

**R-02-17**

## **Brunnsinventering i Forsmark**

Jan-Erik Ludvigson  
GEOSIGMA AB

Januari 2002

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co  
Box 5864  
SE-102 40 Stockholm Sweden  
Tel 08-459 84 00  
+46 8 459 84 00  
Fax 08-661 57 19  
+46 8 661 57 19



# **Brunnsinventering i Forsmark**

Jan-Erik Ludvigson  
GEOSIGMA AB

Januari 2002

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Omfattning</b>	5
1.1	Brunnsinventering	5
1.2	Vattenprovtagning	6
<b>2</b>	<b>Resultat</b>	9
2.1	Privata brunnar	9
2.2	Icke-privata brunnar	12
<b>3</b>	<b>Referenser</b>	15
<b>Appendix 1</b>	Vattenanalyser	17
<b>Appendix 2</b>	Sötvattenförsörjning genom grundvattenuttag i berg vid Forsmarks kraftstation	69

# 1 Omfattning

## 1.1 Brunnsinventering

Under sommaren 2001 utfördes en inventering av alla brunnar inom ett område som begränsas i väster av vägen till kärnkraftverket, mot SV av Forsmarksån, mot SO av Kallriga-fjärden och mot NO av Öregrundsgrepen, se figur 1-1. Inventering utfördes av personal från GEOSIGMA. Inom det inventerade området finns det geologiskt prioriterade Forsmarksområdet /SKB, 2000/. Inventeringen omfattade dels alla privata brunnar inom området (såväl borrhåll som grävda), dels befintliga vattenprospekteringsborrhål. Prospekteringshålen borrhades på uppdrag av AB Vattenfall respektive Forsmarks Kraft AB i samband med undersökningar för dricksvattenförsörjning till kraftstationen (se appendix 2).

Arbetet har stämts av med ämnesprogrammet för Hydrogeologi /SKB, 2001a/ och utförts i enlighet med Aktivitetsplanen för inventering av privata brunnar /SKB, 2001b/.

Brunnsinventeringen har indelats i följande faser:

- förberedande arbeten före fältinventeringen,
- fältinventering inklusive vattenprovtagning,
- redovisning av resultat.

Brunnsinventeringen började med att försöka identifiera alla brunnar inom området på befintliga kartor etc. Före inventeringen i fält togs en förteckning fram över alla potentiella privata brunnsägare i området av personal på SKB:s informationskontor i Östhammar. Personalen tog även kontakt med och informerade alla privata brunnsägare om den förestående brunnsinventeringen i fält, samt medverkade vid densamma. Vidare identifierades alla brunnar inom området som finns i SGU:s Brunnsarkiv samt äldre och nya prospekteringsborrhål nära kraftstationen.

Därefter utfördes den egentliga brunnsinventeringen i fält. Vid denna lokaliserades, förutom tidigare identifierade brunnar, ett antal tillkommande brunnar i området. Även nedlagda brunnar som tagits ur bruk permanent på grund av dålig vattenkvalitet (t ex salt, järn, hårt vatten etc) och brunnar som ej används för tillfället lokaliserades. Sådana övergivna brunnar har dock ej provtagets men deras läge har registrerats. I den mån det finns uppgifter om brunnarnas djup, kapacitet etc har detta noterats tillsammans med fastighetens övriga brunnar. På vissa fastigheter finns både en borrhåll och en grävd brunn. Vattenprovtagning har då skett i båda brunnarna.

Vid brunnsinventeringen i fält samlades uppgifter om brunnarna in via intervjuer med brunnsägarna eller andra personer. Vidare mättes brunnarnas läge in med GPS. Där så har varit möjligt lodades dessutom grundvattennivån i brunnen med kabelljuslod. Detta var som regel bara möjligt i de grävda brunnarna eftersom vattenytan i de borrhåll brunnarna var svåråtkomlig på grund av slangar och övrig utrustning i hålet.

## 1.2 Vattenprovtagning

Vid brunnsinventeringen togs vattenprov i totalt 25 privata brunnar för analys enligt Livsmedelsverkets standard (kemisk analys, nivå 3 samt mikrobiologisk analys). Tre provtagningsflaskor fylldes vid varje brunn, varav en för fysikalisk-kemisk analys (1 L prov), en speciellt preparerad flaska för bakteriologisk analys (0,5 L) samt ett reservprov på 0,25 L. De senare proverna förvaras i frysskåp på GEOSIGMA enligt rekommendation från analyslaboratoriet Alcontrol i Uppsala som analyserade proverna.

Vanligen togs proverna i tappkran i huset före eventuella filter. Före provtagningen fick vattnet rinna ca 5 minuter så att en konstant temperatur uppnåts. Där uppfordringsanordning saknades, exempelvis i ej använda grävda brunnar, togs vattenprovet direkt ur brunnen med hink. Temperaturen på vattnet mättes med termometer med en noggrannhet av ca 0,1°C.

Vattenproverna märktes i fält med fastighetsbeteckningen som utgör provernas identitet i analysprotokollen. Då både borrarad och grävd brunn fanns på samma fastighet märktes proverna med både fastighetsbeteckning och brunnstyp. Proverna förvarades i kylväska med kylblock under provtagningsdagen och lämnades in till laboratoriet ca kl 15–16 samma dag.

Resultaten av analyserna blev färdiga efter ca 2–3 veckor och skickades till GEOSIGMA med kopia till SKB:s handläggare i Stockholm. Analyserna inkluderade även en bedömning av statusen på vattnet, både mikrobakteriologiskt och fysikalisk-kemiskt. Provsvaren inklusive utlåtande om vattnets tjänlighet etc skickades genom SKB:s försorg ut till samtliga brunnsägare.



*Figur 1-1. Karta över alla lokaliserade brunnar och vattenprospekteringsborrhål (totalt 40 st) inom det inventerade området. Inom det inventerade området finns det geologiskt intressanta Forsmarksområdet (röd begränsningslinje).*

## 2 Resultat

Det brunnsinventerade området är ca 25 km<sup>2</sup> varav det avgränsade geologiskt intressanta Forsmarksområdet utgör ca 10 km<sup>2</sup>. Större delen av området består av produktiv skogsmark. Landskapsbilden domineras där av yngre granskog och slutavverkningsytor. Det finns även kulturmarker med åker och betesmarker samt rester av ett intensivt skogsbete. Förutom att området som helhet är av riksintresse för naturvården är det även utpekat såsom värdefullt i flera naturvårdsplaner samt i natur- och fågelinventeringar. Kallriga-reservatet, sydost om Forsmarksområdet, är avsatt för att bevara några av dessa värden. Läget av alla lokaliserade brunnar och vattenprospekteringshål visas i figur 1-1.

Sammanlagt har 40 brunnar inventerats i Forsmark. Av dessa är 27 privata brunnar och 13 icke-privata. De privata utgörs av 15 bergborrade brunnar (varav 2 nedlagda) och 12 grävda (varav 1 sprängd). De icke-privata brunnarna i området består av 8 gamla och 4 nya vattenprospekteringsborrhål utförda av AB Vattenfall år 1977 respektive Forsmarks Kraft AB på senare år. De senare undersökningarna pågår alltjämt. Slutligen finns ytterligare en borrhål icke-privat brunn på Norra Kasudden längst ut i öster, se figur 1-1.

### 2.1 Privata brunnar

Uppgifter om de 27 privata brunnarna redovisas i tabell 2-1 och dess lägen och tillhörande fastighetsbeteckningar visas i figur 1-1. Där flera brunnar finns på samma fastighet har brunnarna markerats med -1 osv efter fastighetsbeteckningen. Av de privata brunnarna har 25 (12 grävda och 13 borrhål) vattenprovtagets. I tabell 2-1 framgår bl a brunntyp, -djup och -användning. I tabellen visas även bedömningen av vattenkvaliteten i mikrobiologiskt och kemiskt avseende enligt analysprotokollen som grundar sig på ”Dricksvatten-kungörelsen” från Livsmedelsverket /SLV, 1993/. Kommentarer i tabellen, t ex angående vattenkvalitet etc, är företrädesvis baserade på uppgifter från brunnsägarna. En sammanställning av bedömningarna av vattenkvaliteten i alla provtagna brunnar visas i figur 2-1a,b.

I anslutning till det geologiskt prioriterade Forsmarksområdet finns två borrhål brunnar (vid Storskäret på fastigheten Forsmark 3:3 och strax söder om Tixelfjärden på fastigheten Forsmark 3:34). Den senare ligger på områdesgränsen. Endast den vid Storskäret används som dricksvatten. Just utanför området finns ytterligare tre brunnar, en nyanlagd grävd brunn (djup 1,5 m) på fastigheten Forsmark 3:33 som ej var tagen i drift, en grävd brunn (djup 3,7 m) på fastigheten Forsmark 3:32 som ej används för tillfället samt en borrhål (djup 6 m) på fastigheten Forsmark 3:38 som bara används för bevattning.

Vid väg 76, vid Habbalsbo och i närheten till Kallrigafjärden finns ytterligare 3 borrhål och 7 grävda privata brunnar. I området i sydost ut mot och på Kallerö finns 7 borrhål brunnar och 3 grävda brunnar. Längst ut på N Kasudden finns en borrhål icke-privat brunn.

Analys av brunnsvattnet visar att vattenkvaliteten varierar mellan drickbart till otjänligt. Det finns bergborrade brunnar som uppvisar salthalter över smakgränsen samt relativt höga kalcium- (hög hårdhet) och järnhalter. Ett annat vanligt problem är påverkan av ytvatten som ger humussmak på vattnet. Grävda brunnar finns i anslutning till de flesta fritidsfastigheterna. Även i dessa är vattenkvaliteten i de flesta fall dålig eller otjänligt, i synnerhet i brunnar som inte är i bruk. Många fastighetsägare uppger att de tar sitt dricksvatten från annan ort. Vattenanalyserna redovisas i appendix 1.

**Tabell 2-1. Sammanställning av samtliga inventerade privata brunnar (även övergivna) inklusive bedömning av vattenkvaliteten i mikrobiologiskt och kemiskt avseende enligt analysprotokollen. (T=tjänligt, TA=tjänligt med anmärkning, OT=otjänligt). F=Forsmark, S=Simundö.**

Brunn/ Fastigh.	Område	Grävd Djup (m)	Borrad Djup (m)	Vatten- prov	Bedömning		Kommentarer från ägaren
					M-bio	Kem	
F 3:3	Storskäret		45	28/6	T	TA	Delar brunn med Forsmark 3:23 och 3:24. Bra tillgång på vatten men järnhaltigt.
F 3:19	Habbalsbo		45	28/6	T	TA	Mycket vatten, järnhaltigt.
F 3:20	Habbalsbo	4.9		28/6	T	TA	Järnhaltigt vatten, enbart till att vattna blommorna.
F 3:26	<b>Habbalsbo</b>	3.6		28/6	OT	TA	Gemensam brunn med Forsmark 3:27.
F 3:28	Habbalsbo	3.2		14/8	TA	TA	
F 3:29	Habbalsbo	2.5		14/8	OT	TA	
F 3:32	Bolunds- fjärden	3.7		28/6	OT	TA	Nära sjön, bräckt vatten, ej drickbart, brunnen används ej.
F 3:33	Tixelfjärden	1.5		14/8	TA	TA	Nyanlagd brunn, ej tagen i drift.
F 3:34	D:o		70	28/6	T	TA	Järnhaltigt vatten, salt. Används ej som dricksvatten.
F3:38-1	D:o		<b>6</b>	28/6	OT	TA	Järnhaltigt, salt vatten, lukt av metan, ej drickbart. Bara till bevattning etc.
F3:38-2	D:o		60	ej			Nedlagd brunn på grund av dålig vattenkvalitet.
S 8:6	Kallerö		65	29/6	TA	TA	Kalk och lite järn. Delar brunn med Simundö 8:14.
S 8:7	S Prästängen	7.6		14/8	TA	TA	Sprängd brunn, förhöjd kalkhalt, något järn.
S 8:8-1	Grynören	4.2		29/6	T	TA	
S 8:8-2	D:o		c. 60	16/8	T	TA	Kolfilter används.
S 8:10	Kallerö		60	29/6	T	TA	Bra vatten.
S 8:12	Granskär		33	29/6	T	TA	Höga halter av flera olika joner, järn, mangan, kalcium, klorid, ammonium.
S 8:15-1	D:o		30	14/8	OT	TA	Brunnen var ej tagen i bruk. Mycket järn, kalk m m.
S 8:15-2	S Prästängen	3.5		14/8	TA	TA	
S 8:15-3	D:o		c. 94	ej			Nedlagd på grund av salt vatten.
S 8:16	Grönsinka	6.3		29/6	TA	TA	Drickbart vatten.
S 9:6-1	Kallerö		c. 50	16/8	OT	TA	Begränsad vattentillgång.
S 9:6-2	D:o	4.3		D:o	OT	TA	Reservbrunn.
S 9:9	Nyhem		54	29/6	T	TA	Mycket järn och mangan, hårt vatten.
S 9:18	Prästängen		25	29/6	T	TA	Mycket järnhaltigt vatten. Används ej som dricksvatten.
S 9:25	Kallerö		47	29/6	T	TA	Bra vatten.
S 10:1	S Prästängen	4.2		29/6	T	TA	Lite brunt vatten men drickbart.

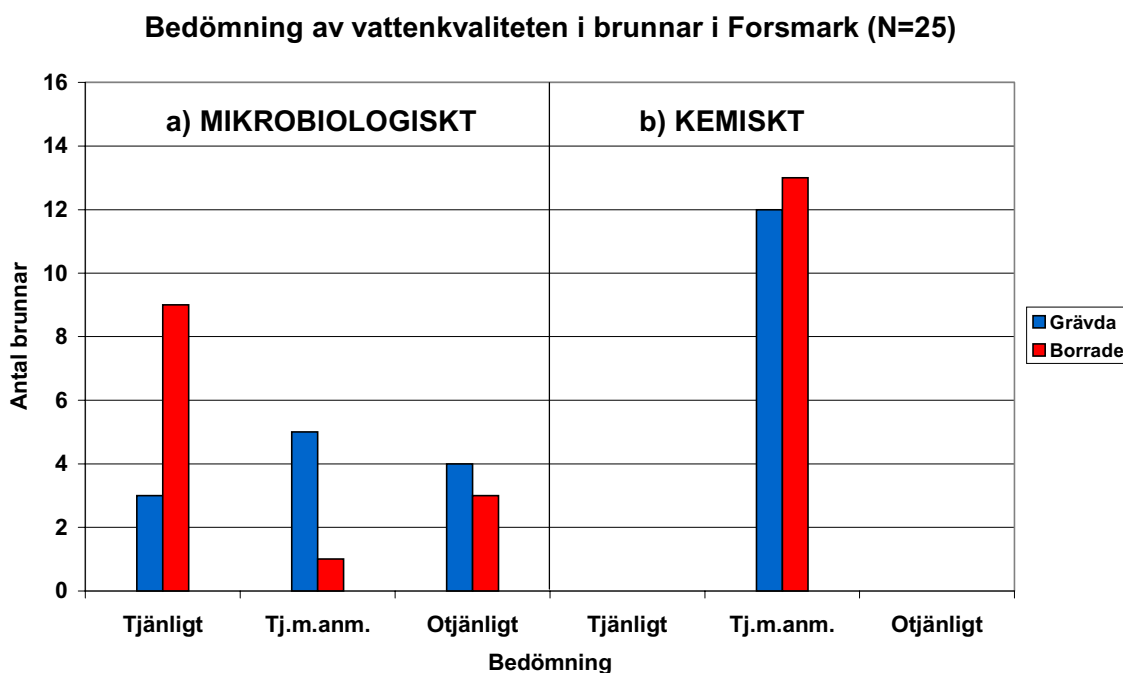


En sammanställning av bedömningen av vattenkvaliteten i mikrobiologiskt och kemiskt avseende enligt analysprotokollen för de 25 provtagna privata brunnarna visas i figur 2-1a,b. Figuren visar att de borrade brunnarna överväger vid bedömd tjänlig vattenkvalitet i mikrobiologiskt avseende. Vid bedömd otjänlig kvalitet är antalet grävda respektive borrade brunnar däremot ganska lika. I kemiskt avseende bedöms vattenkvaliteten i samtliga brunnar, såväl grävda som borrade, som tjänligt med anmärkning.

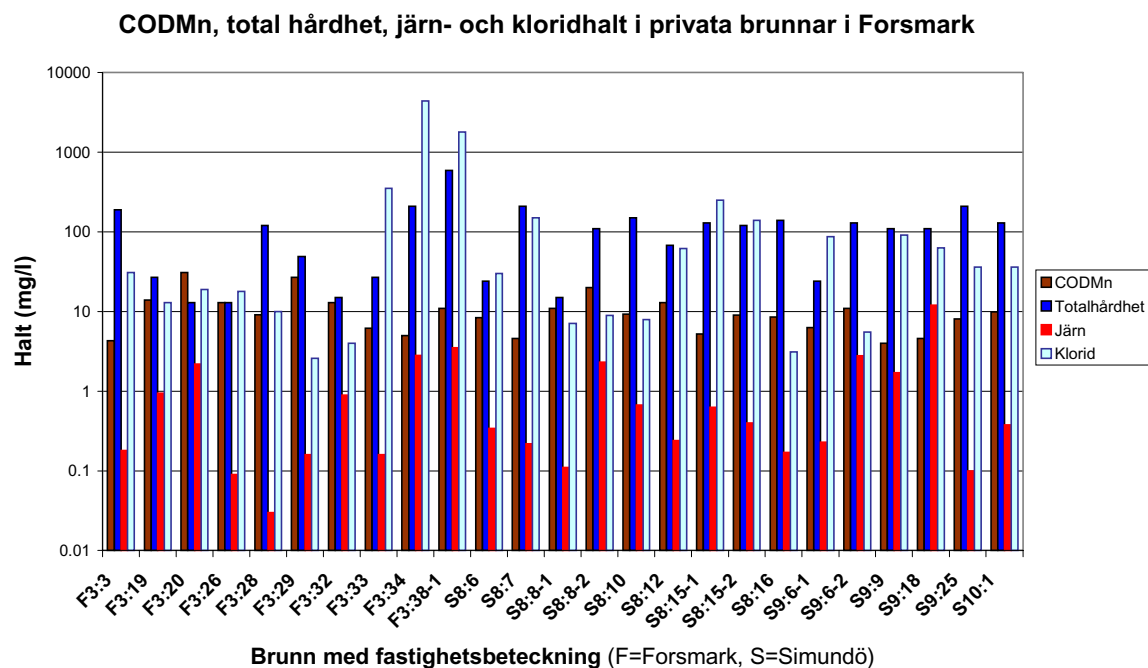
Den främsta anledningen till att vattenkvaliteten i mikrobiologiskt avseende i många brunnar bedömts som otjänlig eller tjänlig med anmärkning beror på att halten av koliforma bakterier och/eller E.coli var mycket hög, vilket kan indikera förorenat ytvatten från avlopp, gödsel eller liknande. I vissa fall var även halten av heterotrofa bakterier hög vilket bl.a kan tyda på otillräcklig vattenomsättning.

De främsta anledningarna till att vattenkvaliteten i kemiskt avseende i samtliga brunnar bedömts som tjänlig med anmärkning beror på höga halter av organiska ämnen (CODMn), totalhårdhet, järn, mangan, klorid m.fl. mineral, se figur 2-2. Enligt Dricksvattenkungörelsen bör CODMn vara mindre än 8 för enskilt brunnsvatten. Höga CODMn-halter kan bero på påverkan från ytvatten (t ex myrvatten etc) som kan ge upphov till dålig smak, lukt, färg etc.

Enligt samma kungörelse innebär vatten med totalhårdhet högre än 100 mg/l risk för utfällning på textilier samt i kärl och ledningar. Järnhalten bör vara mindre än 0,50 mg/l. Kloridhalter över 100 mg/l kan påskynda korrosionsangrepp medan halter över 300 mg/l kan ge salt smak. Resultaten från vattenanalyserna för brunnarna inom området är mycket överensstämmande med den konstaterade vattenkvaliteten i de gamla och nya prospekteringshålén, se appendix 2.



**Figur 2-1.** Sammanställning av bedömningen av vattenkvaliteten i a) mikrobiologiskt och b) kemiskt avseende enligt analysprotokollen för de 25 provtagna privata brunnarna.



**Figur 2-2.** Redovisning av utvalda kemiska parametrar för vattnet i provtagna, privata brunnar i Forsmark.

## 2.2 Icke-privata brunnar

Lägena för de inventerade icke-privata bergborrade brunnarna framgår av figur 1-1. Uppgifter om dessa redovisas i tabell 2-2. De gamla och nya prospekteringsborrhålen för dricksvatten i berg för kraftverket beskrivs utförligare i appendix 2. Av de äldre vattenprospekteringshålen är det bara Bh 6 som kunnat lokaliseras och mätas in medan samtliga nya vattenprospekteringsborrhål har lokaliserats och mätts in med GPS samt grundvattennivån lodats. De visade lägena för de äldre vattenprospekteringshålen i figur 1-1 är därför endast ungefärliga.

Dessutom finns en borrhåll icke privat brunn inom det inventerade området på Norra Kasudden längst ut i öster, se figur 1-1. Brunnen ifråga finns registrerad i SGU:s Brunnarkiv. Enligt dessa uppgifter ligger brunnen på fastigheten Forsmark 3:17.

**Tabell 2-2. Sammanställning av uppgifter om icke-privata brunnar inom det inventerade området i Forsmark.**

Borrhål	Område	Djup (m)	Kommentarer
1	NV Gällsboträsket	75	Gammalt vattenprospekteringshål (Vattenfall AB), ej lokaliserat
2	D:o	21	D:o, ej lokaliserat
3	N Lättsa	80	D:o, ej lokaliserat
4	D:o	33	D:o, ej lokaliserat
5	S Labboträsket	24	D:o, ej lokaliserat
6	Ö Labboträsket	21	D:o, lokaliserat
7	Gunnarsbo	Ej känt	D:o, ej lokaliserat
8	NV Gällsboträsket	17	D:o, ej lokaliserat
BH1	S husvagnsparkeringen	8.7*	Nytt vattenprospekteringsborrhål, Forsmark Kraft AB, lokaliserat
BH1A	D:o	45*	D:o
BH2	D:o	31*	D:o
BH3	D:o	53*	D:o
N. Kasudden	På fastigheten Forsmark 3:17	46	Finns i SGU:s Brunnsarkiv

\* Vertikalt djup (gradat borrhål).

### 3 Referenser

**SKB, 2000.** Förstudie Östhammar. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2001a.** Platsundersökningar – Undersökningsmetoder och generellt genomförandeprogram. SKB R-01-10. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2001b.** Inventering av privata brunnar. SKB AP TD F73-01-056. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SLV, 1993.** Föreskrifter och allmänna råd om dricksvatten, SLV FS 1993:35. Statens Livsmedelsverk, Stockholm.

### Vattenanalyser

I detta appendix finns samtliga protokoll från vattenanalyser från grävda och borrhade brunnar i Forsmarksområdet med omnejd. Varje prov har analyserats mikrobiologiskt (överst i analysresultaten) och fysikaliskt-kemiskt. Resultat från varje prov presenteras på två sidor som avslutas med laboratoriets bedömning av vattenkvalité och med laboratoriets kommentar.

**Protokollen är av tekniska skäl inte med i denna pdf – kan beställas i tryckt version.**

### **Sötvattenförsörjning genom grundvattenuttag i berg vid Forsmarks kraftstation**

**Kortfattad sammanställning av utförda undersökningar**

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning och historik</b>	71
<b>2</b>	<b>Äldre undersökningar</b>	73
2.1	Geologiska förhållanden	73
2.2	Hydrogeologiska förhållanden	73
2.3	Resultat av äldre undersökningar	74
2.3.1	Borrningar	74
2.3.2	Provpumpningar och uttagbara mängder	75
2.3.3	Vattenkvalitet	77
2.3.4	Sammanfattning och rekommendationer	77
<b>3</b>	<b>Nya undersökningar</b>	78
3.1	Förundersökning	78
3.2	Borrning	78
3.3	Provpumpning, flödesloggning och vattenanalys	79
3.4	Skattning av hydrauliska parametrar	81
3.5	Slutsatser och rekommendationer	81
3.6	Kompletterande borrning	82
3.6.1	Resultat	82
3.6.2	Slutsatser	83
<b>4</b>	<b>Erfarenheter från undersökningarna</b>	84
<b>5</b>	<b>Referenser</b>	85

# 1 Inledning och historik

Sötvattenförsörjningen för Forsmarks kraftstation är baserad på ytvatten från Bruksdammen vid Forsmarks Bruk. Råvattnet behandlas vid ett vattenverk vid kraftstationen. Vattnet används både som processvatten och som dricksvatten vid kärnkraftverket vid Forsmark. Förutom potentiella föroreningshot mot (yt)-vattentäkten har man sedan länge haft problem med vattenkvaliteten. Sedan länge har det därför funnits skäl att undersöka möjligheterna för grundvatten ur berggrunden att användas som dricksvatten vid kärnkraftverket och även till Forsmarks by. Behovet av dricksvatten är ca 2–3 l/s.

Den första kampjen för att hitta grundvatten ur berget som dricksvatten för Forsmark gjordes 1977–78. En översiktlig undersökning (etapp I) gjordes av SGU och Vattenfall (BVK) omfattande fältrekognosering, geofysiska undersökningar (bl a seismik). Härigenom indikerades vissa sprick- och krosszoner i området kring Forsmarks kraftstation. Denna etapp avrapporterades av BVK/SGU 1977-10-07. Resultaten av efterföljande etapp II omfattande provborrningar, provpumpning, vattenkvalitetsbedömning och grundvattenmagasinsanalys för bedömning av möjligheterna till grundvattenuttag ur berggrunden presenterades av SGU i juli 1978.

De tidigare undersökningarna 1977–78 visade att vattenkvaliteten på berggrundvattnet var dålig i kombination med risk för saltvatteninträngning. Därför bedömdes alternativet med berggrundvatten som tveksamt.

En andra kampanj för att hitta berggrundvatten som dricksvatten inleddes 1999 av GEOSIGMA. En genomgång av befintligt material (bl a SGU:s Brunnsarkiv) och förslag till förundersökningar för bergborrad brunn gjordes i en förstudie /GEOSIGMA, januari 1999/. Som underlag till eventuell provborrning för grundvattenutvinning i berg i området invid vattenverket vid Forsmarks kraftverk sammanställdes tidigare arbeten och en detaljerad fjärranalys. Även nya VLF-profiler och lineamentstolkning utfördes och en karta över berggrundens svaghetszoner framtogs /GEOSIGMA, september 1999/.

På basis av denna studie borrades två (och ett avbrutet) borrhål i området i en VLF-indikerad zon i början av år 2000. I dessa hål gjordes spinner-mätningar och vattenprovtagningar. Resultaten visade att ur borrhålen kan tas ut ca 2–3 l/s (7 200–10 800 l/h) vardera. Det konstaterades dock dålig vattenkvalitet i båda hålen. I det ena hålet förekom speciellt hög kloridhalt och besvärande hårdhet samt höga järn- och manganhalter. Vattenkvaliteten i det andra hålet var betydligt bättre men visade stigande halt av klorid under provpumpningen. Provbörning föreslogs därför i en annan tolkad sprickzon med förmodad brant stupning i närheten av vattenverket /GEOSIGMA, 2000/.



En nytt borrhål borrades i en av de tolkade NV-löpande sprickzonerna i slutet av år 2000. Detta hål provpumpades under ca 11 dygn i början av år 2001 med ca 1 l/s. Vattenproverna visade att vattenkvaliteten var klart bättre än tidigare, sannolikt på grund av större djup till vattenförande sprickor, ca 50 m. Under pumpningen ökade dock kloridhalten till 140 mg/l och kan förväntas öka ytterligare vid längre tids uttag. Även andra parametrar, bland annat Na m fl visade ökande tendens. Även om detta vatten var av klart bättre kvalitet än tidigare kan det dock troligen ej användas utan avsaltning i vattenverket /GEOSIGMA, 2001/.

## 2 Äldre undersökningar

De äldre undersökningarna gjordes av SGU och Vattenfall under åren 1977–78. De utförda borrhningarna koncentrerades till de sprickzoner som tolkats väster om Gällsboträsket, ca 1 km S om vattenverket vid Forsmarks kraftstation, se figur 1 (topografisk karta) och figur 2 (registerkarta). Enligt ovan nämnda undersökningar domineras området av två korsande sprickzoner med riktning NV-SO respektive VNV-OSO. Området är flackt och ligger i huvudsak mellan 5 och 10 m över havsytan. Alla datauppgifter i kapitel 2 som redovisas nedan härrör från rapporten av /SGU, 1978/. Vidare referenser till vissa av dessa uppgifter saknas. Detta återspeglas i texten nedan.

### 2.1 Geologiska förhållanden

Berggrunden är täckt av lösa jordlager, i huvudsak morän och organiska jordar, varför bergblottningar är sällsynta. Mäktigheten av de lösa jordlagren uppgår till i genomsnitt 3–4 m, men mäktigheter upp till 14 m finns noterade i området.

Berggrunden inom Forsmarksområdet domineras av gnejsgranit med inlagrade gångar och massiv av andra bergarter. Bergarten uppvisar tre förhållandevis ältbildade spricksystem, två vertikala och ett horisontellt. Ett av de vertikala systemen sammanfaller till riktning och stupning med bergartens gnejsighet (NV-SO med svag stupning mot NO) med an det andra är ungefär vinkelrätt mot den förra. Det horisontella spricksystemet, bergartens bankning, är välutbildat i bergmassans övre del för att minska i betydelse med ökat djup. Sprickfrekvensen i det ytliga berget (till ca 10 m djup) är 3,2/m för att minska till 2,7 /m på 20–30 m djup.

De tre sprickgrupperna har mycket varierande sprickvidder. De båda vertikala grupperna har normalt sprickvidder som understiger 2 mm med något större öppenhet för gruppen i riktning NV-SO. Den horisontella gruppen uppvisar sprickvidder på upp till 500 mm. Dessa sprickor är normalt fyllda med ett lätteroderat finkornigt sediment (silt). Bergarten är tät i sig själv, varför möjligheterna att hitta vatten är knutna till tektoniska zoner i berget.

### 2.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattenytan inom området ligger ca 1–2 m under markytan, vilket motsvarar 5–7 meter över havet. En grundvattendelare är belägen öster om Labboträsket. Den naturliga grundvattenströmningen sker åt SO mot Gällsboträsket och åt NV mot Uddträsket. Gradienten för grundvattnet från grundvattendelaren mot Gällsboträsket uppgår till ca 3 promille, se figur 3. Den verkliga grundvattenbildningen i moräntäckta delar av området uppskattades till 100–125 mm/år vilket motsvarar 3–4 l/s per km<sup>2</sup>, baserat på antagandet att en stor del av den nyttiga nederbörden (nederbörd minus avdunstning) bildar grundvatten.

En genomgång av 40 st bergborrade brunnar inom Forsmark-Östhammarsområdet i /SGU:s Brunnsarkiv, 1978/ indikerade en medelkapacitet av ca 650 l/h (0,2 l/s). Risken för saltvatteninträngning i området är känd varför brunnarna måste placeras på tillräckligt avstånd från havet. Detta innebär i detta fall att brunnarna måste placeras i området mellan kraftstationen och Forsmarks bruk på ett tillräckligt avstånd från havet och på litet avstånd från vattenverket /SGU, 1978/.

## 2.3 Resultat av äldre undersökningar

### 2.3.1 Borrningar

Med ledning av resultaten från fältinventeringen och de geofysiska mätningarna valdes lägen för totalt 8 borrhål (Bh 1–8) med en total borrhållängd av ca 334 m. Allteftersom brunnarna färdigställdes kom resultaten att styra läget av de efterföljande, se figur 2. Jordborrningen gjordes med dimension 185 mm medan bergborrningen utfördes med både 115 och 165 mm. Tre av brunnarna (60–80 m djup) gav endast ringa vattenkvantiteter och därtill i vissa fall höga salthalter, se tabell 1 nedan. De övriga fem brunnarna gav stora vattenmängder och låga salthalter. Djupet på dessa brunnar understiger i regel 30 m. Borrhålen A1 och A2 samt rören B1 och B2 borrades i samband med provpumpning av Bh 6.

**Tabell 2-1. Sammanställning av borrhållsdata från de äldre undersökningarna. Från /SGU, 1978/.**

Borrhål	M.y. (m.ö.h.)	R.ö.k. (m.ö.h.)	Jord (m)	Berg (m)	Totalt (m)	Anmärkning
Bh 1	6,99	7,05	6	69	75	Ca 300 l/h, salt
Bh 2	6,63	6,69	5	16	21	Ca 6000 l/h på 10 m djup
Bh 3			4	76	80	Ca 100 l/h
Bh 4	6,78	6,89	4	29	33	5000 l/h på 7 m, sprickor på 17–23 m
Bh 5	7,00	7,28	4	20	24	Vatten på 8 m
Bh 6	7,48	7,58	4,5	16,5	21	Vatten på 11 m
Bh 7						”Torrt”
Bh 8		8,44	1	16	17	
A1	7,38	7,75	4,5	16,5	21	Obs. hål i berg Ø 76 mm
A2	7,26	8,07	4,5	16,5	21	D:o
B1	7,43	8,63	4	0	4	Obs. hål i jord Ø 25 mm
B2	7,36	8,42	4	0	4	D:o

För såväl Bh 1, Bh 3 och Bh 7 hade tidigare geofysiska mätningar entydigt indikerat svaghetszoner. För Bh 1 torde orsaken till den ringa vattenföringen vara att den penetrerade sprickzonen (troligen på ca 23 m enligt borrprotokollet i /SGU, 1978/) delvis var starkt leromvandlad. Borrkaxet från Bh 3 innehöll ett magnetiskt material, troligen magnetit, som tydligen påverkade slingram- och VLF-mätningarna. Däremot finns inga indikationer från borrhningen som skulle kunna förklara den låghastighetszon som tolkades från den seismiska undersökningen utan större delen av borrhningen gjordes i en mycket sprickfattig grönsten /SGU, 1978/.

Bh 6 antas ligga i en krosszon som har lokaliserats bl a med hjälp av seismiska undersökningar. Även Bh 2 och Bh 8 antas vara belägna i denna krosszon. Tabell 2-1 bekräftar att risken för salt vatten ökar med ökat borrhdjup.

*Författarens kommentarer:*

*Tabell 1 indikerar att vattnet i regel erhöles på de översta ca 5 m i berget vilket möjligen skulle kunna tyda på att dessa nivåer utgör horisontella ytliga bankningsplan och således ej motsvara mer eller mindre brantstående sprickzoner. Det kan anses oklart vad de geofysiska indikationerna från Slingram, VLF, seismik etc verkligen representerar i detta fall. Utgörs den antagna krosszonen i vilken Bh 2, Bh 4 och Bh 6 är belägen av sub-horisontella bankningsplan?*

### **2.3.2 Provpumpningar och uttagbara mängder**

Stegprovpumpningar utfördes i fem av borrhålen, Bh 2, Bh 4, Bh 5, Bh 6 och Bh 8. Resultaten visas i tabell 2-2 tillsammans med bedömda uttagmängder i de olika borrhålen. Dessutom gjordes provpumpningar i Bh 4 och Bh 6, främst för att studera vattenkvalitets förändring med tiden och för att bedöma uttagbara mängder. En kortare provpumpning gjordes även i Bh 8 för att kontrollera brunnens hydrauliska egenskaper. Resultaten av provpumpningen i Bh 6 visas i tabell 2-3.

Stegprovpumpningarna i Bh 2, Bh 5 och Bh 8 visar att avsänkningen ökar drastiskt vid en viss nivå i borrhålet. Detta har tolkats så, att ökningen i avsänkningstakten inträffar när grundvattennivån i borrhålet passerar och hamnar *under* en horisontell vattenförande spricka (bankningsplan). Den rekommenderade maximala avsänkningen för dessa borrhål ges i tabell 2-2. De bedömda uttagmängderna baserar sig på att den verkliga avsänkningen i hålet är mindre än denna. De angivna mängderna är klart högre än medelkapaciteten för 40 brunnar i området som diskuterades ovan (0,2 l/s eller 650 l/h). Det totala uttaget styrs dock av den aktuella grundvattenbildningen inom området som uppskattats till 4–5 l/s, se ovan. Korttidsprovpumpningarna i Bh 4 och Bh 6 visade ungefär samma T-värden som i tabell 2-2. De maximala avsänkningarna vid pumpstopp vid den senare pumpningen visas i tabell 2-3.

*Författarens kommentar: Flera av brunnarna, i synnerhet Bh 6, är sannolikt starkt påverkade av tillskott från ytvatten nära borrhålet, t ex från myrmark.*

**Tabell 2-2. Resultat av stegprovpumpningarna och bedömda uttagsmängder och rekommenderad maximal avsänkning i olika borrhål. T=transmissivitet, K=hydraulisk konduktivitet. Efter /SGU, 1978/.**

Borrhål	T (m <sup>2</sup> /s)	Vattenför. sektion (m)	K (m/s)	Uttagsmängd (l/h)	Max. avsänkn. (m)
Bh 2	2-5 · 10 <sup>-4</sup>	15	1-3 · 10 <sup>-5</sup>	2200-3600	2-3
Bh 4	1-2 · 10 <sup>-4</sup>	27	4-7 · 10 <sup>-6</sup>	5400-6800	18-20
Bh 5	1-3 · 10 <sup>-4</sup>	18	6-17 · 10 <sup>-6</sup>	2200-3200	5-6
Bh 6	4-6 · 10 <sup>-4</sup>	15	3-4 · 10 <sup>-5</sup>	18000-22000 *	>6
Bh 8	4-5 · 10 <sup>-4</sup>	14	3-4 · 10 <sup>-5</sup>	2200-3600	4-5

\* Troligen starkt påverkad av ytvatten-tillskott.

**Tabell 2-3. Data från pumphål och observationshål vid provpumpningen i Bh 6. Efter /SGU, 1978/.**

Borrhål	Avstånd från Bh 6 (m)	Djup (m)	G.v.y. (m.ö.h.)	Avsänkning (m)	Formation
Bh 6	0	21	7,40	6,51	Berg
Bh 2	575	21	5,70	0,26	Berg
Bh 4	620	21	6,14	0,19	berg
Bh 5	370	21	6,61	0,16	berg
A1	10	33	7,40	2,93	berg
A2	75	24	7,40	2,75	berg
B1	10	4	7,45	1,44	jord
B2	30	4	7,36	0,58	jord

Avsänkning skedde även i Bh 2, Bh 4 och Bh 5 efter ca 1 veckas pumpning. Detta visar att påverkan av pumpningen skedde på stora avstånd från pumphålet (ca 600 m). Bh 8 fanns ej vid provpumpningen. Tabell 2-3 visar att en avsevärd avsänkning även skedde i jordlagren (rör B1 och B2), vilket tyder på god hydraulisk kontakt mellan jord och berg.

### 2.3.3 Vattenkvalitet

I samband med främst stegprovpumpningarna togs vattenprover för fysikalisk-kemisk analys, se bilaga 1. Även vattnets bakterieinnehåll analyserades. Allmänt konstaterades att grundvattnet uppvisade följande brister i vattenkvalitet:

- Hög järn- och manganhalt.
- Tämligen hög totalhårdhet.
- I vissa fall tämligen hög ammoniumhalt.
- Markant lukt (svavelväte).
- Hög färgstyrka.
- Tämligen hög bakteriehalt.

Av bilaga 1 framgår att kloridhalten översteg den rekommenderade max. halten endast i Bh 4. Det kan dock bero på att vattenproverna i regel togs i samband med stegprovpumpningarna med kort pumptid (4 h). I Bh 4 och 6 togs prover efter längre tids pumpning. Som påpekats tidigare är troligen Bh 6 starkt påverkat av ytvatten.

Sammanfattningsvis kan sägas att vattnets fysikaliska och kemiska egenskaper är otillfredsställande för samtliga fem borrhål där vattenprover togs. Orsaken är att en direkt-infiltration av ytvatten (myrvatten) med dålig kvalitet äger rum vid uttag. De höga järn- och manganhalterna jämte ammoniumhalterna i kombination med låga nitrit- och nitrathalter tyder på att vattnet är syrefattigt. Även med hänsyn till totalantalet bakterier i Bh 6 och Bh 8 kan vattnet i dessa brunnar betecknas som mindre tjänligt.

### 2.3.4 Sammanfattning och rekommendationer

Det uppskattade totala uttaget från de aktuella borrhålen bedömdes till ca 3–4 l/s på basis av borrhålens kapacitet och grundvattenbildningen i området. Enligt /SGU, 1978/ gör vattnets dåliga kvalitet i kombination med risk för saltvatteninträning att alternativet grundvattenuttag från berggrunden i det aktuella området måste betraktas som en tveksam lösning. Andra alternativ bör starkt övervägas. *(Dessa slutsatser bekräftades av senare undersökningar som beskrivs nedan, författarens kommentar).*

## 3 Nya undersökningar

### 3.1 Förundersökning

Under år 1999 gjordes nya undersökningar, bl a VLF-mätningar i området strax söder om vattenverket vid Forsmarks kraftstation /GEOSIGMA, september 1999/. Ambitionen var att försöka hitta en annan lämplig sprickzon att hitta grundvatten i berg för dricksvattenförsörjning närmare vattenverket jämfört med tidigare undersökningar. En ny lineamentskarta togs fram genom att sammanställa tidigare utförda arbeten enligt nedan, se figur 4. Området vid Forsmarks kärnkraftverk har tidigare kartlagts i samband med byggnationen /se t ex Carlsson och Olsson, 1980/ och SFR samt vid SGU:s kartläggning av kartbladet Östhammar (SGU Af 167). Till detta kommer topografiska kartor och flygbilder.

Från VLF-mätningarna identifierades en N-S struktur strax söder om vattenverket, se figur 4. Den norra profilen gav en mycket kraftig VLF-indikation medan den mellersta gav en svag markering och den södra en god indikering. Detta bekräftar strukturens förekomst och en stupning av ca 60 grader åt V. VLF-mätningar utfördes även för att undersöka om någon korsande NO-SV orienterad struktur kunde indikeras. Ingen sådan struktur kunde dock påträffas.

Sammanfattningsvis bedömdes den ovan nämnda N-S, VLF-indikerade strukturen lämplig för brunnsborrning. Det rekommenderades att borra två hål i denna zon i östlig riktning för att penetrera strukturen på lämpligt djup. Med en lutning på 30 grader (från lodlinjen) antogs zonen penetreras på 40–70 m djup. På detta djup antogs vattenkvaliteten vara bättre än vid tidigare undersökningar (kapitel 2).

### 3.2 Borrning

Tre borrhål borrades i den ovan nämnda strukturen varav det första (BH1) övergavs på grund av att stora vattenmängder erhöles redan vid ett djup av 5,5–7 m och av vattenkvalitetsskäl /GEOSIGMA, 2000/. Ett nytt borrhål (BH1A) ansattes därför några meter ifrån det första med en foderrörlängd av 9 m. Efter gjutning av foderröret borrades torrt till 22 m där vatten påträffades första gången. Ytterligare ett borrhål (BH2) borrades ca 50 m norr om det första borrhålet. Vid borrningen var berget mycket uppsprucket med många ”slag” längs borrhålet. Borrningen avbröts vid 40 m eftersom stora vattenmängder hade erhållits. Borrhålens ungefärliga lägen framgår av figur 4.

Borrhålen benämns fortsättningsvis BH1, BH1A och BH2. Det första borrhålet borrades med ODEX-borrning (165 mm) medan det två andra borrades med NOEX (ringborrkrona) 165 mm för att man skulle kunna sätta foderrör till större djup för att avskärma ytligt vatten. Borrhålsuppgifter framgår av nedanstående tabell 3-1.

**Tabell 3-1. Data för de tre nya borrhålen /GEOSIGMA, 2000/.**

Borrhål	Längd (m)	Djup (m)	Riktning (°)	Stupning (° från lod)	Foderrörslängd (m)	Längd till berg (m)
BH1	10	8,7	105	30	4,5	1,5
BH1A	52	45	105	30	9	1,5
BH2	40	31	100	40	12	ca 5

### **3.3 Provpumpning, flödesloggning och vattenanalys**

Den kapacitetsskattning som borrharen gjorde, tydde på mycket höga momentana kapaciteter i alla tre borrhålen. Dock visade de prov som borrharen tagit att salthalterna var höga i både BH1A och BH2 (inget prov togs i BH1). För att utröna om det var möjligt att avskärma saltvattnet och ändå erhålla tillräckliga vattenmängder bestämdes att man skulle göra en flödesloggning kombinerad med vattenprovtagning på olika nivåer. Genom att vikta erhållna koncentrationer av kemiska ämnen kan man då beräkna koncentrationer och flöden vid olika inflödesställen (längdavsnitt) i borrhålet. Nedan följer en kort redogörelse för resultaten av mätningarna i de tre borrhålen.

#### **BH1**

Borrhålet pumpades i ca 35 minuter innan ett vattenprov togs. Analysen visar på ytvattenpåverkan, främst genom hög kemisk syreförbrukning (CODMn) och högt färgtal. Det höga COD-värdet indikerar hög halt av organiskt material vilket i sin tur kan innebära mikrobiologisk förorening eller att mikrobiologisk aktivitet gynnas i distributionsanläggningen.

#### **BH1A**

Flödet var i stort sett oförändrat ner till 18 m och lika med den totalt utpumpade vattenmängden vilket betyder att inga tillflöden finns ner till detta djup. Mellan 18 och 22,5 m tillkommer ca 22 % och mellan 22,5 och 32 m ca 27 % av det totala flödet. Resterande ca 50 % av flödet kommer från större djup än 30 meter. Flödesförändringarna och de stora problemen med att sänka sonden i intervallet ca 20–30 m tyder på en större sprickzon i detta intervall.

Vattnet har höga halter av flera ämnen och halterna ökar mot djupet, se tabell 3-2. Jonsammansättningen tyder på ett relik saltvatten. Beräkningen visar att även om man skärmar av nedre delen av borrhålet, under 30 meter, så erhålls höga halter av flera ämnen. Salthalten (Cl) är fortfarande över smakgränsen (300 mg/l), järn- och manganhalterna relativt höga och halten av Ca+Mg motsvarar en hårdhet av ca 20 °dH (dvs ett mycket hårt vatten).



**Tabell 3-2. Resultat av kemisk analys av provtaget vatten från BH1A samt beräknade koncentrationer för vatten mellan 18 och 35 meter. Koncentrationer i mg/l.**

	10 m	30 m	35 m	18-30 m (beräknat)
Ca+Mg	230	290	670	170
Ca	159	204	455	114
Mg	43	54	128	32
Na	536	663	1260	409
K	12	13	25	11
Fe	0,74	0,88	3,03	0,60
Mn	0,35	0,4	0,8	0,30
Al	0,25	0,29	2,79	0,21
F	1,2	1,9	0,69	0,50
Cl	1040	1500	3600	580
SO4	140	190	280	90

## BH2

Tabell 3-3 visar att salthalten ökar med tiden och kloridhalten i det sist tagna provet överskrider smakgränsen (300 mg/l). Även här tyder jonsammansställningen på påverkan av ett relik saltvatten. COD-halt och färgtal minskar med tiden vilket visar på minskande halt av organiska ämnen och i det sista provet är COD-halten klart godkänd. Även järn- och manganhalterna avtar efterhand.

**Tabell 3-3. Kemisk analys av vattenprover tagna efter olika lång pumptid i BH2.**

	15 min	105 min	147 min	Enhet
COD (Mn)	10	8,5	<1,0	mg/l
Färgtal	70	55	40	
Ca+Mg	93	86	86	mg/l
Hårdhet	13	12	12	°dH
Ca	77	65	63	mg/l
Mg	10	13	14	mg/l
Na	125	203	218	mg/l
K	6	5,9	6,1	mg/l
Fe	7,55	0,75	0,49	mg/l
Mn	0,12	0,09	0,09	mg/l
Al	2,88	0,57	0,29	mg/l
F	1	0,57	1,3	mg/l
Cl	130	260	370	mg/l
SO4	34	65	70	mg/l

### 3.4 Skattning av hydrauliska parametrar

Grundvattennivåer före provpumpning (m.u.m.y.) samt använda kapaciteter och resulterande avsänkningar vid provpumpningarna i BH1A och BH2 redovisas i tabell 3-4.

**Tabell 3-4. Ursprungliga grundvattennivåer samt kapacitet (Q), avsänkning (s) och specifik kapacitet (Q/s) vid provpumpning i BH1A och BH2 samt beräknad transmissivitet (T) och hydraulisk konduktivitet för respektive borrhål.**

Borrhål	G.v.y. (m)	Q (l/h)	s (m)	Q/s (m <sup>2</sup> /s)	T (m <sup>2</sup> /s)	L (m)	K (m/s)
BH1A	1,44	2520	1,92	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	50,6	$4,0 \cdot 10^{-6}$
BH2	2,53	2550	0,82	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	37,5	$5,9 \cdot 10^{-6}$

Provpumpningen i BH2 indikerar att ett mindre grundvattenmagasin snabbt töms i början av provpumpningen men avsänkingsförloppet övergår sedan i ett liknande förlopp som i BH1A. Grundvattenkemin tyder på att det är ett ytligt magasin som töms i början. De beräknade parametrarna i borrhålen representerar troligen det uppspruckna ytberget ned till ca 50 m innehållande både subhorisontella och subvertikala sprickor.

*Författarens kommentarer: Storleken på de beräknade hydrauliska parametrarna tyder på även dessa borrhål påverkas av ytvattentillskott i ganska hög grad men dock troligen i mindre grad än borrhålen i de äldre undersökningarna.*

### 3.5 Slutsatser och rekommendationer

Resultaten från borrhållningarna och provpumpningarna visar att de testade borrhålen har tämligen stor vattenförande kapacitet, med bedömda uttag på minst 2–3 l/s (3 600–7 200 l/h) i vardera borrhål. Däremot konstateras problem med vattenkvaliteten i båda borrhålen, speciellt i BH1A med mycket höga halter klorid men även besvärande hårdhet samt höga järn- och manganhalter. Kvaliteten i BH2 är betydligt bättre. Dock erhöles under provpumpningen en stigande trend i kloridhalten, där nivåerna är sådana att ej heller detta vatten kan användas utan avsaltning i vattenverket.

Med ledning av resultaten i denna undersökning samt tidigare utredningar, rekommenderades nedanstående alternativ till fortsatt arbete med Forsmarks dricksvattenförsörjning /GEOSIGMA, 2000/:

- *Ytterligare provborrning.* Det tycks finnas goda uttagsmöjligheter i området, med avseende på kvantitet, och det är relativt väl dokumenterat att kloridhalter kan variera avsevärt från en sprickzon till en näraliggande. Det kan t ex vara så att det naturliga flödet i vissa sprickzoner är större och på så sätt har gammalt saltvatten hunnit ”sköljas ut”. Vi föreslår att man borrar i en närliggande NV-gående sprickzon, i närheten av de borrhål som nu gjorts. Tre alternativa strukturer finns att tillgå (se figur 4). Dessa har visserligen inte gett utslag i VLF-mätningarna på de ställen där de korsats men det finns misstanke om att området är ogynnsamt för VLF-mätningar på grund av förekomsten av horisontella bankningsplan nära markytan.

- Ett annat alternativ skulle vara att borra i den mäktiga och väl dokumenterade NV-gående sprickzonen som löper strax norr om bruksdammen. Möjligheterna att finna bra vatten i stor mängd i denna zon bör vara goda, men detta måste naturligtvis vägas mot att det krävs en lång ledningsdragning.

### 3.6 Kompletterande borrning

Lägena för de ovanstående två hålen hade valts främst utifrån tydliga geologiska och geofysiska indikationer. För att gå vidare med ytterligare provborrning gavs hög prioritet till att våtmarker ej skall finnas i nära anslutning till borrhålet, utan istället att man bör sträva efter en något högre belägen borrhålsplats med mer ”normal” skogsterräng. Utifrån detta utsågs ett borrhålsläge i nära anslutning till vattenverket, BH3 i figur 4. Målet för borrningen var en uthållig och tydlig zon i SO-NV riktning.

*Författarens kommentar: Det bör observeras att denna zon ej kunde verifieras vid de tidigare VLF-mätningarna, se ovan.*

Zonen är nästan vertikalt stupande, den bedöms avvika ca 10 grader från lodlinjen. Den återfinns tydligt på ett flertal platser, framförallt längre söderut i terrängen.

#### 3.6.1 Resultat

Borrningen utfördes 2000-10-25 som ett gradat borrhål, ca 30 grader från lodlinjen, avsett att penetrerar den sökta sprickzonen på ca 50 m vertikaldjup, se tabell 3-5. Resultaten från borrningen kan sammanfattas med att borrhålet i stort sett borrhådes torrt ned till ca 50 m där vattenförande sprickor påträffades. Totala borrhålslängden var 61 m. Borraren uppskattade vattenmängden till ca 7 200 l/h.

**Tabell 3-5. Data för BH 3 /GEOSIGMA, 2000/.**

Borrhål	Längd (m)	Djup (m)	Riktning (°)	Stupning (° från lod)	Foderrörslängd (m)	Längd till berg (m)
BH3	61	53	ca 45	30	3	1,5

En stegprovspumpning i borrhålet utfördes under november 2000. Borrhålet provpumpades i början av 2001 med ca 1 l/s under ca 11 dygn, se tabell 3-6. Den totala avsänkningen i hålet var drygt 20 m. Beräknade hydrauliska parametrar för borrhålet redovisas tillsammans med övriga data i nedanstående tabell. Provpumpningen indikerade att vattenkvaliteten var bra i början men försämrades under pumpningen, se figur 5. Provpumpningarna indikerar att ett uttag av åtminstone 1–1,5 l/s (3 600–5 400 l/h) är möjligt ur borrhålet.

**Tabell 3-6. Kapacitetsuppgifter för BH 3 /GEOSIGMA, 2001/.**

Borrhål	G.v.y. (m)	Q (l/h)	s (m)	Q/s (m <sup>2</sup> /s)	T (m <sup>2</sup> /s)	L (m)	K (m/s)
BH3	4,87	3 600	ca 20	ca 5 · 10 <sup>-5</sup>	5,7 · 10 <sup>-5</sup>	ca 56	1,0 · 10 <sup>-6</sup>

### 3.6.2 Slutsatser

Resultaten från undersökningarna i detta borrhål kan i stort sett sammanfattas med:

- tämliga goda uttagsmöjligheter med avseende på vattenmängd
- tämligen god vattenkvalitet, förutom alltför höga salthalter

Det sistnämnda beror på inblandning av djupare liggande salint vatten, sannolikt av relativt gammalt ursprung (s k relik saltvatten). Trots höga salthalter görs här bedömningen att de förhållanden som råder i detta borrhål är så gynnsamma som man kan förvänta sig i detta område. Med ledning av detta görs här följande rekommendationer:

- Det är förmodligen ej lönsamt att försöka hitta andra borrlägen i terrängen utan att avståndet till vattenverket blir stort. Vattenkvaliteten i det borrläge som nu undersökts är sannolikt så bra man kan förvänta sig inom vattenverkets närområde.

För att använda vattnet från det nu undersökta borrhålet kommer det sannolikt att krävas att man installerar avsaltningsanordning i vattenverket. Det krävs också 1–2 nya borrhål för att nå de önskade vattenmängderna på 2–3 l/s /GEOSIGMA, 2001/.

## 4 Erfarenheter från undersökningarna

Vissa svårigheter vid prospektering efter grundvatten i berg i det aktuella området vid Forsmark har konstaterats. Dessutom har vissa problem med tolkning av geofysiska mätningar uppmärksammats. Erfarenheterna från de tidigare och nya undersökningarna sammanfattas nedan:

- Tämmligen goda uttagsmöjligheter av berggrundvatten *med avseende på vattenmängd* i området. Dock kan uttaget ibland begränsas av att vattennivån i borrhålet ofta sjunker drastigt då vattennivån sänks *under* vattenförande subhorisontella sprickor i borrhålet, vilka är vanligt förekommande i området, jämför /Carlsson och Olsson, 1980/. Detta förhållande beskrivs vid de tidigare undersökningarna.
- Problem med vattenkvaliteten vid uttag från den övre delen av berget. Detta beror på att ytligt vatten (myrvatten etc) ofta påverkar grundvattenuttag från det ytliga berget, t ex vid ytliga horisontella bankningsprickor. Detta förhållande rådde sannolikt både vid de äldre undersökningarna och för BH1A och BH2 vid de nya.
- Vid uttag från djupare belägna (subvertikala) sprickzoner är ökad salthalt ett problem, jämför BH3, sannolikt härrörande från djupare beläget, relict vatten.
- Problem med att tolka informationen från geofysiska mätningar, t ex VLF-mätningar. Det gick t ex inte att belägga den senaste påbörjade vattenförande sprickzonen i NV-SO med BH3 från VLF-mätningar. Möjligen kan förekommande horisontella bankningsplan skärma av och dölja djupare liggande geofysiska anomalier från t ex sub-vertikala sprickzoner. Även tolkningen av de seismiska mätningarna vid de äldre undersökningarna kan anses vara osäker (*författarens kommentar*).

## 5 Referenser

**Carlsson A och Olsson T, 1980.** Ingenjörsgelogiska undersökningar vid Forsmarks kraftstation. Särtryck från Finska Bergmekanikdagen 1980. Papers of the Engineering-Geological Society of Finland. Vol. 14. Swedish State Power Board. Civil Engineering Development.

**GEOSIGMA Januari, 1999.** s 71.

**GEOSIGMA AB, 1999.** Skydd för ytvattentäkt vid Forsmark samt förundersökning för utvinning av grundvatten för dricksvattenförsörjning, September 1999. GRAP:99068, Uppsala.

**GEOSIGMA AB, 2000.** Provboring för dricksvattentäkt i berg vid Forsmarksverken, Juni 2000. GRAP:00011, Uppsala.

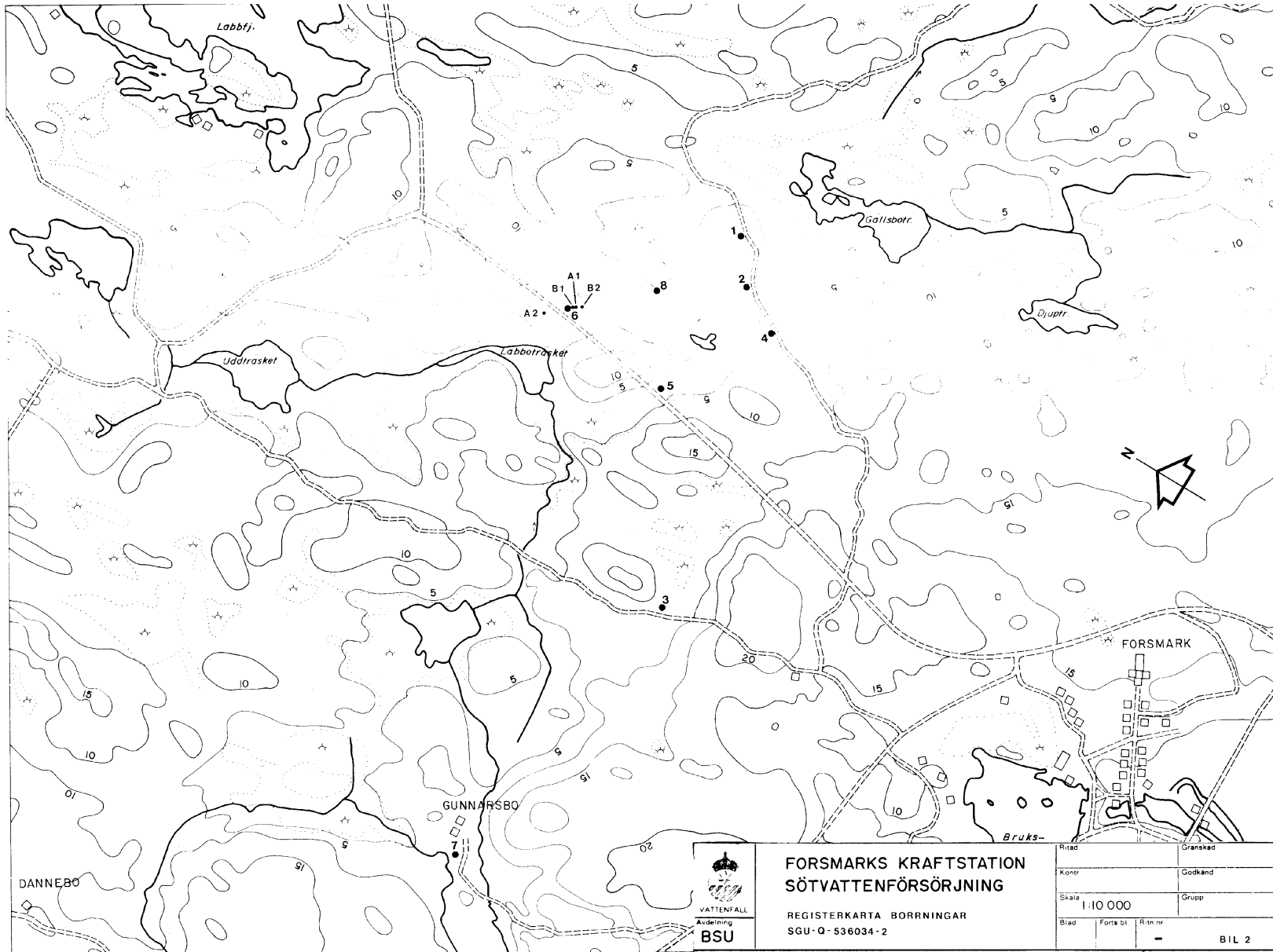
**GEOSIGMA AB, 2001.** Utvärdering av vattenprovtagning under februari 2001 för dricksvattentäkt i berg vid Forsmarks kärnkraftverk, Mars 2001. GRAP:01019, Uppsala.

**SGU, 1978.** Forsmarks Kraftstation. Sötvattenförsörjning genom grundvattenuttag i berg. Rapport utarbetad på uppdrag av Statens Vattenfallsverk, juli 1978, Uppsala.

**SGU:s Brunnsarkiv, 1978.** s 73.

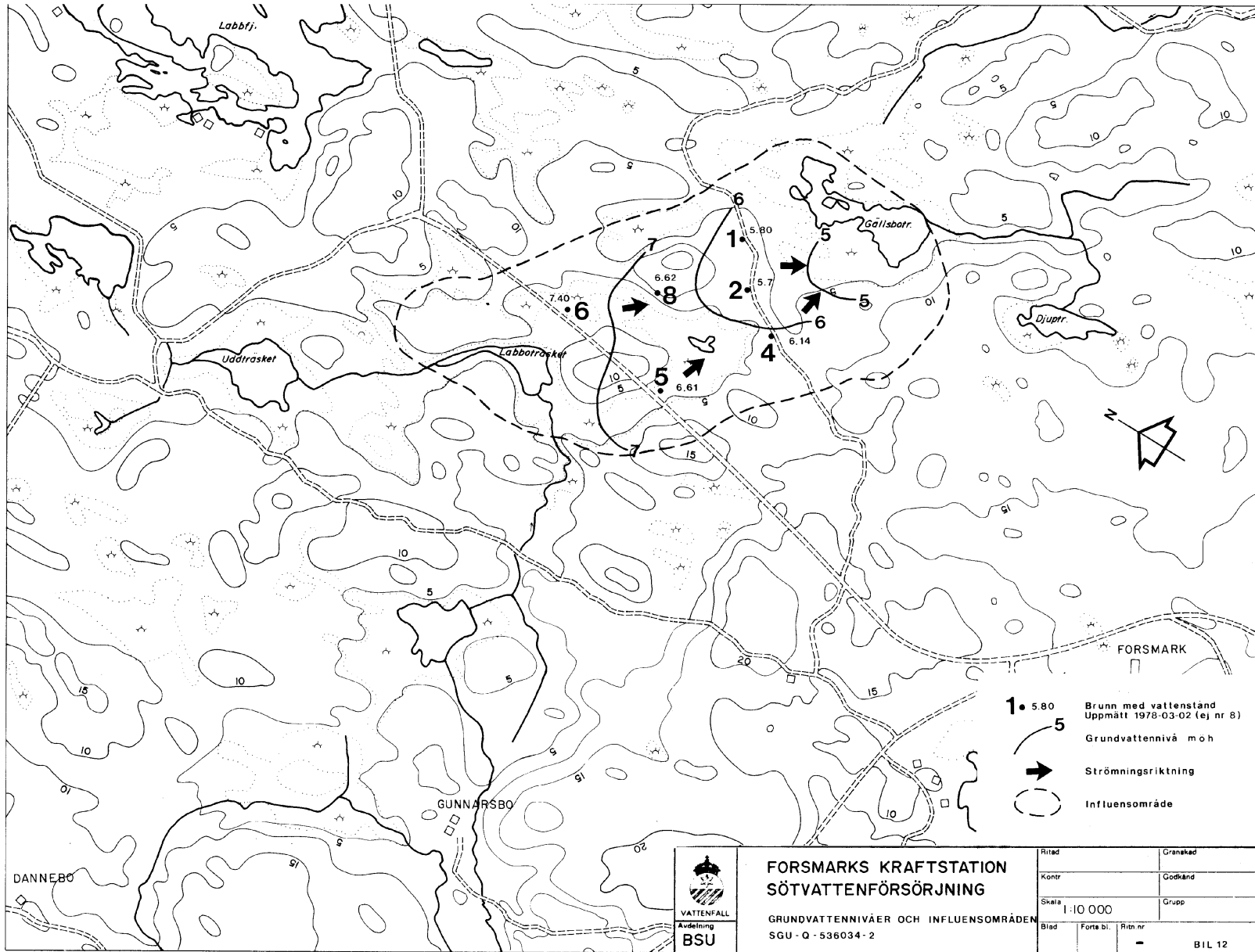


Figur 1. Översiktskarta över Forsmarksområdet.

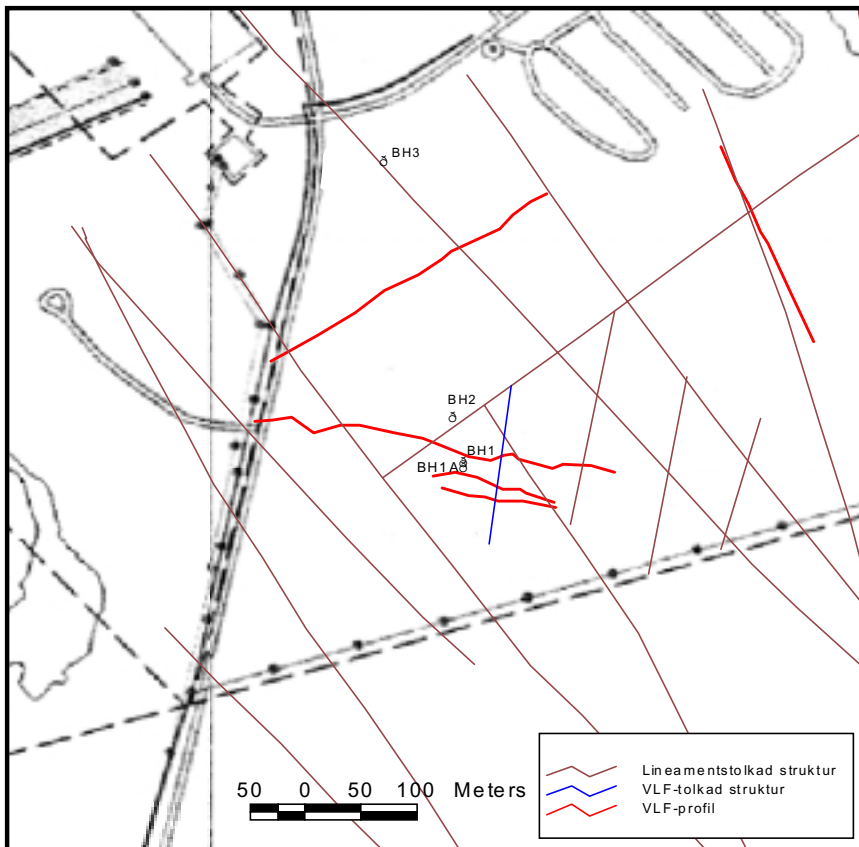


Figur 2. Registerkarta över borrningar vid de äldre undersökningarna. Från /SGU, 1978/.

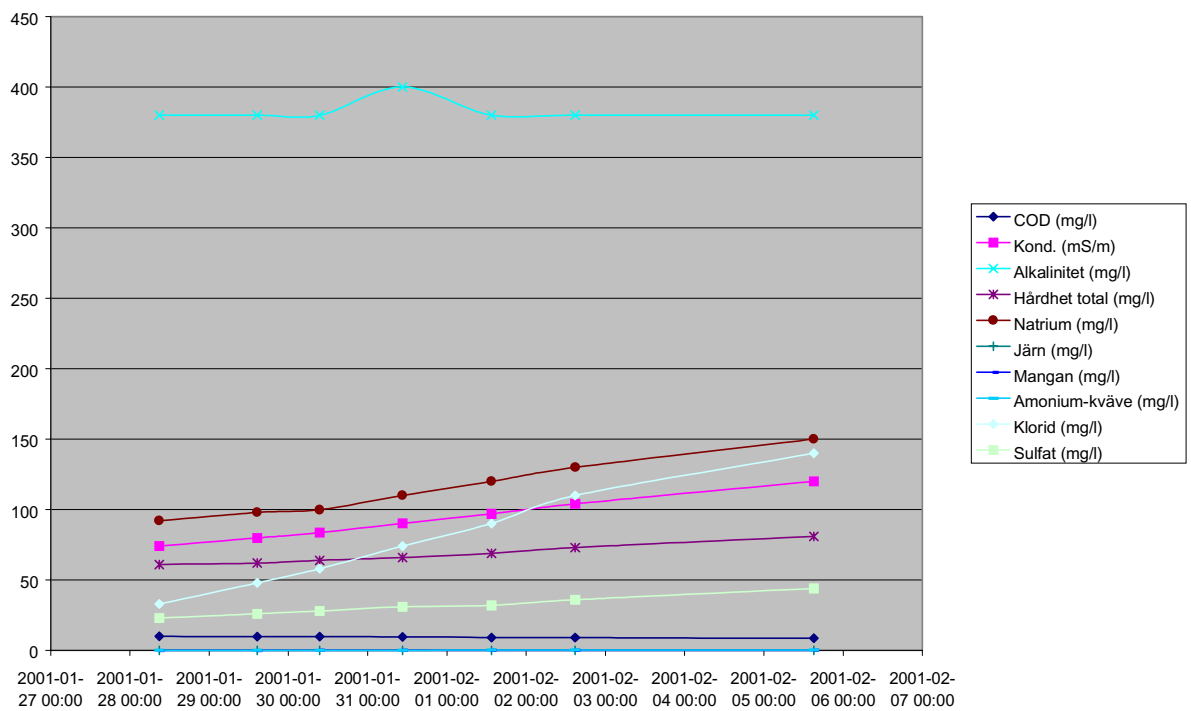




Figur 3. Grundvattennivåer och influensområden vid de äldre undersökningarna. Från /SGU, 1978/.



**Figur 4.** Lineamentstolkade strukturer och VLF-indikerad struktur samt profiler längs vilka VLF-mätningar företagits. Från /GEOSIGMA, 2000/.



**Figur 5.** Förändring av vattenkvaliteten i BH3 under propumpningen. Från /GEOSIGMA, 2001/.

