \times 10^{-8} - 9 \times 10^{-8} \frac{1}{\text{m}}$$

Vid mätningar i 3 m:s sektioner bör således  $S$  vara cirka

$$S = 8 \times 10^{-8} \times 3 \times 10^{-7}$$

Beräkningar från vattentrycksmätningar vid Studsvik (borrhål B3N med observationer i B4N) ger  $S_s = 1 - 2 \times 10^{-7} \frac{1}{\text{m}}$  d v s  $S = 3 - 6 \times 10^{-7}$  för 3 m:s sektioner.

Beräkningar av magasinskoefficienten  $S_b$  för några mätintervall i Fi 5 och Fi 7 ger värden mellan  $5 \times 10^{-5}$  -  $5 \times 10^{-4}$ . Detta innebär att skinfaktorn  $\xi$  vid vattentrycksmätningarna bör vara

$$\xi = 2 - 3,5$$

i medeltal cirka 2,5

För permeabilitetsbestämningarna har Banks formel utnyttjats d v s  $\sigma$  sätts lika med 5.

Teoretiskt bör motsvarande värden för  $\sigma$  på grundval av nämnda värden på  $\xi$  variera enligt följande tabell vid en mät-tid av cirka 3 min.

$k_s$	$\xi$	Influensradie
$10^{-10}$ m/s	2,7	0,5 m
$10^{-9}$ m/s	3,9	1,6 m
$10^{-8}$ m/s	5,0	5 m
$10^{-7}$ m/s	6,2	16 m
$10^{-6}$ m/s	7,3	50 m

Detta innebär, vilket också framgår av fig. 6, att Banks formel ger för höga permeabilitetsvärden vid  $k < 10^{-8}$  och för låga för  $k > 10^{-8}$  m/s. Skillnaden med teorin för brunnar är dock försumbar, exempelvis ett k-värde av  $3 \times 10^{-10}$  m/s beräknat med Banks formel bör vara cirka 30 % lägre.



## 5. Sammanfattning

De utförda dubbelmanschettmätningarna i borrhål Ka 1 visar, att de översta 400 m huvudsakligen har en permeabilitet omkring  $5 \times 10^{-10}$  m/s. Under 400 m:s nivå uppvisar permeabiliteten något större variation, med värden i närheten av  $10^{-9}$  m/s.

Vid enkelmanschettmätningarna under 200 m:s nivå erhöles en medelpermeabilitet omkring  $10^{-12}$  m/s (0,4 MPa).

Dubbelmanschettmätningarna i borrhål Ka 2 från 250 m ned till 332 m visar en högre permeabilitet jämfört med partierna under 332 m:s nivå, där mätvärdena varierar mellan  $1,9 \times 10^{-10}$  m/s och  $1,2 \times 10^{-9}$  m/s.

De utförda enkelmanschettmätningarna från 300 m ned till borrhålsbotten, visar fortfarande en relativt hög medelpermeabilitet ( $4,2 \times 10^{-9}$  m/s). Det därpå följande avsnittet (350 - 575 m) uppvisar en markant permeabilitetsminskning, med värden omkring  $2,2 \times 10^{-11}$  m/s (0,2 MPa).

Dubbelmanschettmätningarna i borrhål Ka 3, anger en högre permeabilitet för avsnitten ovan 360 m. Under nämnda nivå hamnar merparten av värdena i permeabilitetsintervallet  $1,9 \times 10^{-10}$  m/s till  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s.

I borrhål Ka 5 uppstod vid dubbelmanschettmätningarna ett smärre läckage, antagligen vid 370 m:s nivå och vidare nedåt. Trots detta, befinner sig merparten av mätresultaten under  $5,0 \times 10^{-9}$  m/s.

Från 100 m till borrhålets botten erhöles vid enkelmanschettmätningarna, en permeabilitet av  $1,9 \times 10^{-9}$  m/s. Vidare i avsnittet 300 m till botten uppmättes en permeabilitet utav  $2,4 \times 10^{-12}$  m/s (0,2 MPa).

De flesta felkällor som diskuterats i kap. 4 skulle vid ett eventuellt fel förhöja den beräknade permeabiliteten. Det kan

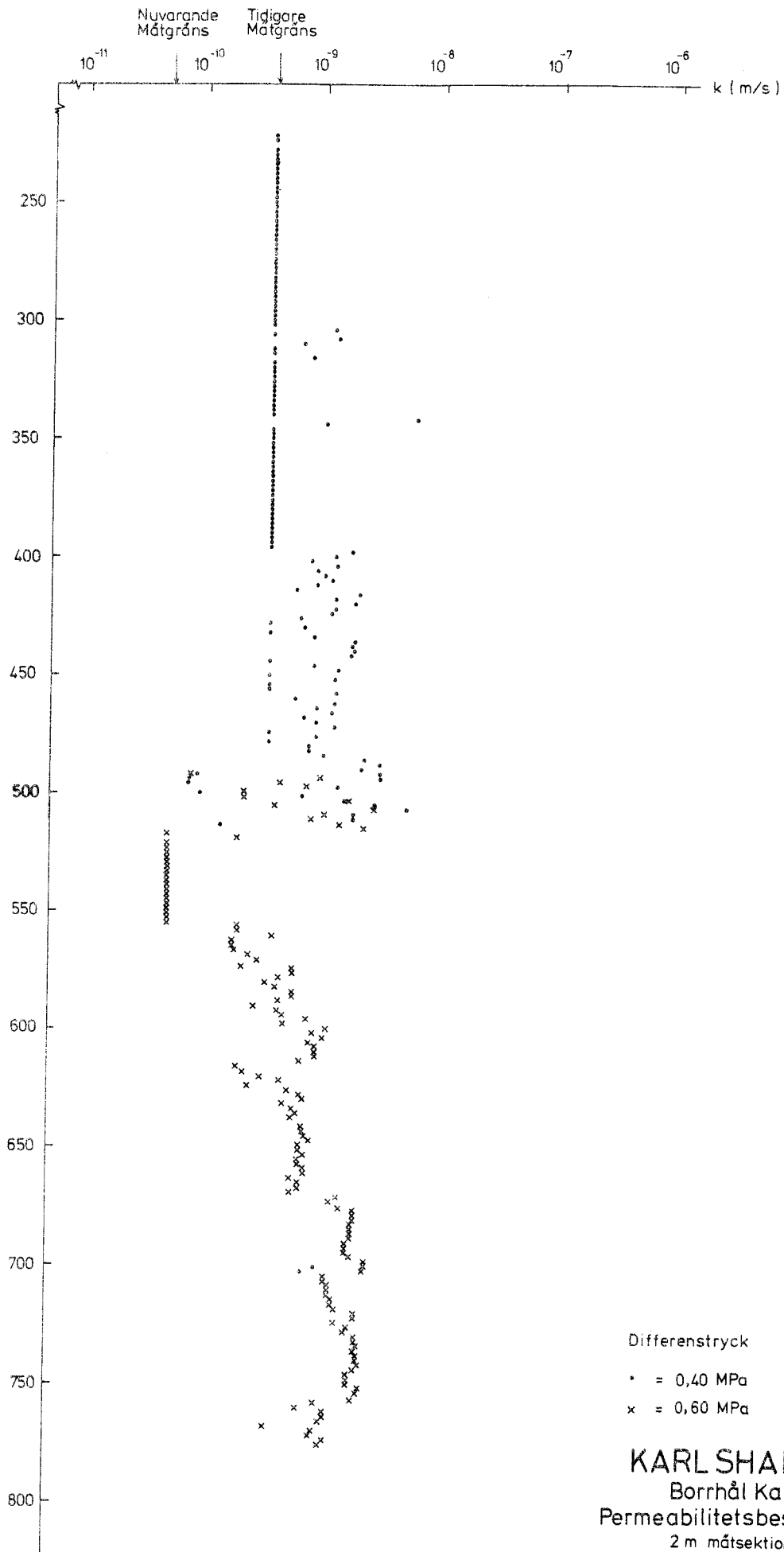
dessutom nämnas att en del av antagandena för den vid beräkningarna använda formeln (Bank's formel) sannolikt inte är uppfyllda.

Vid bedömningen av det presenterade materialet, bör även betänkas att de erhållna resultaten gäller för bergvolymen i borrhålens direkta närhet.

REFERENSER

- Banks, D.C. : In situ measurements of permeability in basalt. Proceedings. Symposium on Percolation through fissured rock. ISRM, IAEG, Stuttgart, 1972.
- Carlsson, L.  
Carlstedt, A. : Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrocks. Nordic hydrological Conference 1976, Reykjavik.
- Carlsson, A.  
Olsson, T. : Bestämning av berggrundens permeabilitet genom vattenförlustmätning. Vannet i Norden 3, 1976.
- Hult, A.  
Gidlund, G.  
Thoregren, U: Permeabilitetsbestämningar. KBS Teknisk Rapport nr 61.
- Lohman, S.W. : Ground-Water Hydraulics. Geological Survey Professional Paper. 708. Washington 1972.
- Moye, D.G. : Diamond drilling for foundation exploration. Civil Engineering Transactions, Vol. CE 9. no 1, Sydney, 1967.
- Matthews, C.S.  
Russel, D.G.1967: Pressure Buildup and Flow Tests in Wells - Society of Petroleum Engineers, Monograph Vol 1.

Fig 1



Differenstryck

• = 0,40 MPa

x = 0,60 MPa

**KARL SHAMN**

Borrhål Ka 1

Permeabilitetsbestämning

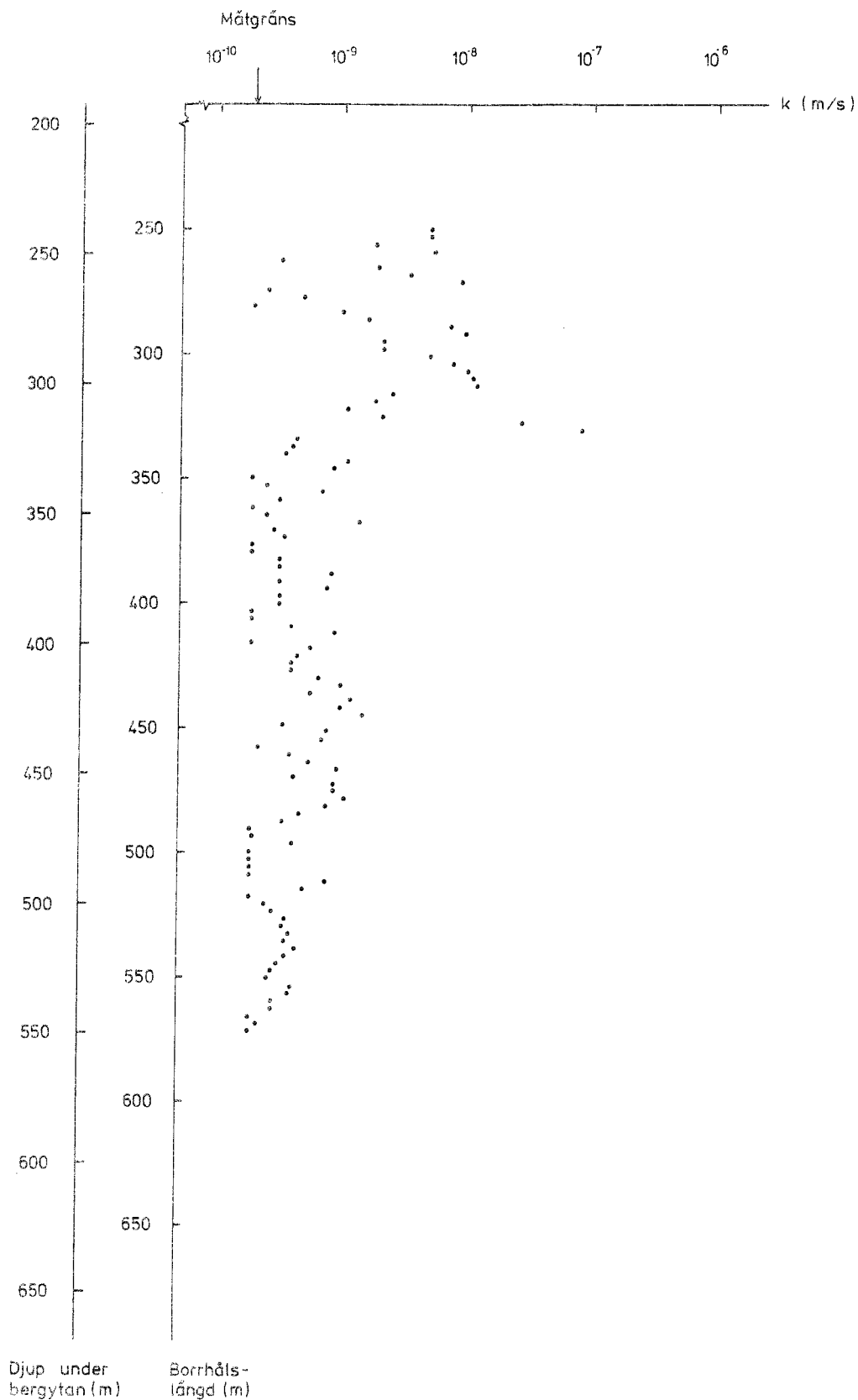
2 m mätsektion

Sveriges geologiska undersökning

Berggrundsbyrån

1978

Fig 2



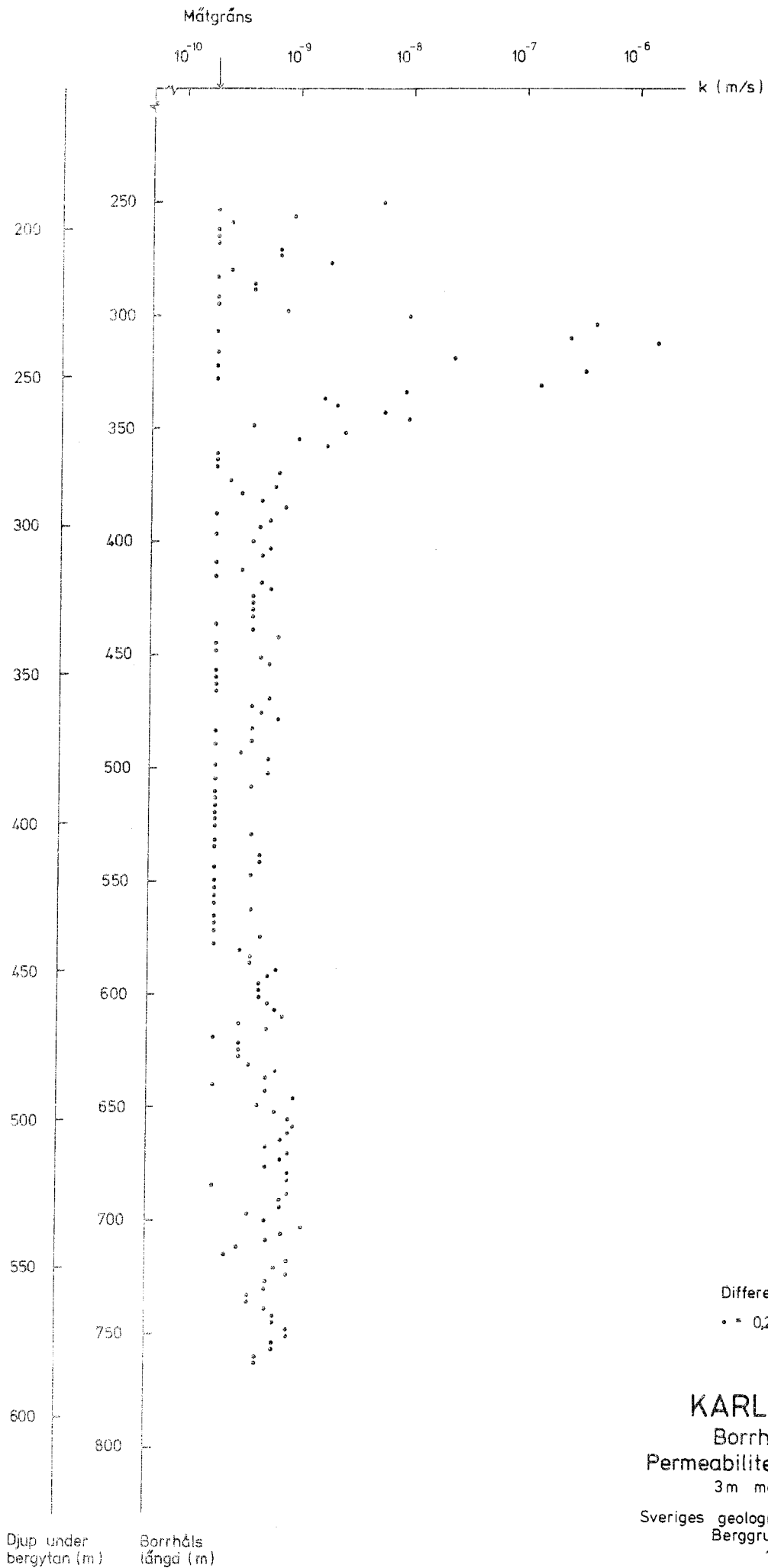
Differenstryck

• - 0,20 MPa

**KARLSHAMN**  
Borrhål Ka2  
Permeabilitetsbestämning  
3 m mätsektion

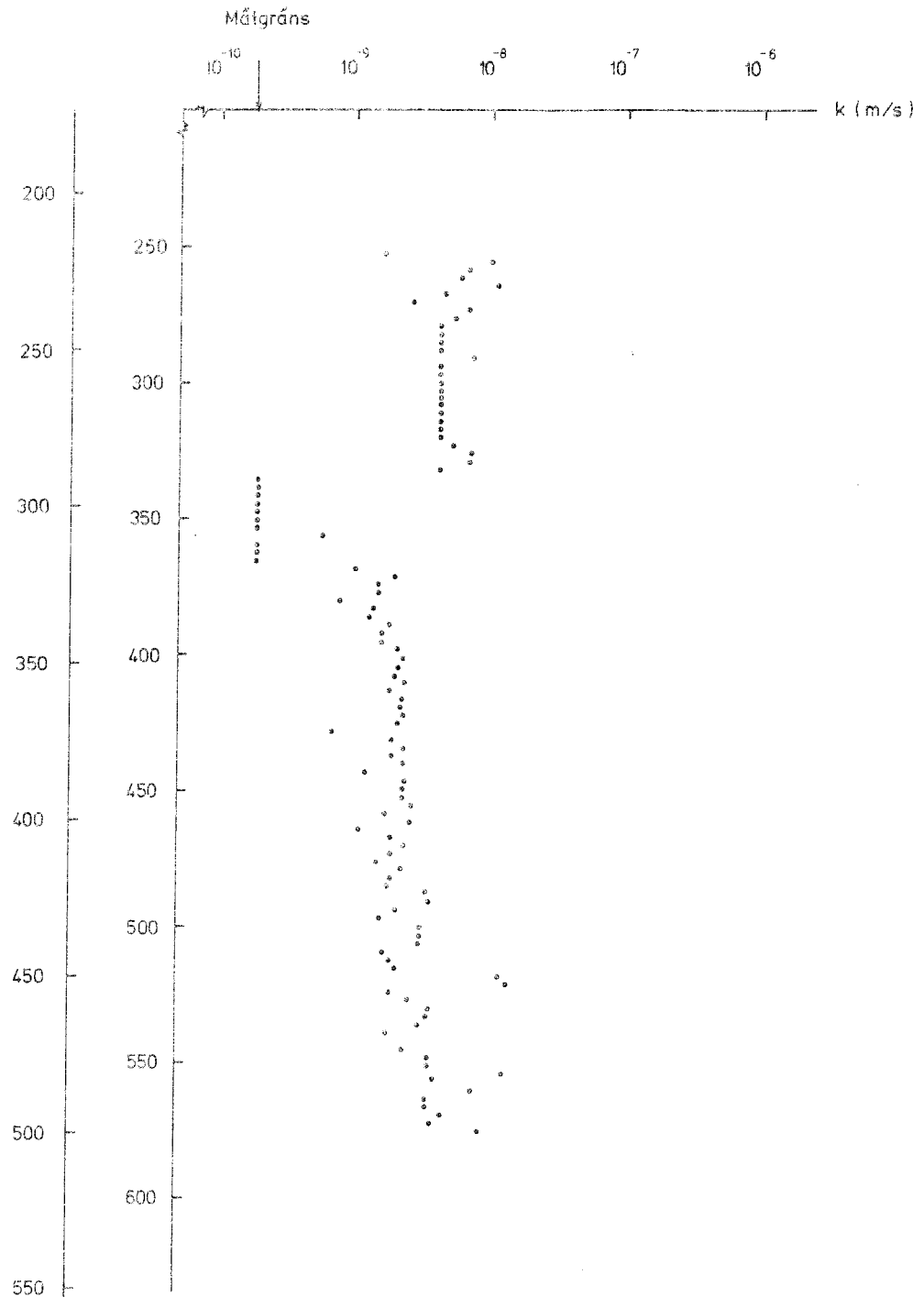
Sveriges geologiska undersökning  
Berggrundsbyrån  
1979

Fig 3



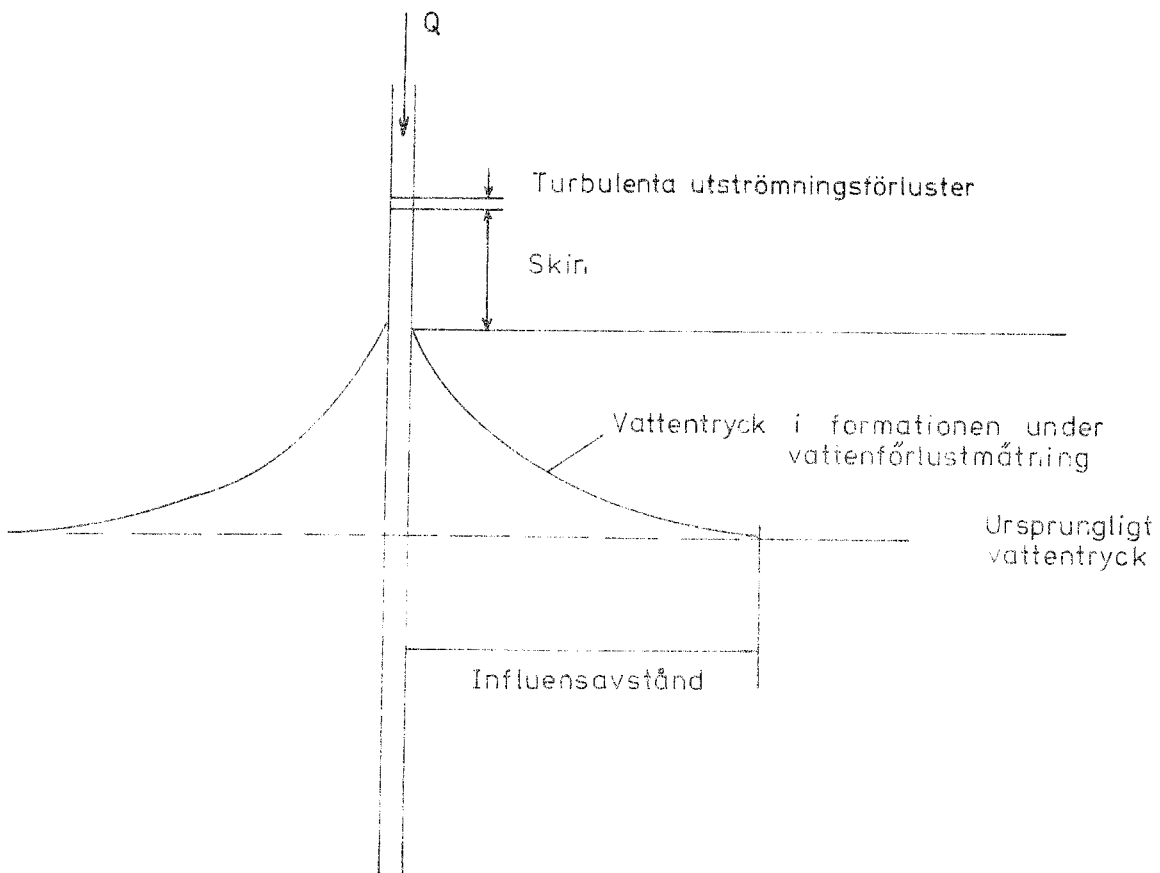
**KARLSHAMN**  
Borrhål Ka 3  
Permeabilitetsbestämning  
3m mätsektion  
Sveriges geologiska undersökning  
Berggrundsbyrån  
1979

Fig 4



Differenstryck  
• • 0,20 MPa

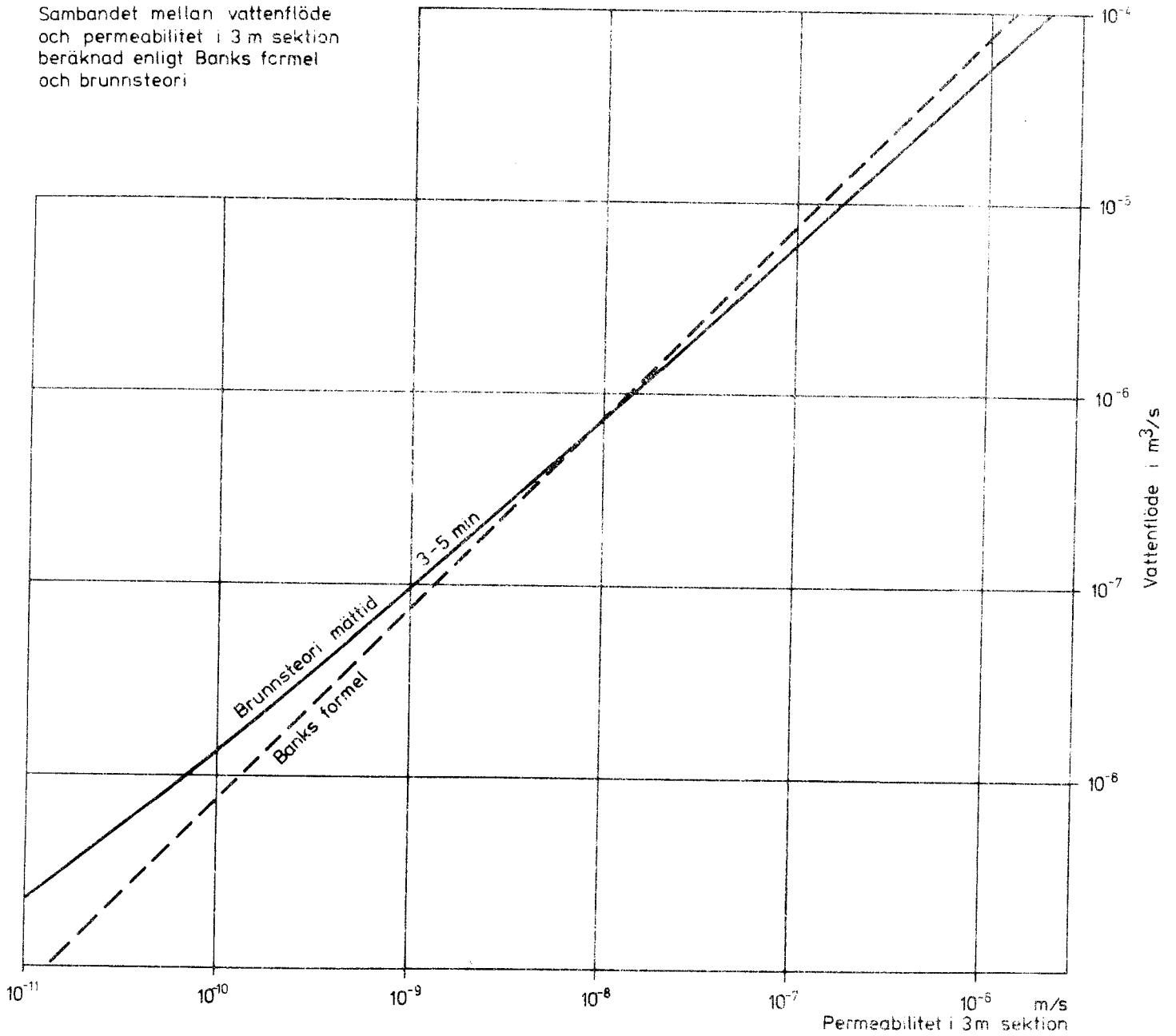
**KARLSHAMN**  
Borrhål Ka 5  
Permeabilitetsbestämning  
3 m mätsektion  
Sveriges geologiska undersökning  
Berggrundsbyrån  
1979



Vattentrycksfördelning i ett borrhål under vattenförlustmätning



Sambandet mellan vattenflöde och permeabilitet i 3 m sektion beräknad enligt Banks formel och brunnsteori



FÖRTECKNING ÖVER SKBF PROJEKT KBS TEKNISKA RAPPORTER

- 79-01 Clay particle redistribution and piping phenomena in bentonite/  
quartz buffer material due to high hydraulic gradients  
Roland Pusch  
University of Luleå 1979-01-10
- 79-02 Försöksområdet vid Finnsjön  
Beskrivning till berggrunds- och jordartskartor  
Karl-Erik Almén  
Lennart Ekman  
Andrzej Olkiewicz  
Sveriges Geologiska Undersökning november 1978
- 79-03 Bergmekanisk bedömning av temperaturbelastning vid slutförvaring  
av radioaktivt avfall i berg  
Ove Stephansson  
Bengt Leijon  
Högskolan i Luleå 1979-01-10
- 79-04 Temperatur- och spänningsberäkning för slutförvar  
Taivo Tarandi  
VBB Vattenbyggnadsbyrån, Stockholm februari 1979
- 79-05 Kompletterande berggrundsundersökningar inom Finnsjö- och  
Karlshamnsområdena  
Andrzej Olkiewicz  
Sören Scherman  
Karl-Axel Kornfält  
Sveriges Geologiska Undersökning 1979-02-02
- 79-06 Kompletterande permeabilitetsmätningar i Karlshamnsområdet  
Gunnar Gidlund  
Kenth Hansson  
Ulf Thoregren  
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1979
- 79-07 Kemi hos berggrundvatten i Blekinge  
Gunnar Jacks  
Institutionen för Kulturteknik, KTH, februari 1979
- 79-08 Beräkningar av grundvattenrörelser inom Sternöområdet i Blekinge  
John Stokes  
Institutionen för Kulturteknik, KTH, februari 1979  
Preliminär utgåva