

---

# **KBS** TEKNISK RAPPORT

---

**62**

**Analyser och åldersbestämningar av  
grundvatten på stora djup**

**Gunnar Gidlund**

**Sveriges Geologiska Undersökning  
1978-02-14**

ANALYSER OCH ALDERSBESTÄMNINGAR  
AV GRUNDVATTEN PÅ STORA DJUP

Gunnar Gidlund  
Sveriges Geologiska Undersökning 1978-02-14

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

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

## SUMMARY

One part of the SGU-programme for the KBS is chemical analyses and dating of groundwater from depths of 500 to 1000 m.

The lack of a proper instrumentation has forced the SGU to an intensive development work during the spring and early summer 1977, which, among other things, resulted in a groundwater pump, capable of drawing up water from about 1000 m depth.

About 150 l of water has been collected for the  $^{14}\text{C}$ -analyses. The carbonates have been precipitated with bariumchloride. These samples have also been analysed in respect to hydrochemistry and tritium content.

Some of the samples have been collected in existing facilities (the Juktan-tunnel, the Håksberg mine and the Stripa mine), others in bore-holes drilled by the SGU (Kråkemåla, Forsmark and Finnsjön).

The dating of groundwater from the bore-holes indicates ages ranging from 2000 years to 11 000 years. However, the tritium- and hydrochemical analyses have given some evidence of contamination by the cooling water used in the drilling process.

## Innehållsförteckning

	<u>Sid</u>
Summary	ii
1. INLEDNING	1
2. UNDERSÖKNINGSMETODIK	1
2.1 Pumpning	1
2.2 Förundersökningar	2
2.3 Fältarbeten	2
2.3.1 Provtagning för C-14	3
2.3.2 Övriga vattenprover	3
2.3.3 Vidtagna analyser	4
3. MÄTUTRUSTNINGAR	4
3.1 Grundvattenpump	4
3.2 Styrenhet	5
3.3 Provtagningsenhet	5
3.4 Lyft enhet	6
4. UNDERSÖKNINGSOMRADENA	6
4.1 Allmänt	6
4.1.1 Kråkemåla	6
4.1.2 Stripa	7
4.1.3 Håksbergsgruvan	7
4.1.4 Finnsjön	7
4.1.5 Forsmark	8
4.1.6 Storjuktan	8
4.2 Resultat från Kråkemålaområdet	8
4.2.1 Borrhål K 2	8
4.2.2 Borrhål K 1	9

4.3	Resultat från Stripa gruva	11
4.3.1	Borrhål Dbh 2	11
4.4	Resultat från Håksbergsgruvan	12
4.5	Resultat från Finnsjön	13
4.5.1	Borrhål Fi 2	13
4.6	Resultat från Forsmark	14
4.6.1	Borrhål Fo 1	14
4.7	Resultat från Storjuktan	16
4.7.1	Juktantunneln	16
5.	FRAMTIDA UNDERSÖKNINGAR	18
6.	KONSULTERADE LABORATORIER	19

## Analys och åldersbestämningar av grundvatten på stora djup

### 1. INLEDNING

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har inom sina uppdrag åt Projekt Kärnbränslesäkerhet (KBS) utvecklat mätmetoder och mätutrustningar för berggrundsgeologiska och hydrologiska undersökningar på stora djup i svenskt urberg.

Undersökningarna på området inleddes redan 1976 åt Programrådet för radioaktivt avfall (PRAV) med provtagningar av grundvatten i gruvor och tunnlar, (Juktantunneln och Håksbergsgruvan). Vid årsskiftet 1976 - 77 tog KBS huvudparten av våra resurser i anspråk. Denna rapport presenterar den del av SGU:s undersökningsprogram som behandlar grundvattnets kemiska sammansättning och ålder.

Den kemiska sammansättningen hos grundvattnet ger viktiga upplysningar om den kemiska omgivningen som är att vänta kring ett framtida lagringsrum och om vattnets upplösande förmåga och dess möjligheter till korrosion.

Åldern hos grundvattnet ger en uppfattning om vattnets omsättningstider och cirkulationscellernas storlek.

Avsaknaden av mätutrustningar för så stora djup som de i programmet aktuella, medförde ett intensivt instrumentutvecklingsarbete under våren och försommaren 1977. En del utvecklingsarbeten hade då redan inletts med medel från PRAV.

Grundvattenundersökningarna i fält inleddes i månadsskiftet juni - juli 1977 och har sedan dess bedrivits kontinuerligt fram till december 1977.

### 2. UNDERSÖKNINGSMETODIK

#### 2.1 Pumpning

För att kunna erhålla grundvatten, från djup av 5 - 600 m i hål med en diameter av 56 mm var SGU tvungna att konstruera en

grundvattenpump. Pumpen beskrivs närmare i mätutrustningsdelen i denna rapport.

En fördel med denna pumpkonstruktion är att det går att provta vatten från en specifik sektion i borrhålet. Pumpen är utrustad med manschetter på vardera sidan om infiltrationsdelen hos pumpen. Manschetterna fungerar som "tättningsproppar" mot borrhålsväggen, så att vattnet som kommer till pumpen kan härledas från den specifika sprickzon som är avsedd att provta. Avståndet mellan dessa manschetter är 2,70 meter.

Vid borrningen av hålet pressas stora mängder kylvatten under högt tryck ut ur borrkronan och in i befintliga sprickor i berggrunden. Kylvattnet tas för det mesta från närbelägna bäckar och tjärnar, vilket medför att ytvatten, ofta med organiskt innehåll, kontaminerar grundvattnet. Detta ytvatten måste senare pumpas upp innan vattenprovtagningen kan starta. Grundvattenpumpen kan ej utföra detta inom rimlig tid på grund av sin begränsade pumpkapacitet. För att kunna pumpa ur detta spolvatten har en speciell metod utarbetats, nämligen en förenklad mammutpumpning. Denna speciella metod tillåter urpumpning av stora vattenvolymer under kort tid.

## 2.2 Förundersökningar

Förhandsinformationer om sprickornas lägen och karaktär i borrhålet kan erhållas ifrån kärnkarteringen, vattenförlustmätningen, TV-granskningen och den geofysiska borrhålsloggningen innan grundvattenpumpen nedsänks och igångsättes. Med anledning av de ovan nämnda undersökningarna utväljs en lämplig nivå på vilken pumpningen skall äga rum.

## 2.3 Fältarbeten

Nedsänkningen av pumpen till den aktuella provtagningsnivån sker med hjälp av en rörsträng. Rörsträngen nyttjas dessutom som uppfodringsrör för det uppumpade grundvattnet. Rören är specielltillverkade och är mycket täta så att inget vatten från omgivningen kan förorena provtagningsvattnet. När rätt nivå erhållits

spännes manschetterna ut för att avtäta sektioner från resten av borrhålet.

Efter igångsättningen pumpas först och främst en väl tilltagen sköljvattenvolym upp för att skölja ur pumpsystemet. Därefter utförs fält-bestämningar av pH-värdet och konduktiviteten och ibland även mätningar av det lösta syret. När fält-bestämningen indikerar mätvärden som anses kunna härröra från ursprungligt grundvatten, igångsätts insamlingen av vattenproverna.

### 2.3.1 Provtagning för C-14

Det första som insamlas är det vatten som behövs för C-14 analyserna. Den erforderliga vattenvolymin för detta är vanligen cirka 150 liter. Detta vatten samlas ispeciellt tillverkade provtagningsflaskor i vilka vattnets karbonater fälls ut.

När vattnet når markytan insamlas det i provtagningsflaskan, vilken har en volym av cirka 70 liter. En liten fällningsflaska är iskruvad i den påsvetsade tratten på provtagningsflaskan (se figur 3) i vilken fällningen ansamlas.

Vattnets karbonater fälls i en basisk miljö (pH ~ 10) med hjälp av bariumklorid. Bariumkloriden är av renhetsklass pro analysi. Fällningen faller ut inom cirka 4 timmar efter tillsättningen av bariumkloriden, men vattnet brukar få stå över en natt för att så stor mängd fällning som möjligt skall erhållas. Karbonatfällningen i den lilla fällningsflaskan (volym 1 liter) är det enda som behöver fraktas till laboratorium för analys.

### 2.3.2 Övriga vattenprover

Därefter insamlas vattenprover för tritiumanalyser (1 liter) och kemianalyser (1 liter för allmän kemi + 100 ml för Fe, Mn) samt ett antal liter som reservvatten för eventuella framtida analyser.



### 2.3.3 Vidtagna analyser

Vilka kemiska analyser som utförts framgår av tabell 1. C-14-analyser och tritiumanalyser används för att bestämma åldern hos vattnet, där C-14-analyserna kan mäta åldrar upp till 50 000 år, dock med acceptabel noggrannhet upp till åldrar omkring 35 000 år. Tritiumanalyserna kan avslöja ungt vatten och indikera om vattenproverna eventuellt utgörs av blandningar mellan ursprungligt grundvatten och ytvatten, som använts för kylning under borrhningarna.

## 3. MÄTUTRUSTNINGAR

Utrustningen som används vid vattenprovtagningen består av:

Grundvattenpump

Styrenhet

Provtagningsenhet

Lyftenhet

### 3.1 Grundvattenpump

Grundvattenpumpen har tillverkats i samarbete med AB Atomenergi i Studsvik. Pumpen utgörs i huvudsak av pumphus, backventilenhet och manschetter (se figur 1 och 2).

Den övre och undre manschetten avtätar genom pneumatisk utspänning mot borrhållsväggen så att en sektion av 2,70 m längd försörjer pumpen med provtagningsvatten.

Pumpen arbetar i två slag, det första slaget kan kallas fyllnadslag och det andra uppföringsslag. Fyllnadsslaget innefattar att inflödet av grundvatten till pumpen sker genom ett filter och därefter via en backventil för fyllnad av kolvloppet ovanför pumpkolven. En fjäder drar under tiden pumpkolven tillbaka mot dess slutläge, varigenom en viss sugfunktion erhålles. Därefter

påbörjas uppfordringslaget, vilket innebär att ett tryck byggs upp under pumpkolven så att denna pressas uppåt tillsammans med vattnet ovanför. En backventil vid inloppet förhindrar vattnet att gå denna väg varvid vattnet pressas förbi backventilen vid utloppet och vidare upp i rörsträngen till ytan.

Efter en kortare provkörning, där mätsektionens kapacitet fastslås, ställs de olika slagens tidsåtgång in för att erhålla det optimala utbytet. Den maximala kapaciteten hos grundvattenpumpen är 15 liter/timme, vilket ger 360 liter grundvatten per dygn.

Pumpen är efter den senaste ombyggnaden helt automatisk och behöver bara smärre översyn. Utrustningen har i fält provats till ett djup av 510 m och fungerat väl. Den har dessutom i ett testprogram före leverans simulerats för ett djup av 1000 m med fullgott resultat.

### 3.2 Styrenhet

Styrenheten på markytan består av; drivvattenkär, drivvattenpump, tryckkär och pulsatornhet. Drivvattnet är destillerat vatten för att inte kontaminera provvattnet vid eventuellt läckage via pumpkolven. Drivvattenpumpen ger det erforderliga drivtrycket för uppfordringen av grundvattnet. Pumpen styrs av tryckventiler i tryckkärlet, vilket har till uppgift att balansera systemet. De olika slagens tidsåtgång styrs via pulsatornheten i vilken de båda slagen oberoende av varandra kontinuerligt kan tidsbestämmas från 0,5 sek. till 30 timmar.

För att kunna erhålla vattenprover även under vinterperioden har styrenheten utrustats så att frysning kan förhindras.

### 3.3 Provtagningsenhet

Denna enhet består av; provtagningsflaskor för fällning av karbonat (se figur 3), konduktivitetsmätare, pH-mätare och syrgasmätare. Tidigare ingick även mätning av redoxpotentialen, men de erhållna värdena var så pass osäkra att de ansågs ha tvivelaktigt värde. En del ombyggnader av utrustningar måste vidtagas för att

kunna erhålla tillförlitliga värden hos redoxpotentialen.

### 3.4 Lyftenhet

SGU har utvecklat denna enhet så att den skall kunna betjäna lyftbehovet vid såväl permeabilitetsmätningarna som vid vattenprovtagningar. Enheten består av en hydraulisk lyftbock med en maximal lyftkraft av tre ton.

## 4. UNDERSÖKNINGSOMRADENA

### 4.1 Allmänt

Av kartorna i figurerna 4 -10 framgår de olika undersökningsområdenas geografiska belägenhet. Räknat från söder till norr är områdena, varifrån analysresultat presenteras, följande;

#### 4.1.1 Kråkemåla

Undersökningsområdet ligger ca 7,5 km NNV om Oskarshamns kärnkraftverk vid Simpevarp och ca 1,5 km NV om Kråkemåla by mellan Östersjön och sjön Götemar (se figurerna 5 och 6 ). Områdets dominerande bergart är grovkornig, röd granit som är att betrakta som relativt ung. Sprickfyllnaden utgörs ofta av pyrit och flusspat.

Borrhål K 1, ett vertikalt kärnborrhål med en diameter av 56 mm och borrarat till ett djup av 506 meter. Borrhålet är provtaget på två nivåer, nämligen 407 meter och 493 meter.

Borrhål K 2, ett vertikalt kärnborrhål med en diameter av 56 mm, borrarat till ett djup av 605 meter. Borrhålet är provtaget på två nivåer, nämligen 291 meter och 510 meter.

#### 4.1.2 Stripa

Stripa gruva är belägen ca 15 km NNV om Lindesberg samhälle (se figur 4 ). Bergarten i området karaktäriseras av en röd-lätt, medelkornig granit, sprickfyllnaden utgöres oftast av klorit.

Borrhål Dbh 2, ett horisontellt kärnborrhål med en diameter av 56 mm. Hålet är borrarat till en längd av 100 meter, från en ventilationsort på 360 meters nivån.

#### 4.1.3 Håksbergsgruvan

Håksbergsgruvan ligger ca 5 km norr om Ludvika i södra Dalarna (se figur 4 ). Håksbergsmalmerna tillhör de kvartsbandande järnmalmerna inom Ludvika malmtrakt.

Gråberget runt malmerna består av oligioklasleptiter som i varierande grad är omvandlade till biotitkloritskiffrar med järnglansfjäll på skiffrighetsplanen. (Nils H Magnusson "Malm i Sverige", 1973).

#### 4.1.4 Finnsjön

KBS-undersökningsområde, beläget mellan Österbybruk och Lövsta bruk, längs väg nr 290, ca 16 km VSV om Forsmarks kärnkraftverk (se figurerna 7 och 8).

Den vanligaste förekommande bergarten är en grå, medelkornig, svagt förgnejsad granodiorit. Varianter av bergarten med större kvartshalter förekommer ställvis. Klorit och kalцит utgör de vanligaste sprickmineralen.

Borrhål Fi 2, ett kärnborrhål, diameter 56 mm, gradat 50<sup>0</sup> mot horisontalplanet. Hålet är borrarat till en längd av 698 meter och med ett vertikalt djup av cirka 535 meter. Vattenprover är tagna från en nivå med ett vertikalt djup av cirka 384 meter. (Borrhålslängd 502 meter).

#### 4.1.5 Forsmark

Området är beläget ca 4 km nordväst om Forsmarks kraftstation (se figurerna 9 och 10). Bergarten består av en grå, glimmerrik, svagt förgnejsad diorit. Det granitiska inslaget ökar mot djupet. Sprickmineralen domineras av klorit, kalцит och flusspat.

Proven är tagna ur borrhål Fo 1, ett vertikalt kärnborrhål med en diameter av 56 mm. Hålet är 478 meter djupt och har provtagits på två nivåer, nämligen 355 meter och 458 meter. Upprepad provtagning från samma nivå har förekommit.

#### 4.1.6 Storjuktan

Platsen är belägen cirka 15 km nordväst om samhället Storuman i Lappland. Statens Vattenfallsverk driver där en tunnel som i färdigt skick kommer att bli cirka 20 km lång. Bergarten består till mesta delen av en finkornig granit. Graniten är dock genomdragen av andra bergarter, däribland grönsten och basit.

Tunneln är sprängd på ett ungefärligt djup av 300 meter under markytan. Från denna plats har 31 vattenprover insamlats och analyserats.

### 4.2 Resultat från Kråkemålaområdet

I området finns för närvarande tre stycken borrhål; K 1, K 2 och K 3. Ytterligare två borrhål finns cirka 8 km öster om Kråkemålaområdet. Två av borrhålen har vid tiden för denna rapport skrivande hunnit provtagas. Detta är som tidigare nämnts borrhålen K 1 och K 2.

#### 4.2.1 Borrhål\_K\_2

Detta borrhål har inte mammutpumpats före provtagningen, varför man kan befara att grundvattnet innehåller mycket kylvatten från

borrningen.

Kylvattnet till borrningen togs från en närbelägen sankmark med hög halt av humussyror och organiskt material. Analyserna från detta hål presenteras i tabell 1 och av värden framgår klart ytvattnets inverkan.

K 2 291 meter uppvisar, för ett djupt berggrundsvatten, en relativt låg ledningsförmåga och hög kemisk syreförbrukning. Den höga kemiska syreförbrukningen kan delvis förklaras av den höga järnhalten som antagligen utgörs av tvåvärt järn, vilket oxideras till trevärt järn. Det kan också höra samman med oxidation av organiskt material som härstammar från kylvattnet. Halterna av  $\text{Na}^+$  och  $\text{Cl}^-$  är också ovanligt låga för ett djupt grundvatten.

Vad som ovan sagts om nivån 291 meter gäller även vattenprovet på 510-meters nivån. Inblandningen av ytvatten kan dock här anses än mer uppenbar med anledning av den extremt höga halten nitrat i vattnet.

Analysen av C-14-åldern från nivån 291 meter visar på en ålder på vattnet av 4400 år B.P. (before present), denna ålder är korrigerad för C-13. (C-13-halten anger hur mycket bergets karbonater påverkat C-14 provet).

På 510 meters nivån har vattnet en korrigerad ålder av 4300 år. Båda proverna innehöll höga halter av tritium varför man antagligen kan utgå ifrån att vattnet var ett blandvatten, mellan modernt ytvatten och ursprungligt grundvatten.

Åldern hos det ursprungliga grundvattnet är troligen betydligt högre, vilket skulle kunna verifieras genom en förnyad provtagning efter att först ha genomfört en mammutpumpning.

#### 4.2.2 Borrhål K 1

I detta borrhål företogs mammutpumpning innan provtagningen ägde rum. Även här utgjordes kylvattnet vid borrningarna av vatten som var rikt på humussyror och organiskt material. Merparten av detta vatten pumpades förhoppningsvis ur hålet med hjälp av mammutpump-

ningen, men eftersom båda vattenproverna innehöll tritium finns det anledning att befara att kylvatten fortfarande förekom vid tiden för provtagningen.

Analyserna från borrhålets två nivåer, 407 meter och 493 meter, presenteras i tabell nr 1. Av dessa analyser framgår att åldern är högre för vattnet på 407 meter jämfört med 493 meter, 11 000 år respektive 8 200 år enligt C-14 åldern.

Den kemiska karaktären hos vattnet på 407 meter vittnar även den om att detta vatten skulle utgöras av en större andel ursprungligt grundvatten, jämfört med vattnet från 493 meter.

Förklaringen till detta kan eventuellt sökas i sprickfördelningen i borrhålet. I permeabilitetsdiagrammet från borrhål K 1 kan man utläsa att sprickan på 407 meter utgörs av en enskild spricka med mycket täta bergavsnitt över och under denna spricka. Ovanför sprickan förefaller berget vara tätt ända upp till 335-meters nivån med endast en begränsad sprickzon på 370-meters nivån.

Under sprickzonen på 407 meter förefaller berget vara tätt ned till en nivå av cirka 490 meter. Sprickan på 407 meter indikeras på endast en sektion vid permeabilitetsmätningarna, varför den kan antas ha en tämligen begränsad utsträckning i höjdlid. Detta medför att magasinseffekten för kylvatten från borrhålen blir ganska begränsad.

Den mängd kylvatten som pressats in i sprickorna vid borrhålen blev ganska ringa så att mammutpumpningen och förpumpningen med grundvattenpumpen har antagligen tömt sprickan på merparten av kylvattnet.

På 493-meters nivån är förhållandena annorlunda. Där förekommer ett flertal sprickor, vilka tillsammans kan utgöra ett magasin för kylvattnet, vilket inte evakuerades lika effektivt av pumpningen som på 407-meters nivån.

Åldrarna i borrhål K 1 är högre än i borrhål K 2, vilket verifierar teorin om att K 2 skulle vara placerat i inströmningsområdet medan K 1 befinner sig närmare utströmningsområdet för grundvattnet. Mätvärdena är dock så få och provtagningen i K 2 skedde utan föregående mammutpumpning, varför resultaten bör användas med största försiktighet.

### 4.3 Resultat från Stripa gruva

Inom andra delar av KBS-programmet pågår omfattande undersökningar i Stripa gruva. Där pågår ett intimt samarbete med amerikanska forskare inom olika ämnesområden.

Ett rikhaltigt hydrokemiskt program har utarbetats i Stripa och preliminära resultat från detta föreligger i den tekniska rapport som behandlar hydrogeologiska aspekter i Stripa. Därför kommer endast en del av Stripa-resultaten att behandlas i denna rapport.

#### 4.3.1 Borrhål Dbh 2

En analys är medtagen från detta borrhål som förutom tritiumanalyserna inte uppvisar något onormalt för ett grundvatten. Möjligen kan kemianalyserna tyda på ett relativt snabbt omsatt vatten.

Tritiumhalterna från detta vatten är mycket höga, men kan åtminstone till en del förklaras av laboratorietekniska problem. Tritiumanalyser tagna från platsen i borrhålets närhet uppvisar mycket lägre värden.

Ingen C-14 analys har erhållits från detta borrhål på grund av den låga bikarbonathalten.

Vid fältprovtagningen av pH-värdet var detta 9.05. Det är tyvärr inte ovanligt att pH-värdena ändras under tiden mellan provtagning och laboratorieanalys. Ändringar av storleksordningen en pH-enhet har förekommit.



#### 4.4 Resultat från Håksbergsgruvan

Under år 1976 genomförde SGU ett provtagningsprogram åt PRAV i vilket bl.a. ingick provtagning av grundvatten i Håksbergs gruva. Resultatet från undersökningen, kommer tillsammans med materialet från Juktantunneln att senare bearbetas och presenteras i separat rapport till PRAV. Analysresultaten är, med PRAV:s godkännande, ändock medtagna i denna rapport för att utgöra ett jämförelsematerial för djupa grundvatten i svensk berggrund.

Undersökningen i Håksbergs gruva omfattade vattenanalyser från 23 olika platser i gruvan på ett ungefärligt djup av 300 meter under markytan.

Analyserna från dessa platser presenteras i tabellerna 2, 3 och 6.

C-14-analysen hos vattnet från provplats HA<sub>1</sub> anger en ålder av cirka 8200 år. Denna provplats befinner sig under sjön Väsman, vilket i och för sig kan innebära att platsen befinner sig i ett utströmningsområde för grundvattnet, man bör dock samtidigt komma ihåg att grundvattnet kontinuerligt dräneras in i gruvan, vilket ökar omsättningshastigheten hos grundvattnet. Med tanke på hur länge gruvan utgjort ett dränage för omgivningsvattnet är det intressant att notera att ett så gammalt vatten ändå kan uppträda.

#### 4.5 Resultat från Finnsjöområdet

I området finns tre borrhål, Fi 1, Fi 2 och Fi 3. Fi 1 är ett vertikalt borrhål med ett djup av 501 meter.

Fi 2 och Fi 3 är båda gradade  $50^{\circ}$  mot horisontalplanet. Borrhål Fi 2 är borrarat 698 meter, medan Fi 3 är borrarat 731 meter. Detta motsvarar teoretiskt ett vertikalt djup av 535 meter respektive 560 meter.

Av olika tekniska och praktiska anledningar har endast borrhål Fi 2 provtagits.

##### 4.5.1 Borrhål Fi 2

Borrhålet mammutpumpades före provtagningen för att undanröja inverkan av kylvattnet. Kylvattnet till denna borrhål togs från Finnsjön, tyvärr i ett avsnitt av sjön där man kan förvänta att det organiska inslaget är tämligen omfattande.

Borrhålet har provtagits på en nivå, (504 meter borrhålslängd), vilken utvaldes med ledning av kärnkarteringen och permeabilitetsmätningarna. På denna nivå finns ett tämligen omfattande spricksystem. Den tidigare omtalade magasinseffekten för kylvattnet kan alltså göra sig påmind även här.

Pumpningen pågick under en period av 10 dagar, varvid det första provet togs efter 4 dagar och det andra efter 10 dagar.

Resultaten från analyserna avviker inte nämnvärt från varandra. Analyserna antyder ett relativt representativt grundvatten så när som på att åldern har ökat med cirka 400 år från första till andra provtagningstillfället. Detta skulle kunna innebära att man närmar sig ett mera ursprungligt grundvatten med tiden. Åldersanalyserna föreligger för närvarande som preliminära och den förnyade analysen kan mycket väl omkullkasta den ovan nämnda hypotesen. Tritiumanalyserna, som inte har erhållits i skrivande stund kommer att sprida mer ljus över problemet.

Analyserna presenteras i tabell nr 1.

#### 4.6 Resultat från Forsmarksområdet

I området har ett vertikalt hål, Forsmark 1 (Fo 1) borrats till en längd av 478 meter. Borrålet avviker emellertid cirka  $10^0$  från lodlinjen (enligt krökningsmätning), varför det faktiska vertikala djupet endast är 460 meter.

Djupangivelserna nedan hänför sig till borrhålslängd. Forsmarksområdet har behandlats något summariskt då det har ansetts vara mindre lämpligt som förvaringsplats. Bergarten övergår nämligen i en skivig, sprickig leptit i nedre delen av borrhålet.

##### 4.6.1 Borrhål Fo 1

Borrhålet mammutpumpades från cirka 470 meters djup. Även till detta hål har kylvatten innehållande humussyror och organiskt material använts vid borrhningen.

Från borrhkärnekarteringen utvaldes 4 zoner (intervallet 360 - 460 m), vilka bedömdes vara lämpliga för provpumpning, dessa var 388 - 389,5 m, 433 - 434,5 m, 448,5 - 449,5 m samt 457,5 - 458,5 m.

Zonerna provpumpades och gav följande resultat:

388	-	389,5 m	inget vatten
433	-	434,5 m	1,5 l/tim
448,5	-	449,5 m	inget vatten
457,5	-	458,5 m	full pumpkapacitet (=15 l/tim)

Två provtagningar utfördes från 458 meters nivån, analysresultaten presenteras i tabell 1. Dessa uppvisar stora likheter, varför troligen ett "steady state" föreligger. Värdena visar i stort att ett djupt liggande grundvatten erhållits.

Vissa värden (TU, TOC), antyder dock att ytvatten fortfarande förekommer.

Ytterligare en zon provpumpades (355 m), men då denna sprickzon har längre utsträckning än grundvattenpumpen kan avskärma är det

troligt att den nedre manschetten ej tätat helt. Vattenprovet är därför eventuellt kontaminerat av kylvatten från borrhningen. För analysresultat se tabell 1.

Inga värden för allmän kemi finns tillgängliga för 355 meters nivå och detta beror på ett haveri hos drivpumpen i slutskedet av provpumpningen.

#### 4.7 Resultat från Storjuktan

Inom ett uppdrag för PRAV har SGU utfört vattenprovtagningar i bl.a Juktantunneln.

Från tunneln har 42 prover insamlats och analyserats. Detta material kommer senare att behandlas mera ingående i en rapport till PRAV. Resultaten har ändå medtagits som jämförelsematerial.

##### 4.7.1 Juktantunneln

Av tabellerna 2-6 framgår ålder och grundvattnets kemiska sammansättning från Juktantunneln. Det motsägelsefulla i de höga åldrarna från C-14 analyserna och det samtidiga innehållet av tritiumheter hos vattnen, vilket indikerar ett modernt vatten, kan förklaras av att proven utgöres av blandning mellan yngre och äldre grundvatten.

Följande värden från Juktantunneln kan belysa problematiken:

Beteckn. för vattenprovet	Indikerad ålder C-14	Indikerad ålder tritium
A <sub>8</sub>	ca 4 300 år	yngre än 25 år
C <sub>5</sub>	ca 9 800 år	yngre än 25 år

Vattnet söker sig nämligen på många vägar fram till det undertrycksområde som tunneln utgör jämfört med sin omgivning. En tunnel fungerar som ett dränage för grundvattnet i omgivningen och ändrar den naturliga grundvattenströmmen radikalt. Omsättningen hos grundvattnet accelereras och därför kan man anta att vattnet hade varit ännu äldre på platsen innan tunneldrivningen igångsattes.

Kan man dessutom anta att blandvattenteorin är riktig, vilket styrks av analysresultaten, skulle ett vatten, som enbart ut-

görs av ursprungligt grundvatten från den aktuella nivån kunna uppvisa än högre åldrar. Det är bland annat på grund av ovan nämnda orsaker som det kan anses vara lämpligare att göra vattenprovtagning i borrhål, då dessa endast obetydligt stör den naturliga strömningsbilden.

Kemianalyserna från mätplatserna B<sub>S</sub> 2 och B<sub>S</sub> 3 i Juktantunneln, presenterade i tabell 4 och 6 belyser ett par extremvärden i grundvattensammansättningen. De höga pH-värdena i dessa vatten sammanhänger med de låga bikarbonathalterna. Från dessa platser finns inga C-14 analyser p g a svårigheter att erhålla en analyserbar mängd karbonatfällning, vilket även förklaras av de låga bikarbonathalterna.

## 5. FRAMTIDA UNDERSÖKNINGAR

En viktig framtida utveckling är att konstruera ett tryckkärl på markytan, för att kunna insamla gasfaserna från det uppumpade vattnet och utföra gaskromatografiska analyser på dessa.

Löslighetsförhållandena hos gaser i vattnet ändras nämligen med de olika trycken mellan den aktuella mätnivån och trycket på markytan. Ett tryckkärl på markytan där ingen del av gasfasen går förlorad tillåter en fullständig analys av vattnet såsom det förekommer på den aktuella nivån i berggrunden. För att er- hålla åldersbestämningar som är mindre påverkade av spolvatten föreslås att lämpliga sprickzoner pumpas kontinuerligt och prov- tas periodvis under en längre tidsperiod.

Man skulle på detta vis kunna få fram en verklig ålder på ursprung- ligt grundvatten. En sådan ålderskurva bör om pumpningen får fort- gå tillräckligt länge åter böja av mot lägre ålder, d v s när de närliggande magasinen är tömda och vatten börjar tas från mera ytnära områden. Härigenom skulle en analys av cirkulationsceller- nas tidscykel och storlek vara möjlig. Dessa analyser bör gå "hand i hand" med analyser av konduktivitet, allmän kemi och andra åldersanalyser som  $^{18}\text{O}$ , tritium, helium m.fl. Av stort värde vore även att kunna göra provpumpningar på andra platser runt om i landet för att få materialet bättre statistiskt belagt.

En annan viktig aspekt är en noggrannare uppföljning av kylvatt- net som används vid eventuella framtida borrningar för att minska problemen vid vattenprovtagningarna.

En framkomlig väg vore att använda något spårämne i kylvattnet som dessutom bör vara väldefinierat till sin karaktär.

## 6. Konsulterade laboratorier

Laboratorium	Analys
Naturhistoriska Riksmuseet Laboratoriet för isotopgeologi	C-14, C-13, tritium
Hydroconsult Stockholm	Allmän kemi, tot-C
Avd. för hydrologi Uppsala Universitet	Tritium
Section of Isotope Hydrology IAEA, Wien	C-14, C-13, O-18, tritium, allmän kemi, deuterium
AB Atomenergi Studsvik	Radon



Tabell 1

## ANALYS AV GRUNDVATTEN

Analys	Enhet	Kräkemåla	Kräkemåla	Kräkemåla	Kräkemåla	Finnsjön	Finnsjön	Forsmark	Forsmark	Forsmark
Datum		77-08-23 K 1, 407 m	77-08-30 K 1, 493 m	77-07-13 K 2, 291 m	77-07-05 K 2, 510 m	77-12-03 Fi 2, 502 m	77-12-07 Fi 2, 502 m	77-09-27 FoI 458 m	77-10-05 FoI 458 m	FoI 355 m
Konduktivitet	µS/cm	1000	500	265	280	510	520	660	660	
pH	pH	8.45	7.95	7.3	7.25	7.75	7.65	7.9	7.85	
KMnO <sub>4</sub> -förbrukn. <sup>2</sup>	mg/l	25	16	33	27	44	40	34	38	
Total hårdhet, Ca	mg/l	35	30	51	55	37	36	48	49	
"	tyska grader	4.9	4.2	7.1	7.7	5.2	5.0	6.8	6.9	
Kalcium, Ca	mg/l	24	19	42	44	30	30	35	36	
Magnesium, Mg	"	6.5	6.5	5	7	4.5	4	8	8	
Natrium, Na	"	190	84	13	14	92	96	115	115	
Kalium, K	"	3.2	3.3	1.8	2.2	4.4	5.6	4.8	4.4	
Klorid, Cl	"	222	47	7	7	24	32	45	45	
Sulfat, SO <sub>4</sub>	"	34	6.0	5.7	6.9	2.1	2.4	6.9	6.3	
Bikarbonat, HCO <sub>3</sub>	"	211	210	181	178	325	320	386	386	
Ammonium, NH <sub>4</sub>	"	0.02	1.16	0.11	0.29	0.11	0.08	0.10	0.06	
Nitrit, NO <sub>2</sub>	"	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
Nitrat, NO <sub>3</sub>	"	0.08	0.09	0.23	11	0.18	0.22	0.15	0.09	
Fosfat, PO <sub>4</sub>	"	0.03	<0.01	0.17	0.04	<0.01	<0.01	0.01	0.02	
Fluorid, F	"	7.5	5.4	2.5	2.5	1.5	1.5	0.9	0.8	
Kiselsyra, SiO <sub>2</sub>	"	3.0	7.0	21	8.6	6.2	6.0	7.6	13	
Järn tot, Fe	"	4.0	4.0	21	19	6.6	7.8	13	18	
Mangan, Mn	"	0.33	0.24	0.78	0.62	0.14	0.10	0.43	0.35	
Ålder C-14	år (BP)	11055 ± 100 <sup>1</sup>	8205 ± 100 <sup>1</sup>	4400 ± 90 <sup>1</sup>	4275 ± 90 <sup>1</sup>	3360 <sup>3</sup>	3800 <sup>3</sup>	3110 ± 100	3080 ± 90	2935 ± 160 <sup>3</sup>
Tritiumenheter	TU	97 <sup>4</sup> ± 7	4 ± 2					10 ± 4	13 ± 3	
Ålder, Tritium	år (BP)	<25 <sup>1</sup>	<25 <sup>1</sup>					<25 <sup>1</sup>	<25 <sup>1</sup>	
Tot. org. kol. TOC	mg/l	3.8	6.0	0.62	0.78	9.8	9.8	11.0	9.8	

## Anmärningar

1. Blandning mellan ursprungligt grundvatten och spolvatten.
2. = kemisk syreförbrukning.
3. Prel. analys, okorr. för C-13.
4. Förhöjda värden p.g.a. laboratorietekniska problem.

Tabell 2

## ANALYS AV GRUNDVATTEN

Analys	Enhet	Storjuktan	Storjuktan	Håksberg	Håksberg	Håksberg	Håksberg	Stripa
Datum		76-07-26	76-07-26	76-08-15	76-08-15	76-08-15	76-09-08	77-06-06
		C <sub>n</sub> 5, 300 m	A 8, 300 m	HA <sub>1</sub> , 300 m	HA <sub>2</sub> , 300 m	HA <sub>3</sub> , 300 m	HB <sub>2</sub> , 300 m	360 m
Konduktivitet	µS/cm	280	1000	230	240	260	335	260
pH	pH	8.05	7.55	7.25	7.55	7.5	8.0	8.65
KMnO <sub>4</sub> -förbrukn.	mg/l							4
Total hårdhet, Ca	"							18
"	tyska grader							2.5
Kalcium, Ca	mg/l		82	25	30	31	39	17.5
Magnesium, Mg	"	5.5	15	4	7.5	4	19	0.5
Natrium, Na	"	16	95	16	8	16	8	53
Kalium, K	"	0.5	3.8	0.6	1.4	0.5	1.4	0.2
Klorid, Cl	"	23	280	8	14	10	10	44
Sulfat, SO <sub>4</sub>	"	4.8	13.8	12	12	11	43	2.1
Bikarbonat, HCO <sub>3</sub>	"	143	64	127	127	143	176	81
Ammonium, NH <sub>4</sub>	"							0.02
Nitrit, NO <sub>2</sub>	"							<0.01
Nitrat, NO <sub>3</sub>	"	0.13	0.30	0.10	0.14	0.12	0.33	0.60
Fosfat, PO <sub>4</sub>	"	0.04	0.02	0.05	0.11	<0.01	<0.01	<0.01
Fluorid, F	"	2.0	1.3	2.3	1.1	2.0	2.2	5.5
Kiselsyra, SiO <sub>2</sub>	"	17.5	25	4.0	4.5	4.5	12.3	12.4
Järn tot, Fe	"	0.99	2.5	0.79	0.23	0.64	0.25	0.04
Mangan, Mn	"	0.06	0.27	0.02	0.21	0.02	0.28	0.04
Ålder, C-14	år (BP)	9785 ± 480 <sup>1</sup>	4260 ± 480 <sup>1</sup>	8215 ± 255 <sup>3</sup>	5055 ± 175 <sup>3</sup>	5925 ± 215 <sup>3</sup>	1755 ± 90 <sup>3</sup>	
Tritiumheter	TU	99.1 <sup>4</sup>	173 <sup>4</sup>	178 <sup>4</sup> ± 12	15 <sup>4</sup> ± 1	90 <sup>4</sup> ± 4	169 <sup>4</sup> ± 17	
Ålder, Tritium	år (BP)	ca 23 <sup>2</sup>	ca 20 <sup>2</sup>	ca 19 <sup>2</sup>	ca 25 <sup>2</sup>	ca 23 <sup>2</sup>	ca 20 <sup>2</sup>	

## Anmärkningar

1. Insamlat längs tunnelvägg.
2. Blandning mellan äldre och yngre grundvatten.
3. Insamlat längs tunnelvägg. Korrigerad ålder m.a.p. C-13 (PDB-skalan).
4. Förhöjda värden p.g.a. laboratorietekniska problem.

Tabell 3

## ANALYSRESULTAT AV VATTENPROVER FRÅN HÅKSBERG 76-09-13

Provpunkt	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10	A 11	A 12	A 13
Spec. ledningsförmåga, $\mu\text{S}$	230	240	260	250	260	290	235	170	210	640	490	485	240
pH	7.25	7.55	7.5	7.55	7.65	7.6	7.95	8.1	8.0	7.85	7.65	7.6	7.6
Kalcium, Ca mg/l	25	30	31	30	33	40	30	20	28	73	55	54	27
Magnesium, Mg "	4	7.5	4	8	6	6	3	1	2.5	32	23	26	11
Natrium, Na "	16	8	16	8	11	13	16	13	11	24	19	16	7
Kalium, K "	0.6	1.4	0.5	1.2	0.8	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2	1.1	1.4	1.0
Klorid, Cl "	8	14	10	14	12	13	10	8	8	21	12	15	8
Sulfat, $\text{SO}_4$ "	12	12	11	11	12	35	15	21	26	144	96	61	47
Bikarbonat, $\text{HCO}_3$ "	127	127	143	123	134	129	121	71	87	264	193	240	90
Marmoraggr. kolsyra $\text{CO}_2$ mg/l(ber)	12	4	5	4	3	3	2	0	0	0	1	0	3
Nitrat, $\text{NO}_3$ mg/l	0.10	0.14	0.12	0.06	0.09	0.09	0.05	0.05	0.05	0.09	0.05	0.09	0.05
Fosfat, $\text{PO}_4$ "	0.05	0.11	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fluorid, F "	2.3	1.1	2.0	1.2	1.3	1.4	1.4	1.9	1.9	0.9	0.8	0.9	1.2
Kiselsyra, löst, $\text{SiO}_2$ , mg/l	4.0	4.5	4.5	7.0	6.0	7.2	5.5	6.5	7.8	8.0	9.5	8.0	5.5
Järn, Fe mg/l	0.79	0.23	0.64	0.35	0.37	0.36	0.80	0.48	0.22	0.81	0.80	1.29	0.87
Mangan, Mn "	0.02	0.21	0.02	0.12	0.08	<0.02	<0.02	0.04	<0.02	0.39	0.26	0.32	0.06

Tabell 4

## ANALYSRESULTAT AV VATTENPROVER FRÅN STORJUKTAN 76-07-26

Provpunkt	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10	B <sub>S</sub> 1	B <sub>S</sub> 2	B <sub>S</sub> 3	B <sub>S</sub> 4	B <sub>S</sub> 5	B <sub>S</sub> 6
Spec. ledningsförmåga, µS	180	180	185	240	210	310	225	1000	180	175	240	125	145	195	185	185
pH	8.25	8.05	7.95	7.35	7.9	7.85	8.25	7.55	8.0	8.0	8.2	10.4	10.5	8.2	8.25	8.5
Kalcium, Ca mg/l	22	23	22	30	25	38	29	82	25	24	30	5	7	20	19	21
Magnesium Mg "	4	3	4	5.5	4.5	5.5	3	15	3.5	3.5	3.5	1	0.5	2	2	2
Natrium, Na "	13	13	11	13	13	18	20	95	10	10	24	18	20	21	20	20
Kalium, K "	1.6	1.4	1.8	2.3	2.8	1.8	1.5	3.8	1.4	1.5	0.8	0.5	0.5	1.8	0.8	0.6
Klorid, Cl "	6	11	16	33	19	56	11	280	10	9	8	14	16	8	5	6
Sulfat, SO <sub>4</sub> "	3.6	6.0	6.0	6.6	7.8	7.8	6.6	13.8	9.0	9.0	9.0	6.0	6.0	7.2	7.2	7.8
Bikarbonat, HCO <sub>3</sub> "	107	89	77	87	88	78	118	64	81	80	143	32	40	102	100	98
Marmoraggr. kolsyra, mg/l CO <sub>2</sub> (ber.)	0	0	2	7	2	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrat, NO <sub>3</sub> mg/l	0.07	0.13	0.06	1.68	1.34	0.92	0.82	0.30	0.91	0.94	0.13	0.09	0.09	0.09	0.11	0.09
Fosfat, PO <sub>4</sub> "	0.20	0.20	0.30	0.07	0.18	0.08	0.05	0.02	0.17	0.13	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.04
Fluorid, F "	2.3	2.1	1.5	1.8	1.8	1.8	2.8	1.3	1.8	2.0	3.2	2.1	2.5	3.5	3.5	3.5
Kiselsyra, löst, SiO <sub>2</sub> , mg/l	25	25	25.5	25	24.5	24.5	21	25	24	24.5	21.5	4.0	8.6	19.5	20	20
Jäm, Fe, mg/l	0.12	0.12	0.40	0.13	0.43	0.27	0.26	2.5	0.05	0.02	0.05	0.98	0.52	0.86	0.52	0.51
Mangan, Mn "	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.02	0.02	0.27	<0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04

Tabell 5

## ANALYSRESULTAT AV VATTENPROVER FRÅN STORJUKTAN 76-07-26

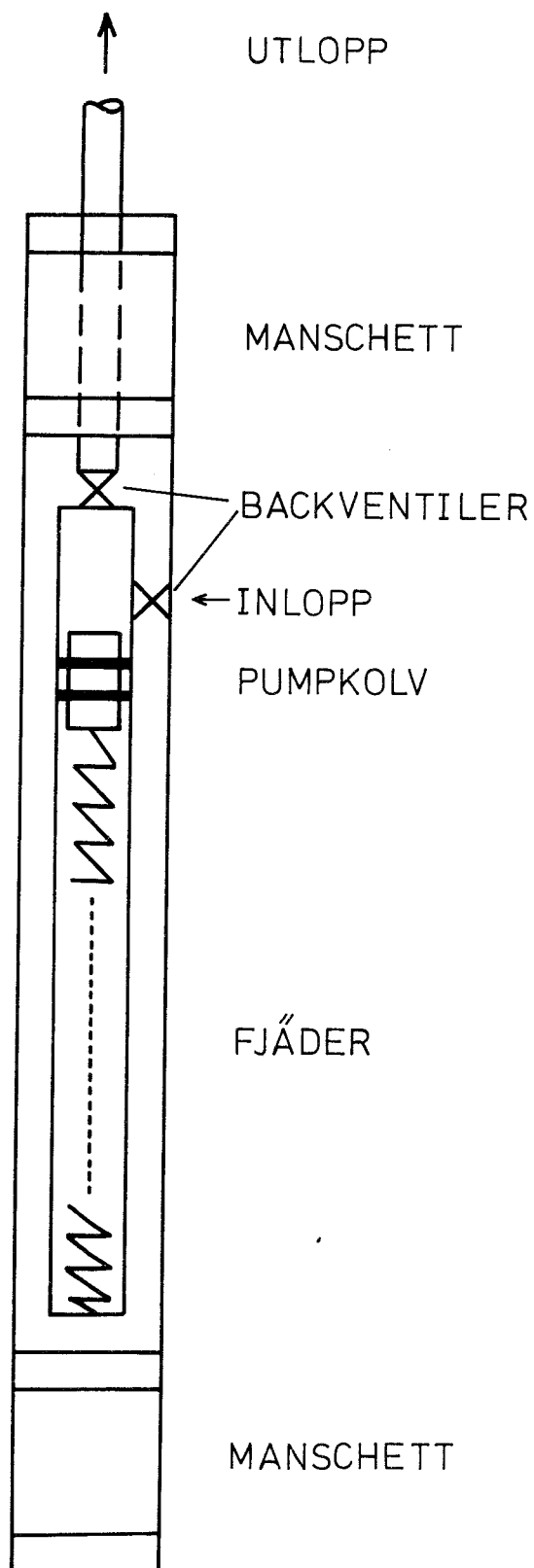
Provpunkt	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C <sub>s</sub> 6	C <sub>n</sub> 7	C <sub>n</sub> 8	C <sub>n</sub> 9	C <sub>n</sub> 10	C <sub>n</sub> 11	C <sub>n</sub> 12	C <sub>n</sub> 13	C <sub>n</sub> 14	C <sub>n</sub> 15
Spec. ledningsförmåga, µS	190	200	180	230	280	210	215	225	215	210	185	195	240	240	185
pH	8.3	8.25	8.25	8.15	8.05	8.25	8.25	8.35	8.10	8.25	8.0	8.25	8.2	8.2	8.6
Kalcium, Ca mg/l	27	28	27	34	40	29	29	28	28	28	25	25	34	35	24
Magnesium, Mg "	2.5	3.5	4	5	5.5	1.5	2.5	1.5	3	3	2.5	3	3.5	5	2.5
Natrium, Na "	17	16	9	12	16	19	18	24	20	18	15	18	20	16	17
Kalium, K "	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4
Klorid, Cl "	4	4	5	14	23	3	4	7	5	5	3	5	8	7	2
Sulfat, SO <sub>4</sub> "	3.0	3.0	5.4	3.6	4.8	4.8	2.4	2.4	1.2	1.8	2.4	3.0	1.8	4.2	4.8
Bikarbonat, HCO <sub>3</sub> "	122	121	107	127	143	132	140	145	138	134	112	121	155	152	109
Marmoraggr. kolsyra mg/l CO <sub>2</sub> (ber.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrat, NO <sub>3</sub> mg/l	0.09	0.44	0.10	0.10	0.13	0.12	0.09	0.09	0.49	0.09	0.16	0.10	0.07	0.15	0.22
Fosfat, PO <sub>4</sub> "	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.04
Fluorid, F "	4.0	4.0	3.7	2.8	2.0	3.0	2.9	3.2	3.0	3.4	3.4	3.9	2.9	2.3	4.3
Kiselsyra, SiO <sub>2</sub> "	16.5	17.5	16.5	17	17.5	16	21	18	20	18.5	21	19	20.5	21	19.5
Järn, Fe mg/l	0.89	0.58	<0.02	0.76	0.99	0.08	0.08	0.74	0.40	0.19	0.74	0.09	0.03	0.41	0.40
Mangan, Mn "	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.12	0.04	<0.02	0.02	0.02

Tabell 6

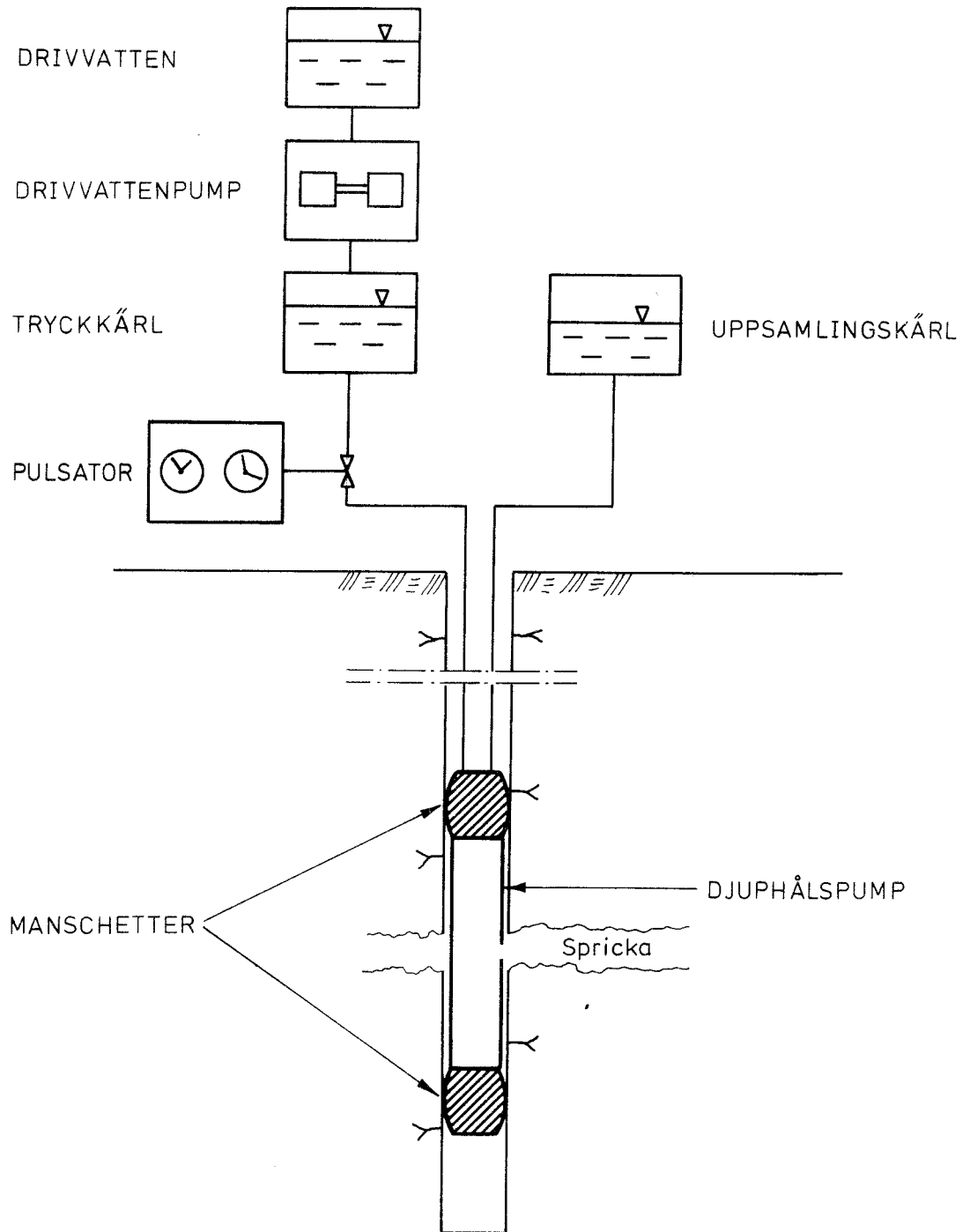
## ANALYSRESULTAT AV VATTENPROVER FRÅN HÅKSBERG OCH STORJUKTAN

	HÅKSBERG					STORJUKTAN					
	B1	B2	C1	C2	C3	BS 8 K	BS 2 K	BS 3 J	A 8	CN 16	CN 5 K
Provtagningsdatum	76-09-13	76-09-13	76-09-13	76-09-13	76-09-13	76-08-23	76-08-23	76-08-23	77-02-24	77-02-25	77-02-25
Spec. ledningsförmåga, $\mu\text{S}/\text{cm}$	250	335	220	180	205	215	110	130	660	210	285
pH	7.85	8.0	7.9	8.0	7.95	7.8	9.9	10.35	7.85	8.35	8.35
Kemisk syreförbrukning, mg/l $\text{KMnO}_4$						3	4	2	3	3	7
Totalhårdhet, mg/l Ca						32	6	6	72	38	52
" tyska grader						4.5	0.8	0.8	10.1	5.3	7.3
Kalcium, mg/l Ca	23	39	27	21	26	26	5	5	55	30	40
Magnesium, " Mg	10	19	9	2	6	4	0.5	0.5	10	4.5	7
Natrium, " Na	16	8	9	15	8	15	12	14	56	10	12
Kalium, " K	0.7	1.4	1.0	0.3	0.8	0.4	0.5	1.0	2.8	0.8	0.4
Marmoraggr. kolsyra $\text{CO}_2$ mg/l (ber)	0	0	0	0	0						
Klorid, mg/l Cl	10	10	5	7	5	5	8	8	180	4	20
Sulfat, " $\text{SO}_4$	15	43	20	7	10	2.7	9.0	7.5	18	1.5	2.1
Bikarbonat, " $\text{HCO}_3$	135	176	116	99	117	142	35	43	68	138	151
Fluorid, " F	3.3	2.2	2.2	3.8	2.2	2.0	1.4	1.4	1.0	2.2	2.5
Ammonium, " $\text{NH}_4$						0.12	0.19	0.15	0.69	0.12	0.14
Nitrit, " $\text{NO}_2$						0.02	0.05	0.02	0.02	0.01	<0.01
Nitrat, " $\text{NO}_3$	0.64	0.33	0.06	0.05	0.13	0.13	0.13	0.15	0.31	0.16	0.10
Fosfat, " $\text{PO}_4$	0.02	<0.01	0.01	<0.01	0.01						
Kiselsyra, löst, mg/l $\text{SiO}_2$	8.6	12.3	10.5	13.4	11.5						
Järn, mg/l Fe	3.5	0.25	0.42	0.62	0.09	0.12	0.11	1.3	1.7	0.89	1.1
Mangan, " Mn	0.02	0.28	0.08	0.24	0.19	0.02	0.02	<0.02	0.46	0.17	0.04

## SCHEMATISK BILD AV DJUPHÅLSPUMP



# SCHEMATISK BILD AV DJUPHÅLSPUMPNING





PROVTAGNINGSFASKA SGU

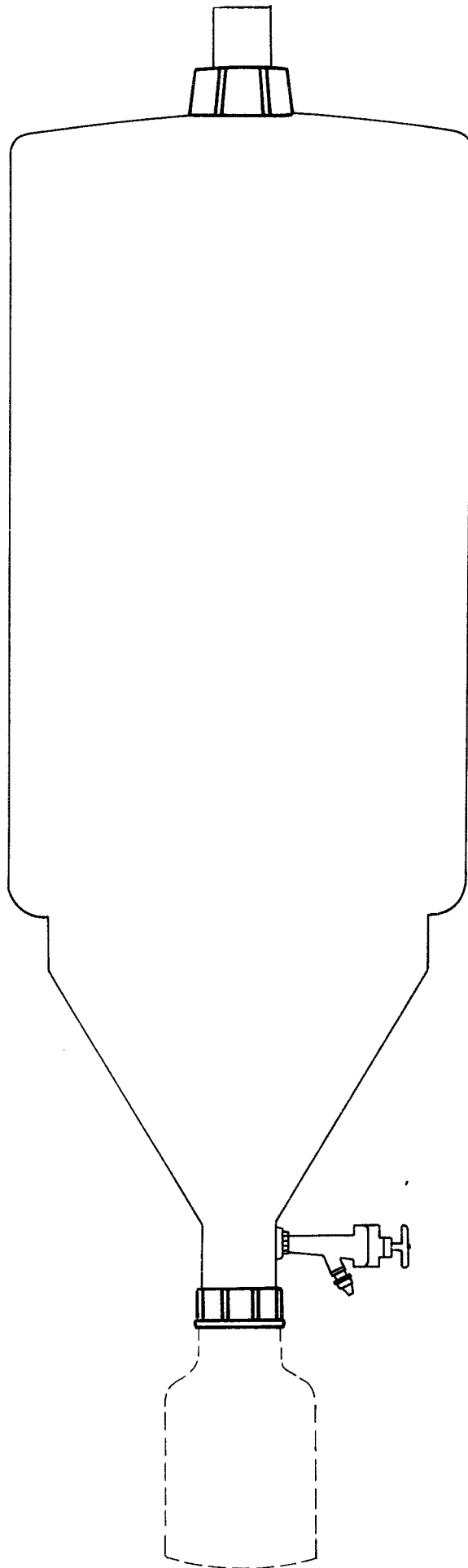
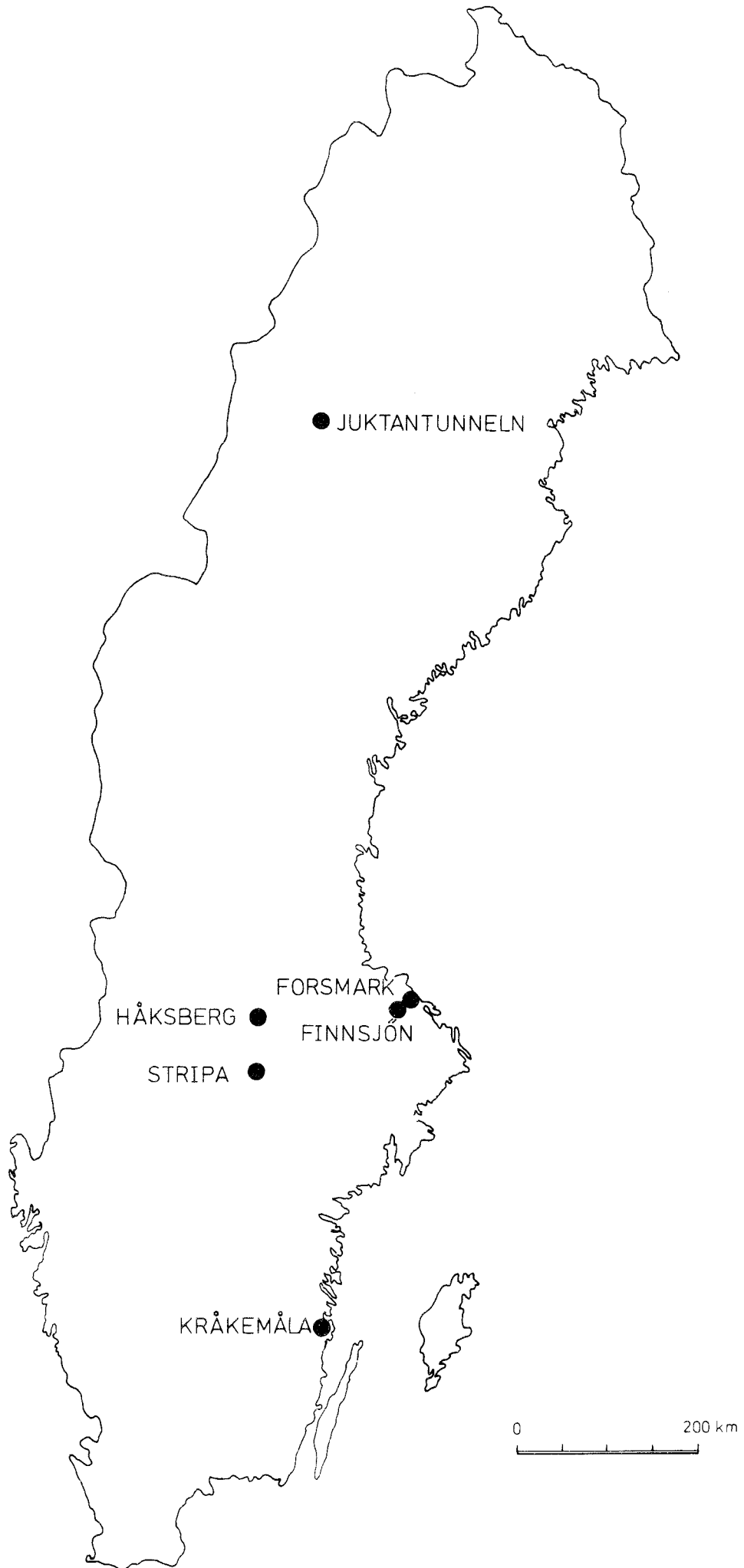
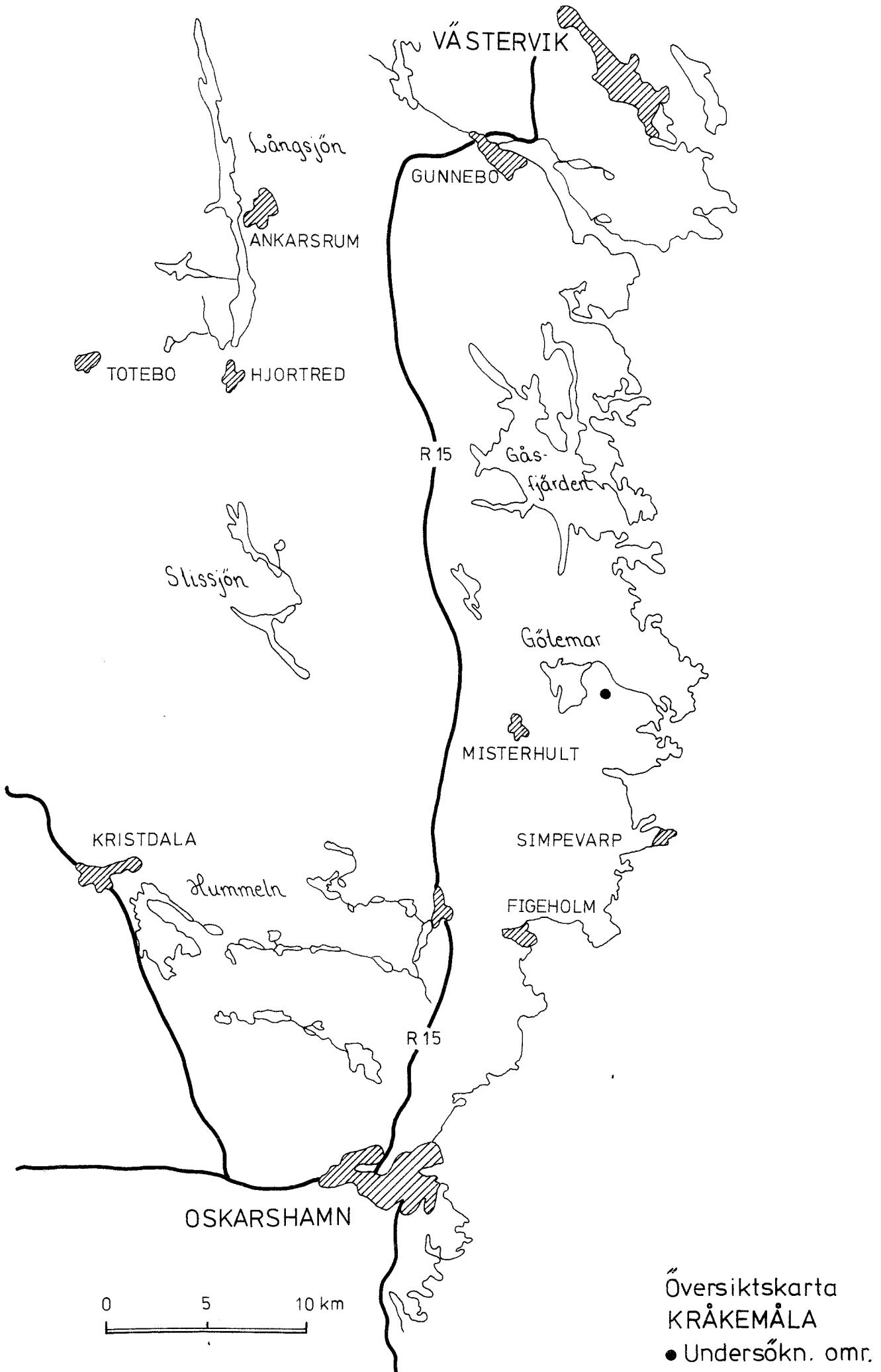
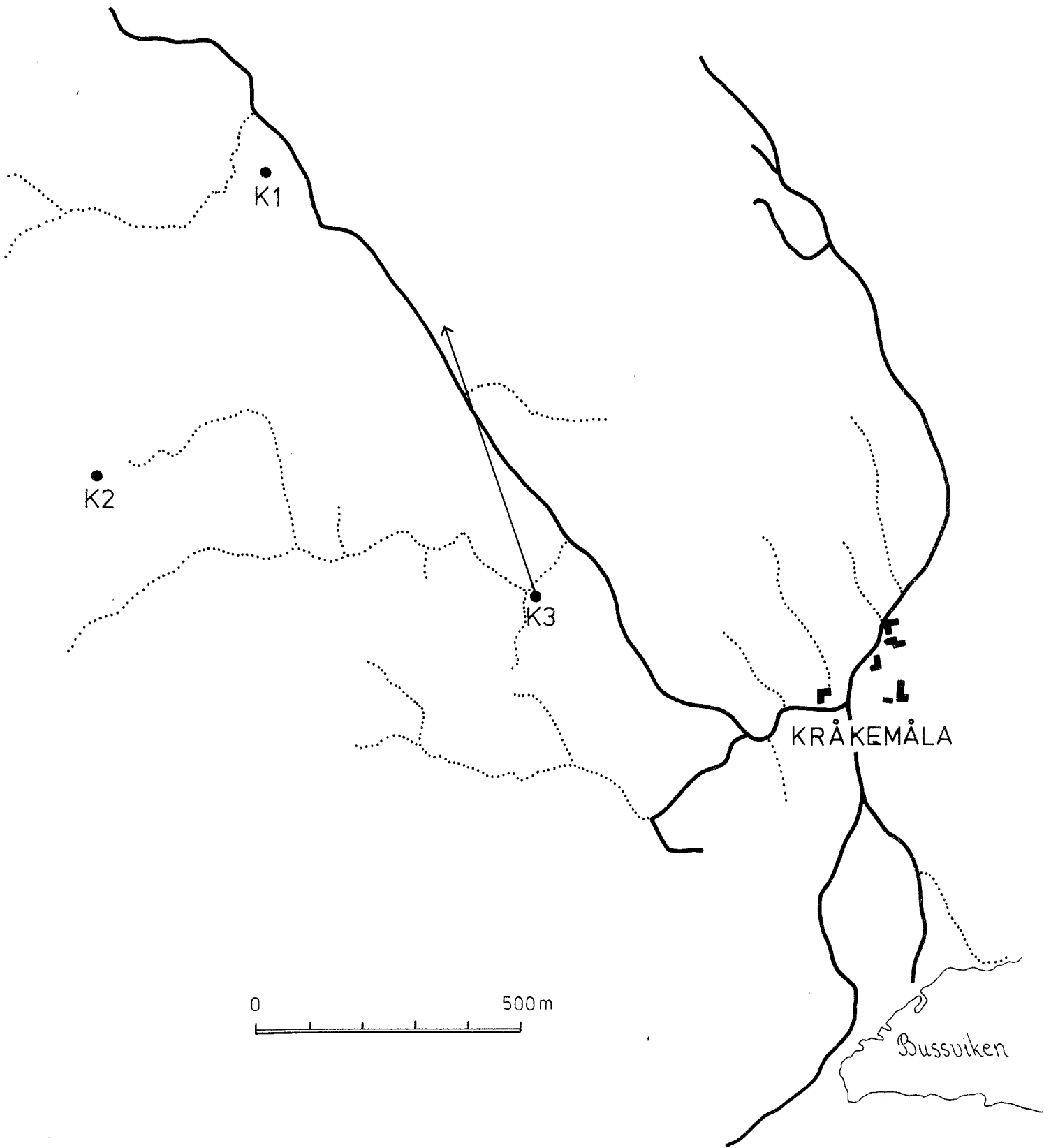


Fig. 4

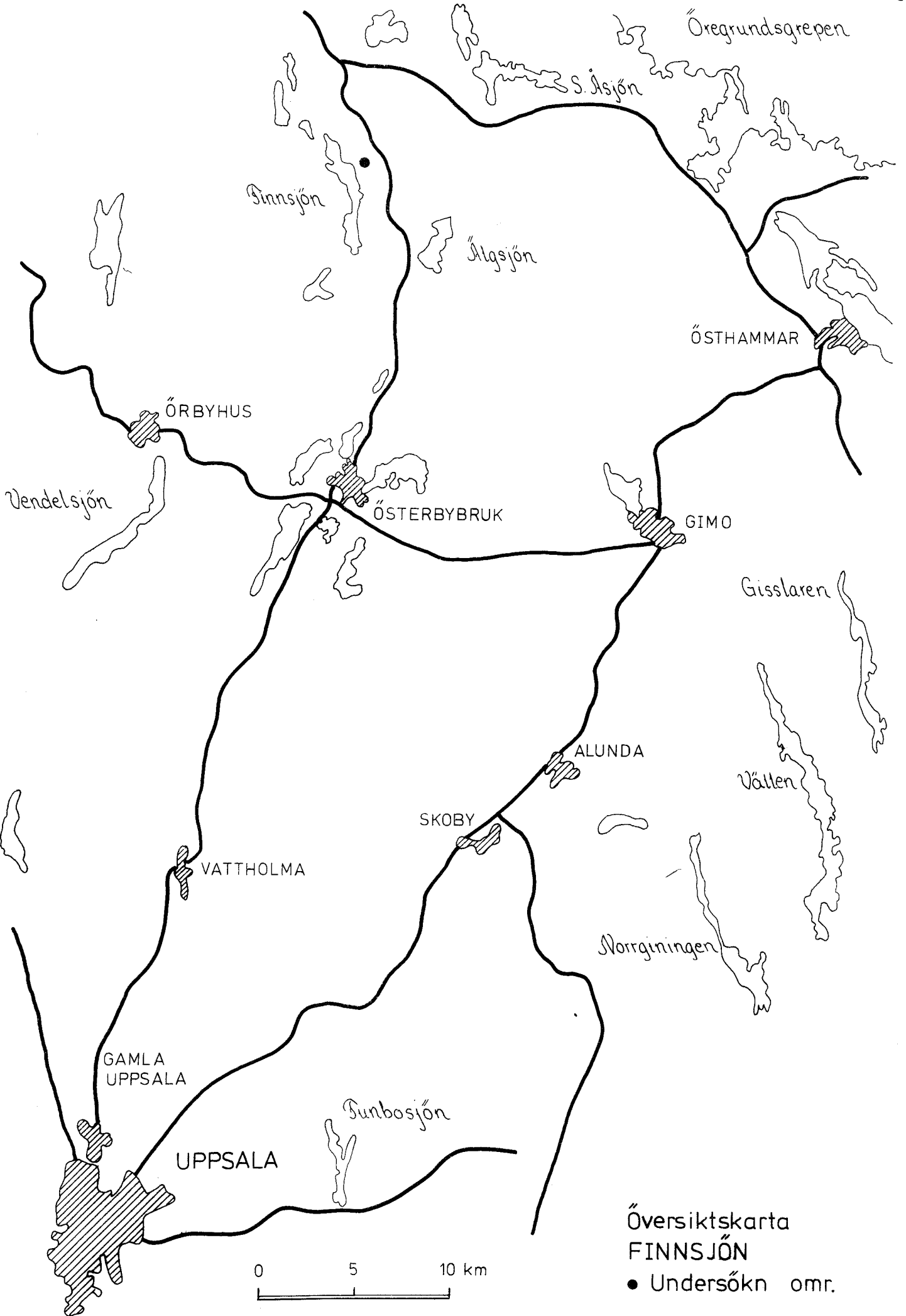




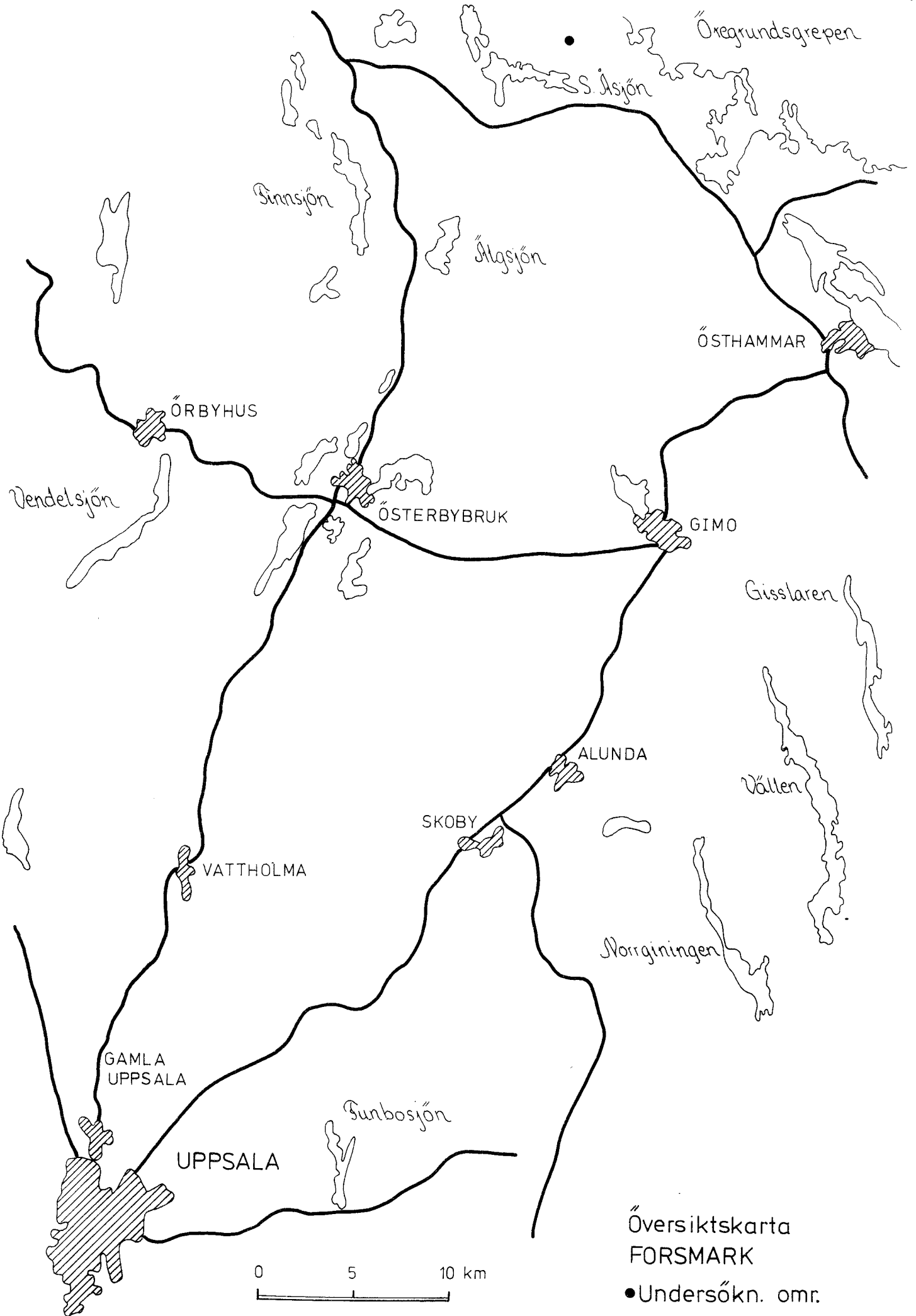


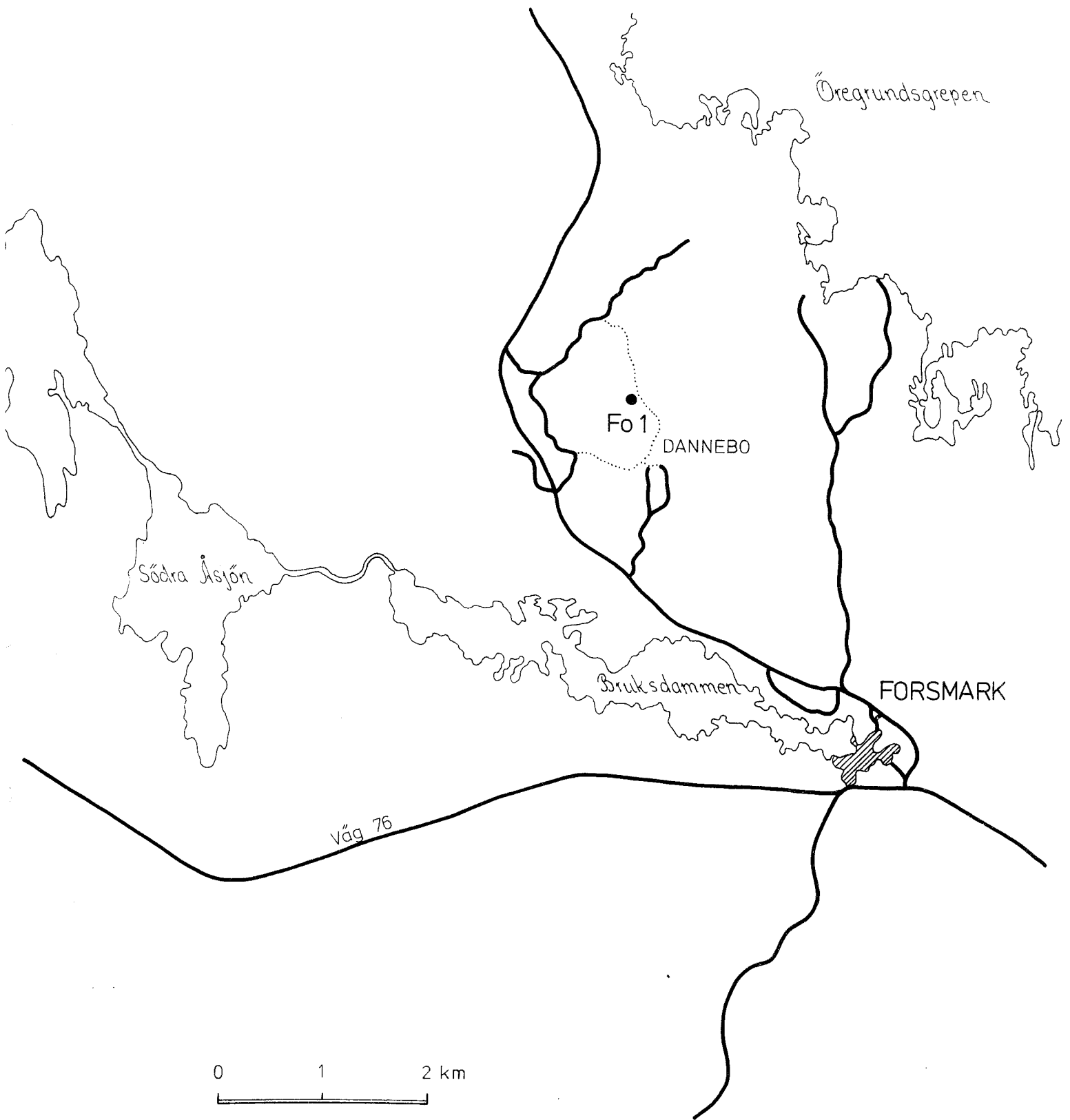
Översiktskarta  
KRÅKEMÅLA  
● Borrhål

Fig. 7









Översiktskarta  
FORSMARK



## FÖRTECKNING ÖVER KBS TEKNISKA RAPPORTER

- 01 Källstyrkor i utbränt bränsle och högaktivt avfall från en PWR beräknade med ORIGEN  
Nils Kjellbert  
AB Atomenergi 77-04-05
- 02 PM angående värmeledningstal hos jordmaterial  
Sven Knutsson  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 77-04-15
- 03 Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans  
Arvid Jacobsson  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 77-05-27
- 04 Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsubstans  
Arvid Jacobsson  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 77-06-01
- 05 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall, Rapport 1  
Roland Blomqvist  
AB Atomenergi 77-03-17
- 06 Groundwater movements around a repository, Phase 1, State of the art and detailed study plan  
Ulf Lindblom  
Hagconsult AB 77-02-28
- 07 Resteffekt studier för KBS  
Del 1 Litteraturgenomgång  
Del 2 Beräkningar  
Kim Ekberg  
Nils Kjellbert  
Göran Olsson  
AB Atomenergi 77-04-19
- 08 Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt glas med högaktivt avfall  
Göran Blomqvist  
AB Atomenergi 77-05-20

- 09 Diffusion of soluble materials in a fluid filling a porous medium  
Hans Häggblom  
AB Atomenergi 77-03-24
- 10 Translation and development of the BNWL-Geosphere Model  
Bertil Grundfelt  
Kemakta Konsult AB 77-02-05
- 11 Utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för kärnbränsleavfall  
Sture Henriksson  
AB Atomenergi 77-04-18
- 12 Bedömning av egenskaper och funktion hos betong i samband med slutlig förvaring av kärnbränsleavfall i berg  
Sven G Bergström  
Göran Fagerlund  
Lars Rombén  
Cement- och Betonginstitutet 77-06-22
- 13 Urlakning av använt kärnbränsle (bestrålad uranoxid) vid direktdeponering  
Ragnar Gelin  
AB Atomenergi 77-06-08
- 14 Influence of cementation on the deformation properties of bentonite/quartz buffer substance  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 77-06-20
- 15 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall  
Rapport 2  
Roland Blomquist  
AB Atomenergi 77-05-17
- 16 Översikt av utländska riskanalyser samt planer och projekt rörande slutförvaring  
Åke Hultgren  
AB Atomenergi augusti 1977
- 17 The gravity field in Fennoscandia and postglacial crustal movements  
Arne Bjerhammar  
Stockholm augusti 1977
- 18 Rörelser och instabilitet i den svenska berggrunden  
Nils-Axel Mörner  
Stockholms Universitet augusti 1977
- 19 Studier av neotektonisk aktivitet i mellersta och norra Sverige, flygbildsgenomgång och geofysisk tolkning av recenta förkastningar  
Robert Lagerbäck  
Herbert Henkel  
Sveriges Geologiska Undersökning september 1977

- 20 Tektonisk analys av södra Sverige, Vättern - Norra Skåne  
Kennert Röhoff  
Erik Lagerlund  
Lunds Universitet och Högskolan Luleå september 1977
- 21 Earthquakes of Sweden 1891 - 1957, 1963 - 1972  
Ota Kulhánek  
Rutger Wahlström  
Uppsala Universitet september 1977
- 22 The influence of rock movement on the stress/strain  
situation in tunnels or bore holes with radioactive con-  
sistors embedded in a bentonite/quartz buffer mass  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 23 Water uptake in a bentonite buffer mass  
A model study  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 24 Beräkning av utlakning av vissa fissionsprodukter och akti-  
nider från en cylinder av franskt glas  
Göran Blomqvist  
AB Atomenergi 1977-07-27
- 25 Blekinge kustgnejs, Geologi och hydrogeologi  
Ingemar Larsson KTH  
Tom Lundgren SGI  
Ulf Wiklander SGU  
Stockholm, augusti 1977
- 26 Bedömning av risken för fördröjt brott i titan  
Kjell Pettersson  
AB Atomenergi 1977-08-25
- 27 A short review of the formation, stability and cementing  
properties of natural zeolites  
Arvid Jacobsson  
Högskolan i Luleå 1977-10-03
- 28 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt  
Sven Knutsson  
Högskolan i Luleå 1977-09-20
- 29 Deformationer i sprickigt berg  
Ove Stephansson  
Högskolan i Luleå 1977-09-28
- 30 Retardation of escaping nuclides from a final depository  
Ivars Neretnieks  
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm 1977-09-14
- 31 Bedömning av korrosionsbeständigheten hos material avsedda  
för kapsling av kärnbränsleavfall. Lägesrapport 1977-09-27  
samt kompletterande yttranden.  
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp

- 32 Long term mineralogical properties of bentonite/quartz  
buffer substance  
Preliminär rapport november 1977  
Slutrapport februari 1978  
Roland Pusch  
Arvid Jacobsson  
Högskolan i Luleå
- 33 Required physical and mechanical properties of buffer masses  
Roland Pusch  
Högskolan Luleå 1977-10-19
- 34 Tillverkning av bly-titan kapsel  
Folke Sandelin AB  
VBB  
ASEA-Kabel  
Institutet för metallforskning  
Stockholm november 1977
- 35 Project for the handling and storage of vitrified high-level  
waste  
Saint Gobain Techniques Nouvelles October, 1977
- 36 Sammansättning av grundvatten på större djup i granitisk  
berggrund  
Jan Rennerfelt  
Orrje & Co, Stockholm 1977-11-07
- 37 Hantering av buffertmaterial av bentonit och kvarts  
Hans Fagerström, VBB  
Björn Lundahl, Stabilator  
Stockholm oktober 1977
- 38 Utformning av bergrumsanläggningar  
Arne Finné, KBS  
Alf Engelbrektson, VBB  
Stockholm december 1977
- 39 Konstruktionsstudier, direktdeponering  
ASEA-ATOM  
VBB  
Västerås
- 40 Ekologisk transport och stråldoser från grundvattenburna  
radioaktiva ämnen  
Ronny Bergman  
Ulla Bergström  
Sverker Evans  
AB Atomenergi
- 41 Säkerhet och strålskydd inom kärnkraftområdet.  
Lagar, normer och bedömningsgrunder  
Christina Gyllander  
Siegfried F Johnson  
Stig Rolandson  
AB Atomenergi och ASEA-ATOM

- 42 Säkerhet vid hantering, lagring och transport av använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall  
Ann Margret Ericsson  
Kemakta november 1977
- 43 Transport av radioaktiva ämnen med grundvatten från ett bergförvar  
Bertil Grundfelt  
Kemakta november 1977
- 44 Beständighet hos borsilikatglas  
Tibor Lakatos  
Glasteknisk Utveckling AB
- 45 Beräkning av temperaturer i ett envånings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3  
Roland Blomquist  
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för använt bränsle  
Taivo Tarandi  
VBB
- 47 Teoretiska studier av grundvattenrörelser  
Preliminär rapport oktober 1977  
Slutrapport februari 1978  
Lars Y Nilsson  
John Stokes  
Roger Thunvik  
Inst för kulturteknik KTH
- 48 The mechanical properties of the rocks in Stripa, Kråkemåla, Finnsjön and Blekinge  
Graham Swan  
Högskolan i Luleå 1977-09-14
- 49 Bergspänningsmätningar i Stripa gruva  
Hans Carlsson  
Högskolan i Luleå 1977-08-29
- 50 Lakningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik  
Göran Blomqvist  
AB Atomenergi november 1977
- 51 Seismotectonic risk modelling for nuclear waste disposal in the Swedish bedrock  
F Ringdal  
H Gjövystdal  
E S Hysebye  
Royal Norwegian Council for scientific and industrial research
- 52 Calculations of nuclide migration in rock and porous media, penetrated by water  
H Häggblom  
AB Atomenergi 1977-09-14

- 53 Mätning av diffusionshastighet för silver i lera-sand-blandning  
Bert Allard  
Heino Kipatsi  
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15
- 54 Groundwater movements around a repository
- 54:01 Geological and geotechnical conditions  
Håkan Stille  
Anthony Burgess  
Ulf E Lindblom  
Hagconsult AB september 1977
- 54:02 Thermal analyses  
Part 1 Conduction heat transfer  
Part 2 Advective heat transfer  
Joe L Ratigan  
Hagconsult AB september 1977
- 54:03 Regional groundwater flow analyses  
Part 1 Initial conditions  
Part 2 Long term residual conditions  
Anthony Burgess  
Hagconsult AB oktober 1977
- 54:04 Rock mechanics analyses  
Joe L Ratigan  
Hagconsult AB september 1977
- 54:05 Repository domain groundwater flow analyses  
Part 1 Permeability perturbations  
Part 2 Inflow to repository  
Part 3 Thermally induced flow  
Joe L Ratigan  
Anthony S Burgess  
Edward L Skiba  
Robin Charlwood
- 54:06 Final report  
Ulf Lindblom et al  
Hagconsult AB oktober 1977
- 55 Sorption av långlivade radionuklider i lera och berg  
Del 1 Bestämning av fördelningskoefficienter  
Del 2 Litteraturgenomgång  
Bert Allard  
Heino Kipatsi  
Jan Rydberg  
Chalmers tekniska högskola 1977-10-10
- 56 Radiolys av utfyllnadsmaterial  
Bert Allard  
Heino Kipatsi  
Jan Rydberg  
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15

- 57 Stråldoser vid haveri under sjötransport av kärnbränsle  
Anders Appelgren  
Ulla Bergström  
Lennart Devell  
AB Atomenergi 1978-01-09
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan  
Gunnar Walinder  
FOA 4 november 1977
- 59 Tectonic lineaments in the Baltic from Gävle to Simrishamn  
Tom Flodén  
Stockholms Universitet 1977-12-15
- 60 Förarbeten för platsval, berggrundsundersökningar  
Sören Scherman
- Berggrundvattenförhållande i Finnsjöområdets nordöstra del  
Carl-Erik Klockars  
Ove Persson  
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 61 Permeabilitetsbestämningar  
Anders Hult  
Gunnar Gidlund  
Ulf Thoregren
- Geofysisk borrhålmätning  
Kurt-Åke Magnusson  
Oscar Duran  
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 62 Analyser och åldersbestämningar av grundvatten på stora djup  
Gunnar Gidlund  
Sveriges Geologiska Undersökning 1978-02-14
- 63 Geologisk och hydrogeologisk grunddokumentation av  
Stripa försöksstation  
Andrei Olkiewicz  
Kenth Hansson  
Karl-Erik Almén  
Gunnar Gidlund  
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1978
- 64 Spänningsmätningar i Skandinavisk berggrund - förutsättningar,  
resultat och tolkning  
Sten G A Bergman  
Stockholm november 1977
- 65 Säkerhetsanalys av inkapslingsprocesser  
Göran Carleson  
AB Atomenergi 1978-01-27
- 66 Några synpunkter på mekanisk säkerhet hos kapsel för  
kärnbränsleavfall  
Fred Nilsson  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm februari 1978