

**SKBF**  
**KBS**

**TEKNISK**  
**RAPPORT**

**80-01**

**Komplettering och sammanfattning  
av geohydrologiska undersökningar  
inom Sternöområdet, Karlshamn**

Lennart Ekman  
Bengt Gentschein

Sveriges geologiska undersökning, Uppsala, mars 1980

**SVENSK KÄRNBRÄNSLEFÖRSÖRJNING AB / PROJEKT KÄRNBRÄNSLESÄKERHET**

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

KOMPLETTERING OCH SAMMANFATTNING AV GEOHYDRO-  
LOGISKA UNDERSÖKNINGAR INOM STERNÖOMRÅDET,  
KARLSHAMN

Lennart Ekman  
Bengt Gentzschein

Sveriges geologiska undersökning, Uppsala  
Mars 1980

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av KBS-projektet. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarnas och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarnas.

En förteckning över hittills utkomna rapporter i denna serie, som påbörjades 1980, återfinns i slutet av rapporten. Uppgift om KBS tidigare tekniska rapporter från 1977-1978 (TR 121) och 1979 (TR 79-28) kan erhållas från SKBF/KBS.

KOMPLETTERING OCH SAMMANFATTNING AV GEOHYDROLOGISKA  
UNDERSÖKNINGAR INOM STERNÖOMRÅDET, KARLSHAMN

Lennart Ekman  
Bengt Gentzschein

Sveriges geologiska undersökning  
mars 1980

# I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G

Sid

	SUMMARY	1
	SAMMANFATTNING	4
1.	BAKGRUND	10
2.	OMFATTNING	12
3.	BESKRIVNING AV VATTENINJEKTIONSTESTER	14
3.1	<u>Allmänt</u>	14
3.2	<u>Beräkningsmetodik</u>	14
3.3	<u>Mätmetodik</u>	15
3.3.1	Metodik vid mätningar med dubbelmanschett	15
3.3.2	Metodik vid mätningar med enkelmanschett	17
4.	RESULTAT AV VATTENINJEKTIONSTESTER	18
4.1	<u>Allmänt</u>	18
4.2	<u>Borrhål Ka 1</u>	19
4.2.1	Dubbelmanschettmätningar	19
4.2.2	Enkelmanschettmätningar	20
4.2.3	Jämförelse mellan enkel- och dubbel- manschettmätningar	21
4.2.4	Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differenstryck	22
4.3	<u>Borrhål Ka 2</u>	22
4.3.1	Dubbelmanschettmätningar	22
4.3.2	Enkelmanschettmätningar	23
4.3.3	Jämförelse mellan enkel- och dubbel- manschettmätningar	24
4.3.4	Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differenstryck	24
4.3.5	Kontrollmätningar	25

	Sid
4.4 <u>Borrhål Ka 3</u>	26
4.4.1 Dubbelmanschettmätningar	26
4.4.2 Enkelmanschettmätningar	28
4.4.3 Jämförelse mellan enkel- och dubbel- manschettmätningar	28
4.4.4 Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differenstryck	29
4.4.5 Kontrollmätningar	30
4.5 <u>Borrhål Ka 4</u>	31
4.5.1 Dubbelmanschettmätningar	31
4.5.2 Enkelmanschettmätningar	32
4.5.3 Jämförelse mellan enkel- och dubbel- manschettmätningar	32
4.5.4 Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differenstryck	32
4.5.5 Kontrollmätningar	34
4.6 <u>Borrhål Ka 5</u>	35
4.6.1 Dubbelmanschettmätningar	35
4.6.2 Enkelmanschettmätningar	36
4.6.3 Jämförelse mellan enkel- och dubbel- manschettmätningar	36
4.6.4 Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differenstryck	36
4.6.5 Kontrollmätningar	38
5. DISKUSSION	38
5.1 <u>Allmänt</u>	38
5.2 <u>Faktorer som kan leda till resultat skillnader             mellan dubbel- och enkelmanschettmätningar</u>	39

5.3	<u>Faktorer som kan påverka permeabiliteten vid vatteninjektionstester med olika tryck</u>	41
5.4	<u>Faktorer som kan ge upphov till olika resultat vid kontrollmätningar</u>	42
6.	RESULTATSAMMANFATTNING	43
7.	GRUNDVATTENNIVÅOBSERVATIONER	46
7.1	<u>Bakgrund</u>	46
7.2	<u>Resultat</u>	47
8.	MÄTNINGAR AV GRUNDVATTENTRYCKET	48
8.1	<u>Metodik</u>	48
8.2	<u>Resultat</u>	49
	REFERENSER	51
	FIGUR- OCH TABELLFÖRTECKNING	53
	BILAGOR	54

## SUMMARY

The Geological Survey of Sweden (SGU) has on contract with Project Kärnbränslesäkerhet, KBS (The Swedish Nuclear Fuel Safety Project) conducted some supplementary geohydrological investigations of five core boreholes, Ka 1 - Ka 5, which were drilled on the peninsula of Sternö outside Karlshamn in south-eastern Sweden. The boreholes are between 577.3 and 802.6 m long and have a diameter of 56 mm. Their inclination varies between  $50^{\circ}$  and  $80^{\circ}$ . They were thoroughly flushed with compressed air before the borehole-investigations.

The field work included water injection tests with double and single packer equipment in those parts of the boreholes that were not previously tested. Some measurements of groundwater levels and simple pressure measurements were also made. Previously published results of water injection tests are presented again in order to give a complete picture of the permeability in all boreholes. Permeability,  $k$ , was evaluated using a formula assuming a stationary state.

In the double packer test water was injected under excess pressure between packers. In the single packer test water was injected between the lower-most packer and the bottom of the borehole. 2 m double packer sections were used in Ka 1 and 3 m sections in all the other boreholes. The packers were pressed against the borehole wall in a hydraulic-mechanical way. The groundwater pressure and the injection pressure, in the tested section were monitored by a pressure transducer placed close to the upper packer with hydraulic connection with the section. In most cases the excess pressure of 0.2 or 0.4 MPa was used for the double packer measurements, but other excess pressures were also used for the measurements with the single packer. The water was injected through a steel pipe and the flow measurements by flow gauges of the rotameter type. They could measure flows of between 0.00085 l/min and 65 l/min.

The sources of error associated with this method can be divided into practical-technical and theoretical ones. The practical errors tend to overestimate the hydraulic conductivity of the rock mass, partly due to leakages and short-circuitflows around the packers.

The results of water injection tests with double packers showed that high permeabilities were measured down to about 350 m length (about 440 m in Ka 4). This corresponds to between 270 m and 425 m vertical depths in the different boreholes. In these upper fractured zones many permeabilities  $> 1.0 \times 10^{-8}$  m/s were recorded including values as high as between  $1.0 \times 10^{-6}$  m/s and  $5.0 \times 10^{-6}$  m/s. Below about 350 m (440 m in Ka 4), permeability diminished considerably. With the exception of Ka 5, where an instrument leakage was discovered, the values were below  $5.0 \times 10^{-9}$  m/s, most of them even lower than  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s. Ka 1 showed low permeabilities from top to bottom ( $k_{\max} = 1.1 \times 10^{-8}$  m/s). However, the upper 400 m generally exhibited lower permeability values than the section below. Only a few were higher than  $5.0 \times 10^{-10}$  m/s, above 400 m. Under that length all values were below  $2.9 \times 10^{-9}$  m/s.

With the single packer equipment, permeabilities from  $1.3 \times 10^{-10}$  m/s (in Ka 1) to  $2.9 \times 10^{-8}$  m/s (in Ka 4) were found in the section between highest packer position used and the bottom of the borehole.

Comparison between double and single packer measurements in 50 m long sections (sometimes other lengths) showed that the agreement between the methods usually was good. However, the calculations performed on data from single packer measurements gave in some cases negative values because of, among other things, the accuracy in the measurements being subtracted from each other. In the low-permeable parts towards the bottom of many boreholes, the double packer measurements gave higher permeability than those with single packer equipment. There are several reasons for this. First, the measuring limit is higher with the double packer method than with the single one. Second, the risk of instrument leakage or packer leakage is greater with the double packers. Furthermore, the effects of a leakage with the single packer were evened out over a longer section.



The double packer measurements with 0.2 MPa and 0.4 MPa showed that the lower excess pressure used gave higher permeability values within the interval  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s -  $1.8 \times 10^{-6}$  m/s in most of the sections. When the permeability was below  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s, which usually was the case in the lower parts of the boreholes, 0.4 MPa induced higher permeability in about 50 % of the sections, except in Ka 5, where the corresponding value was 90 %. The differences were, however, small in most cases.

The single packer measurements at different pressures did not give a uniform picture of the permeability differences, when all five boreholes were considered. However, high pressures usually gave lower permeability. In all cases, the difference was smaller than a factor of 8.9, even when the pressure differences were great.

Repeated measurements with double packers were carried out in 85 sections. In 11 cases, large discrepancies were noted (larger than a factor of 10). These were caused by an instrument leakage in eight of the eleven cases. Corresponding repeated measurements with a single packer showed good reproducibility.

The variation of the groundwater level was studied during the spring and autumn of 1979 in the deep boreholes and during all of 1979 except for December in eight shallow boreholes within the area. Some trends might be correlated between the deep and the shallow holes. Many of the latter seemed to be influenced by the adjacent oil storage caverns, situated several metres below sea level.

## SAMMANFATTNING

På uppdrag av Projekt Kärnbränslesäkerhet (KBS) har Sveriges geologiska undersökning (SGU) utfört vissa kompletterande undersökningar av de fem kärnborrhål, benämnda Ka 1 t.o.m. Ka 5, som borrats på Sternö utanför Karlshamn. Borrhålslängderna varierar mellan 577.3 och 802.6 m och inklinationen mellan  $50^{\circ}$  och  $80^{\circ}$  mot horisontalplanet. Alla borrhål har 56 mm diameter.

Undersökningarna har omfattat vatteninjektionstester (vattenförlustmätningar) med dubbelmanschett i de delar av borrhålen som inte tidigare mätts. Detta gäller hela Ka 4 samt de översta 250 metrarna av Ka 2, Ka 3 och Ka 5. Dessutom har vissa grundvattenståndsobservationer och enkla tryckmätningar utförts. I rapporten redovisas även tidigare presenterade vatteninjektionstester, för att en samlad bild av permeabilitetsbestämningarna i alla borrhål skall erhållas.

Vid utvärderingen av vatteninjektionstesterna har permeabilitetsvärdet,  $k$ , beräknats med hjälp av en ekvation som förutsätter stationära förhållanden.

Vatteninjektionstesterna har utförts med såväl dubbel- som enkelmanschett. Vid den förra metoden pressas injektionsvattnet ut mellan två gummimanschetter, vid den senare mellan den nedersta manschetten och borrhålets botten. I Ka 1 har 2 m långa dubbelmanschettsektioner använts, i alla övriga borrhål 3 m-sektioner. Manschetterna tätar mot borrhålsväggen på hydraul-mekanisk väg. För mätning av grundvattentrycket och injektionstrycket, varvid skillnaden, differenstrycket, kan beräknas, finns en tryckgivare placerad intill mätsektionen, men med hydraulisk förbindelse med sektionen. I allmänhet har 0.2 och 0.4 MPa differenstryck använts vid dubbelmanschettmätningarna, medan även många andra tryck utnyttjats vid enkelmanschettmätningarna. Injektionsvattnet leds ned till mätsektionen i en rörsträng av stål. Flödet mäts med mätare av rotametertyp. Med dessa kan flöden mellan 0.00085 l/min och 65 l/min registreras.

De felkällor som är förknippade med metoden kan uppdelas i praktiska-tekniska och teoretiska felkällor. De förstnämnda tenderar att över-skatta bergmassans permeabilitet, delvis till följd av läckage i ut-rustningen eller förbi manschetterna. Elasticiteten hos mätutrustningen kan också utgöra en felkälla. Vidare kan det påförda hydrostatiska trycket ändra bergmassans naturliga förhållanden, vilket vanligen torde leda till förhöjda permeabilitetsvärden. Ytterligare undersök-ning behövs för att mer detaljerat kunna kvantifiera förekommande felkällor.

Resultatet av vatteninjektionstesterna med dubbelmanschett visar att i borrhålen Ka 2 till Ka 5 har relativt höga permeabiliteter uppmätts ned till ett vertikaldjup av ca 300 m (i Ka 4 425 m). I dessa övre uppspruckna zoner har vanligen permeabiliteter kring  $1.0 \times 10^{-8}$  m/s noterats, men även extremvärden upp till  $5.0 \times 10^{-6}$  m/s förekommer. I de nedre partierna av borrhålen sjunker permeabiliteten. Med undan-tag av Ka 5, där ett instrumentläckage konstaterats, är värdena i de flesta fall lägre än  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s. Ka 1 skiljer sig något från de övriga borrhålen. Dels uppvisar det genomsnittligt lägre permeabili-teter, dels finns de mest genomsläppliga partierna i borrhålets nedre hälft.

Vid enkelmanschettmätningarna har permeabilitetsvärdena mellan  $1.3 \times 10^{-10}$  m/s och  $2.9 \times 10^{-8}$  m/s uppmätts i sektionen mellan den översta mätnivån och borrhålets botten. Eftersom borrhålen har olika längd och den översta mätnivån varierat, är dessa värden dock ej helt jäm-förbara. Inte heller i de olika borrhålens nedersta sektioner, där värden  $< 4.2 \times 10^{-10}$  m/s uppmätts, kan man göra direkta jämförelser.

Jämförelse mellan dubbel- och enkelmanschettmätningar i huvudsakligen 50 m långa sektioner visar, att överensstämmelsen mellan metoderna vanligen är god. Emellertid förekommer ibland negativa värden beräknade utifrån enkelmanschettmätningarna, vilket bland annat beror på noggrann-heten i mätningar som sedan subtraheras från varandra.

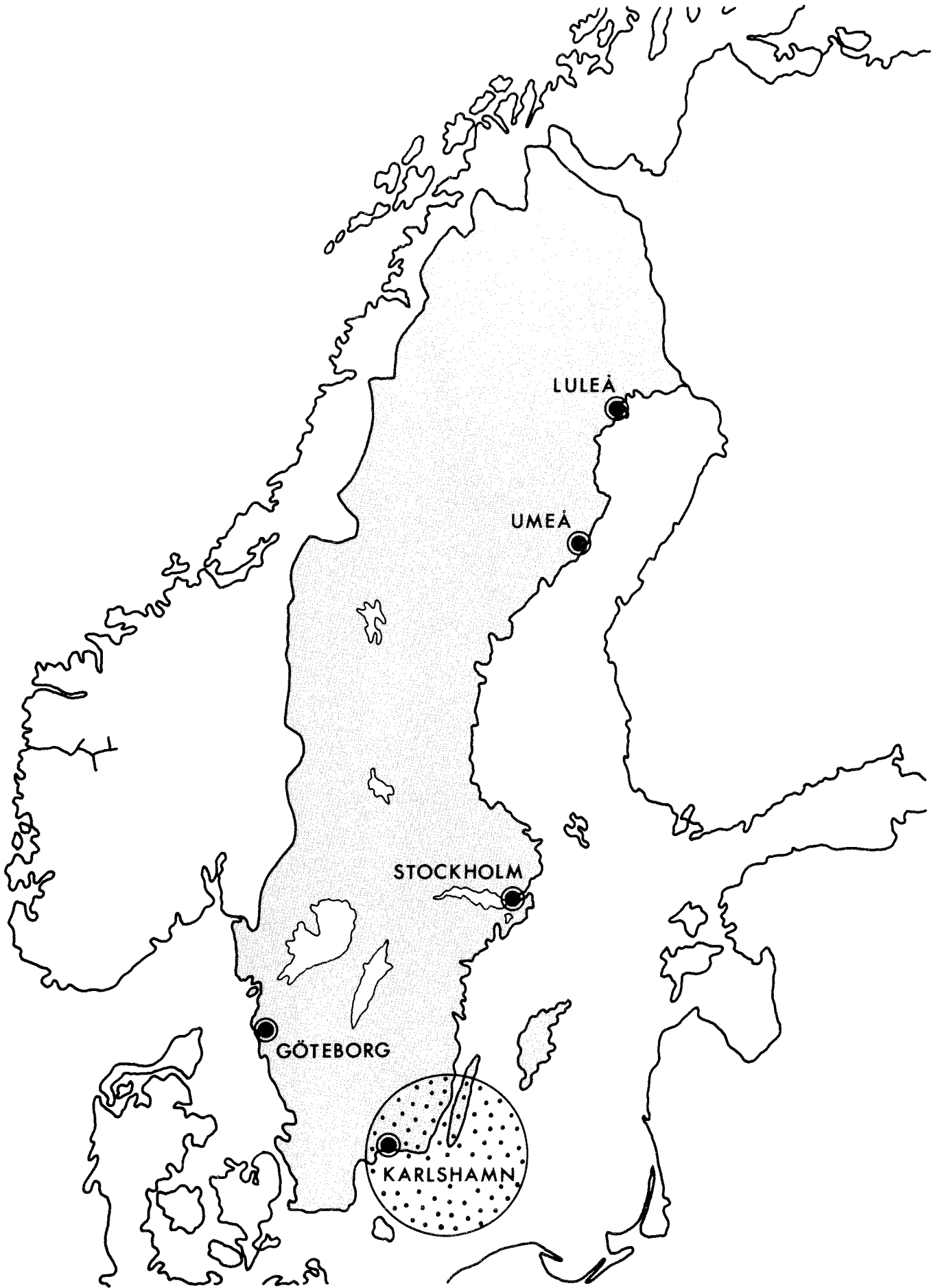
I de nedre lågpermeabla avsnitten ger dubbelmanschettmätningarna högre permeabilitet än motsvarande med enkelmanschett. Det finns flera orsaker till detta. För det första är den teoretiska mätgränsen högre med dubbelmanschett än med enkel. För det andra är risken för läckage i instrumentet eller runt manschetterna större vid dubbelmanschettmätning. Ett eventuellt läckage med enkelmanschett slås ut över en längre sektion.

Dubbelmanschettmätningarna med 0.2 resp. 0.4 MPa visar, att det lägre trycket ger högre permeabilitetsvärden för en majoritet av antalet mätningar inom intervallet  $> 1.0 \times 10^{-9}$  m/s. Då permeabiliteten är  $< 1.0 \times 10^{-9}$  m/s, d v s vanligen i borrhålens djupare partier, ger däremot 0.4 MPa högre permeabilitet i ungefär 50 % av antalet sektioner, utom i Ka 5, där motsvarande värde är 90 %. Skillnaderna är i allmänhet små.

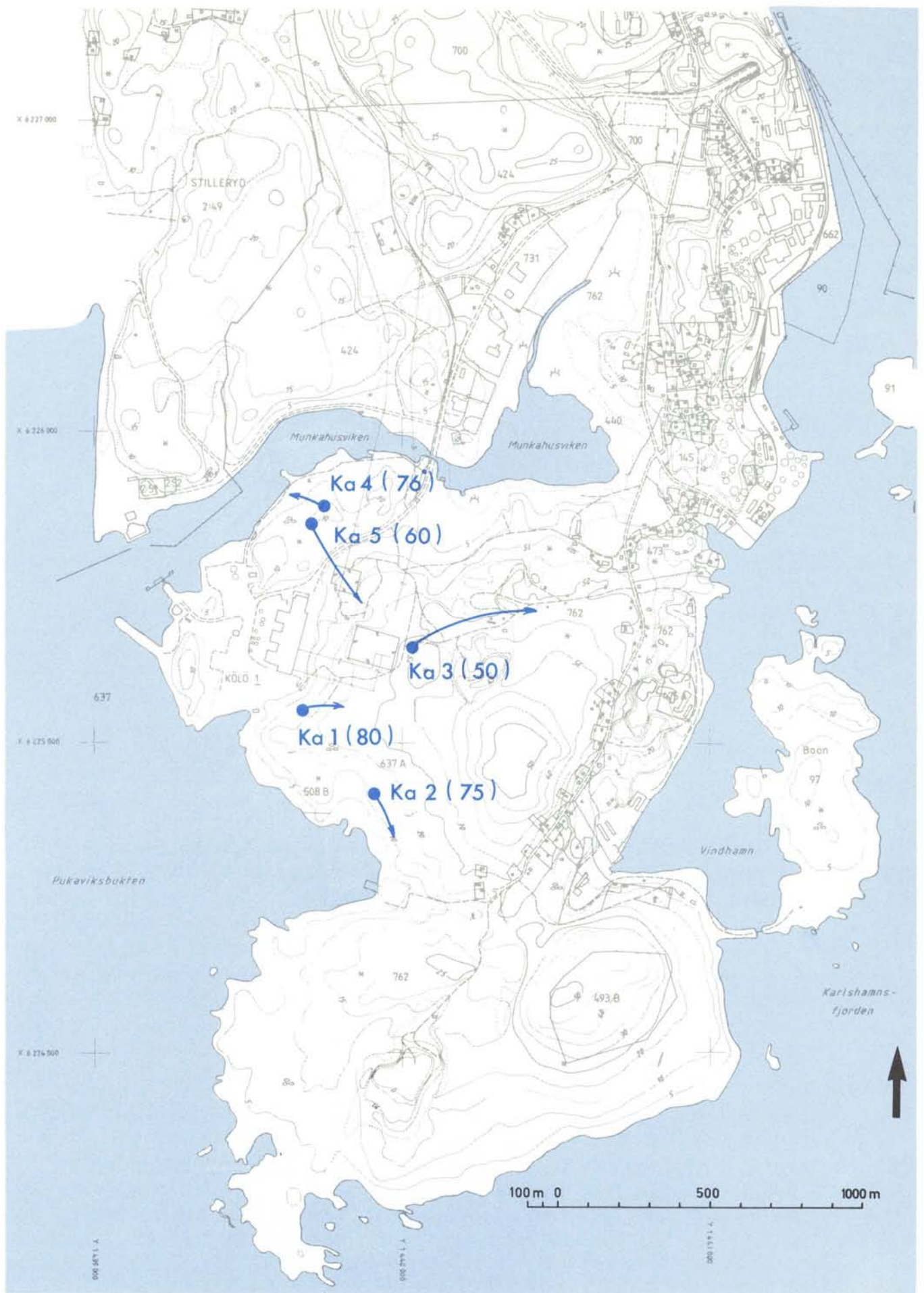
Enkelmanschettmätningar med olika tryck ger ingen entydig bild av permeabilitetsskillnaderna, om alla borrhål beaktas. Högre tryck ger dock i allmänhet lägre permeabilitet. Differensen är alltid mindre än faktorn 8.9 även om trycket höjts avsevärt.

Vid kontrollmätningar med dubbelmanschett har dålig överensstämmelse (större än faktor 10) inträffat i elva fall inom totalt 85 mätsektioner. Instrumentläckage har observerats vara orsaken i åtta av de elva fallen. Motsvarande kontroll av enkelmanschettmätningar har visat god reproducerbarhet.

Grundvattenytans nivåvariationer har registrerats under våren och hösten 1979 i djupborrhålen och under hela 1979 t.o.m. november i åtta grunda bergborrhål inom undersökningsområdet. Vissa trender i nivåkurvorna kan möjligen korreleras inbördes mellan djupborrhålen och de grunda borrhålen. Många av de senare tycks vara påverkade av de närbelägna bergrumsanläggningarna. Korrelationen med nederbörden låter sig inte enkelt göras med det tillgängliga observationsmaterialet.



Figur 1 Orienteringskarta



Figur 2 Översiktskarta över undersökningsområdet. Borrhål Ka 1 - Ka 5 vid Karlshamnsverket. Pil markerar borriktning och längd i horisontalplanet. Siffror inom parentes anger borrhålens vinkel mot horisontalplanet.

### Dubbelmanschett

### Enkelmanschett

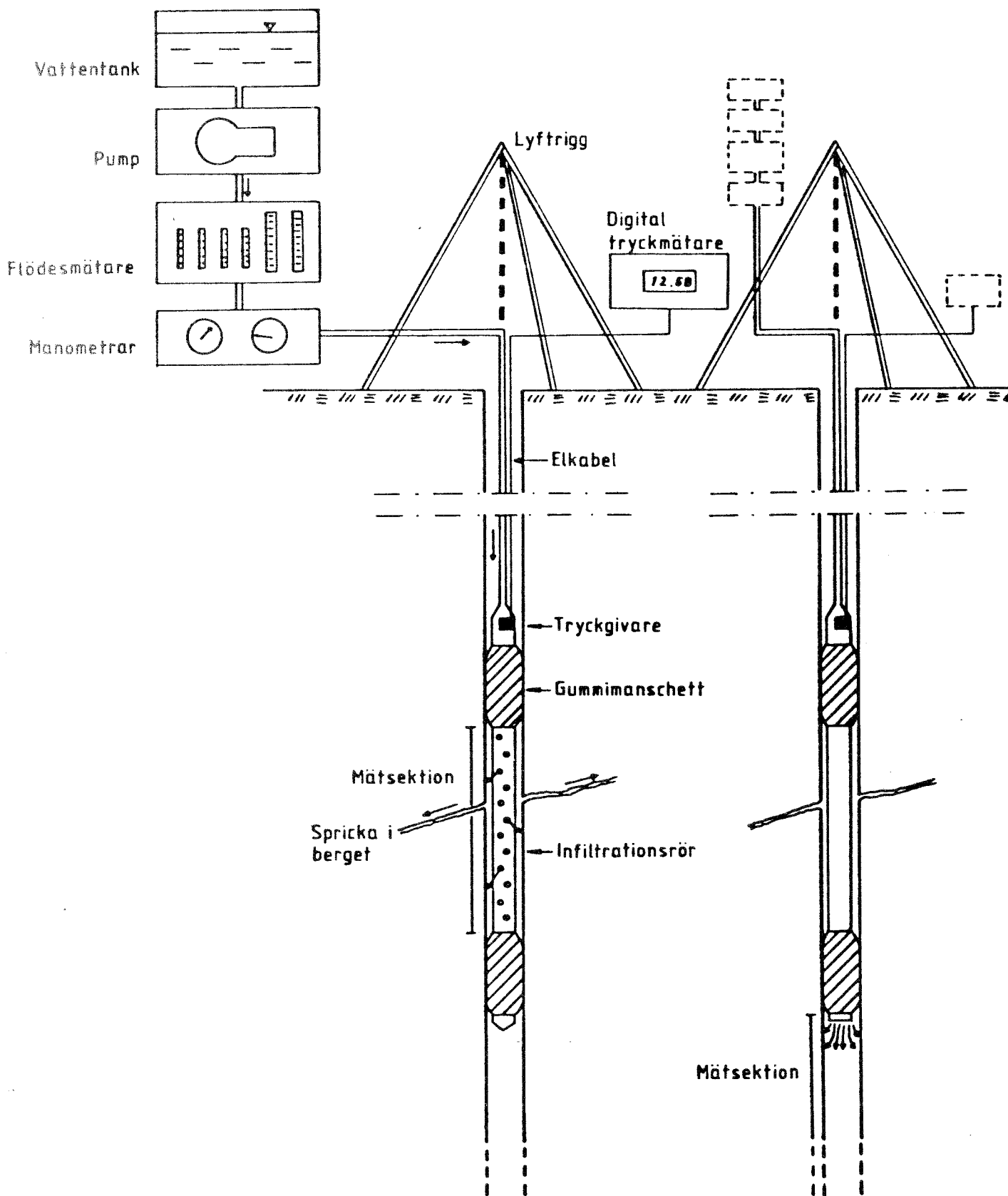


Fig. 3 Principskiss över metodiken vid dubbel-och enkelmanschettmätning.  
Equipments used in double and single packers-test

## 1. BAKGRUND

Projekt Kärnbränslesäkerhet (KBS) har uppdragit åt Sveriges geologiska undersökning (SGU) att utföra vissa kompletterande undersökningar av de fem djupa kärnborrhål, som borrats på Sternö utanför Karlshamn (fig 1). Borrhålen har benämnts Ka 1, Ka 2, Ka 3, Ka 4 resp. Ka 5 (fig 2), och har utförts för undersökningar av berggrundens geologiska och hydrogeologiska egenskaper.

Det första kärnborrhålet, Ka 1, borrades till 500.7 m borrhåls-  
längd hösten 1977 samt fördjupades till 802.6 m längd hösten 1978. De övriga borrhålsarbetena, omfattande Ka 2 t.o.m. Ka 5, utfördes under hösten 1978 och våren 1979. Alla borrhål har 56 mm diameter.

Olika borrhålsundersökningar har utförts, vilka förutom a) kärnkartering omfattat b) borrhålsgeofysik och c) berggrundshydrologi, framför allt vatteninjektionstester (vattenförlustmätningar).

Tidigare utförda undersökningar av Sternö inom KBS-projektet har redovisats i följande rapporter:

KBS, teknisk rapport nr 48.

(Innehåller en redogörelse för de mekaniska egenskaperna hos berggrunden bl a på Sternö).

KBS, teknisk rapport nr 60.

(Bl a kärnkarteringsresultat från Ka 1).

KBS, teknisk rapport nr 61.

(Borrhålsgeofysik och vatteninjektionstester med dubbelmanschett i Ka 1 ned till 500 m borrhålslängd).

KBS, teknisk rapport 79-05.

(Kärnkartering och borrhålsgeofysik i samtliga borrhål).

KBS, teknisk rapport 79-06.

(Vatteninjektionstester i Ka 1 även under 500 m längd med enkel- och dubbelmanschett. I Ka 2, Ka 3 och Ka 5 dubbel-



manschettmätningar under 250 m borrhålslängd. Dessutom enkelmanschettmätningar i Ka 2 och Ka 5).

KBS, tekniska rapport 79-08.

(Modellstudier av grundvattenrörelserna inom Sternöområdet).

KBS, teknisk rapport 79-09.

(Sammanfattande utvärdering av de hydrogeologiska och berggrundsgelogiska förhållandena på Sternö, grundad på de data som framkommit t.o.m. februari 1979).

KBS, teknisk rapport 79-10.

(Modellberäkningar av grundvattenförhållandena på Sternö).

KBS, teknisk rapport 79-12.

(Borrhålsgeofysik).

Dessutom KBS, tekniska rapport nr 25 vilken ger en regional beskrivning av den blekingska kustgnejsens geologi och hydrogeologi. Slutligen finns i serien med KBS-rapporter från 1979 förutom de ovan nämnda rapporterna ytterligare några arbeten med anknytning till Karlshamns-traktens berggrund.

## 2. OMFATTNING

Fig. 2 visar en översiktskarta över undersökningsområdet på Sternö med djupborrhålens (Ka 1 t.o.m. Ka 5) lägen och riktningar.

Under våren och hösten 1979 har en komplettering av tidigare utförda vatteninjektionstester gjorts. Detta innebär att samtliga djupborrhål på Sternö därmed vatteninjektionstestats med både dubbel- och enkelmanschett. I föreliggande rapport presenteras såväl de nya som de tidigare utförda mätningarna, för att en samlad bild av resultaten skall erhållas. Rapporten sammanfattar därför KBS, teknisk rapport 79-06, (med undantag för det avsnitt som handlar om teoretiska felkällor) samt delar av KBS, teknisk rapport nr 61 och KBS, teknisk rapport 79-09. De tidigare presenterade vatteninjektionstesterna har av olika anledningar ändrats på ett antal punkter. Den viktigaste korrigeringen är orsakad av att en av flödesmätarna visat sig vara felkalibrerad. Omkalibreringen har inneburit, att flödena i intervallet 1.1 - 11.2 l/min ökats med 44 %. Permeabilitetsvärdena baserade på dessa flöden har därmed också fått uppjusteras med detta procenttal. Ändringarna har i första hand berört enkelmanschettmätningarna men även i någon mån dubbelmanschettmätningarna. Följande vatteninjektionstester presenteras här för första gången: dubbelmanschettmätningar i Ka 2, Ka 3 och Ka 5 ned till 250 m borrhålslängd, enkelmanschettmätningar i Ka 3 samt dubbel- och enkelmanschettmätningar i hela Ka 4.

Vidare jämförs i föreliggande rapport resultaten för varje borrhåldels mellan dubbel- och enkelmanschettmätningar, dels mellan mätningar med olika differenstryck (för Ka 1 endast för enkelmanschettmätningar).

Vissa sektioner har mätts två gånger, och en jämförelse mellan resultaten vid första och andra mättillfället har gjorts för varje borrhål (utom Ka 1), vilket redovisas under rubriken "Kontrollmätningar".

Under fältperioderna har grundvattenståndet i djupborrhålen tämligen regelbundet registrerats. Karlshamnsverket förfogar dessutom över 8 grunda bergborrhål i närheten av de berggrumsanläggningar för oljelagring, som finns inom undersökningsområdet i anslutning till

befintliga kraftverk. I dessa registreras grundvattenytans läge regelbundet.

Vattenståndet i djupborrhålen under våren och hösten 1979 samt i de grunda borrhålen under hela 1979 t.o.m. november redovisas i denna rapport tillsammans med klimatdata och data för utpumpade vattensmängder från bergrummen.

Vid vatteninjektionstesterna har i borrhålen Ka 2 t.o.m. Ka 5 en tryckmätare med digital avläsning använts för mätning av grundvattenstrycket och injektionstrycket (se fig. 3) Tryckmätaren har även nyttjats till att göra observationer av tryckförändringar efter viss tid med avtätade manschetter i några mätsektioner. Eftersom skrivande tryckutrustning inte funnits, och endast en observation gjorts för varje mätning, ger dessa mätningar inte någon detaljerad bild av vattentrycksobservationer och variationer, utan resultatet visar endast vissa tendenser.

### 3. BESKRIVNING AV VATTENINJEKTIONSTESTER

#### 3.1 Allmänt

Beräkningsmetod, mätmetodik och felkällor vid vatteninjektionstester har översiktligt redovisats i flera tidigare KBS-rapporter, t ex i de tidigare nämnda 61, 79-06 och 79-09. Beräknings- och mätmetodiken rekapituleras här med smärre ändringar och tillägg.

Beträffande felkällor och giltighet hänvisas i första hand till 79-06 och 79-09. En kort sammanfattning ges dock i diskussionen kap 5. Felkällornas betydelse föreslås bli föremål för ingående analys omfattande såväl teoretiska som praktiska undersökningar.

#### 3.2 Beräkningsmetodik

Med vatteninjektionstester kan berggrundens hydrauliska konduktivitet i närheten av ett borrhål beräknas. I tidigare rapporter har begreppet permeabilitet använts för att beskriva bergets vattengenomsläpplighet. Permeabilitetsvärdet är en ren materialkonstant (dimension  $m^2$ ), medan den hydrauliska konduktiviteten anger ett mediums genomsläpplighet för en specifik vätska med givna egenskaper (dimension m/s). Den hydrauliska konduktiviteten är således sammansatt av dels bergets materialegenskaper (permeabilitet) och dels vätskans egenskaper (densitet och viskositet). I denna rapport används liksom i tidigare rapporter begreppet permeabilitet för att beskriva vad som korrekt bör benämnas hydraulisk konduktivitet. Detta görs endast för att få likstämmighet i terminologi mellan rapporterna.

De parametrar som mäts vid vatteninjektionstester är dels det vattenflöde, som kan pressas ut i berggrunden inom en viss mätsektion, dels differenstrycket, d v s skillnaden mellan det vattentryck som behövs för att pressa ut nämnda vattenflöde och grundvattentrycket i mätsektionen.

Vid föreliggande undersökningar har permeabilitetsvärdet  $k$  beräknats ur följande ekvation enligt Banks (1972):

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

där  $k$  = permeabilitetsvärde      m/s  
 $C$  = borrhålskonstant      dimensionslös  
 $Q$  = vattenflöde      m<sup>3</sup>/s  
 $L$  = mätvåningens längd      m  
 $H$  = diff. tryckhöjd      m.v.p. (meter vattenpelare)

Konstanten  $C$  har av Moye (1967) bestämts till

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

där  $d$  = mätvåningens diameter i m.

En förutsättning för att detta värde på  $C$  skall vara rimligt är att  $L \approx d$ . Detta villkor har ansetts uppfyllt vid dubbelmanschettmätningarna, där  $L = 2$  el.  $3$  m och  $d = 0.056$  m. Vid enkelmanschettmätningarna däremot, där  $L \geq 50$  m, har antagits att  $C = 1$ .

Bank's formel förutsätter stationära flödesförhållanden. Vid de mätningar som tillämpats av SGU, har mättiderna troligen varit något för korta för att stationärt tillstånd skulle hinna utbildas. Detta leder i så fall till generellt för höga permeabilitetsvärden.

### 3.3 Mätmetodik

#### 3.3.1 Metodik vid mätningar med dubbelmanschett

Fig. 3 visar en principskiss över metodiken vid dubbel- resp. enkelmanschettmätningar. Vid dubbelmanschettmätningarna avgränsas mätsektionerna med 0.3 m långa gummimanschetter, som tätar mot borrhålsväggen på hydraul-mekanisk väg. I Ka 1 gjordes mätningar i 2 m långa sektioner avgränsade av nämnda gummimanschetter, medan 3 m-sektioner har använts i alla övriga borrhål.

För mätning av differenstrycket finns tryckgivare placerade omedelbart ovanför den övre manschetten, dock med hydraulisk förbindelse med mätsektionen. Trycket mäts således direkt vid mätsektionens nivå, och hänsyn behöver ej tas till det nedpressade vattnets tryckförluster i rörgången, som fallet är, om trycket mäts vid markytan. Grundvattenpelarens tryck, det nedpumpade vattnets tryck samt differenstrycket mellan dessa avläses på ett digitalt instrument. Vid vissa tillfällen har den elektroniska tryckgivaren varit ur funktion, varvid trycket i stället avlästs på manometrar vid markytan. För att få tryckvärdet vid mätsektionen måste hänsyn tas till rörgångens tryckförluster enligt en tidigare utförd kalibrering.

Givare och manschetter är kopplade till en rörsträng av stål med 2 m långa enheter och 20 mm ytter- resp. 10 mm innerdiameter. Vattenflödet, som leds genom rörgången, har mätts med flödesmätare av rotametertyp. Flödesmätarna har en inbördes överlappning för flöden från 0.00085 l/min till 65 l/min. De undre mätgränser, som anges i permeabilitetsdiagrammen, är beräknade på grundval av de minsta mätbara flödena samt aktuellt differenstryck.

Vid mätningarna har i de flesta sektioner differenstrycken 0.2 och 0.4 MPa använts. I Ka 1 kunde dock 0.2 MPa inte nyttjas, p g a att grundvattenytan var belägen för djupt under markytan. I vissa mätsektioner i samtliga borrhål har även mätningar med 0.6 och 0.8 MPa gjorts. I några enstaka fall har flödena varit så stora, att utrustningens kapacitet inte varit tillräcklig för att 0.4 MPa eller högre skulle uppnås.

Vid resultatredovisningen av dubbelmanschettmätningarna (bil 1, 3, 6, 9 och 12) har utom i Ka 1 differenstrycket 0.2 MPa valts att presenteras, eftersom låga tryck anses ge mer realistiska resultat än högre, bl.a. p g a att risken för ökad sprickturbulens anses större vid de senare. Emellertid redovisas för alla borrhål utom Ka 1 dubbelmanschettmätningar med såväl 0.2 som 0.4 MPa för jämförande diskussion (bil 5, 8, 11 och 14).

Mätningarna har påbörjats några meter under markytan, d v s under foderrörets nedre del och avslutats ett stycke ovanför borrhålets

botten för att undvika att instrumenten skulle föras ned i sedimenterat borrhåleskax.

### 3.3.2 Metodik vid mätningar med enkelmanschett

Vid enkelmanschettmätningar pressas injektionsvattnet ut under gummimanschetterna i stället för mellan dem (se fig. 3). Mätsektionen är således avsnittet mellan nedre manschetten och borrhålets botten. De långa mätsektionerna medför, att teoretiskt en lägre mätgräns för permeabiliteten än vid dubbelmanschettmätning är möjlig att uppnå, beräknat på hela mätsektionen. Vidare slås eventuellt läckage ut på större sektionlängd, vilket medför, att inverkan av denna felkälla minskar. Dessutom torde läckagerisken vara mindre vid enkelmanschettmätningar än vid dubbelmanschettmätningar, vilket beror på att mätsektionen i det förra fallet avtätas uppåt med dubbla manschetter och eljest med endast en manchett (se fig.3). I övrigt hänvisas till 3.3.1.

En nackdel med enkelmanschettmetoden är, att upplösningen av permeabilitetsvärdenas fördelning utefter borrhålets längd blir sämre än vid dubbelmanschettmätning.

Vid enkelmanschettmätningarna är mätsektionerna ofta flera hundra meter långa, varför flödena kan vara avsevärda. På grund av utrustningens begränsade flödes- och tryckkapacitet har därför inte alltid differenstrycket 0.2 MPa eller högre uppnåtts, speciellt då mätsektionerna haft avsevärd längd. Resultattabellerna (1, 2, 4, 6 och 8) är därför inte helt enhetliga på denna punkt. Vidare kan mätsektionens reella längd inte enkelt definieras, eftersom några meter ovanför borrhålets botten upptas av sedimenterat borrhåleslam, trots att hålen rengjorts med tryckluft. I kap. 4 jämförs enkel- och dubbelmanschettmätningar i vissa intervall. För att erhålla jämförbara sektioner har därför borrhålets botten vid enkelmanschettmätningar definierats som den nivå, till vilken dubbelmanschettmätningar har utförts. Detta innebär i några fall en förkortning av sektionlängderna med 24-25 m, vilket torde vara 15-20 m för mycket. Permeabilitetsfelen på grund av detta lär dock understiga 3.5 %.

## 4 RESULTAT AV VATTENINJEKTIONSTESTERNA

4.1 Allmänt

Resultaten av dubbelmanschettmätningarna har sammanställts i två typer av diagram, nämligen punktdiagram och klassindelade stapeldiagram. I båda fallen redovisas permeabilitetsvärdena (k-värdena) i logaritmisk skala. För varje borrhål är de två diagrammen sammanställda i en gemensam bilaga (bilaga 1, 3, 6, 9 och 12). Klasserna i det klassindelade diagrammet i varje bilaga består av "halva tiopotenser". Det bör observeras, att en "falsk" logaritmisk skala av rittekniska skäl har använts. I en verklig logaritmisk skala är nämligen siffran 5 förskjuten till höger om mitten. Dessutom har en annan modul än i punktdiagrammet använts.

Enkelmanschettmätningarna redovisas i tabellform (tabellerna 1, 2, 4, 6 och 8).

Jämförelsen mellan dubbel- och enkelmanschettmetoderna görs i stapeldiagram (bilaga 2, 4, 7, 10 och 13).

Samma diagramtyper som vid redovisningen av dubbelmanschettmätningarna har nyttjats vid jämförelsen mellan vattenförlustmätningar med olika tryck (bilaga 5, 8, 11 och 14). Till vänster finns ett punktdiagram med lin-logskala. 0.2 MPa representeras av fyllda ringar och 0.4 MPa av ofyllda. Strecken mellan ringarna är avsedda att underlätta bedömningen av vilka värdepar som hör samman. Eftersom x-axeln har logaritmisk skala, kan sträckornas längd inte direkt tas som ett mått på skillnaden mellan permeabilitetsvärdena, utan sträcklängden måste sättas i relation till läget i diagrammet. I högra delen av bilaga 5, 8, 11 och 14 har samma klassindelade permeabilitetsdiagram för 0.2 MPa som i bilaga 3, 6, 9 resp. 12 sammanställts med motsvarande diagram för 0.4 MPa. Differenserna dem emellan har fått speciella markeringar. Man ser där tydligare än i diagrammet till vänster större trender för permeabilitetskillnaderna.



Resultaten av kontrollmätningar med dubbelmanschett presenteras i tabellerna 3, 5, 7 och 9.

#### 4.2 Borrhål Ka 1

Borrhål Ka 1 har 802.6 m längd och är ansatt med  $80^{\circ}$  lutning mot horisontalplanet i riktning mot ONO. Hålet avviker efter halva längden rent ostligt för att senare mot botten vika mot OSO (fig. 2). Inklinationen minskar något vid ca 400 m. Borrhålet når ett vertikaldjup av ca 790 m under markytan. Foderrörets överkant har nivån 12.83 m ö h och dess längd är 4.00 m. Överkanten befinner sig ett par dm över markytan.

Ka 1 borrades först till 500.7 m längd och vatteninjektionstestades därefter. Senare fördjupades hålet till 802.6 m och nya vatteninjektionstester gjordes t o m 778.5 m. Som nämnts har resultaten av testerna i Ka 1 redovisats i tidigare rapporter (KBS, teknisk rapport nr 61 och 79-06). För att få en samlad framställning av permeabilitetsmätningarna på Sternö, återges i 4.2.1 och 4.2.2, med vissa ändringar och tillägg, det avsnitt i rapport 79-06, som handlar om Ka 1.

##### 4.2.1 Dubbelmanschettmätningar

Permeabilitetsdiagrammen för Ka 1 återfinns i bilaga 1. De första mätningarna i Ka 1 visar, att vattenförluster uppmättes i endast 10 mätsektioner ned till 397 m borrhålslängd. I dessa 10 sektioner varierade k-värdena mellan  $7.0 \times 10^{-10}$  m/s och  $1.1 \times 10^{-8}$  m/s. Den längsta sektionen utan uppmätta vattenförluster är 136 m lång och belägen mellan 167 och 303 m ( $k \leq 4.0 \times 10^{-10}$  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  $2.0 \times 10^{-9}$  m/s.

Vid de fortsatta mätningarna från 490.5 m och nedåt förfinades flödesmätarutrustningen, varför mätgränsen för permeabiliteten

har sänkts från  $4.0 \times 10^{-10}$  m/s till  $5.0 \times 10^{-11}$  m/s vid mätningar med dubbelmanschetter. Från mätnivån 490.5 m ned till 520.5 m erhöles 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 ( $k \leq 5.0 \times 10^{-11}$  m/s). 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.  $k_{\max}$  är där  $2.7 \times 10^{-9}$  m/s och  $k_{\min} = 7.1 \times 10^{-10}$  m/s.

#### 4.2.2 Enkelmanschettmätningar

Vid den tidigare mätperioden (nov -77) gjordes försök med enkelmanschettmätningar, varvid hela hålet mättes 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 gav  $k \leq 2.0 \times 10^{-12}$  m/s.

Efter fördjupningen av borrhålet gjordes nya enkelmanschettmätningar från 29.5 m ned 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 av mätningarna redovisas i tabell 1.

Tabell 1 Enkelmanschettmätningar, Ka 1

Sektion i m	Sektionslängd i m	Beräknade permeabilitetsvärden i m/s vid olika differenstryck		
		0.4 MPa	0.6 MPa	0.8 MPa
29.5-778.5	749	$1.3 \times 10^{-10}$	$4.0 \times 10^{-10}$	$8.0 \times 10^{-10}$
33.5-778.5	745	$1.5 \times 10^{-10}$	$4.0 \times 10^{-10}$	$8.0 \times 10^{-10}$
99.5-778.5	679	$6.1 \times 10^{-10}$	$1.4 \times 10^{-10}$	$2.0 \times 10^{-10}$
149.5-778.5	629	$1.6 \times 10^{-10}$	$8.7 \times 10^{-11}$	$1.7 \times 10^{-10}$
199.5-778.5	579	$\leq 1.0 \times 10^{-12}$	$2.0 \times 10^{-12}$	$8.9 \times 10^{-12}$

Av tabellen kan utläsas, att från 199.5 m till hålets botten befinner sig medelpermeabiliteten under  $1.0 \times 10^{-12}$  m/s vid ett

differenstryck av 0.4 MPa. Mellan 149.5 och 199.5 m torde det finnas flera vattenförande sprickor.

#### 4.2.3 Jämförelse mellan enkel- och dubbelmanschettmätningar

I bil. 2 redovisas permeabiliteten i huvudsakligen 50 m-intervall beräknad dels från enkelmanschettmätningar, dels som medelvärden av dubbelmanschettmätningar. De kommentarer som anförs i kap 5 beträffande beräkningen av enkelmanschettvärdena är aktuella för Ka 1. Det har således inte varit möjligt att från enkelmanschettmätningar i Ka 1 få fram permeabilitetsvärden för sektionerna 29.5 - 33.5 m och 33.5 - 99.5 m.

Av staplarna framgår, att överensstämmelsen mellan enkel- och dubbelmanschettmätningarna är relativt god i sektionerna 99.5 - 149.5 m och 149.5 - 199.5 m. Enkelmanschettmätningarna har givit något högre permeabilitet.

I den nedersta sektionen, 199.5 - 778.5 m, uppvisar dubbelmanschettmätningarna en medelpermeabilitet, som överstiger enkelmanschettmätningarnas med en faktor  $10^3$ . I bil. 2 har mätgränsen vid dubbelmanschettmätningarna (den lägre av de två mätgränser som varit aktuella i detta borrhål) samt enkelmanschettmätningarnas mätgräns i intervallet 199.5 - 778.5 m inlagts som streckade linjer. En faktor 50 skiljer mätgränserna ( $5.0 \times 10^{-11}$  m/s resp.  $1.0 \times 10^{-12}$  m/s). Mindre skillnad än så mellan metoderna kan därför inte redovisas. I 113 av totalt 290 dubbelmanschettsektioner i detta 579 m långa intervall har 0-flöde noterats. Detta visar, att den verkliga permeabiliteten kan vara betydligt lägre än det genomsnittsvärde som dubbelmanschettstapeln i bil. 2 representerar. I övriga mätsektioner har endast låga flöden uppmätts (max. ca  $2.8 \times 10^{-2}$  l/min vid 0.6 MPa differenstryck och max. ca  $4.9 \times 10^{-2}$  l/min vid 0.4 MPa). Det finns dock visst skäl att misstänka, att de flöden, som uppmätts vid dubbelmanschettmätningarna även kan vara orsakade av ett instrumentläckage.

Flödesvärdena är nämligen mycket likartade i långa avsnitt av intervallet. Sammanfattningsvis tyder således flera faktorer på att den verkliga permeabiliteten i intervallet 199.5 - 778.5 är lägre än det värde som framräknats med hjälp av dubbelmanschettresultaten. Eftersom inget flöde uppmätts vid enkelmanschettmätningen i detta intervall kan inga friktionsförluster ha orsakat för lågt uppmätt permeabilitet. Enkelmanschettvärdet  $\leq 1.0 \times 10^{-12}$  m/s förefaller därför mer korrekt än dubbelmanschettvärdet.

#### 4.2.4 Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differensstryck

I Ka 1 har olika differensstryck använts endast i ett fåtal mätsektioner vid dubbelmanschettmätningarna, varför dessa utelämnats.

Beträffande enkelmanschettmätningarna har differensstrycken 0.4, 0.6 och 0.8 MPa varit aktuella. Som framgår av tabell 1, ökar permeabilitetsvärdena med högre tryck i samtliga fall utom två. Det är dock fråga om moderata skillnader inom samma tiopotens ( $\leq$  faktorn 8.9). Eftersom det finns flera faktorer, som kan leda till högre permeabilitet vid ökade tryck, är tabellens utseende inte uppseendeväckande.

### 4.3 Borrhål Ka 2

Borrhål Ka 2 har 578.8 m längd och är ansatt med  $75^{\circ}$  lutning mot horisontalplanet i riktning mot S0. Hålet avviker med djupet några grader åt söder (fig. 2). Inklinationen minskar något vid ca 250 m. Ka 2 når knappt 559 m vertikaldjup under markytan. Foderrörets överkant, som är nedsänkt någon decimeter under den uppfyllda markytan, har nivån 14.61 m ö h. Längden är 8.74 m. Permeabilitetsmätningarna är utförda till en borrhålslängd av 575.8 m.

#### 4.3.1 Dubbelmanschettmätningar

KBS, teknisk rapport 79-06 redovisar dubbelmanschettmätningar för Ka 2 i avsnittet 248.8 - 575.8 m. I föreliggande rapport återges resultaten från hela borrhålet mellan 14.8 m och 575.8 m (bil. 3).

I avsnittet 14.8 - 80.8 m är spridningen av permeabilitetsvärdena stor, från  $5.5 \times 10^{-10}$  till  $5.0 \times 10^{-6}$  m/s. Detta är vanligt i den översta delen av många borrhål i kristallin berggrund. Mellan 80.8 m och 119.8 m minskar spridningen avsevärt:  $1.5 \times 10^{-9}$  till  $7.8 \times 10^{-9}$  m/s, och de flesta värdena är samlade i närheten av  $2.5 \times 10^{-9}$  m/s. Från 119.8 t o m 332.8 m varierar permeabiliteten mellan mätgränsen  $1.9 \times 10^{-10}$  m/s och  $1.0 \times 10^{-7}$  m/s. De flesta mätvärdena hamnar mellan  $1.0 \times 10^{-9}$  och  $1.0 \times 10^{-8}$  m/s, men en mindre grupp värden finns mellan mätgränsen och  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s och en ungefär lika stor grupp mellan  $1.0 \times 10^{-8}$  och  $1.0 \times 10^{-7}$  m/s. Värdena mellan 332.8 och 479.8 m är samlade mellan undre mätgränsen och  $1.5 \times 10^{-9}$  m/s. Det nedersta avsnittet, mellan 479.8 och 575.8 m, uppvisar permeabiliteter mellan mätgränsen och  $7.8 \times 10^{-10}$  m/s. De flesta värden är mindre än  $4.5 \times 10^{-10}$  m/s.

#### 4.3.2 Enkelmanschettmätningar

Resultaten av enkelmanschettmätningarna har tidigare presenterats i KBS, teknisk rapport 79-06. Vissa ändringar har därefter införts (se kapitel 2 ).

I borrhål Ka 2 är mätningarna utförda på sex olika nivåer och med tre olika differenstryck på varje nivå. Aktuella differenstryck har varit 0.2, 0.4 och 0.6 MPa. Resultaten presenteras i tabell 2.

Tabell 2 Enkelmanschettmätningar, Ka 2

Sektion i m	Sektionslängd i m	Beräknade permeabilitetsvärden i m/s vid olika differenstryck		
		0.2 MPa	0.4 MPa	0.6 MPa
100.0-575.8	475.8	$8.4 \times 10^{-9}$	$6.7 \times 10^{-9}$	$5.6 \times 10^{-9}$
150.0-575.8	425.8	$7.6 \times 10^{-9}$	$6.4 \times 10^{-9}$	$5.7 \times 10^{-9}$
200.0-575.8	375.8	$5.6 \times 10^{-9}$	$5.0 \times 10^{-9}$	$4.5 \times 10^{-9}$
250.0-575.8	325.8	$6.0 \times 10^{-9}$	$5.6 \times 10^{-9}$	$4.9 \times 10^{-9}$
300.0-575.8	275.8	$5.7 \times 10^{-9}$	$5.2 \times 10^{-9}$	$4.6 \times 10^{-9}$
350.0-575.8	225.8	$3.1 \times 10^{-12}$	$1.6 \times 10^{-12}$	$1.0 \times 10^{-12}$

#### 4.3.3 Jämförelse mellan enkel- och dubbelmanschettmätningar

I bliaga 4 redovisas permeabiliteten i olika intervall beräknad dels från enkelmanschettmätningar, dels som medelvärden av dubbelmanschettmätningar.

Som framgår av bil. 4, är överensstämmelsen i intervallet 100-350 m relativt god mellan de två mätmetoderna. Mellan 250 och 350 m ger enkelmanschettmätningarna något högre värden. Det omvända förhållandet råder under 350 m där diskrepansen mellan metoderna är avsevärd i den 225.8 m långa bottensektionen.

#### 4.3.4 Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differenstryck

Dubbelmanschettmätningarna i Ka 2 har på varje nivå utförts med såväl 0.2 MPa som 0.4 MPa differenstryck. Några nivåer är dessutom mätta med 0.6 MPa och 0.8 MPa. Bil. 5 visar mätvärdena för 0.2 och 0.4 MPa i ett lin-logdiagram och i ett klassindelade diagram. Diagramtyperna kommenteras i avsnitt 4.1.

En enkel statistisk beräkning av materialet ger vid handen, att 0.2 MPa vanligen, 74 % av antalet värden, ger högre permeabiliteter än 0.4 MPa vid värden större än  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s, medan i intervallet mellan mätgränsen och  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s 0.2 MPa ger högre permeabilitet i endast 57 % av mätsektionerna. Vid beräkningen har någon utvärdering av hur stora permeabilitetsdifferenserna är inte gjorts. Endast den kvalitativa bedömningen "högre än" resp. "lägre än" har gjorts för varje värdepar. Samtliga differenser är dock mindre än faktorn 27, många så små att de faller inom de generella felgränserna för mätningarna. Trots detta tycks det finnas en tendens till att 0.2 MPa ofta ger högst permeabilitetsvärde i sektioner med hög permeabilitet.

Av det klassindelade diagrammet i bil. 5 framgår, att värdena mestadels sammanfaller. Majoriteten av diskrepanserna beror på att 0.2 MPa ger större värden. I de flesta av de fall, när däremot 0.4 MPa ger större värden, är permeabiliteten liten.

Beträffande enkelmanschettmätningarna råder en helt entydig tendens. I samtliga fall ger de högre trycken lägre permeabilitet. (Skillnaden är dock hela tiden mindre än faktorn 3.5).

#### 4.3.5 Kontrollmätningar

I Ka 2 har 21 nivåer kontrollmätts. I tabell 3 har de 21 kontrollvärdena (oavsett sektionernas permeabilitetsvärde) delats in i fyra klasser enligt följande schema:

Klass 0 - Samma värde som vid första mättillfället

Klass I - Förändring med högst en faktor 2

Klass II -        "-        "-        "-        "-        "-        10

Klass III -        "-        "-        "-        "-        "-        100

+ resp. - tecken innebär positiv resp. negativ förändring jämfört med första mättillfället.

Tabell 3 Kontrollmätningar dubbelmanschett, Ka 2

	0.2 MPa		0.4 MPa	
	+	-	+	-
0		2		1
I	5	5	6	5
II	1	7	1	6
III	0	1	0	2

Såväl med 0.2 som 0.4 MPa är skillnaderna med ett par undantag små mellan de två mättillfällena. De tre negativa värdena i klass III tyder på att relativt stora mätfel på dessa nivåer begåtts vid första mättillfället beroende på t ex. bristande manschettätning.

Enkelmanschettmätningarna har kontrollmätts på endast en nivå, men med fyra olika differenstryck. Differensen mellan de två mättillfällena är liten (motsvarande klass I enligt ovan).

#### 4.4 Borrhål Ka 3

Ka 3 är ansatt med endast  $50^\circ$  mot horisontalplanet i riktning mot ONO. Mot botten avviker hålet mer ostligt (fig. 2), och inklinationen ökar någon grad vid ca 130 m. Borrhåls längden är 777.3 m, och hålet når ett vertikaldjup av omkring 600 m. Foderrörets överkant, som sticker upp ett par dm över den uppfyllda markytan, har nivån 27.24 m ö h och är 11.40 m långt. Permeabilitetsmätningarna är utförda till en borrhåls längd av 764.6 m.

##### 4.4.1 Dubbelmanschettmätningar

I KBS, teknisk rapport 79-06 redovisas dubbelmanschettmätningar från 248.6 m till och med 764.6 m borrhåls längd för borrhål Ka 3. Permeabilitetsdiagrammen i bil. 6 omfattar hela borrhålet mellan 14.6 m och 764.6 m.

Mellan 14.6 m och 92.6 m råder stor spridning av värdena från mätgränsen  $1.9 \times 10^{-10}$  m/s till borrhålets största värde,  $2.4 \times 10^{-6}$  m/s. I avsnittet 92.6 - 152.6 m samlar sig värdena i en grupp mellan  $7.8 \times 10^{-10}$  m/s och  $2.4 \times 10^{-9}$  m/s. Den senare gränsen överskrids endast tre gånger ( $k_{\max} = 2.7 \times 10^{-7}$  m/s).

Intervall 152.6 - 221.6 m har åter något större spridning:  $1.9 \times 10^{-10}$  till  $1.1 \times 10^{-6}$  m/s. Dock finns endast 4 värden större än  $5.0 \times 10^{-9}$  m/s. Avsnittet 221.6 - 299.6 m uppvisar mätvärden mellan  $1.9 \times 10^{-10}$  m/s och  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s. Endast två mätvåningar har något högre permeabilitet ( $k_{\max} = 5.5 \times 10^{-9}$  m/s). Några högre värden har uppmätts mellan 299.6 m och 359.6 m. De flesta nivåerna har permeabiliteter högre än  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s och flera värden över  $1.0 \times 10^{-7}$  m/s finns representerade ( $k_{\max} = 2.0 \times 10^{-6}$  m/s). I det långa avsnittet 359.6 - 764.6 m är värdena relativt väl samlade. Spridningen ligger mellan mätgränsen och  $1.2 \times 10^{-9}$  m/s.



Tabell 4 Enkelmanschettmätningar, Ka 3

Sektion i m	Sektionslängd i m	Beräknade permeabilitetsvärden i m/s vid olika differenstryck				
		0.1 MPa	0.2 MPa	0.4 MPa	0.6 MPa	0.8 MPa
50.0 - 764.6	714.6	-	$2.0 \times 10^{-8}$	-	-	-
100.0 - 764.6	664.6	$2.7 \times 10^{-8}$	-	-	-	-
150.0 - 764.6	614.6	$2.9 \times 10^{-8}$	-	-	-	-
200.0 - 764.6	564.6	$1.5 \times 10^{-8}$	-	-	-	-
250.0 - 764.6	514.6	-	$1.3 \times 10^{-8}$	-	-	-
300.0 - 764.6	464.6	$1.6 \times 10^{-8}$	-	-	-	-
350.0 - 764.6	414.6	-	$3.7 \times 10^{-10}$	-	-	-
400.0 - 764.6	364.6	-	$6.6 \times 10^{-11}$	$8.1 \times 10^{-11}$	$8.7 \times 10^{-11}$	$8.4 \times 10^{-11}$
450.0 - 764.6	314.6	-	$6.8 \times 10^{-11}$	$8.8 \times 10^{-11}$	$9.9 \times 10^{-11}$	-
500.0 - 764.6	264.6	-	$7.8 \times 10^{-11}$	$1.0 \times 10^{-10}$	$1.1 \times 10^{-10}$	$1.0 \times 10^{-10}$
550.0 - 764.6	214.6	-	$1.0 \times 10^{-10}$	$1.2 \times 10^{-10}$	$1.3 \times 10^{-10}$	$1.3 \times 10^{-10}$
600.0 - 764.6	164.6	-	$1.3 \times 10^{-10}$	$1.7 \times 10^{-10}$	$1.8 \times 10^{-10}$	$1.7 \times 10^{-10}$
650.0 - 764.6	114.6	-	$2.2 \times 10^{-10}$	$2.5 \times 10^{-10}$	$2.6 \times 10^{-10}$	$2.5 \times 10^{-10}$
700.0 - 764.6	64.6	-	$4.2 \times 10^{-10}$	$4.5 \times 10^{-10}$	$4.6 \times 10^{-10}$	$4.4 \times 10^{-10}$

#### 4.4.2 Enkelmanschettmätningar

I de sju översta av de 14 uppmätta nivåerna har endast ett differensstryck använts på stora flöden. Tre differensstryck har nyttjats i en nivå, och i de sex övriga fyra olika tryck. Resultaten presenteras i tabell 4.

Ovanför 300 m-nivån har hela tiden relativt höga permeabiliteter uppmätts ( $k_{\max} = 2.9 \times 10^{-8}$  m/s vid 0.1 MPa). Därunder är permeabiliteten betydligt lägre ( $k_{\max} = 4.2 \times 10^{-10}$  m/s med 0.2 MPa differensstryck). Trots detta misstänks ett läckage i mätutrustningen, åtminstone från 500 m och nedåt. Beräknas permeabiliteten för varje 50 m-sektion (se 4.4.3), erhålls stigande permeabilitetsvärden mot botten av borrhålet räknat från 600 m-nivån. Motsvarande permeabilitetsvärden beräknade utifrån dubbelmanschettmätningar ger visserligen en viss, men betydligt mindre motsvarande ökning (den allra nedersta sektionen har till och med lägre permeabilitet än sektionen närmast ovanför). Dessutom var det nödvändigt att succesivt öka vattenflödena för att kunna upprätthålla ett visst differensstryck, ju kortare mätvåning som mättes från 500 m-nivån. Emellertid kan man inte utesluta, att de nedersta 100 metrarna har en verklig permeabilitet, som är högre än i avsnittet mellan 500 och 650 m.

#### 4.4.3 Jämförelse mellan enkel- och dubbelmanschettmätningar

I bil. 7 redovisas permeabiliteten i 50 m-intervall beräknad dels från enkelmanschettmätningar, dels som medelvärden av dubbelmanschettmätningar. De kommentarer, som i kap 5 görs beträffande beräkningen av enkelmanschettvärdena gäller även Ka 3.

I detta borrhål Ka 3 är överensstämmelsen mindre god mellan enkel- och dubbelmanschettmätningarna. Negativa permeabilitetsvärden har erhållits i fyra 50 m-sektioner vid beräkningar från enkelmanschettmätningar.

Under 350 m tycks permeabiliteten vara ungefär densamma (mellan  $2.7$  och  $7.4 \times 10^{-10}$  m/s), ända ned till 764.6 m av dubbelmanschettvärdena att döma. Enkelmanschettvärdet i sektionen 700.0 - 764.6 m har uppmätts till  $4.2 \times 10^{-10}$  m/s. Om hypotesen med ett läckage vid enkelmanschettvärdena är riktig, bör det verkliga permeabilitetsvärdet för hela sektionen under 350 m vara  $< 4.2 \times 10^{-10}$  m/s. Detta

stämmer väl med enkelmanschettvärdet  $3.7 \times 10^{-10}$  m/s mellan 350 m och borrhålets botten.

I den nedersta sektionen, 700.0 - 764.6 m har den genomsnittliga permeabiliteten  $6.4 \times 10^{-10}$  m/s uppmätts med dubbelmanschett.

Inga nollflöden har noterats i de 21 sektionerna.

Borrhålets lägsta permeabilitet tycks föreligga mellan 400 och 600 m. Där har många nollflöden uppmätts vid dubbelmanschettmätningarna, och den reella permeabiliteten kan vara lägre än dubbelmanschettmätningarnas mätgräns ( $1.9 \times 10^{-10}$  m/s). De tre enkelmanschettvärden som inte är negativa i detta avsnitt har samtliga en permeabilitet som understiger  $7.8 \times 10^{-11}$  m/s.

#### 4.4.4 Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differensstryck

Vid dubbelmanschettmätningar i Ka 3 har samtliga nivåer mätts med såväl 0.2 som 0.4 MPa differensstryck. Vissa nivåer är dessutom mätta med 0.6 och 0.8 MPa. Bil. 8 redovisar mätvärden för 0.2 och 0.4 MPa i ett lin-logdiagram samt ett klassindelade diagram för motsvarande värden. De kommentarer som görs om dessa diagramtyper i avsnitt 4.3.4 gäller även i detta fall.

En liknande tendens som för Ka 2 kan urskiljas. Vid permeabilitetsvärden större än  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s ger 0.2 MPa större värden i 66 % av antalet mätstationer. I intervallet mellan mätgränsen och  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s ger i stället 0.4 MPa större värden i hela 60 % av sektionerna.

En liknande tendens som för Ka 2 tycks alltså råda. Inte heller i detta fall har någon kvantitativ bedömning av permeabilitetsdifferenserna gjorts, men samtliga är mindre än eller lika med faktorn 320.

Av det klassindelade diagrammet i bil. 8 framgår, att 0.4 MPa ger högre permeabilitet i påfallande många sektioner, speciellt under 350 m, där permeabiliteten är låg. Ovanför 350 m, däremot, ger 0.2 MPa högre permeabilitet i en majoritet av de sektioner, där det finns en diskrepans.

Enkelmanschettmätningar med fler än ett differenstryck har skett från nivån 400 m och nedåt. Skillnaden i permeabilitet är obetydliga (< faktorn 1.5), Tendensen är helt entydig. I samtliga sektioner ger 0.6 MPa högre permeabilitet än 0.4 MPa, som i sin tur ger högre värden än 0.2 MPa. Vid höjning av trycket från 0.6 till 0.8 MPa sjunker permeabiliteten återigen till värden ungefär motsvarande de som erhöles vid 0.4 MPa.

#### 4.4.5 Kontrollmätningar

I Ka 3 har 26 dubbelmanschettnivåer kontrollmätts. Värdena har indelats i de klasser, som definierades i avsnitt 4.3.5 och redovisas i tabell 5 nedan.

Tabell 5 Kontrollmätningar dubbelmanschett, Ka 3

	0.2 MPa		0.4 MPa	
	+	-	+	-
0	6		0	
I	6	6	8	8
II	5	3	5	4
III	0	0	0	0

Av tabellen framgår, att ökning resp. minskning vid kontrollmätningarna fördelar sig jämnt och att avvikelserna är tämligen små. Instrumentförslitning eller felmätning torde därför inte ha förekommit.

Enkelmanschettmätningarna har kontrollmätts på sex nivåer vid fem olika differenstryck. Skillnaderna är små. Samtliga faller inom klasserna 0 eller I, definierade som ovan. Nästan alla avvikelser är positiva. I detta fall misstänktes ett litet instrumentläckage (se 4.4.2 och 4.4.3). De många positiva avvikelserna vid kontrollmätningar kan tyda på att misstanken är befogad. Emellertid måste framhållas, att den elektroniska tryckmätaren varit ur funktion vid kontrollmätningarna, varför trycket måste mätas vid markytan. Detta kan ha ökat mätfelet.

#### 4.5 Borrhål Ka 4

Ka 4 är ansatt  $76^\circ$  mot horisontalplanet i riktning mot VNV. Mot botten avviker hålet några grader mot väster (fig. 2). Inklinationen ökar något vid ca 250 m. Borrhåls längden uppgår till 577.3 m och vertikaldjupet till drygt 560 m under markytan. Foderrörets överkant sticker upp ett par dm ovanför det uppfyllda markplanet. Rörets överkantsnivå är 11.67 m ö h och längden 12.00 m. Dubbelmanschettmätningar har utförts ned till 553.0 m. Vid 555.5 m inträffade stopp nedåt, så att manschetten ej kunde föras djupare.

##### 4.5.1 Dubbelmanschettmätningar

Ka 4 är borrarat genom en krosszon (KBS, teknisk rapport 79-05, sid. 67), vilket återspeglas i de uppmätta permeabiliteterna. Om medelvärdet av dubbelmanschettmätningarna beräknas för 50 m-sektionerna mellan 100 m och 550 m (se 4.5.3), har 150 m av borrhålet en permeabilitet, som är större än eller lika med  $1.0 \times 10^{-7}$  m/s. Motsvarande längder är 0 m för Ka 1, Ka 2 och Ka 5 samt 100 m för Ka 3. Emellertid finns det även många låga värden, d v s spridningen av mätvärdena är stor i större delen av borrhålet.

I avsnittet 19 - 91 m är variationen stor: mellan mätgränsen  $1.9 \times 10^{-10}$  m/s och  $1.2 \times 10^{-6}$  m/s. Från 91 m till 130 m är bergmassan relativt tät med samtliga mätvärden understigande  $7.1 \times 10^{-10}$  m/s. Större spridning råder i intervallet 130 - 223 m, nämligen mellan mätgränsen och  $3.7 \times 10^{-9}$  m/s utom i tre sektioner ( $k_{\max} = 2.9 \times 10^{-8}$  m/s i nivån 130 - 133 m). I det långa avsnittet mellan 223 m och 406 m är spridningen avsevärd med många höga permeabilitetsvärden, bl a borrhålets max värde  $2.1 \times 10^{-6}$  m/s. I denna del av borrhålet uppvisar också kärnprotokollet (KBS, teknisk rapport 79-05) en hög sprickfrekvens. Från 406 m till 439 m är borrhålet relativt tätt. Endast två värden överstiger  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s ( $k_{\max} = 6.8 \times 10^{-8}$  m/s). Under 439 m är  $k_{\max} = 9.0 \times 10^{-10}$  m/s.

I denna rapport görs ingen analys av korrelationen mellan sprickfrekvensen och vattenförluster. En kommentar skall dock göras. I KBS, teknisk rapport 79-05 redovisas, som nämnts kärnprotokollen för djupborrhålen på Sternö (för Ka 1 endast under 500 m-nivån). Vad beträffar Ka 4 har en lång krosszon karterats i avsnittet 420

m till 432 m och en annan mellan 439 m och 446.7 m. Sprickorna är enligt protokollet endast delvis läkta. Som framgår av beskrivningen ovan har påfallande små vattenförluster noterats i båda zonerna.

#### 4.5.2 Enkelmanschettmätningar

På en av de tio uppmätta nivåerna har fyra olika differenstryck använts. Eljest har endast låga tryck varit aktuella p g a de stora flödena. Resultaten presenteras i tabell 6.

Ned till och med 400 m-nivån har höga permeabiliteter uppmätts ( $k_{\max} = 5.5 \times 10^{-8}$  m/s vid 0.05 MPa). Därunder gäller  $k = 4.5 \times 10^{-11}$  m/s vid 0.2 MPa.

#### 4.5.3 Jämförelse mellan enkel- och dubbelmanschettmätningar

I bil. 10 redovisas permeabiliteten i huvudsakligen 50 m-intervall beräknad dels från enkelmanschettmätningar, dels som medelvärden av dubbelmanschettmätningar. De kommentarer som anförs i kap 5 beträffande beräkningen av enkelmanschettvärdena gäller även för Ka 4.

I fyra sektioner har negativa permeabiliteter erhållits vid beräkningar från enkelmanschettmätningarna. De senare mätningarna ger i sektionen 150 - 200 m betydligt högre permeabilitet än dubbelmanschettmätningarna. Från och med 250 m är överensstämmelsen mellan de två metoderna mycket god, utom mellan 450 och 553 m, där enkelmanschettmätningen gett det lägsta värdet. I den nedersta enkelmanschettsektionen har 11 nollflöden av totalt 34 mätningar registrerats vid dubbelmanschettmätningarna.

#### 4.5.4 Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differenstryck

I Ka 4 har nästan alla nivåer dubbelmanschettmätts med såväl 0.2 som 0.4 MPa. I några enstaka fall har flödena varit så stora, att dessa tryck ej har uppnåtts. Bil 11 redovisar mätvärden för 0.2 och 0.4 MPa i ett lin-logdiagram samt i ett klassindelad diagram för motsvarande värden. De kommentarer som görs om dessa diagramtyper i 4.3.4 är aktuella även i detta fall.

Tabell 6 Enkelmanschettmätningar, Ka 4

Sektion i m	Sektions- längd i m	Beräknade permeabilitetsvärden i m/s vid olika differenstryck							
		0.05 MPa	0.075 MPa	0.1 MPa	0.2 MPa	0.3 MPa	0.4 MPa	0.6 MPa	0.8 MPa
48.0-553.0	505	-	-	-	$2.9 \times 10^{-8}$	-	-	-	-
74.0-553.0	479	-	-	$3.9 \times 10^{-8}$	<sup>x</sup> $3.2 \times 10^{-8}$	-	-	-	-
100.0-553.0	453	-	-	$4.0 \times 10^{-8}$	<sup>xx</sup> $3.5 \times 10^{-8}$	-	-	-	-
150.0-553.0	403	-	$5.0 \times 10^{-8}$	$4.1 \times 10^{-8}$	-	-	-	-	-
200.0-553.0	353	-	-	-	$1.8 \times 10^{-8}$	$1.4 \times 10^{-8}$	-	-	-
250.0-553.0	303	$5.5 \times 10^{-8}$	$5.0 \times 10^{-8}$	-	-	-	-	-	-
300.0-553.0	253	-	$4.4 \times 10^{-8}$	$4.0 \times 10^{-8}$	-	-	-	-	-
350.0-553.0	203	-	-	$1.5 \times 10^{-8}$	$1.5 \times 10^{-8}$	-	-	-	-
400.0-553.0	153	-	-	-	$8.3 \times 10^{-9}$	-	$4.6 \times 10^{-9}$	-	-
452.0-553.0	101	-	-	-	$4.5 \times 10^{-11}$	-	$6.4 \times 10^{-11}$	$3.9 \times 10^{-11}$	$4.7 \times 10^{-11}$

<sup>x</sup> 1.5 MPa

<sup>xx</sup> 1.3 MPa

Samma tendens som för Ka 2 och Ka 3 råder. Vid permeabiliteter högre än  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s ger 0.2 MPa högre värden i 85 % av antalet sektioner. Mellan mätgränsen och  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s, däremot, är motsvarande siffra endast 49 %. Inte heller i detta fall har någon kvantitativ bedömning av permeabilitetsdifferenserna gjorts. Samtliga differenser är dock mindre än eller lika med faktorn 140, som kan jämföras med 27 resp. 320 för Ka 2 och Ka 3.

Det klassindelade diagrammet i bil. 11 visar, att i de fall där permeabiliteterna för 0.2 resp. 0.4 MPa inte sammanfaller, ger 0.2 MPa i allmänhet högst värde. Där så inte är fallet, är permeabiliteten oftast låg.

Enkelmanschettmätningar med 0.2, 0.4, 0.6 och 0.8 MPa i samma sektion har utförts endast på nivån 452 m. I de övriga sektionerna har två lägre tryck jämförts utom i den översta, där enbart 0.2 MPa använts. Permeabilitetsdifferenserna är mycket små, mindre än faktorn 2. I de flesta fall ger de lägre trycken högst permeabilitet. Några undantag finns, speciellt där mätsektionerna är korta och permeabiliteterna låga, d v s mot botten av borrhålet.

#### 4.5.5 Kontrollmätningar

I Ka 4 har 9 dubbelmanschettnivåer kontrollmätts. Värdena har indelats i de klasser som definieras i avsnitt 4.3.5, se tabell 7.

Tabell 7 Kontrollmätningar dubbelmanschett, Ka 4

	0.2 MPa		0.4 MPa	
	+	-	+	-
0	0		0	
I	3	2	2	3
II	4	0	2	1
III	0	0	0	0

Differenserna är som synes tämligen små. Några kontroller av enkelmanschettmätningarna har inte gjorts.



4.6 Borrhål Ka 5

Ka 5 har 602.65 m längd och  $61^{\circ}$  ansättning mot horisontalplanet i riktning mot SSO. I mitten av borrhålet sker en svag avvikelse mot öster. Inklinationen mot horisontalplanet minskar något vid ca 220 m. Vertikalt når borrhålet omkring 525 m under markytan. Foderröret är 10.78 m långt och dess överkant, som når ett par dm ovanför markytan, har nivån 12.25 m ö h. Permeabilitetsmätningarna har utförts till borrhåls längden 577.8 meter.

## 4.6.1 Dubbelmanschettmätningar

I KBS, teknisk rapport 79-06 redovisas dubbelmanschettmätningar från 250.8 m till och med 577.8 m borrhåls längd. Permeabilitetsdiagrammen i bil. 12 omfattar hela borrhålet mellan 14.0 och 577.8 m. Först och främst måste understrykas, att ett instrumentläckage förmodas i Ka 5, troligen från nivån 367.8 m och nedåt (KBS, teknisk rapport 79-06, sid. 10).

I de översta 92.8 metrarna är spridningen av permeabilitetsvärdena stor: mellan  $1.2 \times 10^{-9}$  m/s och  $1.8 \times 10^{-6}$  m/s. Det senare värdet är  $k_{\max}$  för hela borrhålet. Mellan 92.8 m och 173.8 m håller sig permeabiliteterna mestadels mellan  $1.9 \times 10^{-9}$  m/s och  $1.0 \times 10^{-8}$  m/s, även om några värden når upp till  $8.0 \times 10^{-8}$  m/s. Genomgående lägre permeabiliteter har erhållits i avsnittet 173.8 till 250.8 m, där spridningen ligger mellan  $1.9 \times 10^{-10}$  m/s och  $8.2 \times 10^{-9}$  m/s med undantag för sektionerna 242.8 - 245.8 m och 245.8 - 248.8 m där värdena är  $1.0 \times 10^{-7}$  m/s resp.  $2.1 \times 10^{-7}$  m/s. I intervallet 250.8 till 334.8 m är variationen ganska liten.  $k_{\min}$  uppgår till  $1.6 \times 10^{-9}$  m/s och  $k_{\max}$   $1.1 \times 10^{-8}$  m/s. Hälften av värdena uppgår till  $4.2 \times 10^{-9}$  m/s. Mellan 334.0 och 367.8 m representeras permeabiliteten av mätgränsvärdet  $1.9 \times 10^{-10}$  m/s så när som på ett värde med permeabiliteten  $5.7 \times 10^{-10}$  m/s. I sektionen därunder har, som nämnts, ett läckage med stor sannolikhet förekommit. Mellan 367.8 och 517.8 m har permeabiliteter mellan  $7.0 \times 10^{-10}$  m/s och  $3.8 \times 10^{-9}$  m/s uppmätts. I den understa sektionen har något högre värden erhållits: mellan  $1.2 \times 10^{-9}$  och  $1.4 \times 10^{-8}$  m/s.

#### 4.6.2 Enkelmanschettmätningar

Resultaten av enkelmanschettmätningarna har tidigare presenterats i KBS, teknisk rapport 79-06. Vissa ändringar har därefter införts (se avsnitt 2).

I två av de fem uppmätta nivåerna i borrhål Ka 5 har fyra olika differenstryck nyttjats, medan de tre återstående nivåerna mätts med tre skilda tryck. Tabell 8 redovisar använda tryck och beräknade permeabilitetsvärden.

#### 4.6.3 Jämförelse mellan enkel- och dubbelmanschettmätningar

I bil. 13 redovisas permeabiliteten i huvudsakligen 50 m-intervall beräknad dels från enkelmanschettmätningar, dels som medelvärden av dubbelmanschettmätningar. De kommentarer som anförs i kap 5 beträffande beräkningen av enkelmanschettvärdena gäller även för Ka 5.

Mellan 100 och 300 m är överensstämmelsen relativt god mellan metoderna. I den långa sektionen mellan 300 m och borrhålets botten ger dubbelmanschettmätningarna betydligt högre värde. Det senare kan förklaras av det instrumentläckage, som med stor sannolikhet inträffade omkring nivån 370 m.

#### 4.6.4 Jämförelse mellan vatteninjektionstester med olika differenstryck

Samtliga mätsektioner i Ka 5 har dubbelmanschettmätts med såväl 0.2 som 0.4 MPa differenstryck. I några fall har även 0.6 och/eller 0.8 MPa nyttjats. Bil. 14 redovisar mätvärden för 0.2 och 0.4 MPa i ett lin-logdiagram samt ett klassindelad diagram för motsvarande värden. Dessa diagramtyper kommenteras i avsnitt 4.3.4.

På grund av det instrumentläckage, som förmodas ha inträffat omkring nivån 370 m, är en jämförande diskussion något vansklig. Endast 10 värdepar under  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s har uppmätts. Av dessa gav 0.4 MPa större värde i 90 % av fallen. Ovanför gränsen  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s gav istället 0.2 MPa högre permeabilitet för 70 % av antalet värden. Detta innebär, att samma tendens tycks råda i Ka 5 som i de övriga borrhålen. Vid beräkningen av procentsatserna ovan har

Tabell 8 Enkelmanschettmätningar, Ka 5

Sektion i m	Sektions- längd i m	Beräknade permeabilitetsvärden i m/s vid olika differensstryck			
		0.2 MPa	0.4 MPa	0.6 MPa	0.8 MPa
100.0-577.8	477.8	$2.6 \times 10^{-9}$	$2.3 \times 10^{-9}$	$2.4 \times 10^{-9}$	-
150.0-577.8	427.8	$2.1 \times 10^{-9}$	$1.6 \times 10^{-9}$	$1.6 \times 10^{-9}$	-
200.0-577.8	377.8	$8.8 \times 10^{-10}$	$8.6 \times 10^{-10}$	$1.1 \times 10^{-9}$	-
250.0-577.8	327.8	$1.7 \times 10^{-10}$	$1.7 \times 10^{-10}$	$1.8 \times 10^{-10}$	$1.7 \times 10^{-10}$
300.0-577.8	277.8	$2.4 \times 10^{-12}$	$2.7 \times 10^{-12}$	$4.0 \times 10^{-12}$	$4.0 \times 10^{-12}$

små differenser samma vikt som stora. Den största differensen uppgick till faktorn 23.

Enkelmanschettmätningarna i Ka 5 har utförts med minst tre olika differenstryck i samtliga sektioner. I några har t o m fyra tryck använts. Om trycken 0.2, 0.4 och 0.6 MPa jämförs, kan konstateras, att permeabilitetsförändringarna vid ändrat tryck är mycket små, mindre än faktorn 2 i alla sektioner. Vid övergång från 0.2 till 0.4 MPa minskar permeabiliteten i de flesta sektionerna men ökar i den nedersta.

#### 4.6.5 Kontrollmätningar

I Ka 5 har 29 dubbelmanschettnivåer kontrollmätts. Värdena har indelats i de klasser som definierats i avsnitt 4.3.5. Se tabell 9.

Tabell 9 Kontrollmätningar dubbelmanschett, Ka 5

	0.2 MPa		0.4 MPa	
	+	-	+	-
0		1		0
I	5	3	10	7
II	7	9	3	5
III	4	0	3	1

Övervägande positiva värden har erhållits vid kontrollmätningarna, vilket ytterligare talar för att de tidigare nämnda misstankarna om läckage i mätutrustningen är riktiga. Inga enkelmanschettmätningar har kontrollerats.

## 5. DISKUSSION

### 5.1 Allmänt

De erhållna permeabilitetsvärdena är baserade på mätvärden som erhållits i samband med att rådande grundvattenförhållanden på något sätt störs, som här genom att vatten injekteras. Varje mätvärde som registrerats ger en respons inte bara av den påförda störningen utan även av andra faktorer som generellt kan betraktas som störande

felkällor. Dessa felkällors ursprung och betydelse måste i fortsatta arbeten bli föremål för fördjupade studier. Här skall endast en generell diskussion göras om möjliga felkällor och deras kvalitativa betydelse.

I KBS, teknisk rapport 79-06 har vissa tänkbara felkällor belysts. Här återges endast (med ett par tillägg) de sammanfattade kommentarer som görs i Carlsson et al, 1979.

Praktiska-tekniska felkällor tenderar att överskatta bergmassans permeabilitet, framför allt till följd av läckage i utrustningen eller läckage förbi manschetterna. Detta gäller i högre grad dubbel- än enkelmanschett. Teoretiska felkällor ger för höga permeabilitetsvärden vid  $k < 10^{-8}$  och för låga vid  $k > 10^{-8}$  m/s.

I samband med permeabilitetsmätningar påförs ett hydrauliskt tryck, som kan ändra bergmassans naturliga förhållanden (Carlsson och Olsson, 1979, sid 15). Detta innebär effekter som i huvudsak är av två olika typer, dels vidgning av sprickor inom mätsektionen, dels utspolning och omlagring av eroderbara sprickfyllnader.

Genom att använda vatten med väsentligt annan salthalt eller temperatur än det naturliga grundvattnet kan permeabilitetsvärden, som avviker från bergmassans verkliga permeabilitet för naturliga grundvatten, erhållas.

Vatteninjektionstester som sådana kan anses ge permeabilitetsvärden som nära ansluter till bergmassans verkliga permeabilitet. Den inverkan, som de olika störande effekterna har på mätvärdets representativitet, torde normalt vara av samma storleksordning som en naturligt förekommande variation i bergmassan.

## 5.2 Faktorer som kan leda till resultatskillnader mellan dubbel- och enkelmanschettmätningar

För varje borrhål har permeabiliteten i vissa intervall beräknats dels från enkelmanschettmätningar, dels som medelvärden av dubbelmanschettmätningar. Intervalllängderna är i allmänhet 50 m, men även några längre samt ett fåtal kortare finns representerade. I möjligaste mån har mätningar utförda med samma differenstryck jämförts (0.4 MPa i Ka 1 och 0.2 MPa i alla övriga borrhål). I några fall har 0.2 (resp

0.4) MPa ej kunnat uppnås, framför allt vid enkelmanschettmätningar. Vid jämförelsen har då eftersträvat ett tryckvärde, som ligger så nära trycket vid den jämförbara mätmetoden som möjligt.

Beräkningarna av enkelmanschettvärdena baserar sig på skillnaderna i transmissivitet (hydraulisk konduktivitet multiplicerad med sektionlängd) mellan närmast på varandra följande mätsektioner räknat uppifrån. En del sektioner kan med detta beräkningsförfarande inte räknas fram (Carlsson et al., 1979). Detta beror på att noggrannheten i mätningen inte är tillräcklig för subtraktion av sektioner med små skillnader i transmissivitet vilket kan leda till att negativa värden i vissa av intervallen, vilket givetvis är orimligt.

Storleken i absoluta tal av nämnda mätfel, varierar med mätsektionens permeabilitet. Speciella undersökningar krävs för att orsakerna bakom dessa felkällor helt skall kunna utredas och kvantifieras.

I lågpermeabla sektioner ( $k < \text{ca } 1.0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ ) ger enkelmanschettmätningarna i regel lägre permeabilitet än dubbelmanschettmätningarna. Detta beror av ett flertal faktorer. Mätgränsen för permeabiliteten är lägre ju längre mätsektionen är.

Vid dubbelmanschettmätningarna har längden varit 2 eller 3 m. Enkelmanschettsektionernas längd varierar för varje mätning men är alltid betydligt längre än dubbelmanschettmätningarnas (i allmänhet flera hundra meter), varför mätgränsen vid enkelmanschettmätningarna vanligen är 100 gånger lägre än dubbelmanschettmätningarnas. I borrhål med långa täta partier, där många värden ligger under mätgränsen vid dubbelmanschettmätningarna, kan därför permeabilitetskillnaden mellan dubbel- och enkelmanschettmetoden vara skenbar och helt orsakad av att den nedre mätgränsen är högre vid dubbelmanschettmätningarna än vid enkelmanschettmätningar.

Elasticiteten hos utnyttjad mätutrustning kan teoretiskt utgöra en felkälla vid utvärdering av permeabiliteten. Den största inverkan har denna effekt dock vid mätningen där trycket varierar med tiden.

Med den utrustning som använts i Karlshamn, avtätas enkelmanschettsektionerna uppåt av dubbla gummimanschetter, vilket bör innebära mindre läckagerisk än vid dubbelmanschettmätning. Vidare är risken för materialutmattning i t ex O-ringar och manschetter större vid dubbelmanschettmätning, p g a att antalet mätnigar är så stort i t ex ett 500 m borrhål. Ett eventuellt läckage slås dessutom ut över en större mätsektion och inverkar på så sätt mindre på resultatet. Eventuella läckage ger givetvis större fel i lågpermeabla avsnitt.

I vissa intervall (13 st av totalt 40 jämförda) har emellertid enkelmanschettmätningarna givit högsta permeabilitetsvärdet. Detta har företrädesvis inträffat i borrhålens övre till centrala partier då enkelmanschettsektionerna varit långa.

### 5.3 Faktorer som kan påverka permeabiliteten vid vatteninjektionstester med olika tryck

Under ideala förhållanden skall sambandet mellan tryck och vattenflöde vara linjärt, d v s en förändring i tryck skall inte förändra permeabiliteten (Carlsson, Olsson, 1979 ). Flera orsaker kan dock ge upphov till ett icke linjärt samband. Höga vattenhastigheter ökar risken för turbulent flöde i sprickorna. Denna effekt ger i så fall upphov till för låga permeabilitetsvärden.

Resultaten av en vatteninjektionstest är även beroende av mättiden, eftersom förhållandena vid en sådan injektionstest till en början är transienta och först efter en mer eller mindre lång tid blir stationära. Allt större bergvolym påverkas av mätningen ju längre tiden går, och till en början inverkar störningar från borrhålet på flödets storlek. Vid de mätningar som utförts har mättiderna förmodligen varit något för korta för att stationärt tillstånd skulle kunna utbildas. Detta innebär att högre permeabilitetsvärden erhållits jämfört med värden beräknade från stationärt tillstånd (längre mättid) med utnyttjad formel.

Höga tryck ökar risken för påverkan av själva flödeskanalerna i berget, d v s sprickorna, genom berglyft och erosion av sprickfyllnadsmaterial (Carlsson, Olsson, 1979).

Denna påverkan leder i allmänhet till förhöjd permeabilitet jämfört med de värden som erhålles vid lägre tryck. Det kan dock även tänkas, att eroderat sprickmaterial omlagras på ett sådant sätt, att permeabiliteten minskar.

#### 5.4 Faktorer som kan ge upphov till olika resultat vid kontrollmätningar

Om en viss mätsektion vatteninjektionstestas vid två olika tillfällena, och därvid olika resultat erhållits, finns följande förklaringar.

1. Båda mätningarna är korrekta, d v s mätfelen har i båda fallen varit obetydliga. Det har i så fall skett en förändring av permeabiliteten i mätsektionen från det första mättillfället till det andra. En förklaring till detta kan vara, att man vid den första mätningen påverkat sprickorna, t ex genom berglyft eller erosion av sprickfyllnadsmaterialet.
2. Endast den ena mätningen är korrekt. Vid det andra mättillfället har något mätfel gjorts, t ex på grund av instrumentläckage, så att resultatet förryckts.
3. Ingen av mätningarna är korrekt. Mätfel har gjorts vid båda tillfällena men av olika typ eller storlek.
4. Slutligen kan man även tänka sig kombinationen av att en verklig permeabilitetsförändring inträffat, och att olika mätfel gjorts.

I första hand bör kontrollmätningarna betraktas som en undersökning av om utmattning av t ex O-ringar och manschetter inträffat under mätningarnas gång. Detta kan vara fallet, om permeabilitetsvärdena vid det andra mättillfället genomgående är högre än vid det första.



## 6. RESULTATSAMMANFATTNING

I tabell 10, jämförs borrhålens permeabilitet baserade på dubbelmanschettmätningar räknat i vertikalt djup under markytan. Gemensamt för alla borrhål utom Ka 1 och Ka 4 är, att permeabiliteten minskar betydligt under ca 350 m borrhålslängd (ca 340 m vertikaldjup i Ka 2, ca 310 m i Ka 5 och ca 270 m i Ka 3). Denna minskning i permeabilitet gäller troligen även för Ka 5, men p g a det tidigare nämnda instrumentläckaget framgår inte detta i tabell 10 i kolumnen för värden  $< 10^{-9}$  m/s. Ka 1 uppvisar låga permeabiliteter i hela borrhålet ( $k_{\max} = 1.1 \times 10^{-8}$  m/s), men genomgående lägre i de övre 400 metrarna (ca 394 m vertikaldjup) än därunder. Endast ett fåtal värden överstiger  $5.0 \times 10^{-10}$  m/s ovanför 400 m, medan därunder alla är  $< 2.9 \times 10^{-9}$  m/s. I Ka 4, däremot, förekommer höga permeabiliteter ända ned till ca 440 m (ca 425 m vertikaldjup).

De övre uppspruckna partierna i Ka 2 t o m Ka 5 har många värden, som överstiger  $1.0 \times 10^{-8}$  m/s, och även permeabiliteter över  $1.0 \times 10^{-6}$  m/s förekommer.  $k_{\max}$  för alla borrhålen i en 3 m-sektion är  $5.0 \times 10^{-6}$  m/s på nivån 44.8 - 47.8 m i Ka 2. De lågpermeabla avsnitten under ca 350 m borrhålslängd (i Ka 4 under ca 440 m) uppvisar, med undantag för Ka 5, permeabilitetsvärden  $< 5.0 \times 10^{-9}$  m/s. Majoriteten av värdena ligger dock t o m under  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s.

Vid enkelmanschettmätningarna har den översta mätnivån varit 100 m i Ka 2 och Ka 5, 29.5 i Ka 1, 50 m i Ka 3 och 48 m i Ka 4. Permeabiliteten i sektionen från den översta mätnivån till borrhålets botten är likartad i Ka 3 och Ka 4 ( $2.0 \times 10^{-8}$  m/s resp.  $4.6 \times 10^{-8}$  m/s), lägre i Ka 2 och Ka 5 ( $8.4 \times 10^{-9}$  m/s resp.  $2.6 \times 10^{-9}$  m/s) samt lägst i Ka 1 ( $1.3 \times 10^{-10}$  m/s). P g a borrhålens olika längd och den översta mätnivåns varierande läge i resp. borrhål är dessa permeabilitetsvärden dock ej helt jämförbara. Detsamma gäller den nedersta mätsektionen i de olika borrhålen (se resp. tabell), där värden mellan  $4.2 \times 10^{-10}$  m/s och  $< 1.0 \times 10^{-12}$  m/s uppmätts.

Vid jämförelse mellan dubbel- och enkelmanschettmätningarna i sektioner (huvudsakligen 50 m långa) har negativa värden erhållits vid beräkningar baserade på enkelmanschettmätningar i tio fall av totalt 40. I Ka 3 har detta inträffat i tre "lågpermeabla" sektioner ( $k < 1.0 \times 10^{-9}$  m/s, troligen t o m  $< 1.0 \times 10^{-10}$  m/s).

Tabell 10 Procent av borrhålslängdens vertikala komponent inom olika sektioner med permeabiliteter understigande angivna värden. Gäller för dubbelmanschetter.

Borrhål	Sektion i m under markytan	% av sektioner med permeabilitet understigande:	
		$10^{-9}$ m/s	$10^{-8}$ m/s
Ka 1	21 - 200	96	99
	200 - 350	95	100
	350 - 450	69	100
	450 - 778	65	100
Ka 2	14 - 200	17	67
	200 - 350	35	92
	350 - 450	90	100
	450 - 550	100	100
Ka 3	11 - 200	40	81
	200 - 350	76	91
	350 - 450	100	100
	450 - 580	100	100
Ka 4	18 - 200	61	85
	200 - 350	48	71
	350 - 450	55	82
	450 - 537	100	100
Ka 5 <sup>x</sup>	14 - 200	10	78
	200 - 350	22	94
	350 - 450	3	100
	450 - 498	0	100

<sup>x</sup> I detta borrhål har ett läckage hos utrustningen konstaterats.

inom totalt 85 mätsektioner. Ingen differens större än två tiopotenser har dock noterats. Åtta av de elva största differenserna är orsakade av ett instrumentläckage (Ka 5). De övriga tre fallen (Ka 2) kan bero på bristande manschettätning vid första mättillfället. Samtliga av dessa elva mätvärden är lågpermeabla ( $k < 3.4 \times 10^{-9}$  m/s). I huvudsak har kontrollmätningarna visat en tillfredsställande överensstämmelse mellan första och andra mättillfället.

Motsvarande kontroll av enkelmanschettmätningarna har utförts endast i Ka 2 och Ka 3. Överensstämmelsen mellan första och andra mättillfället är god. Den maximala differensen uppgår till faktorn 1.6.

## 7. GRUNDVATTENNIVÅOBSERVATIONER

### 7.1 Bakgrund

Under fältperioderna vintern, våren och hösten 1979 har grundvattennivåerna registrerats i de fem djupborrhålen på Sternö tämligen regelbundet. I bil. 15 har kurvor över grundvattenytans variationer i de fem borrhålen sammanställts med nederbörds- och temperaturdata från en nederbördsstation i Karlshamn.

På Sternö finns ett antal bergrum för oljelagring, belägna i närheten av Ka 1, Ka 2 och Ka 3. Samtliga bergrum har en bottennivå - 22.0 m ö h och en taknivå - 3.5 m ö h. På grund av den inläckning av grundvatten som sker i bergrum, sänks grundvattennivån inom en zon i närheten därav. Denna effekt kan tänkas inverka på grundvattennivåerna i Ka 1, Ka 2 och Ka 3.

Även storleken av de inläckande vattenmängderna framgår av bil. 15. Där presenteras ett stapeldiagram över utpumpade vattenmängder från resp. bergrum. Vattnet pumpas inte kontinuerligt, utan pumpning påbörjas, då vattenytan i bergrummen överstigit en viss nivå och avslutas, då hela vattenmängden utdränerats. Detta tillsammans med nederbördsvariationerna leder till att grundvattentrycket runt respektive bergrum varierar. Därigenom är dräneringshastigheten inte konstant, utan är störst omedelbart efter avslutad pumpning och avtar sedan, varefter bergrummet fylls upp (förutsatt att det nederbördsbetingade grundvattentrycket är någorlunda likartat i de båda fallen).

I lågpermeabla sektioner ( $k < 1.0 \times 10^{-9}$  m/s) har betydligt lägre värden erhållits med enkelmanschettmätningarna än med dubbelmanschettmetoden. Skillnaden uppgår till mellan faktorn 1.0 och 1258 i de olika borrhålen (mellan 1.0 och 406 om Ka 5 utesluts). Förklaringen till de större av dessa skillnader torde ligga i följande faktorer. För det första medför enkelmanschettmätningarna, att en teoretiskt lägre mätgräns kan uppnås. Om många nollflöden noterats vid dubbelmanschettmätningarna i en viss sektion, kan det reella permeabilitetsvärdet vara betydligt lägre än dubbelmanschettmätningarnas nedre mätgräns. För det andra är risken för instrumentläckage större vid dubbelmanschettmätningar. Ett ganska stort läckage har konstaterats i borrhål 5. I de lågpermeabla sektionerna förefaller därför de lägre enkelmanschettvärdena mer korrekta än dubbelmanschettvärdena.

Vid jämförelsen mellan vatteninjektionstester med olika tryck kan först konstateras, att differenserna vid dubbelmanschettmätning med olika tryck i allmänhet är små, oftast betydligt mindre än en tiopotens. Den största differensen har noterats i Ka 3 på nivån 38.6 - 41.6 m ( $5.7 \times 10^{-10}$  m/s resp.  $1.8 \times 10^{-7}$  m/s). 0.4 MPa gav i det fallet högsta värdet, vilket eventuellt kan förklaras av läckage förbi manschetterna. De största differenserna tenderar att ligga i de lägre permeabilitetsområdena (under  $5.0 \times 10^{-9}$  m/s). Detta kan till en del förklaras av att eventuella fel, p g a t.ex. instrumentläckage, betyder relativt sett mer, då permeabiliteten är låg.

Dubbelmanschettmätningarna med olika tryck visar en gemensam trend för alla borrhål. I intervallet  $> 1.0 \times 10^{-9}$  m/s ger 0.2 MPa betydligt vanligare högre permeabilitet än 0.4 MPa, medan mellan mätgränsen och  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s 0.4 MPa ger upphov till de högre värdena i 50 % av fallen eller mer. Det senare är företrädesvis aktuellt i de nedre, lågpermeabla delarna av borrhålen.

Differenserna vid enkelmanschettmätningar med olika tryck är alltid mindre än en tiopotens (t o m mindre än faktorn 8.9), Någon helt entydig bild erhålles inte om alla borrhål beaktas.

Vid kontroll av dubbelmanschettmätningar har förändringar större än en tiopotens jämfört med första mättillfället inträffat i elva fall

I omedelbar närhet av bergrummen finns 8 st observationsborrhål, (obs 1 t o m obs 8 i bil 15). Grundvattenstånden i obs-hålen registreras regelbundet av Karlshamnsverkens personal. I bil. 15 visas kurvor över grundvattenstånden under januari t o m november 1979. Vattenståndsförändringarna beror på en kombination av variationer i tillförsel från nederbörd och av dräneringen, bl a in i bergrummen.

Det bör observeras att antalet observationstillfällen är för litet för att grundvattenkurvorna skall kunna extrapoleras mellan mät-tillfällena. Därför har endast räta linjer dragits mellan observationspunkterna.

## 7.2 Resultat

Obs-hålen 3 och 8 liksom det närbelägna Ka 1 har en grundvattennivå som ligger under havsytans nivå. Detta torde vara ett resultat av bergrumsdräneringen. I ytterligare två hål, obs 5 och 6, vilka båda ligger nära obs 3, sjunker nivån under havets under sensommaren och hösten. Grundvattenytorna i obs 5, 6 och 7 har inbördes tämligen likartade förlopp, medan endast vissa delar av kurvorna för obs 1, 2, 3, 4 och 8 har samma tendens som de tre förstnämnda.

Det som karakteriserar de flesta av obs-hålen är, förutom de stora amplituderna, den jämna eller svagt fallande trenden fram till februari, nivåhöjningen under februari - mars, den jämna eller svagt fallande tendensen under april till juni samt det kraftiga fallet under juli. Under hösten föreligger en svag pik i månads-skiftet augusti - september.

För djupborrhålen saknas tyvärr data under senvåren och sommaren, varför jämförelsen med de grunda obs-hålen blir ofullständig. Först kan emellertid konstateras, att amplituderna i djupborrhålen är betydligt mindre än för obs-hålen. Största nivåskillnaden noteras i Ka 2, ca 3.3 m, vilket kan jämföras med ca 36 m för obs 5.

I Ka 1 har en nivåhöjning skett mellan februari och augusti, medan en sänkning åter sker i augusti. Detta kan kanske korreleras med de stora nivåförändringarna i obs-hålen. En kraftig nivåsenkning sker i Ka 2 mellan februari och augusti. När denna har inträffat är givetvis omöjligt att avgöra, men det är inte uteslutet att det

skett i juli. I Ka 3 syns en grundvattenhöjning i februari - mars. Om någon sänkning skett i juli, är svårt att avgöra. Det lilla antalet observationspunkter gör det svårt att kommentera Ka 4. Ka 5 däremot, vilket liksom Ka 4 är placerat långt från bergrummen, visar en svagt fallande kurva med smärre toppar och dalar. Den relativt sett kraftigaste nivåhöjningen har skett i mars. Mellan mars och augusti har en tämligen betydande sänkning inträffat. I slutet av augusti kan en ny men mindre nivåhöjning noteras.

Den grundvattenståndshöjning som observerats i många borrhål under mars kan möjligen sättas i samband med temperaturhöjning över  $0^{\circ}\text{C}$  och snösmältning. Grundvattensänkningen i obs-hålen i juli kan knappast korreleras till nederbörden i juli, eftersom den var 16 % större än normalt. Däremot regnade det betydligt mindre i juni. Om responsen på nederbördsförändringar är fördröjd med ca 1 mån, kan julis stora nederbördsmängd vara upphövet till den mindre topp i augusti - september, som flera borrhål, även Ka 5, uppvisar.

Bergrumsdränaget bör ge upphov till obs-hålens stora amplituder, men att i detalj väga in effekten av dränaget är vanskligt. Av pumpdiagrammet att döma verkar dock åtminstone bergrum 4 och 7 ha varit välfyllda då vattenståndshöjningen inträffade i mars. Vid julisänkningen tycks bergrummen å andra sidan inte ha innehållit så mycket vatten, eftersom större pumpningar inte gjordes förrän i september - oktober. I båda fallen kan således nivåförändringarna i vissa borrhål ha förstärkts av påverkan från bergrumsdräneringen. Detta bör vara relevant för speciellt obs 5, som har en nivåhöjning i februari, vilken inte kan korreleras till nederbörd, eftersom temperaturen hållit sig under  $0^{\circ}\text{C}$  i såväl januari som februari, med undantag för ett par dygn i början av januari. Välfyllda berg- rum kan ha medfört att nivån snabbt höjts till "normal" grundvatten- nivå.

## 8. MÄTNINGAR AV GRUNDVATTENTRYCKET

### 8.1 Metodik

Vid vattenförlustmätningarna i Ka 2 t o m Ka 5 har en elektronisk tryckmätare med digitalavläsning använts för mätning av grundvatten- trycket och injektionstrycket. Givaren är placerad omedelbart ovan-

för den övre manschetten med hydraulisk förbindelse med mätsektionen mellan manschetterna. Mätaren har också använts till att göra observationer av tryckförändringar i enskilda mätsektioner, då manschetterna lämnats tätade en viss tid. Vid en del tidpunkter har tryckmätaren varit ur funktion, varvid i stället ett smalt grundvattenlod med ljudsignal förts ned i rörgången för mätning av grundvattenytans läge. Vid beräkning av grundvattenytans vertikala nivåförändring, d v s tryckförändringen, måste givetvis i det fallet hänsyn tas till borrhålets lutning mot horisontalplanet. Skrivande tryckutrustning har inte funnits och endast en observation gjorts för varje mätning. Mättiderna har dessutom varierat mellan några minuter upp till minst 16 timmar. Resultaten kan därför inte kvantitativt utvärderas, utan endast trenderna i tryckförändringarna kan utläsas. Mätningarna har utförts i såväl dubbel- som enkelmanschettsektioner.

## 8.2 Resultat

Ett borrhål utgör en artificiell dräneringskanal i berget. Grundvattentrycket i de sprickor som genomskärs av borrhålet kommer därför att förändras i närheten därav. Genom att täta av enskilda sektioner med manschetter kan det naturliga trycket återfås i resp. sektion. Beroende på om den avtätade sektionen huvudsakligen genomkorsas av dränerade eller infiltrerade sprickor, minskar resp. ökar vattentrycket med tiden, till dess jämvikt inställer sig.

Resultaten presenteras i bil. 16 i rent kvalitativ form. Positivt tecken avser tryckökning, negativt tecken tryckminskning. 0-tecken innebär, att den avtätade sektionen har samma tryckhöjd som hela borrhålet. Flera tecken på samma nivå betyder, att tryckförändringarna varit påfallande stora. Den största av de observerade tryckförändringarna, oavsett mättidens längd och om jämvikt uppnåtts eller ej, är -3.9 m vattenpelare i Ka 3 (0.039 MPa).

I Ka 2 sjunker vattentrycket i enkelmanschettsektionen 200 m - borrhålets botten. Det borde därför som compensation finnas infiltrerande sprickor ovanför denna nivå. Sådana har också hittats i nivån 170.8 - 173.8 m.

De mest remarkabla tryckförändringar som upptäckts i Ka 3 inträffade mellan 302.6 m och 326.6 m. Alla uppmätta sektioner i detta

intervall hade negativa tryckförändringar, bl a det negativa maxvärdet -3.9 m vattenpelare i sektionen 302.6 - 305.6 m. Ett par enkelmanschettsektioner har positivt tecken, men så högt som vid 50 m-nivån får man tryckminskning. Där ovanför torde därför infiltrerande sprickor förekomma, vilket bekräftas av de två plus-tecknen i nivån 47.6 - 50.6 m.

I Ka 4 har genomgående små tryckförändringar observerats, varav de flesta positiva. Mellan 100 och 250 m torde av enkelmanschettsektionerna att döma övervägande dränerande sprickor förekomma, mellan 50 och 100 m huvudsakligen infiltrerande och mellan 0 och 50 m återigen dränerande sprickor.

Inga dränerande sprickor har upptäckts i Ka 5, men trycken i enkelmanschettsektionerna antyder, att sådana kan förekomma åtminstone mellan 150 och 200 m samt ovanför 50 m-nivån.



## REFERENSER

- Ahlbom, K., Carlsson, L., Gidlund, G., Klockars, C-E., Scherman, S. och Thoregren, U., 1979: Utvärdering av de hydrogeologiska och berggrundsgeologiska förhållandena på Sternö. KBS, teknisk rapport 79-09.
- Axelsson, C-L., Carlsson, L., 1979: Modellberäkningar av grundvattenförhållandena på Sternö. KBS, teknisk rapport 79-10.
- Banks, D. C. : In situ measurements of permeability in basalt. Proceedings. Symposium on Percolation through fissured rock. ISRM, IAEG, Stuttgart, 1972.
- Carlsson, L., Gidlund, G., Hansson, K., Thoregren, U., 1979: Kompletterande permeabilitetsmätningar i Finnsjöområdet. Arbetsrapport, Sveriges geologiska undersökning.
- Carlsson, L., Olsson, T., 1979: Hydrauliska barriäregenskaper hos marknära bergmassor. Rapport Prav 1:24.
- Gidlund, G., Hansson, K., Thoregren, U., 1979: Kompletterande permeabilitetsmätningar i Karlshamnsområdet. KBS, teknisk rapport 79-06.
- Hult, A., Gidlund, G., Thoregren, U., Magnusson, K-Å., Duran, O., 1978: Permeabilitetsbestämningar och Geofysisk borrhålsmätning. KBS, teknisk rapport nr 61.
- Larsson, I., Lundgren, T., Wiklander, U., 1977: Blekinge kustgnejs, Geologi och hydrogeologi. KBS, teknisk rapport nr 25.
- Magnusson, K-Å., Duran, O., 1979: Geofysisk borrhålsmätning. KBS, teknisk rapport 79-12.
- Olkiewicz, A., Scherman, S., Kornfält, K-A., 1979: Kompletterande berggrundsundersökningar inom Finnsjö- och Karlshamnsområdena. KBS, teknisk rapport 79-05.

Scherman, S., 1978: Förarbeten för platsval, berggrundsundersökningar. KBS, teknisk rapport nr 60.

Stokes, J., 1979: Beräkningar av grundvattenrörelser inom Sternöområdet i Blekinge. KBS, teknisk rapport 79-08.

Swan, G., 1977: The mechanical properties of the rocks in Stripa, Kråkemåla, Finnsjön and Blekinge. KBS, teknisk rapport nr 48.

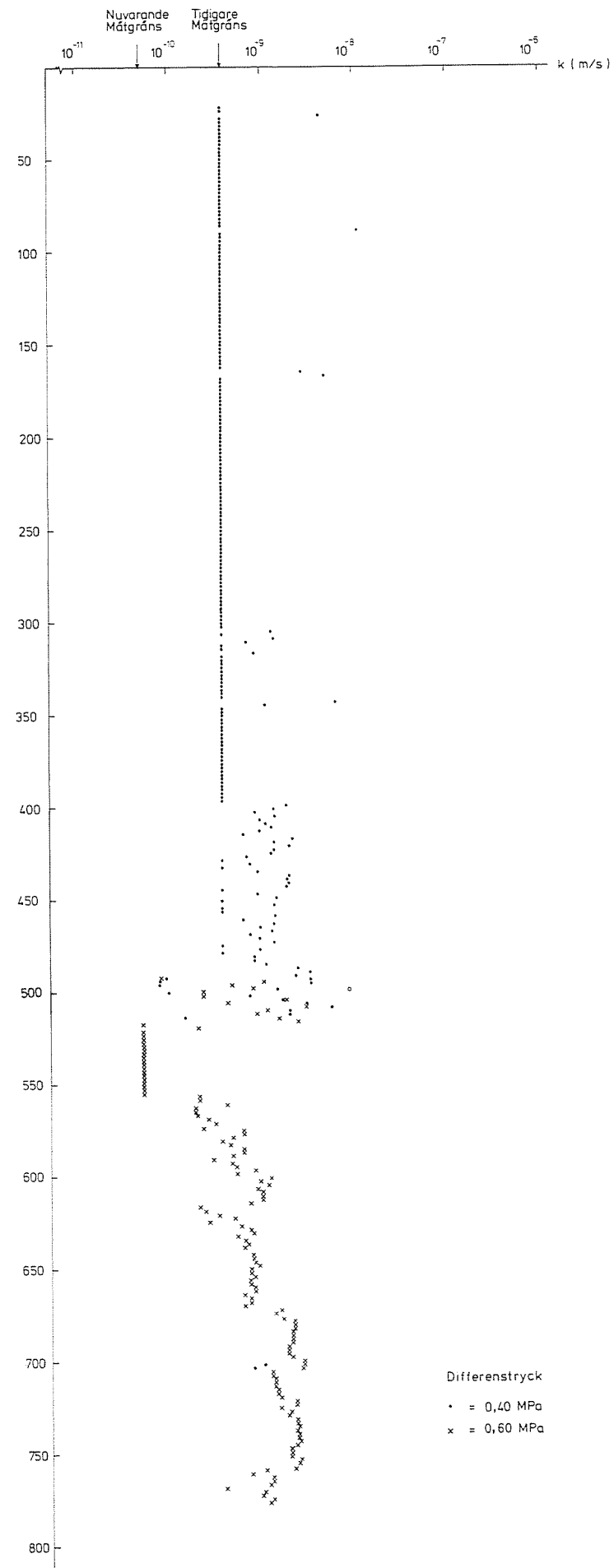
FIGUR- OCH TABELLFÖRTECKNING		Sid
LIST OF FIGURES AND TABLES		
Fig 1	Karta utvisande läget av Karlshamn Map showing the location of Karlshamn	7
Fig 2	Översiktskarta över undersökningsområdet Location of the boreholes Ka 1 - Ka 5	8
Fig 3	Principskiss över metodiken vid dubbel- och enkelmanschettmätning Equipment used in double and single packer tests	9
Tabell 1	Enkelmanschettmätningar, Ka 1 Single packer measurements, Ka 1	20
Tabell 2	Enkelmanschettmätningar, Ka 2 Single packer measurements, Ka 2	23
Tabell 3	Kontrollmätningar dubbelmanschett, Ka 2 Repeated measurements, double packers Ka 2	25
Tabell 4	Enkelmanschettmätningar, Ka 3 Single packer measurements, Ka 3	27
Tabell 5	Kontrollmätningar dubbelmanschett, Ka 3 Repeated measurements, double packers, Ka 3	30
Tabell 6	Enkelmanschettmätningar, Ka 4 Single packer measurements, Ka 4	33
Tabell 7	Kontrollmätningar dubbelmanschett, Ka 4 Repeated measurements, double packers, Ka 4	34
Tabell 8	Enkelmanschettmätningar, Ka 5 Single packer measurements, Ka 5	37
Tabell 9	Kontrollmätningar dubbelmanschett, Ka 5 Repeated measurements, double packers, Ka 5	38
Tabell 10	Procent av borrhåslängdens vertikala komponent inom olika sektioner med permeabiliteter understigande angivna värden. Lengths of boreholes in percent of different sections with hydraulic conductivity lower than given values.	44

BILAGOR  
APPENDIX

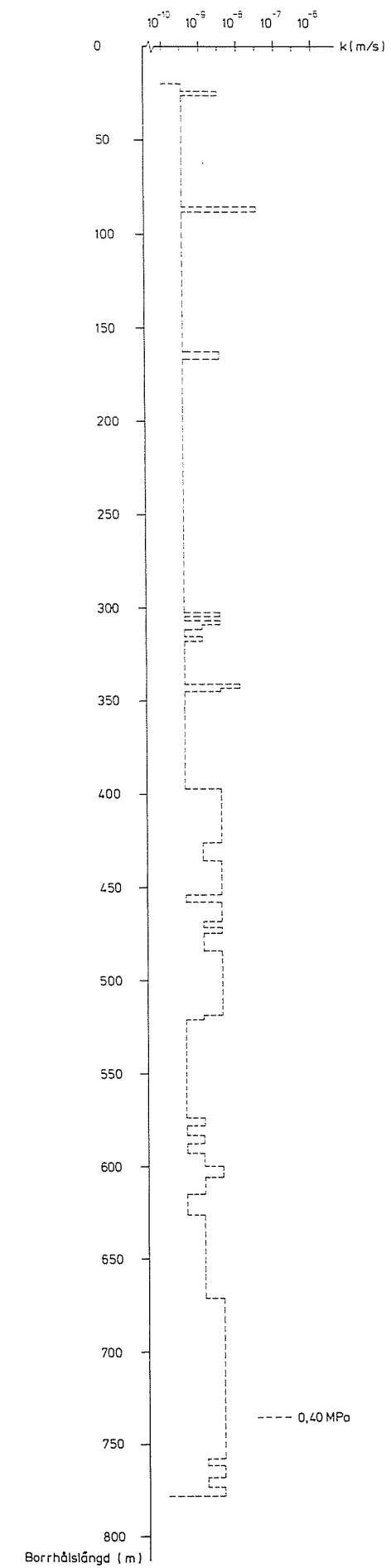
- Bilaga 1 Permeabilitetsbestämningar, Ka 1  
Permeability measurements, Ka 1
- Bilaga 2 Jämförelse mellan mätningar med enkel- och dubbel-  
manschett, Ka 1  
Comparison between single and double packer  
measurements, Ka 1
- Bilaga 3 Permeabilitetsbestämningar, Ka 2  
Permeability measurements, Ka 2
- Bilaga 4 Jämförelse mellan mätningar med enkel- och dubbel-  
manschett, Ka 2  
Comparison between single and double packer  
measurements, Ka 2
- Bilaga 5 Jämförelse mellan mätningar med olika differens-  
tryck, Ka 2  
Comparison between measurements with different  
excess pressures, Ka 2
- Bilaga 6 Permeabilitetsbestämningar, Ka 3  
Permeability measurements, Ka 3
- Bilaga 7 Jämförelse mellan mätningar med enkel- och dubbel-  
manschett, Ka 3  
Comparison between single and double packer  
measurements, Ka 3
- Bilaga 8 Jämförelse mellan mätningar med olika differens-  
tryck, Ka 3  
Comparison between measurements with different  
excess pressures, Ka 3
- Bilaga 9 Permeabilitetsbestämningar, Ka 4  
Permeability measurements, Ka 4
- Bilaga 10 Jämförelse mellan mätningar med enkel- och dubbel-  
manschett, Ka 4  
Comparison between single and double packer  
measurements, Ka 4
- Bilaga 11 Jämförelse mellan mätningar med olika differens-  
tryck, Ka 4  
Comparison between measurements with different  
excess pressures, Ka 4
- Bilaga 12 Permeabilitetsbestämningar, Ka 5  
Permeability measurements, Ka 5
- Bilaga 13 Jämförelse mellan mätningar med enkel- och dubbel-  
manschett, Ka 5  
Comparison between single and double packer  
measurements, Ka 5

- Bilaga 14 Jämförelse mellan mätningar med olika differens-  
tryck, Ka 5  
Comparison between measurements with different  
excess pressures, Ka 5
- Bilaga 15 Observationer av grundvattennivåer på Sternö  
Groundwatertables on the Sternö peninsula
- Bilaga 16 Tryckmätningar  
Piezometric measurements

Permeabilitetsbestämning

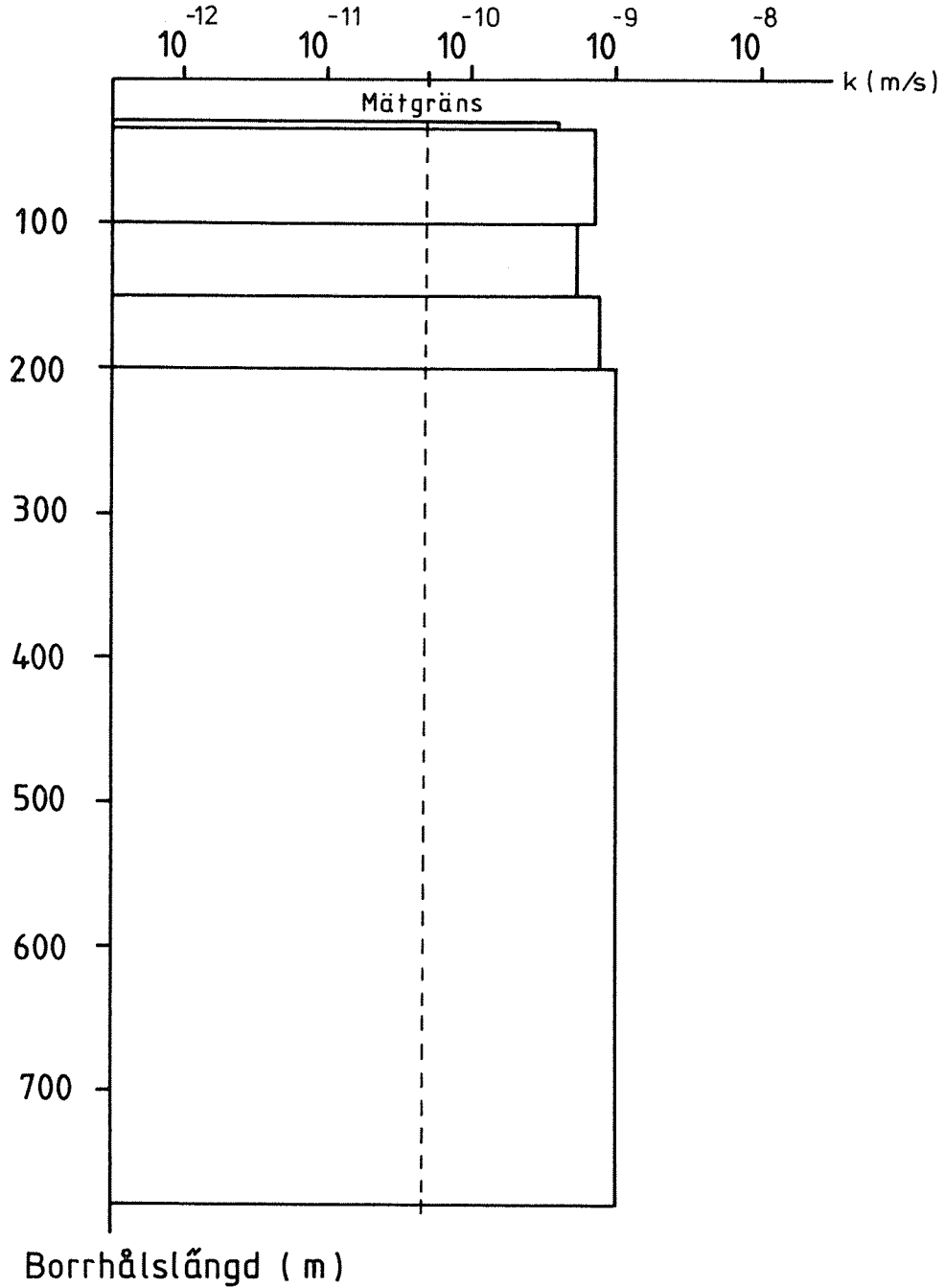


Klassindelning av sektionspermeabilitet

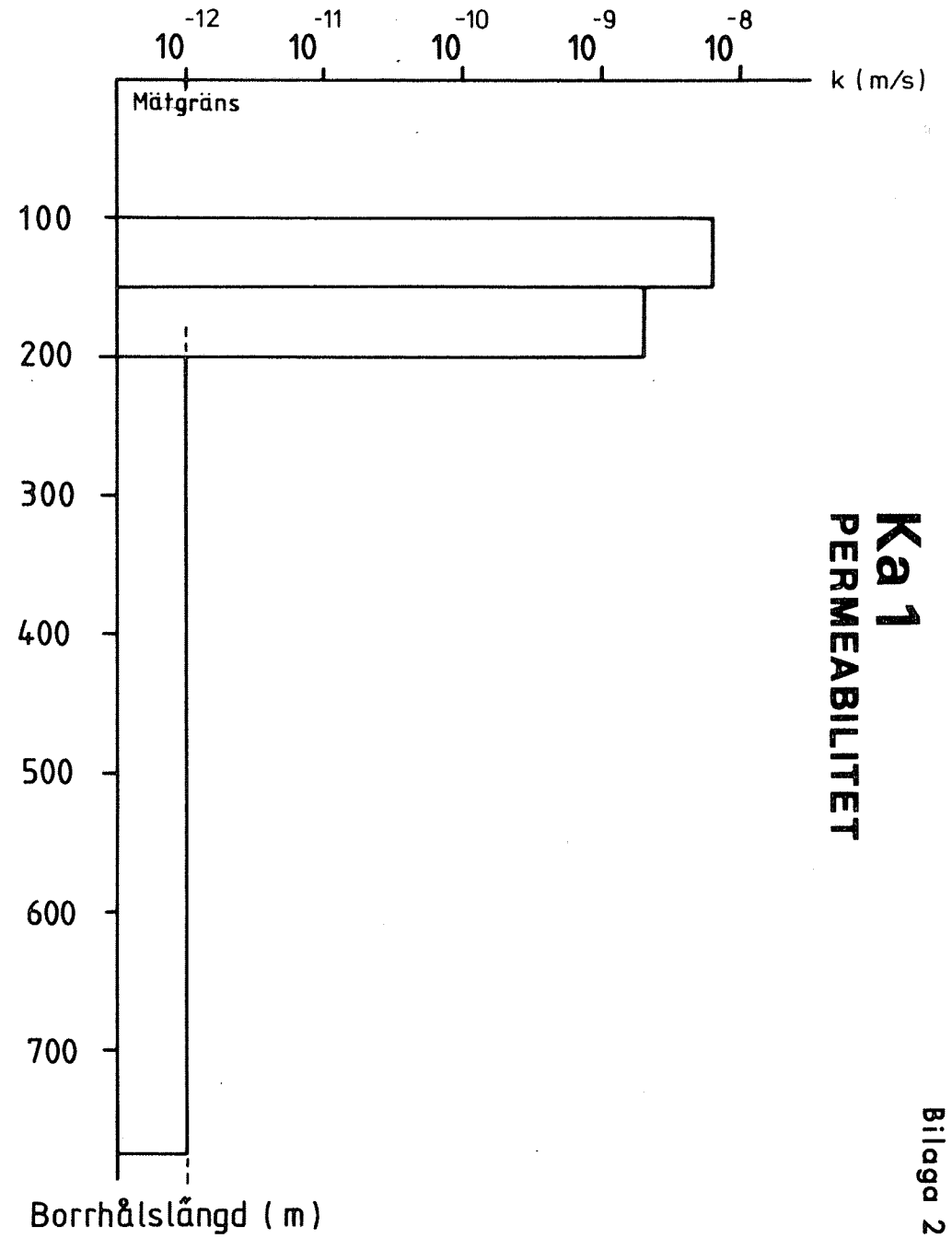


**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 1**  
 2 m mätsektion  
 Sveriges geologiska undersökning  
 1980

### Dubbelmanschett

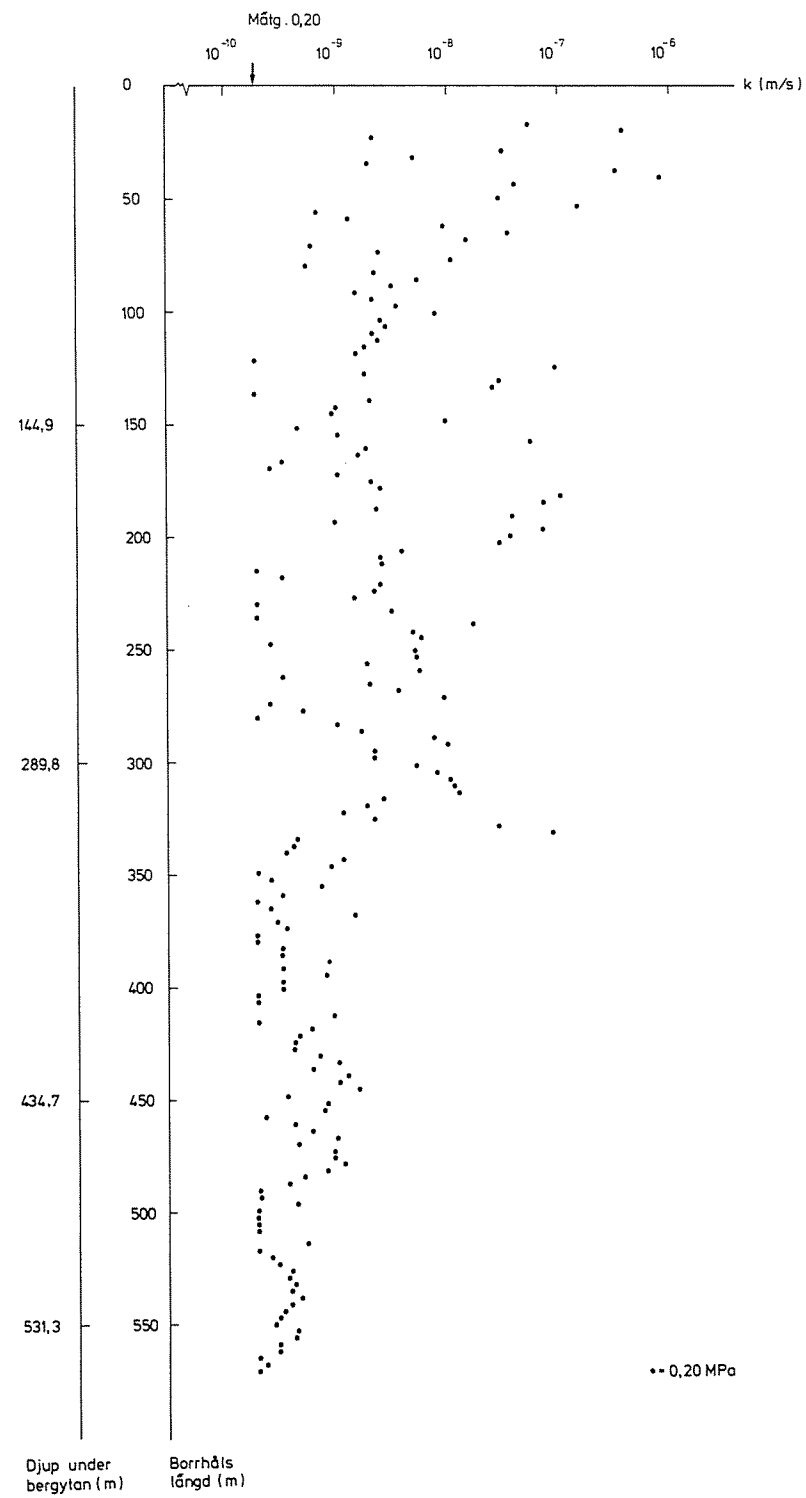


### Enkelmanschett

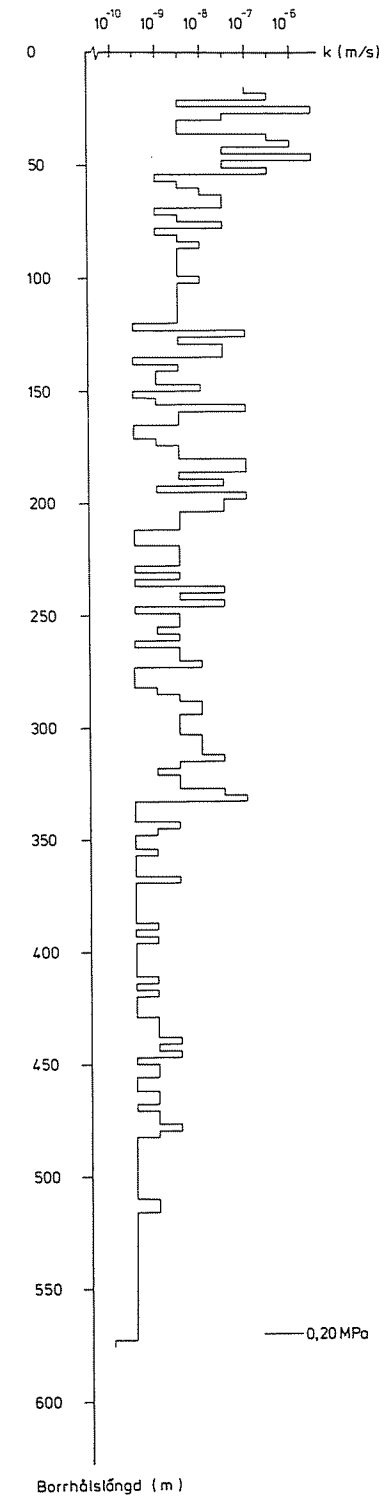


**Ka 1**  
**PERMEABILITET**

Permeabilitetsbestämning



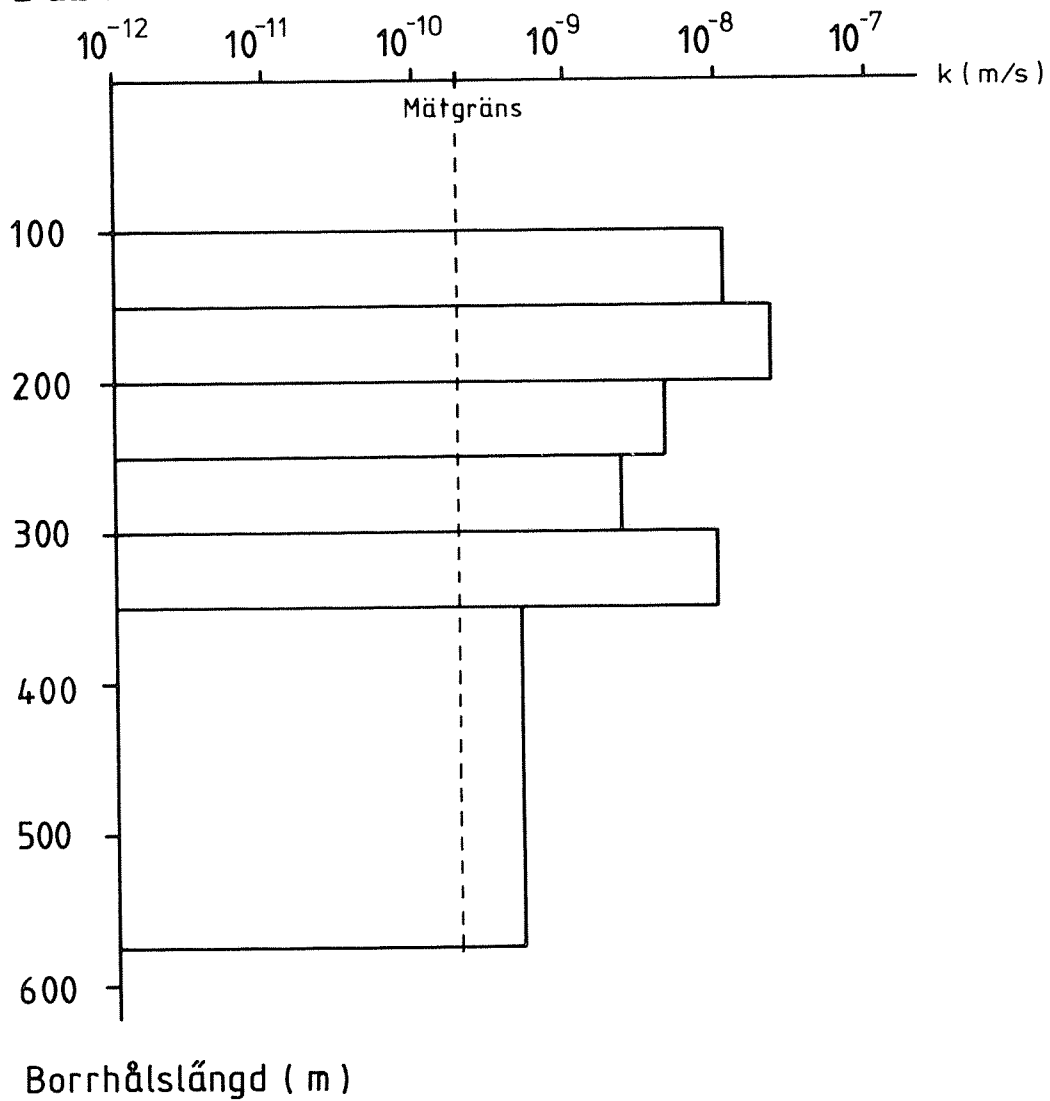
Klassindelning av sektionspermeabilitet



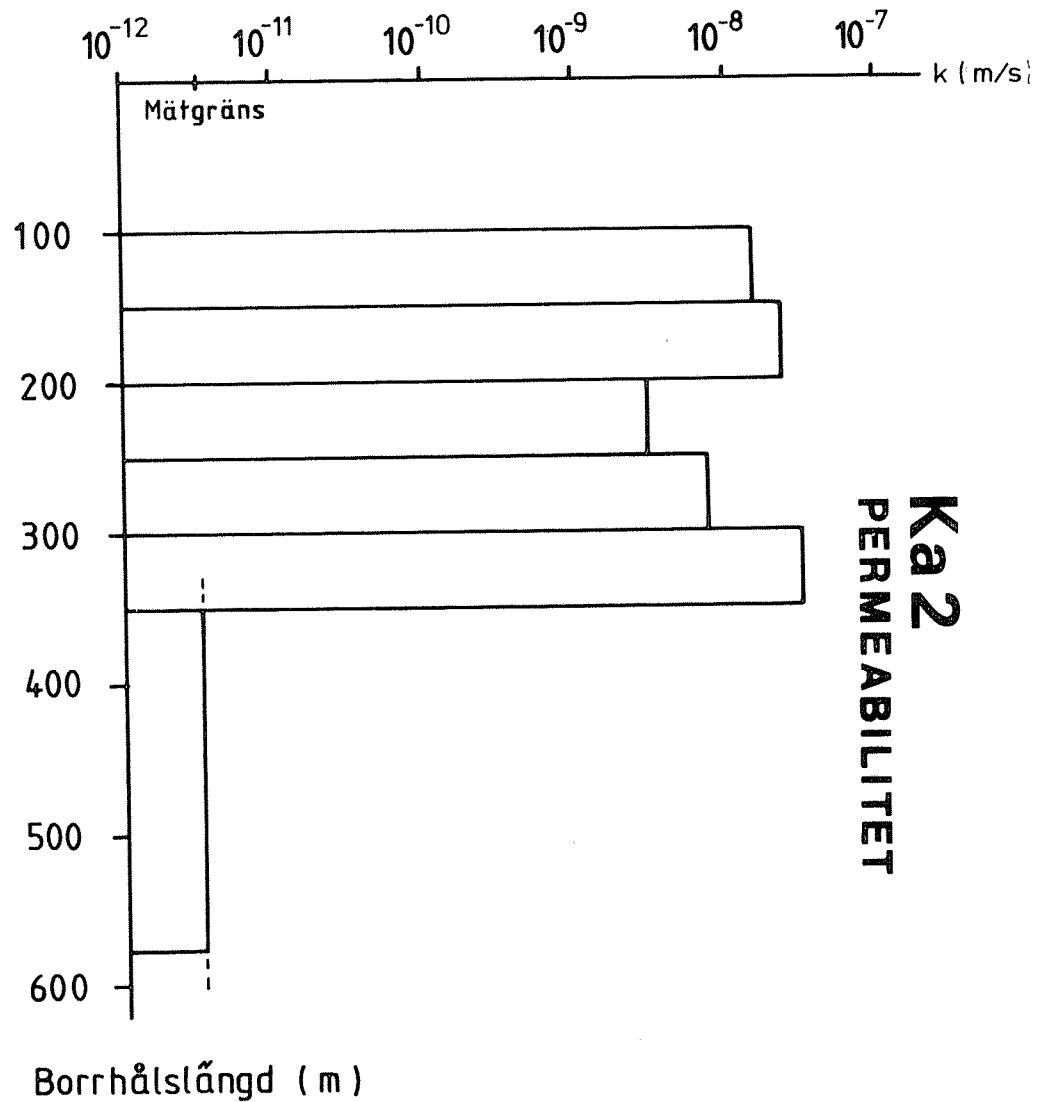
**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 2**  
 3 m mätsektion  
 Sveriges geologiska undersökning  
 1980



### Dubbelmanschett

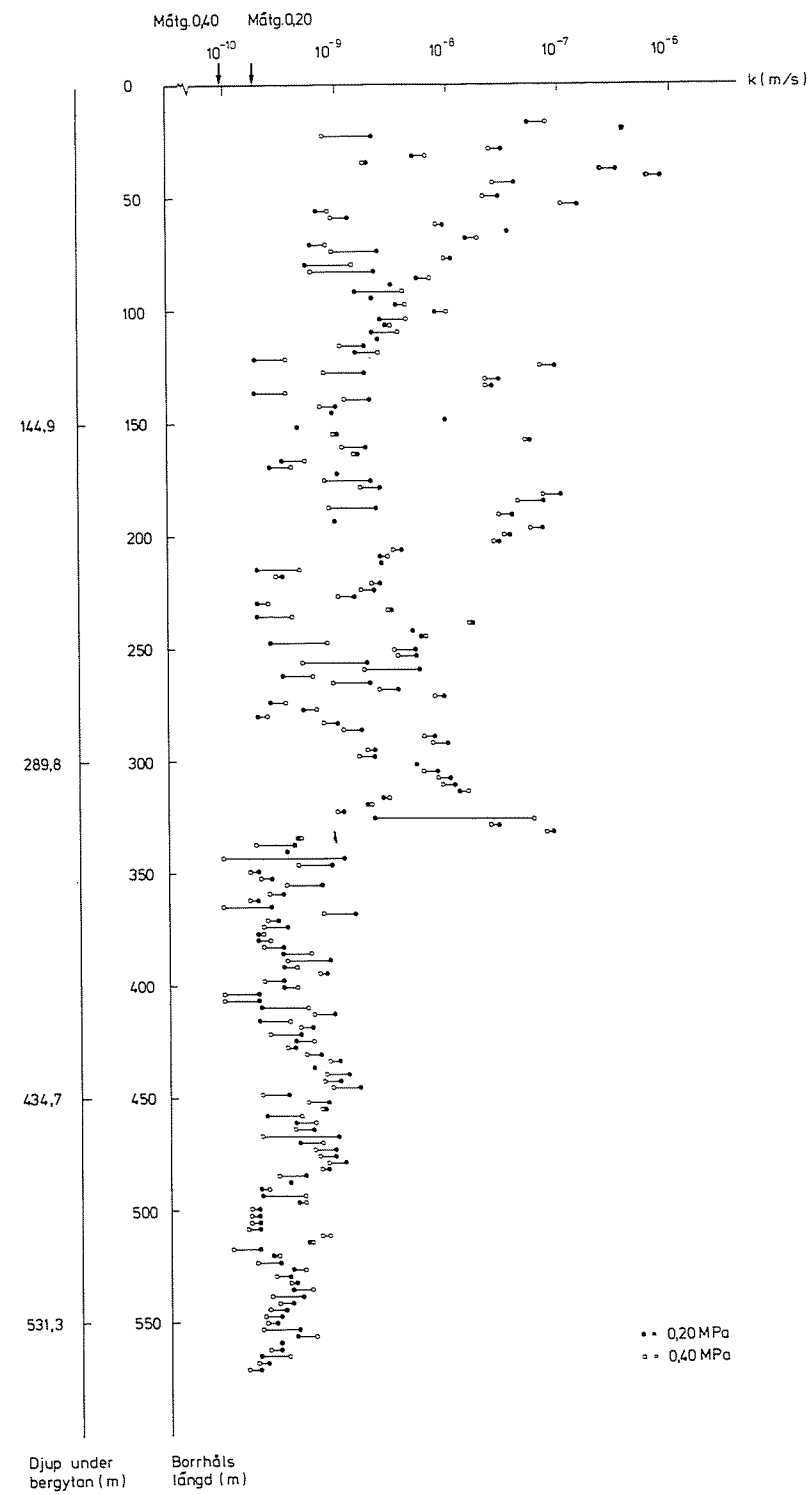


### Enkelmanschett

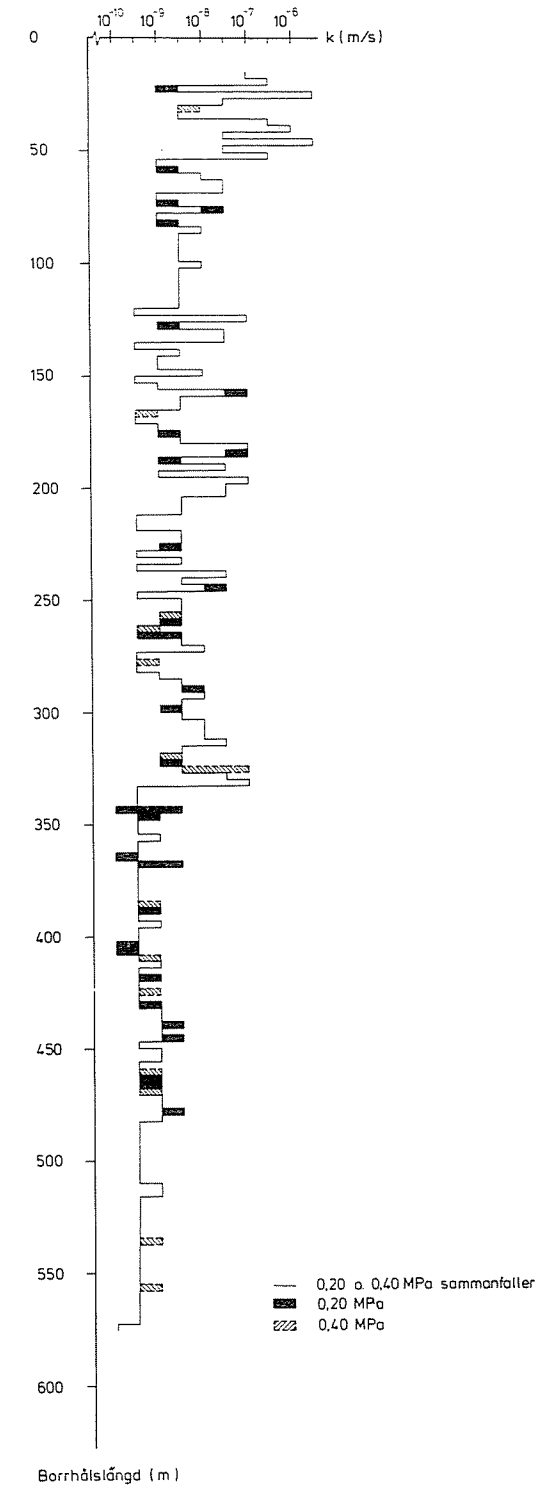


**Ka 2**  
**PERMEABILITET**

Permeabilitetsbestämning

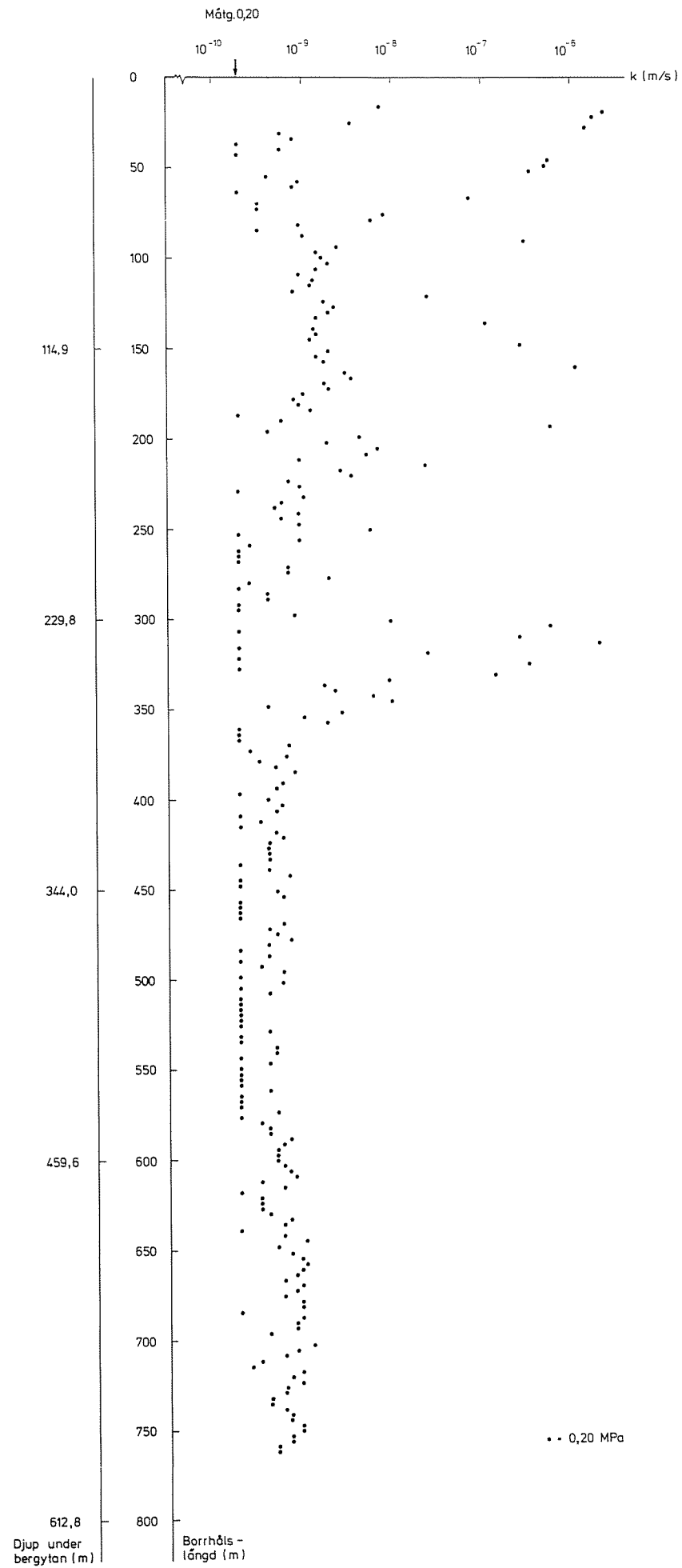


Klassindelning av sektionerpermeabilitet

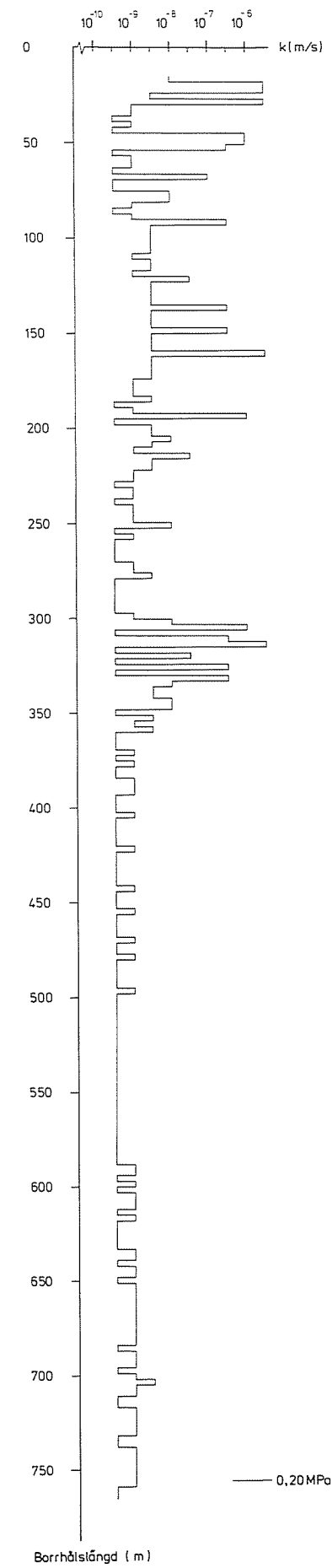


**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 2**  
 3 m mätsektion  
 Sveriges geologiska undersökning  
 1980

Permeabilitetsbestämning

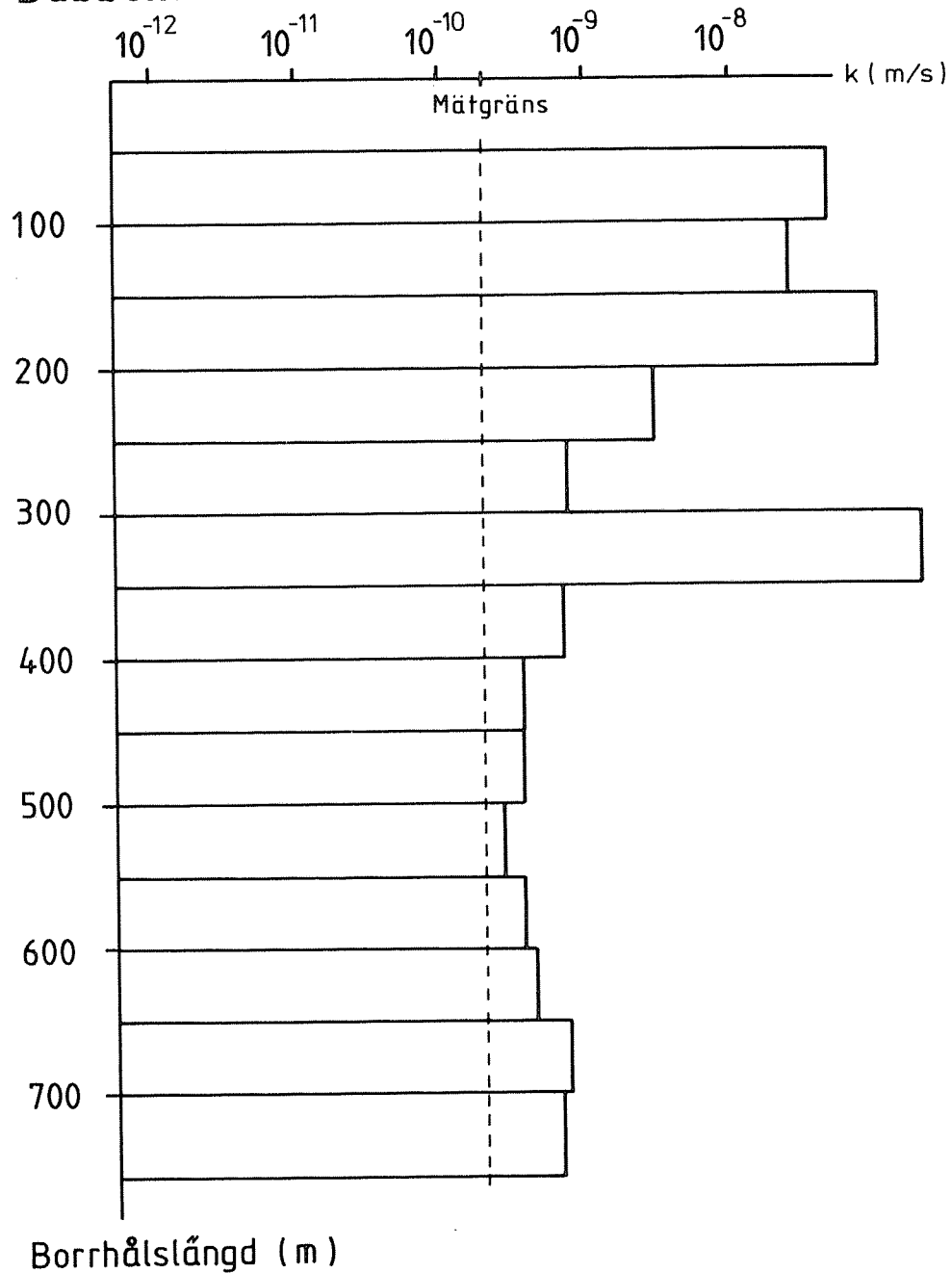


Klassindelning av sektionsspermeabilitet

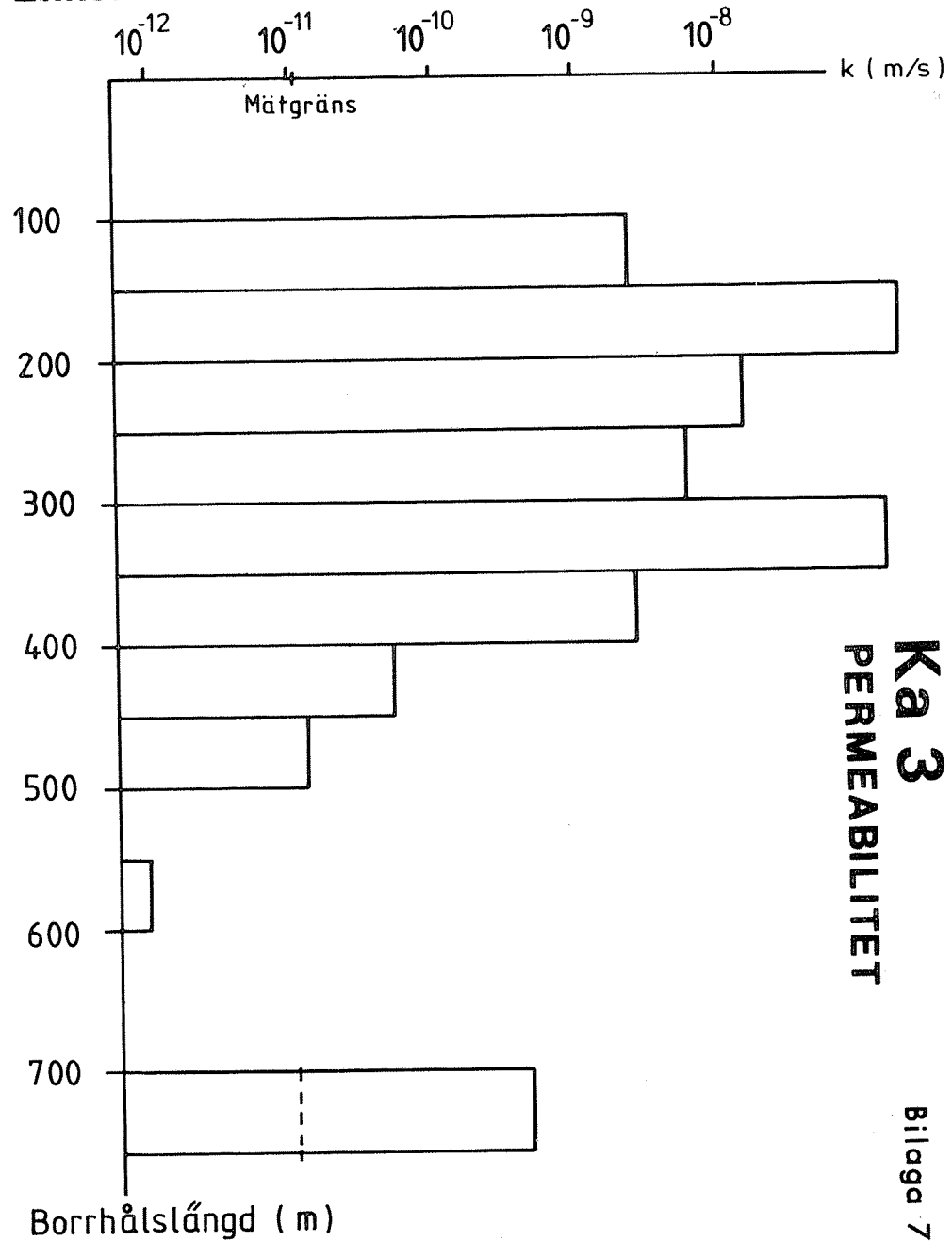


**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 3**  
 3 m mätsektion  
 Sveriges geologiska undersökning  
 1980

### Dubbelmanschett

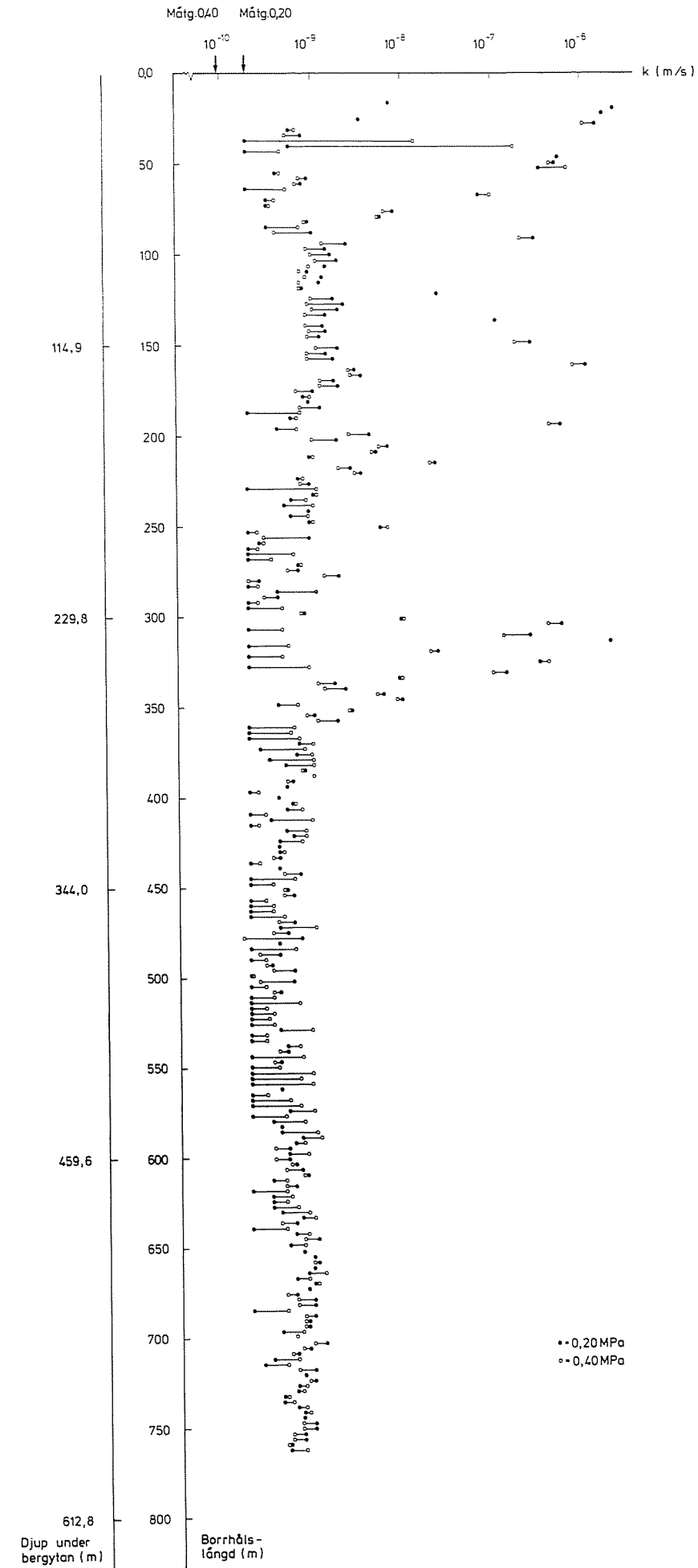


### Enkelmanschett

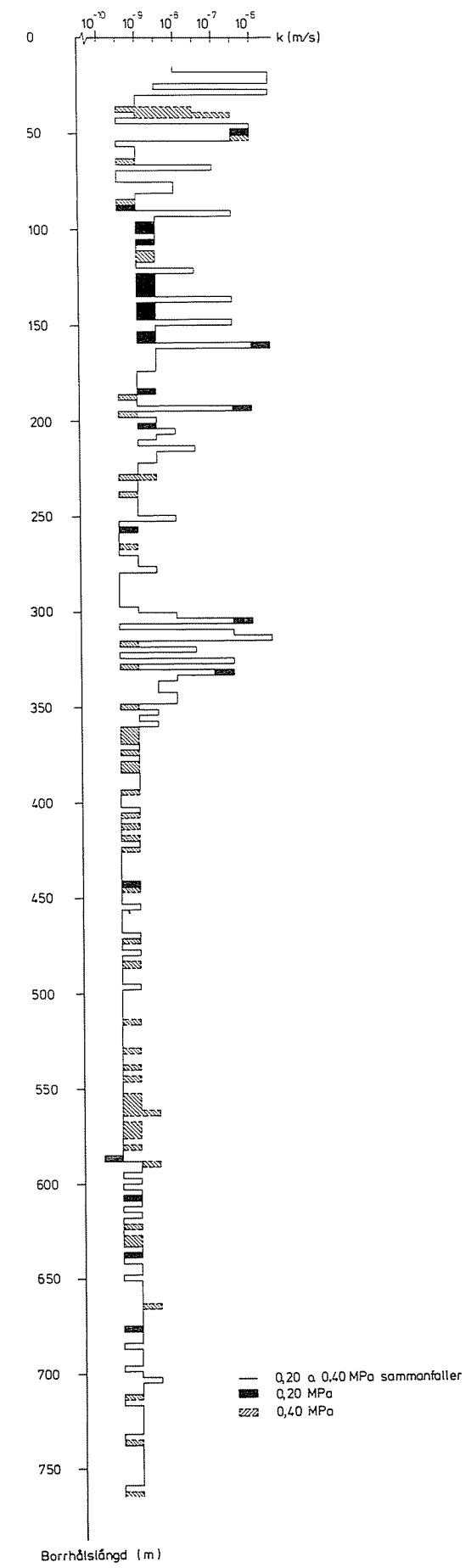


**Ka 3**  
**PERMEABILITET**

Permeabilitetsbestämning

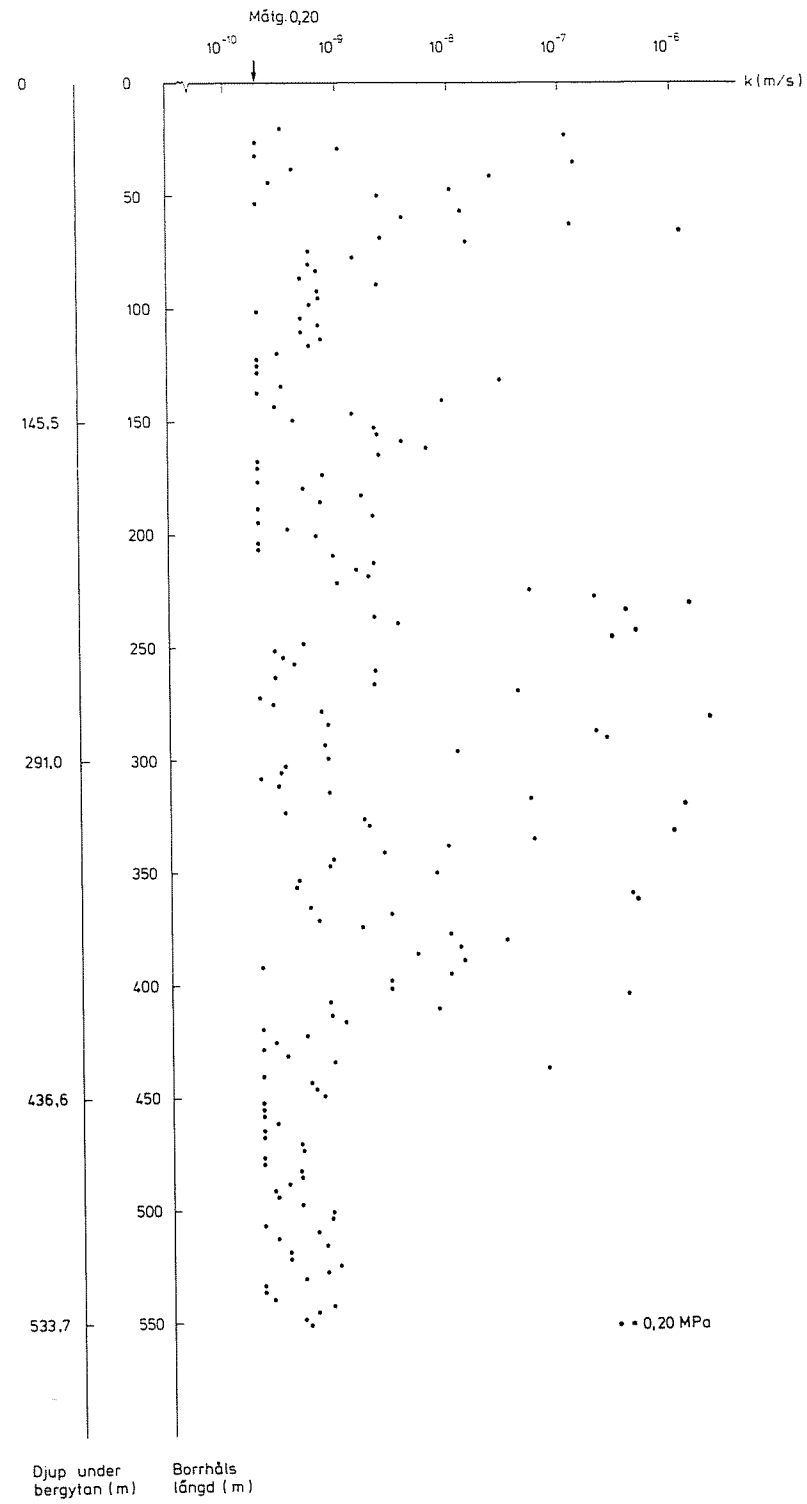


Klassindelning av sektionspermeabilitet

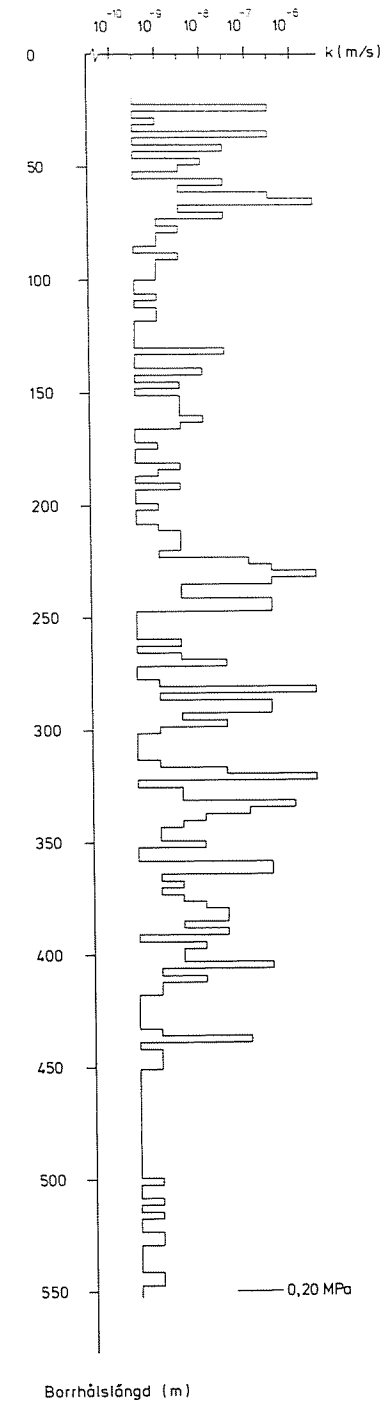


**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 3**  
3 m mätsektion  
Sveriges geologiska undersökning  
1980

Permeabilitetsbestämning

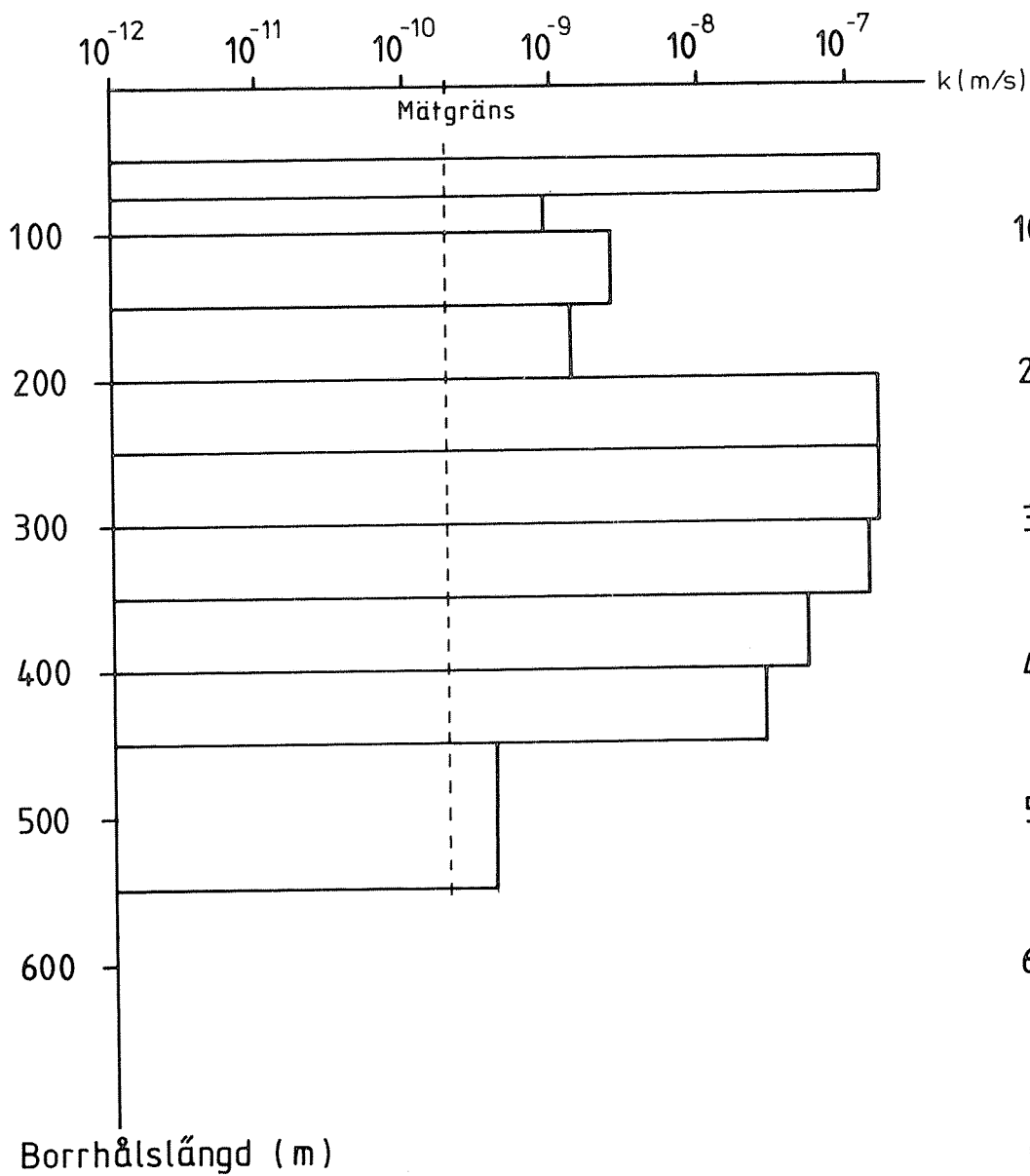


Klassindelning av sektionspermeabilitet

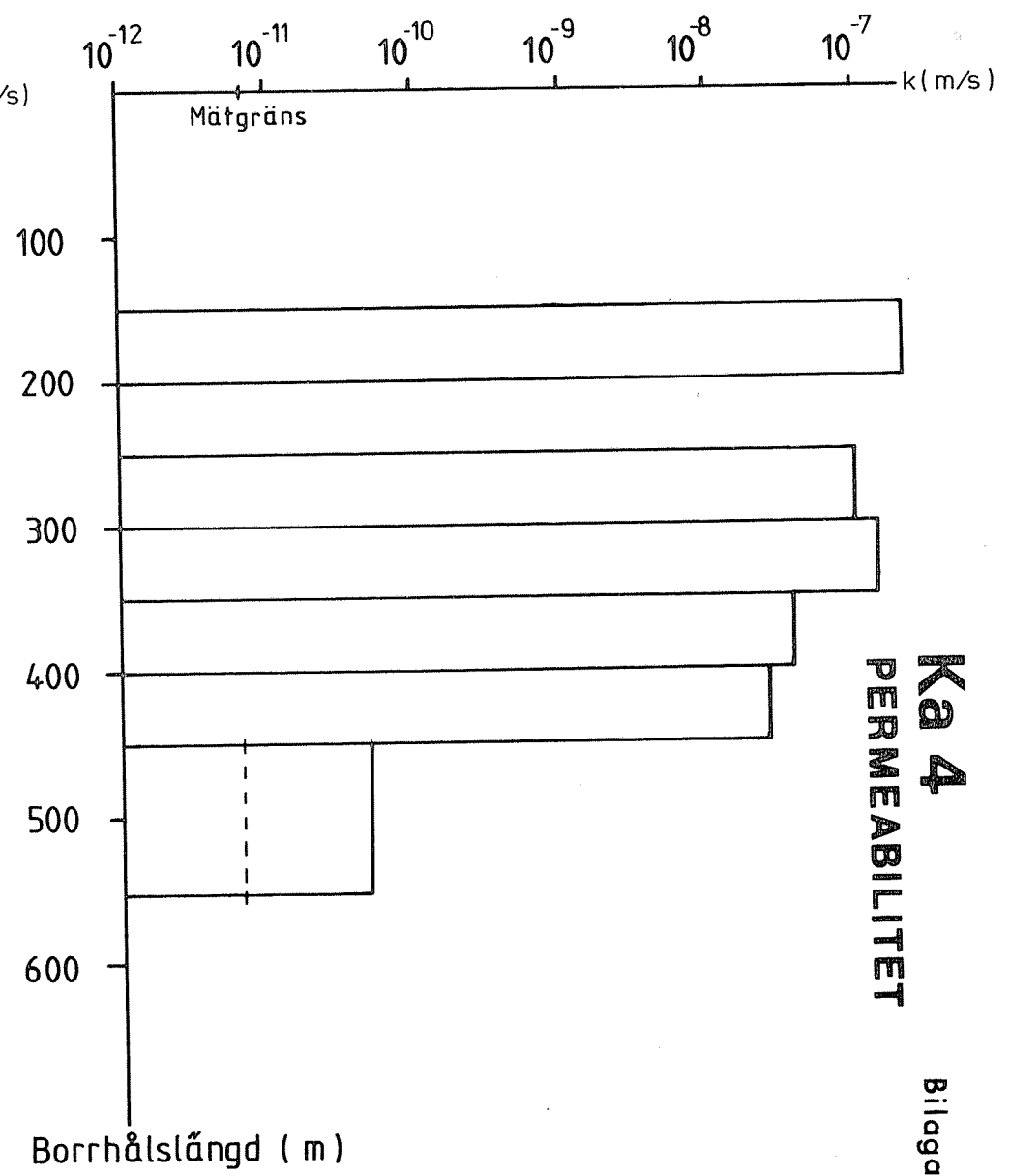


**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 4**  
 3 m mätsektion  
 Sveriges geologiska undersökning  
 1980

### Dubbelmanschett

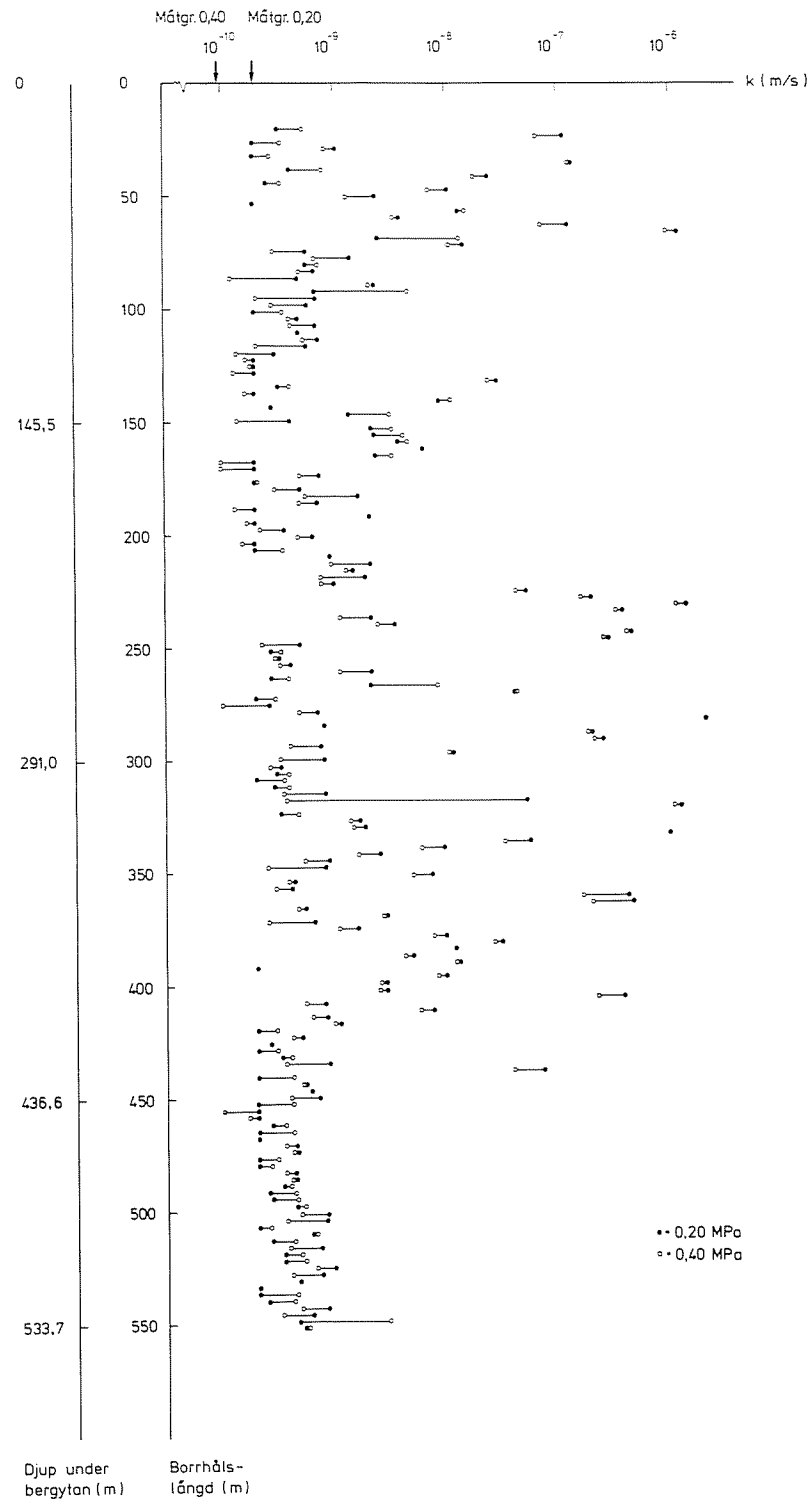


### Enkelmanschett

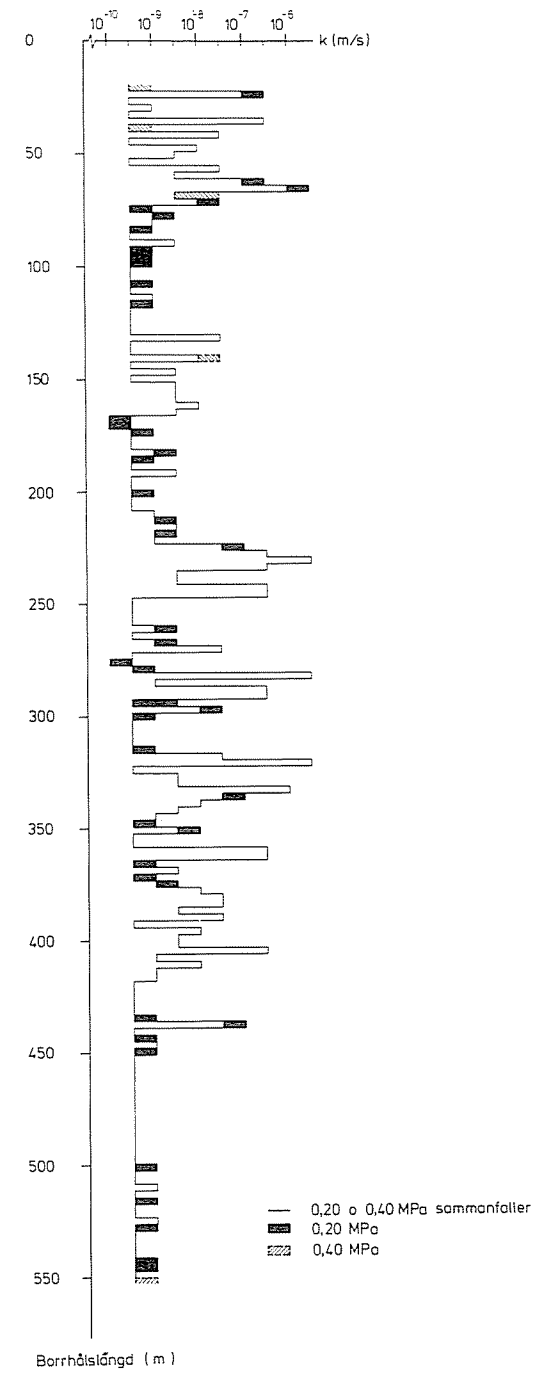


**Ka 4  
PERMEABILITET**

Permeabilitetsbestämning



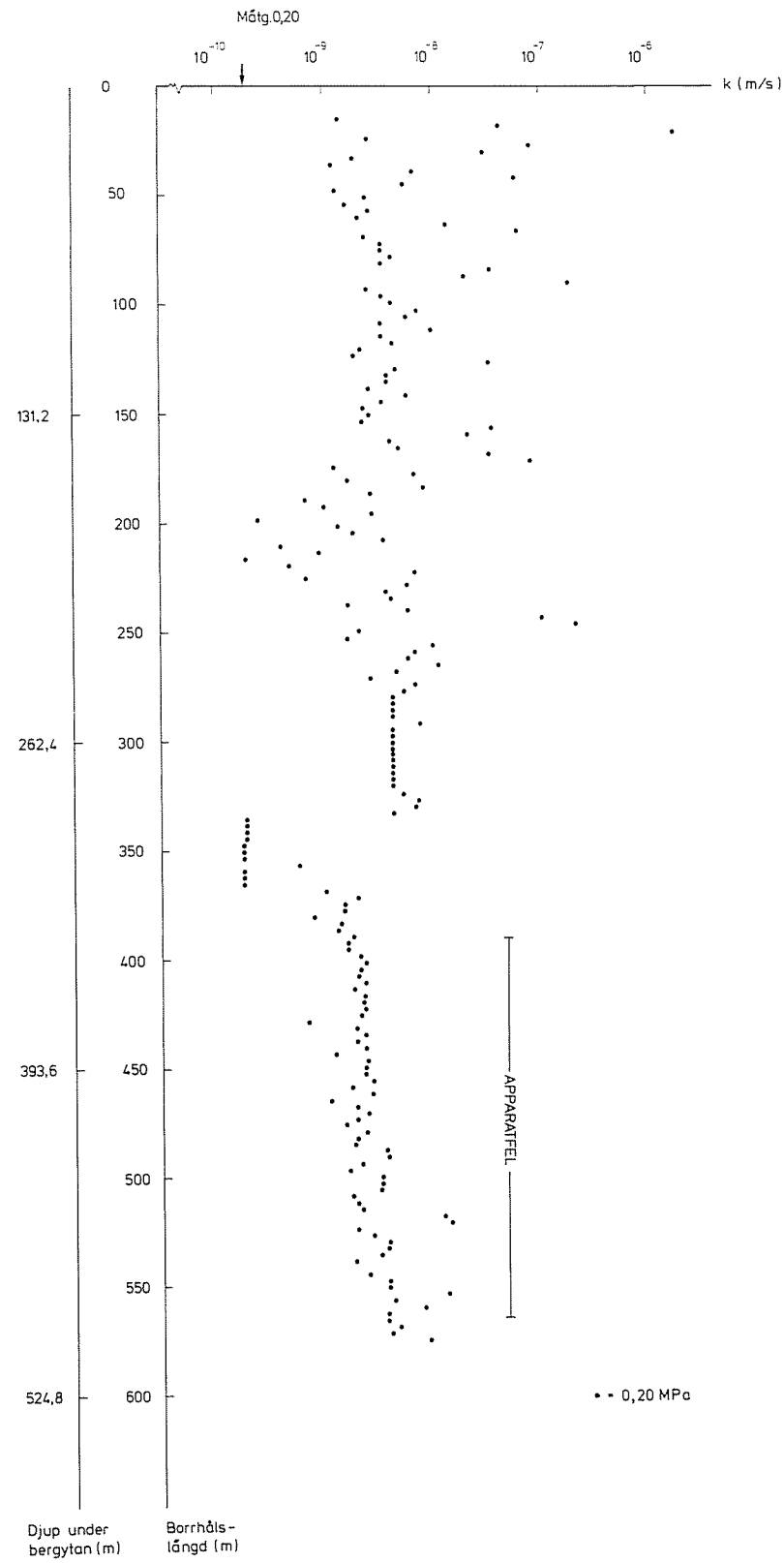
Klassindelning av sektionspermeabilitet



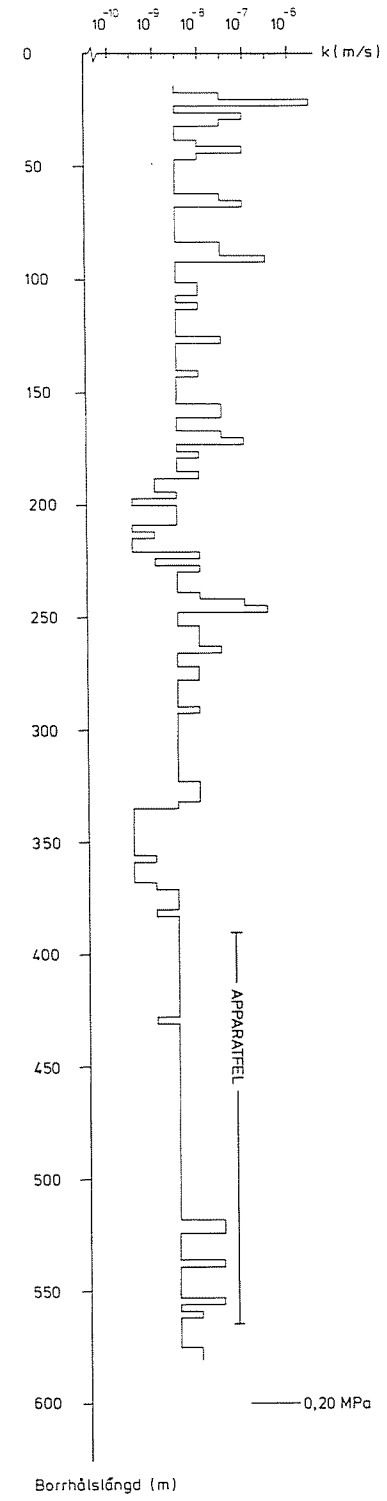
**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 4**  
 3 m mätsektion  
 Sveriges geologiska undersökning  
 1980



Permeabilitetsbestämning

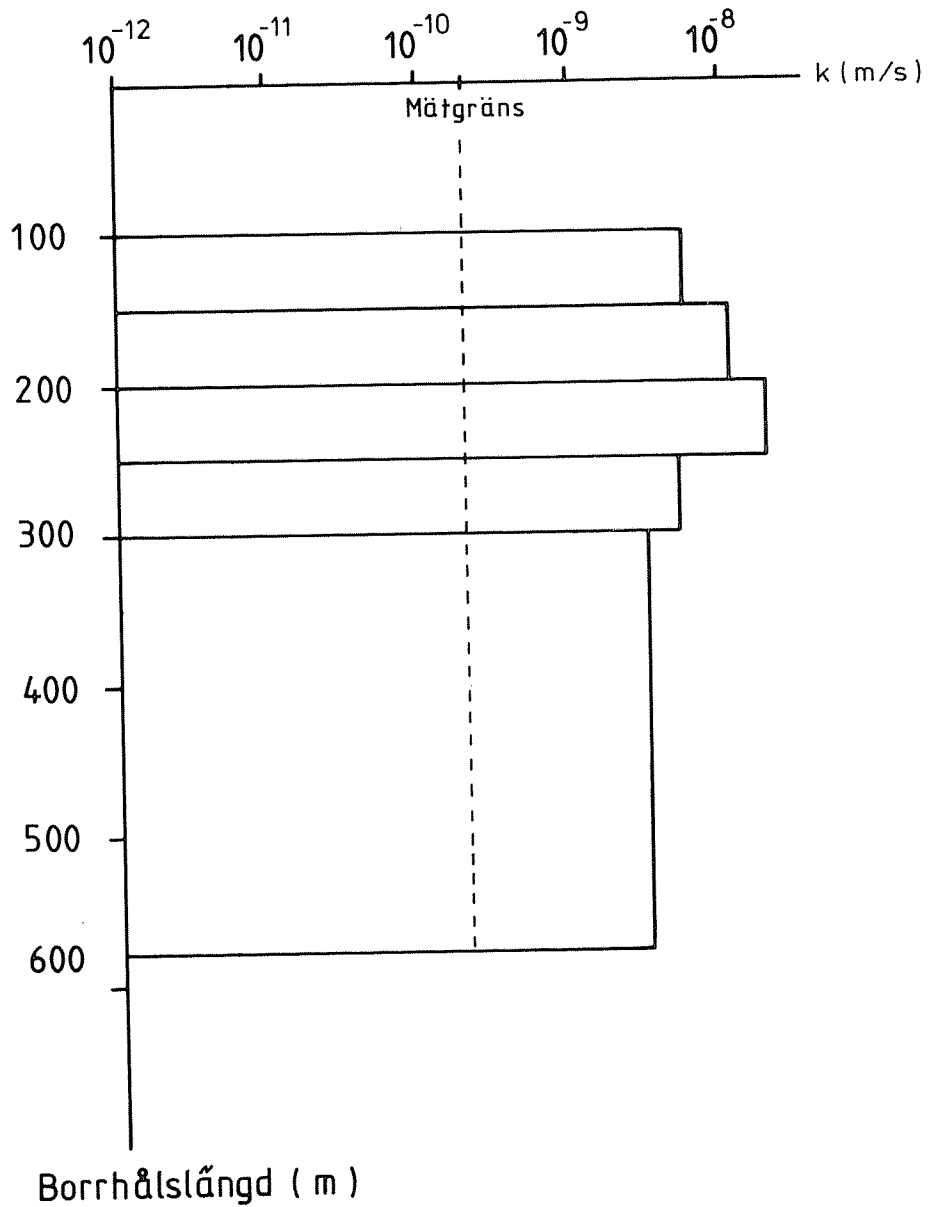


Klassindelning av sektionspermeabilitet

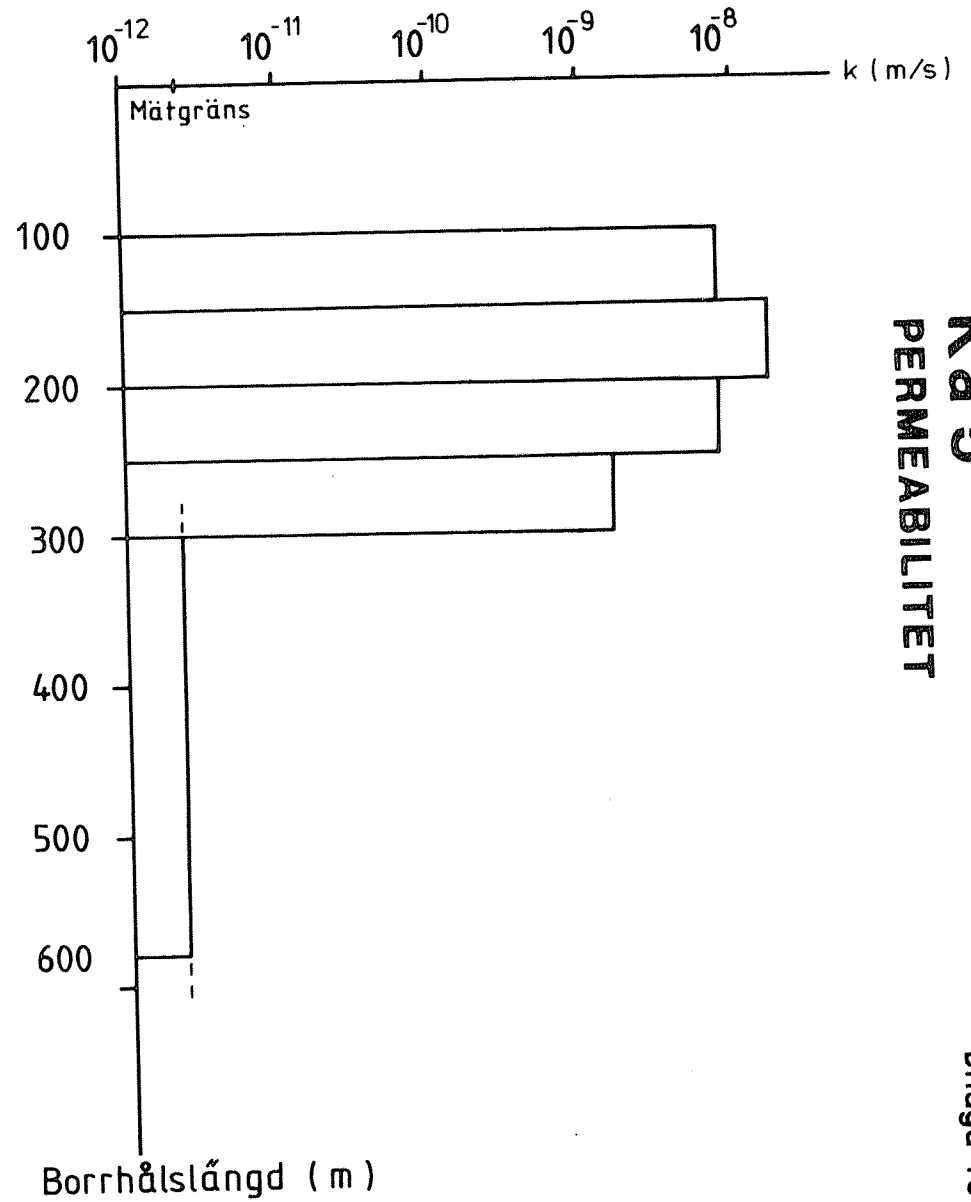


**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 5**  
 3 m mätsektion  
 Sveriges geologiska undersökning  
 1980

### Dubbelmanschett

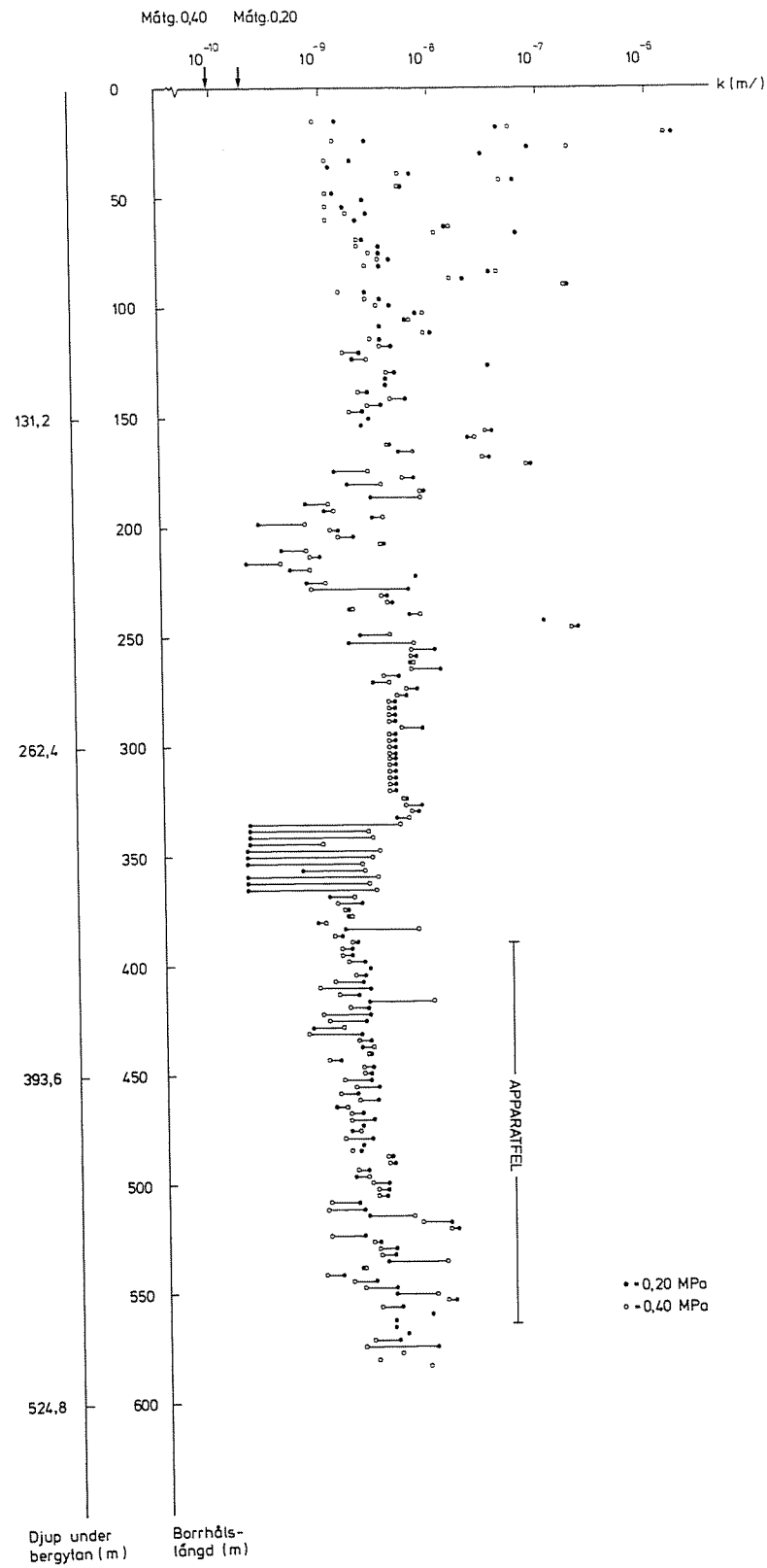


### Enkelmanschett

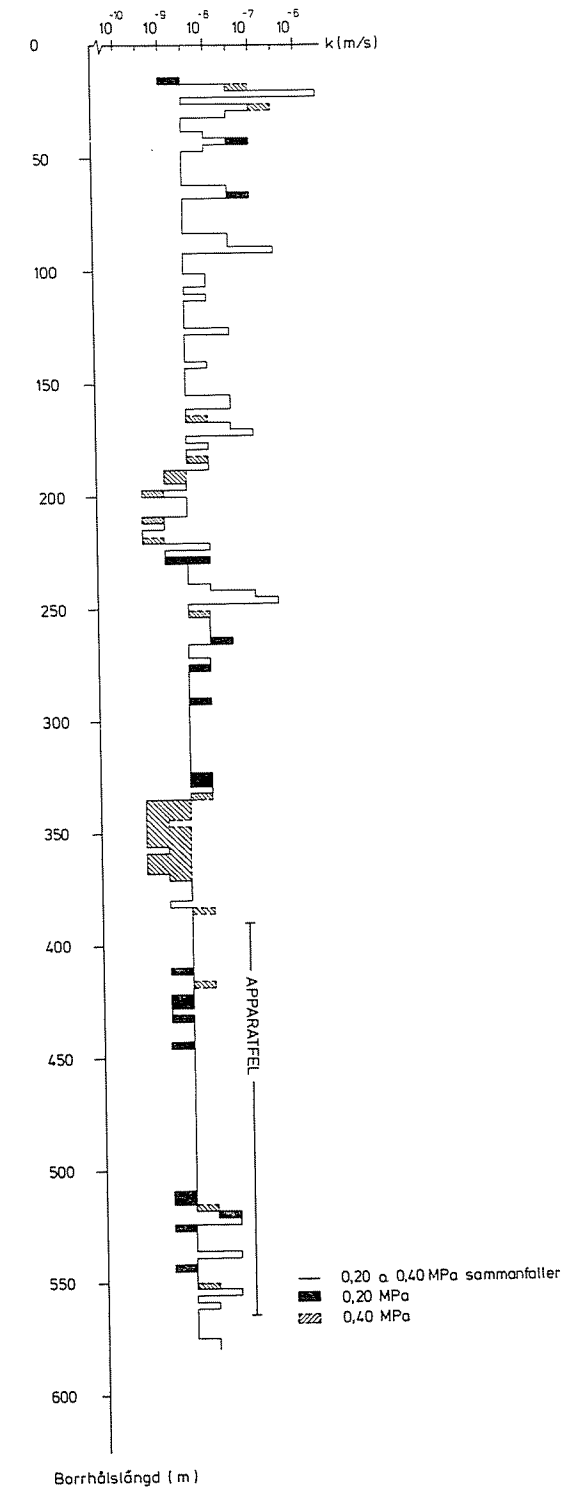


**Ka 5  
PERMEABILITET**

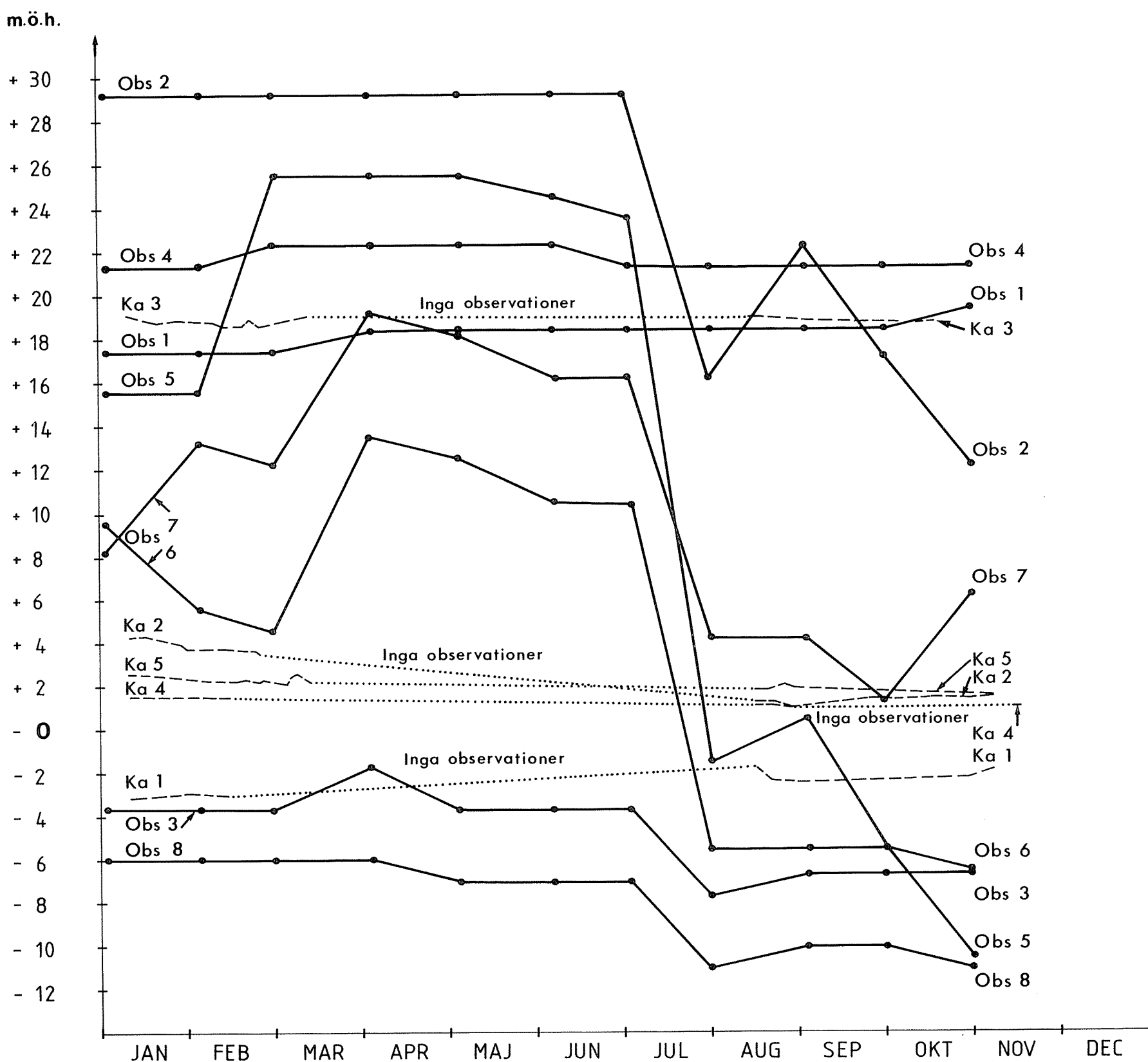
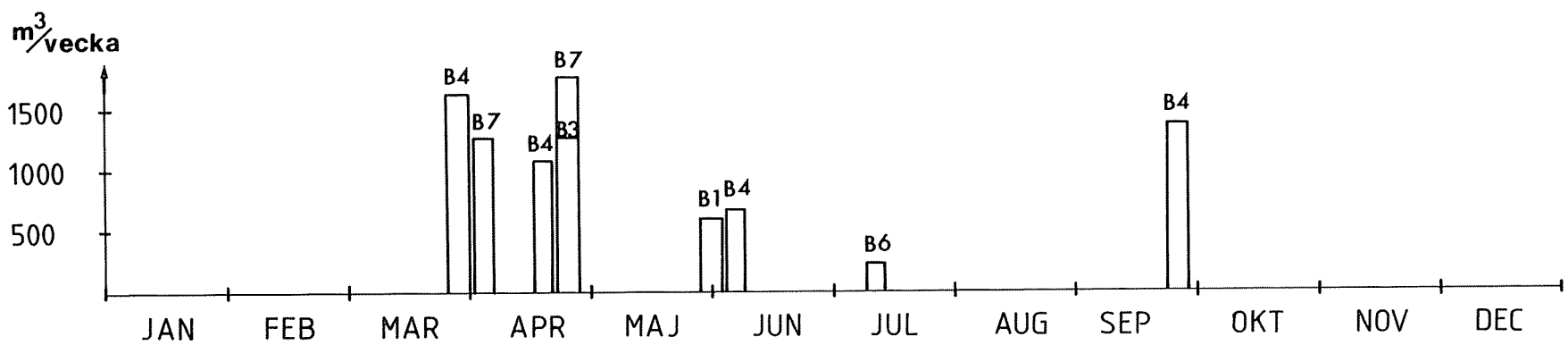
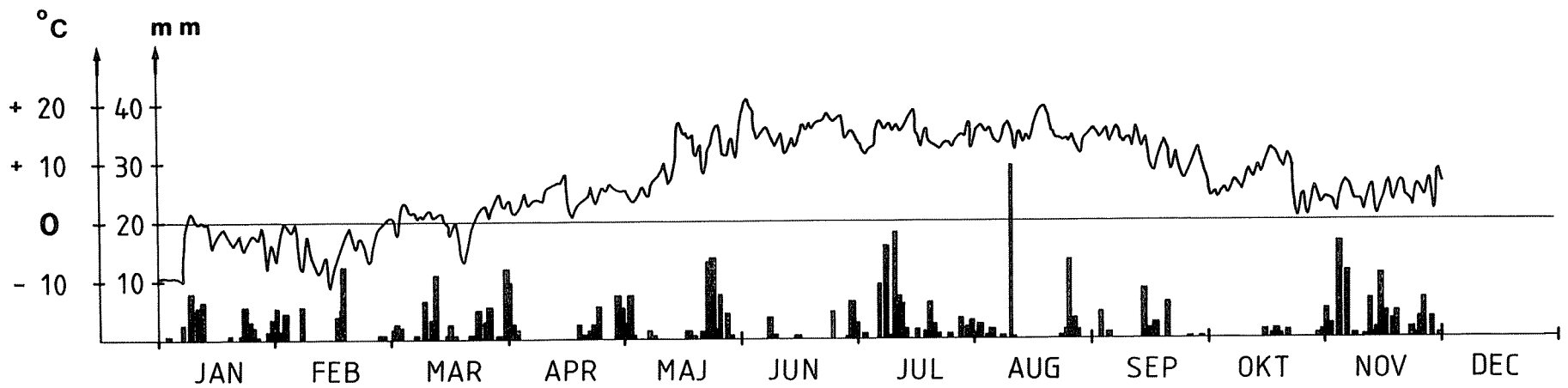
Permeabilitetsbestämning



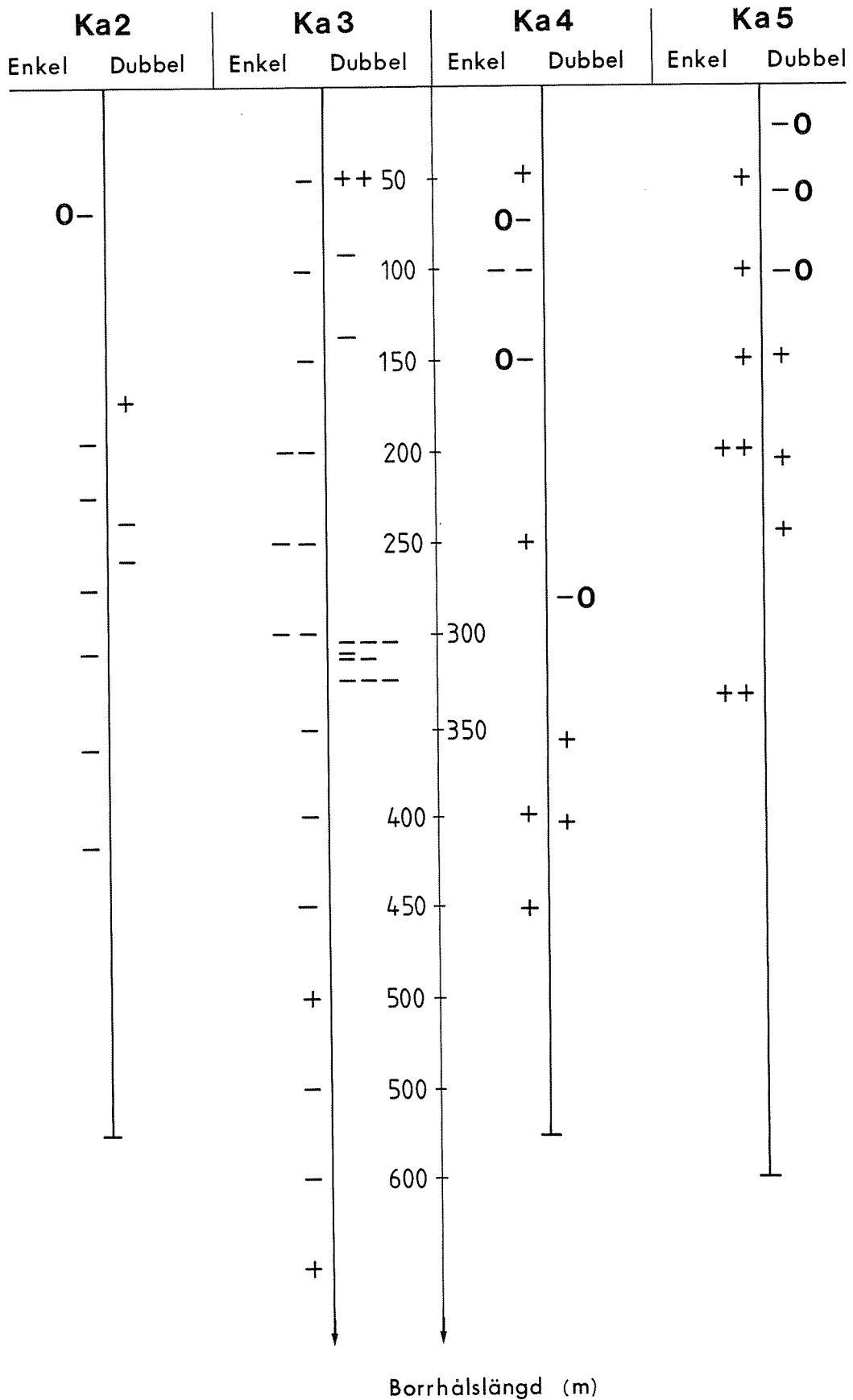
Klassindelning av sektionens permeabilitet



**KARLSHAMN**  
**Borrhål Ka 5**  
3 m mätsektion  
Sveriges geologiska undersökning  
1980



## Tryckmätningar



## FÖRTECKNING ÖVER KBS TEKNISKA RAPPORTER

### 1977-78

TR 121 KBS Technical Reports 1 - 120.  
Summaries. Stockholm, May 1979.

### 1979

TR 79-28 The KBS Annual Report 1979.  
KBS Technical Reports 79-01--79-27.  
Summaries. Stockholm, March 1980.

### 1980

TR 80-01 Kompletterande geohydrologiska undersökningar inom  
karlshamnssområdet  
Lennart Ekman  
Bengt Gentzschein  
Sveriges geologiska undersökning, januari 1980

TR 80-02 Modelling of rock mass deformation for radioactive  
waste repositories in hard rock  
Ove Stephansson  
Per Jonasson  
Department of Rock Mechanics  
University of Luleå, Luleå  
Tommy Groth  
Department of Soil and Rock Mechanics  
Royal Institute of Technology, Stockholm  
1980-01-29

TR 80-03 GETOUT - a one-dimensional model for groundwater  
transport of radionuclide decay chains  
Bertil Grundfelt  
Mark Elert  
Kemakta konsult AB, januari 1980