

**R-00-12**

## **Förstudie Hultsfred**

### **Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar**

Carl-Lennart Axelsson, Sven Follin, Malin Årebäck  
Martin Stigsson, Frida Isgren  
Golder Grundteknik

Gunnar Jacks  
Institutionen för Anläggning och Miljö, KTH

Mars 2000

**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



# **Förstudie Hultsfred**

## **Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar**

Carl-Lennart Axelsson, Sven Follin, Malin Årebäck  
Martin Stigsson, Frida Isgren  
Golder Grundteknik

Gunnar Jacks  
Institutionen för Anläggning och Miljö, KTH

Mars 2000

# Sammanfattning

I föreliggande studie sammanställs och utvärderas tillgänglig information om grundvattenförhållandena i Hultsfreds kommun. Faktorer som behandlas är grundvattnets rörelse och kemiska sammansättning, samt möjliga förändringar av grundvattenförhållandena på lång sikt. Syftet är att med detta som grund göra bedömningar av kommunens lämplighet för ett djupförvar, med avseende på nämnda faktorer.

Huvudslutsatsen är att inget tyder på att grundvattenförhållandena i kommunen skulle vara olämpliga för ett djupförvar, om detta förläggs till bergmassan mellan större sprickzoner. Den tillgängliga informationen om grundvattnet ger inte underlag för att särskilt förorda eller utesluta någon del av kommunen. Dessa slutsatser är med nödvändighet preliminära. För att kunna utvärdera grundvattenförhållandenas betydelse för ett djupförvars säkerhet krävs detaljerade uppgifter om berggrunden mot djupet på den tänkta förläggningsplatsen, något som kan fås först efter omfattande borrhålsundersökningar.

Data om vattenföringen i bergborrade brunnar i Hultsfreds kommun visar på genomsnittsvärden som bedöms vara normala för svenskt urberg. Vidare görs bedömningen att spridningen i beräknad vattengenomsläpplighet inom en och samma bergart är betydligt större än skillnaderna mellan olika bergarter, vilket även noterats i andra delar av landet. Då djupa borrhål saknas i Hultsfreds kommun finns inte några data om berggrunden och grundvattnet på större djup. För att i någon mån kompensera denna brist har data hämtats från Klipperåsområdet ca 45 km söder om Hultsfreds kommun, där SKB tidigare låtit utföra omfattande mark- och berggrundsundersökningar. Beräknade värden från bergborrade brunnar i Hultsfreds kommun och från djupa borrhål i Klipperås tyder inte på att vattengenomsläppligheten ändras med djupet för borrhål under ca 60-100 m.

Berggrundvattnets kemiska sammansättning har betydelse för beständigheten hos de tekniska barriärer (kopparkapsel och bentonitbuffert) som ska omge avfallet i djupförvaret. Sammansättningen hos berggrundvattnet i Hultsfreds kommun bedöms inte vara ogynnsam i detta avseende. Syrehalterna i berggrundvattnet på planerat förvarsdjup bedöms vara låga, och salthalterna torde inte överstiga de för marint vatten (havsvatten).

I ett längre tidsperspektiv är det framför allt tre faktorer som generellt kan förväntas påverka grundvattnets omsättning och kemiska sammansättning. Dessa är strandförskjutning, växthuseffekt och långvarig klimatförsämring med nedisningar. Strandförskjutningen bedöms inte ha någon påverkan i Hultsfreds kommun då större delen av kommunen ligger över högsta kustlinjen. Effekterna av en temperaturhöjning genom ackumulation av växthusgaser är mycket osäkra för Skandinavien. Man kan tänka sig att klimatet blir varmare och mera nederbördsrikt, men även att det blir kallare och går mot en nedisning. I båda fallen finns det en övertygande sannolikhet för att övergången till kemiskt reducerande förhållanden i berggrundvattnet förskjuts närmare ytan. Eftersom reducerande förhållanden är ett krav för djupförvarets långsiktiga funktion bedöms en sådan utveckling vara gynnsam.

# Innehållsförteckning

## Sammanfattning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund och syfte	1
1.2	Grundvattnets betydelse för djupförvaret	1
1.3	Avgränsningar	1
1.4	Bakgrundsmaterial	2
<b>2</b>	<b>Geologisk översikt</b>	<b>7</b>
2.1	Bergarter och jordarter	7
<b>3</b>	<b>Landskapsutveckling efter den senaste istiden</b>	<b>11</b>
3.1	Högsta kustlinjen	11
3.2	Hultsfreds kommun	15
3.3	Klipperåsområdet	15
<b>4</b>	<b>Grundvattnets rörelse</b>	<b>19</b>
4.1	Vattnets kretslopp	19
4.2	Vattenbalans	19
4.3	Grundvattenomsättning och uppehållstid	26
<b>5</b>	<b>Berggrundens vattengenomsläpplighet</b>	<b>31</b>
5.1	Inledning	31
5.2	Hydraulisk konduktivitet i sprickigt berg	31
5.3	SKB:s undersökningar	34
5.4	SGU:s brunnarkiv	34
5.5	Definition av K-värde från brunnldata	37
5.6	Analys av data	38
<b>6</b>	<b>Grundvattnets kemi</b>	<b>45</b>
6.1	Inledning	45
6.2	Underlag	45
6.3	Processer som påverkar grundvattnets sammansättning	46
6.4	Viktiga parametrar	47

6.5	Resultat	52
6.5.1	Parameteröversikt	52
6.5.2	Geografisk variation	54
6.5.3	Klipperåsområdet	57
6.5.4	Djupberoende	57
6.5.5	Jämförelse mellan Klipperåsområdet och andra djupa undersökningar	63
<b>7</b>	<b>Långsiktiga förändringar</b>	<b>65</b>
7.1	Faktorer som kan påverka utvecklingen	65
7.2	Förväntade effekter i ett 1 000-års perspektiv	65
<b>8</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>Referenser</b>	<b>69</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund och syfte

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) genomför för närvarande en förstudie i Hultheds kommun. Förstudiens huvudsyfte är att utvärdera förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle till kommunen. Vidare skall förstudien belysa de konsekvenser som en sådan lokalisering skulle kunna få för kommunen.

I föreliggande studie görs bedömningar av lämpligheten för ett djupförvar i kommunen med avseende på grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. Syftet är att beskriva grundvattnets omsättning och utreda om det finns anledning att särskilt undvika eller förorda delar av Hultheds kommun för vidare undersökningar ur denna aspekt.

## 1.2 Grundvattnets betydelse för djupförvaret

Berggrunden i Hultheds kommun utgörs av urberg. Urberg är föga vattengenomsläppligt i jämförelse med sedimentärt berg och lösa jordlager med sand och grus. Grundvatten i urberg (berggrundvatten) uppträder i öppna sprickor som står i kontakt med varandra (vattenförande sprickor). I hydrogeologiska sammanhang brukar man skilja på sprickzoner och bergmassa. Bergmassan innehåller också sprickor, men de är mindre frekventa än i sprickzonerna.

Om de tekniska barriärerna som omgärdar ett djupförvar förstörs kan strömningen i de vattenförande sprickorna vara av betydelse för säkerheten. Gynnsamma strömningsförhållanden för ett djupförvar råder i allmänhet på djupet i flack terräng och relativt homogen (enhetlig) berggrund. Större vattenförande sprickzoner bör ej förekomma i förvarets omedelbara närhet utan detta bör vara förlagt i mellanliggande bergmassor där vattengenomsläppligheten är lägre. Berggrundvattnets kemi kan ha betydelse för de tekniska barriärernas beständighet i ett längre tidsperspektiv. Gynnsamma kemiska förhållanden råder om berggrundvattnets syrehalt är låg (låg redoxpotential) och salthalterna inte väsentligt överstiger de för havsvatten.

## 1.3 Avgränsningar

Förstudien grundar sig på befintlig kunskap och bakgrundsmaterial. Bedömningarna i denna studie är med nödvändighet preliminära eftersom underlaget inte är fullständigt. En säkerhetsanalys av ett tänkbart läge för ett djupförvar kräver detaljerade uppgifter

om berggrunden ned till försvarsdjup och flera hundra meter därunder, något som kan erhållas först efter omfattande undersökningar.

## 1.4 Bakgrundsmaterial

I en förstudie görs ett omfattande geovetenskapligt utredningsarbete. Befintligt underlag ställs samman och analyseras med avseende på faktorer som har betydelse för lokaliseringförutsättningarna. Underlaget hämtas från en rad källor, däribland geologiska kartor, geofysiska mätningar, hydrauliska mätningar och bergundersökningar som gjorts i olika sammanhang.

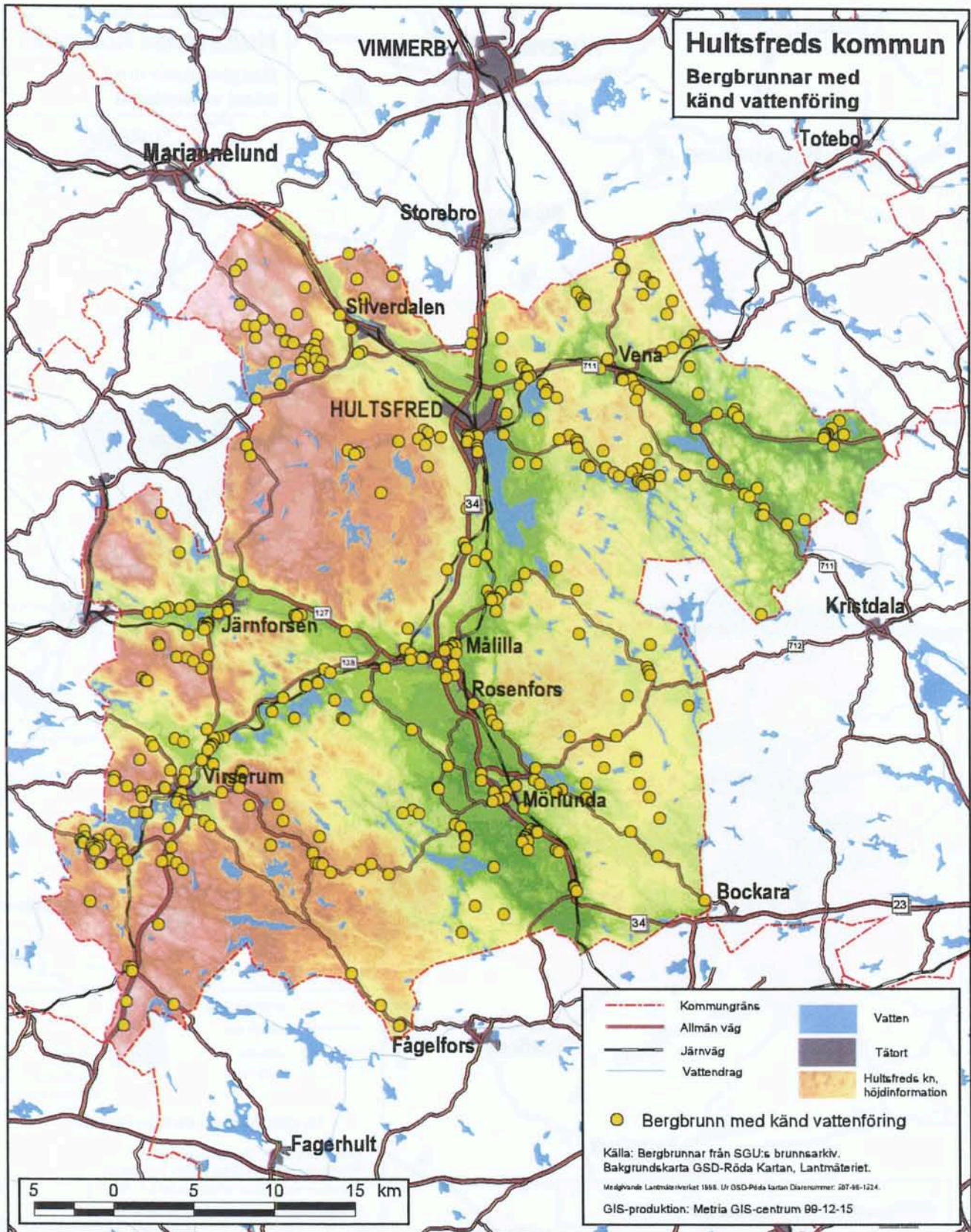
Inom Hultsfreds kommun har geovetenskapliga studier genomförts som är av betydelse för denna studie. Exempelvis har Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) kartlagt jordlager-, berg- och grundvattenförhållandena inom delar av kommunen. Vid SGU:s brunnsarkiv finns uppgifter om grundvattnets egenskaper i grunda bergbrunnar (10-200 m) i kommunen (figur 1-1 och figur 1-2).

Hultsfreds kommun saknar djupa borrhål. Därmed finns inte heller några data om grundvattnet på större djup. För att i någon mån kompensera denna brist har vissa data hämtats från Klipperåsområdet ca 45 km söder om Hultsfreds kommun, där SKB tidigare låtit utföra omfattande mark- och berggrundsundersökningar (figur 1-3 och figur 1-4). Undersökningarna i Klipperås ingick i SKB:s typområdesprogram, som syftade till att ta fram bakgrundskunskap om svenskt urberg. Studierna genomfördes under åren 1984-85 och innefattar bl a borrhåringar till ca 950 m. Data och resultat finns tillgängliga i en mängd rapporter och vetenskapliga publikationer av olika slag. En översiktlig presentation har redovisats av Ahlbom m fl /1992/.

Data från djupa borrhål finns även från de undersökningar som utförts vid och i anslutning till SKB:s berglaboratorium på Äspö i Oskarshamns kommun. Det är dock tveksamt om de har generell giltighet i andra områden. Berggrunden på Äspö kännetecknas av en relativt hög frekvens av sprickzoner och komplex geologi. Vilken lokal inverkan detta har på grundvattenförhållandena är en fråga som utreds för närvarande, och därför har dessa data inte använts i denna utredning.

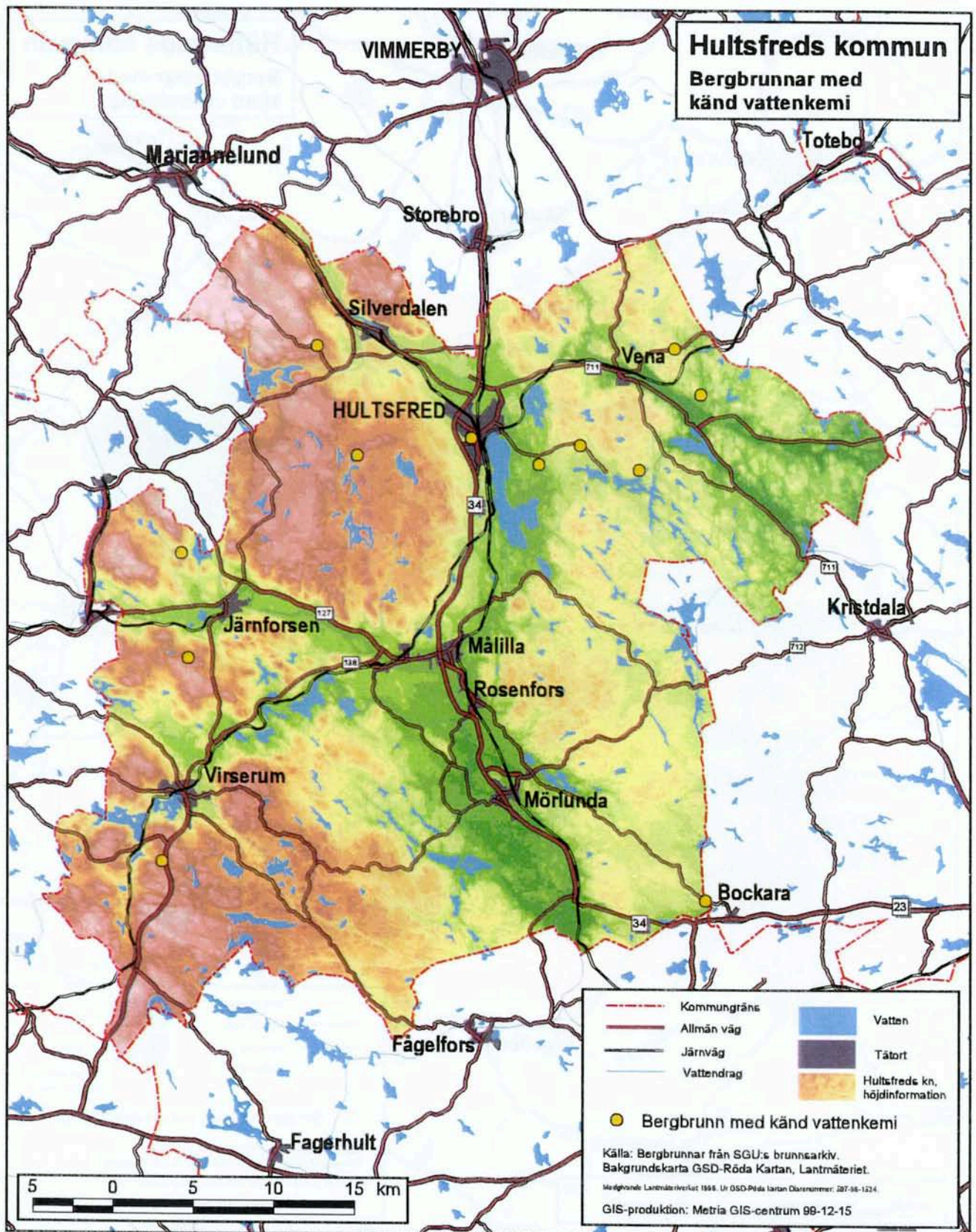
Tillsammans med den information som finns att tillgå vid Lantmäteriverket (LMV) och Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) utgör ovanstående studier och uppgifter huvuddelen av bakgrundsmaterialet för föreliggande studie. Den digitala bearbetning av bakgrundsmaterialet som erfordrats för att ta fram olika bilder i studien har utförts av GIS-centrum (Metria) i Stockholm, GeoVista AB i Luleå samt SGU i Uppsala.





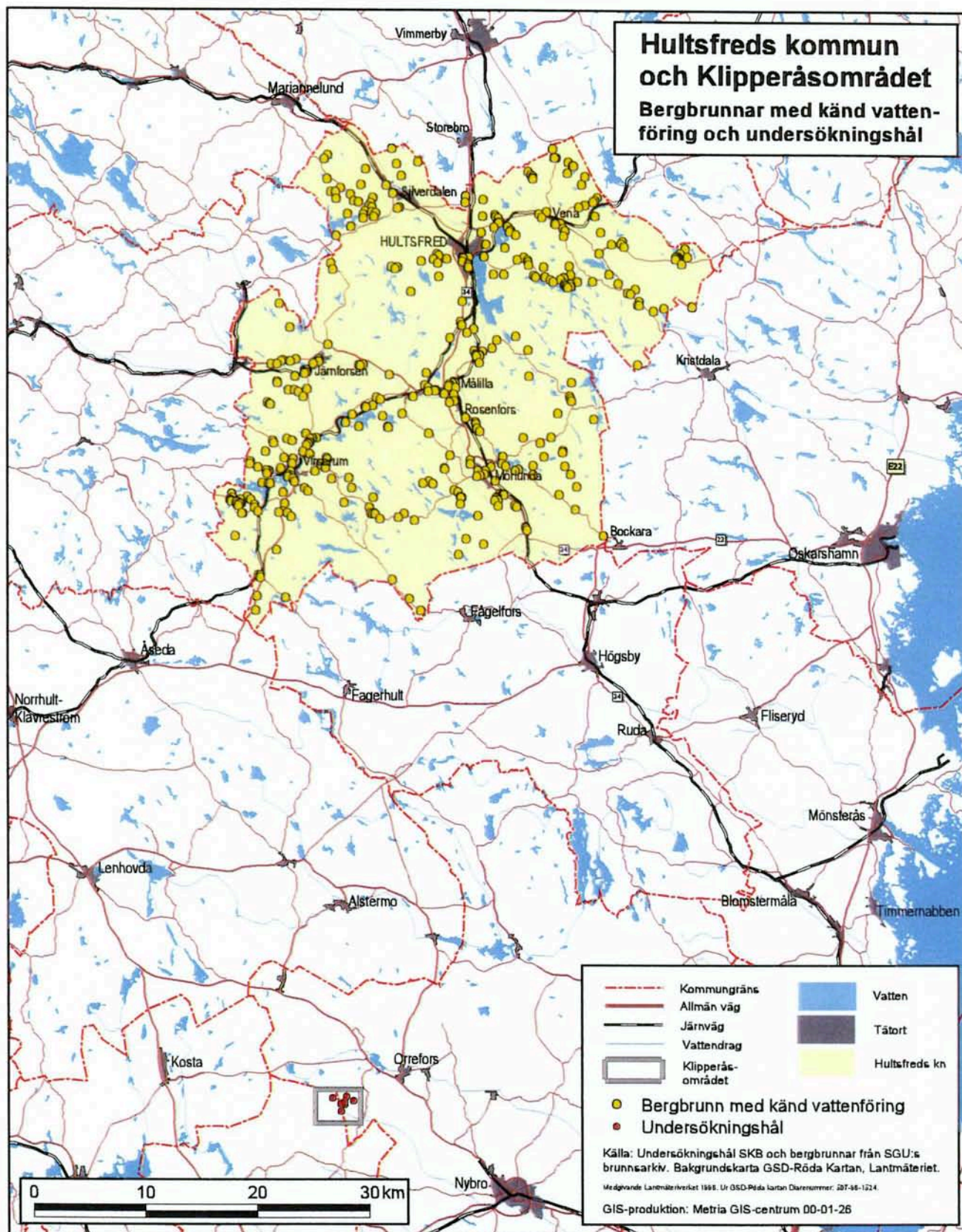
*Figur 1-1 Bergbrunnar i Hultsfreds kommun med känd vattenföring (480 st) enligt SGU:s brunnarsarkiv. Endast brunnar med en borrlängd i berg på minst 10 m har tagits med.*





*Figur 1-2 Bergbrunnar i Hultsfreds kommun med känd vattenkemi (12 st) enligt SGU:s brunnarkiv. Endast brunnar med en borrlängd i berg på minst 10 m har tagits med.*





**Figur 1-3** Karta över bergbrunnar med känd vattenföring i Hultsfreds kommun och undersökningshål i SKB:s typområde Klipperås. Klipperåsområdet ligger ca 45 km söder om Hultsfreds kommun på gränsen mellan Nybro och Emmaboda kommuner. Markeringarna i Klipperås visar var bergundersökningar (hydraulik och vattenkemi) utförts på uppdrag av SKB.

## 2 Geologisk översikt

### 2.1 Bergarter och jordarter

Nedan ges en översiktlig presentation av de geologiska förhållandena i Hultsfreds kommun. För en utförlig redogörelse av Hultsfredsområdets jordarter, bergarter och deformationszoner hänvisas till Johansson m fl /2000/.

Figur 2-1 visar Hultsfredsområdets berggrundsgeologi /Johansson m fl, 2000/. Tunna jordtäckten med inslag av berg i dagen är vanligt förekommande. Jordtäckten domineras av morän i höjdområdena och sediment av olika bildningssätt i dalgångarna (Figur 2-2). Jordtäckets mäktighet är dock, med få undantag, måttlig (< 20 m).

Bergarterna inom Hultsfredsområdet kan indelas i två huvudgrupper, djupbergarter och ytbergarter. Dessutom finns sura och basiska gångbergarter. Djupbergarter täcker större delen av kommunens yta och utgörs huvudsakligen av äldre och yngre granitoider, varav de yngre brukar kallas Smålandsgranit. Granitoiderna innehåller rikligt med större såväl som mindre inneslutningar av diorit och gabbro. Djupbergarter bildas på större djup i jordskorpan genom att en bergartsmälta (magma) tränger uppåt och till följd av sjunkande tryck och temperatur stelnar till en bergart. På grund av upplyftning och erosion kan bergarter som bildats på varierande djup idag återfinnas vid ytan.

Ytbergarter har, som namnet antyder bildats på eller nära jordytan. De har antingen avsatts i form av lösa avlagringar (sediment) som sedan förts ned i jordskorpan och omvandlats till bergarter, eller bildats genom att lava eller aska flutit ut och stelnat på jordens yta. Ytbergarterna i Hultsfreds kommun utgörs av sura (kiselrika) till intermediära, vulkaniska bergarter. Underordnat förekommer också basiska (kiselfattiga) till intermediära, vulkaniska bergarter.

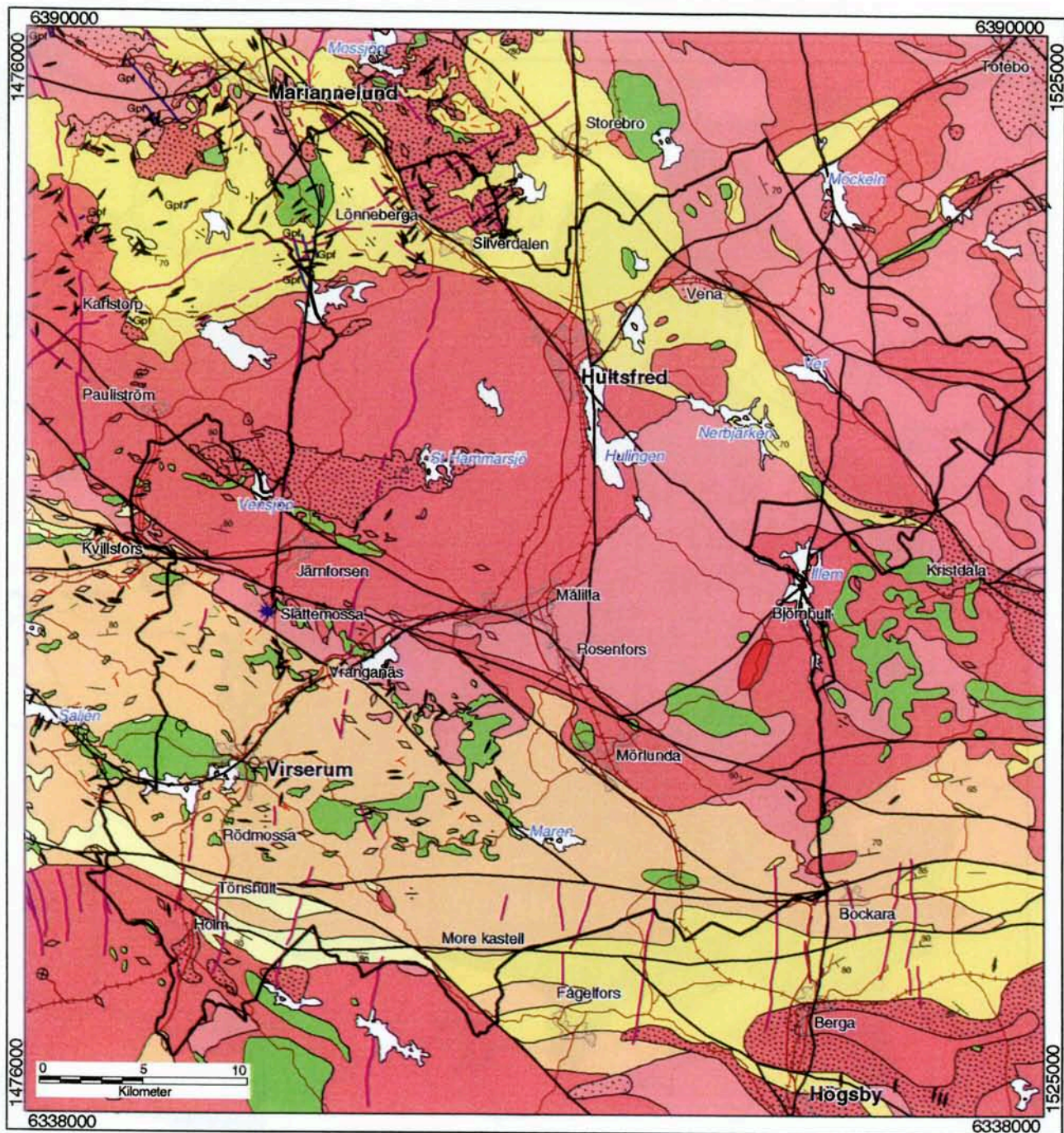
I tabell 2-1 sammanfattas de bergartskategorier som används vid klassificeringen av bergborrade brunnar inom kommunen. Indelningen i bergartskategorier är en förkortning och i vissa fall en sammanslagning av den klassificering av de bergarter som förekommer i Hultsfreds kommun, som presenteras av Johansson m fl /2000/.

Jordarterna kan indelas i glaciala och postglaciala. De glaciala jordarterna i området har avlagrats direkt av landisen (morän) eller dess smältvatten (isälvsediment och glaciala finkorniga sediment). De har med få undantag avsatts under den senaste nedisningen och i nära anslutning till den tillbakaryckande isfronten. Omkring 20-25% av området ligger under högsta kustlinjen (HK). Där blev de glaciala jordarterna i olika grad svaldade och delvis omlagrade i samband med landhöjningen, varvid postglaciala jordarter bildades. Exempel på postglaciala jordarter är olika svallsediment, postglaciala leror och torv.

*Tabell 2-1 Beteckningar på bergarter i Förstudie Hultsfred /Johansson m fl, 2000/.*

Bergartskategori	Förklaring
Götemarggranit	Granit, röd, medel- till grovkornig, ca 1 400 miljoner år.
Smålandsgranit, medel- till grovkornig	Granit till kvartsmonzonit, gråröd till röd, medel- till grovkornig, (Växjögranit), ca 1 800 miljoner år. Granit till kvartsmonzodiorit, rödgrå till röd, medel- till grovkornig, ögonförande (Filipstadsgranit), ca 1 800 miljoner år. Granodiorit till kvartsmonzodiorit, grå till rödgrå, medelkornig, ca 1 800 miljoner år.
Smålandsgranit, finkornig	Granit, grå till röd, finkornig till fint medelkornig, ca 1 800 miljoner år.
Vulkanisk bergart, intermediär till basisk	Vulkanisk bergart, intermediär till basisk, gråsvart, finkornig, ca 1 800 miljoner år
Vulkanisk bergart, sur till intermediär	Vulkanisk bergart, sur till intermediär, grå till röd, finkornig, förskiffrad, vanligen porfyrisk, äldre än 1830 miljoner år.
Vulkanisk bergart, sur	Vulkanisk bergart, sur till intermediär, röd till grå, vanligtvis porfyrisk (s k Smålandsporfyr) ca 1 800 miljoner år
Diorit och gabbro	Diorit och gabbro, fin- till medelkornig.
Granodiorit till tonalit	Granit, granodiorit och tonalit, ofta gnejsig, grå till rödgrå, i allmänhet medelkornig, äldre än 1 830 miljoner år.
Metabasit	Metabasit, huvudsakligen av vulkaniskt ursprung, ca 1 900 miljoner år.



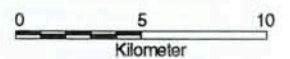
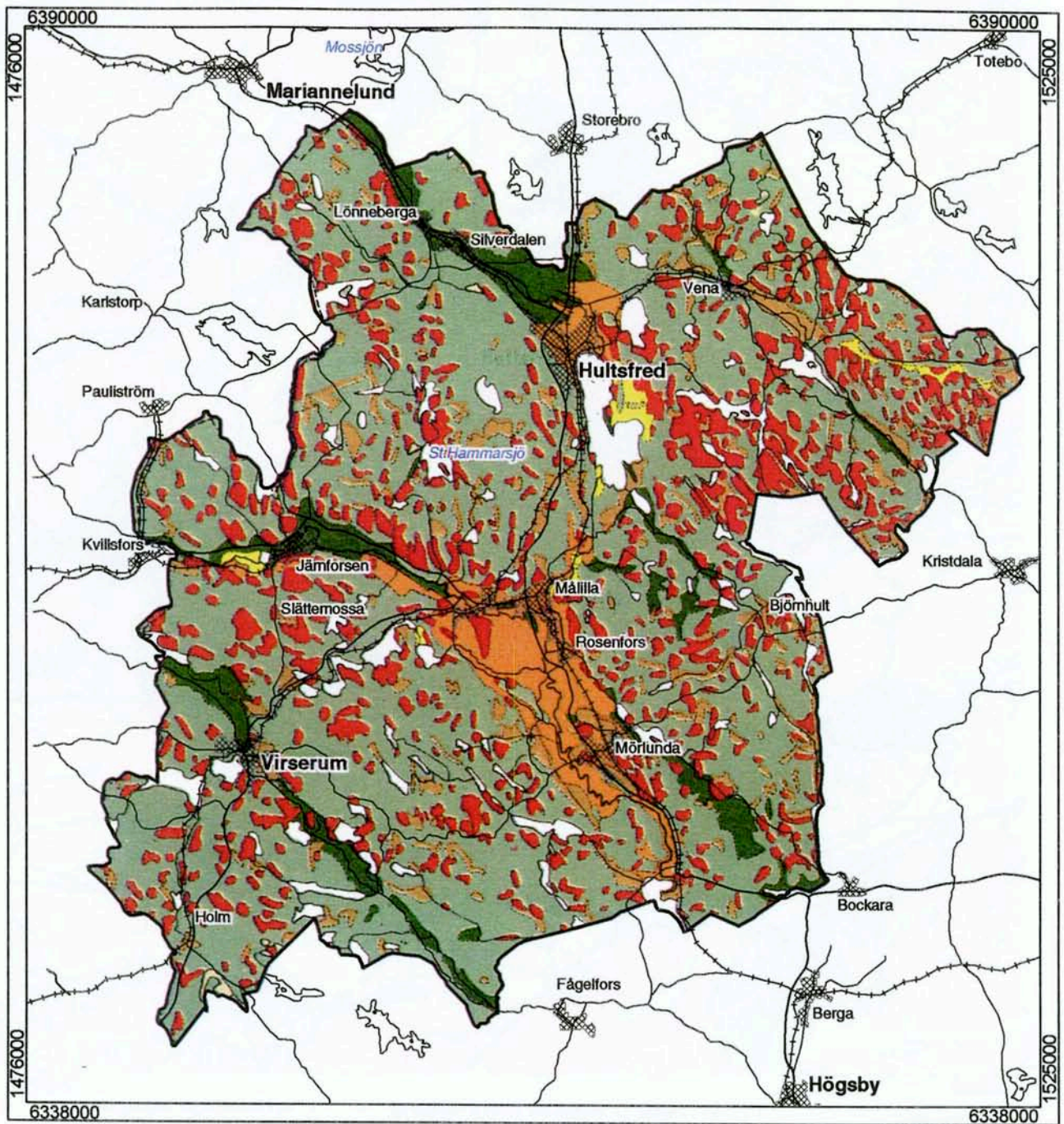


SGU  
Sveriges Geologiska Undersökning

GeoVista

Figur 2-1 Berggrundskarta över Hultsfreds kommun /Johansson m fl, 2000/.





**SGU**  
Sveriges Geologiska Undersökning

Figur 2-2 Jordartskarta över Hultsfreds kommun /Johansson m fl, 2000/.

## 3 Landskapsutveckling efter den senaste istiden

### 3.1 Högsta kustlinjen

Den senaste istiden hade sitt maximum för ungefär 20 000 år sedan. Den mellan två och tre kilometer tjocka isen tryckte ned jordskorpan som mest ca 800 m i förhållande till hur det ser ut idag. En stor del av det tillgängliga vattnet var bundet i inlandsisar och världshaven stod därmed lägre än idag, som lägst ca 120 m /SKB, 1995b/.

När inlandsisarna smälte försvann också istrycket. Avsmältningen medförde att både landet och havet höjdes. Vissa delar blev periodvis belägna under dåtidens hav, andra delar av landet var alltid över havets högsta nivå. Den gräns över vilken havet aldrig nådde benämns högsta kustlinjen (HK). HK ligger olika högt i skilda delar av Sverige, beroende på hur stor nedpressningen var när friläggningen skedde och hur mycket havsytan hann höjas relativt landhöjningen (figur 3-1). Större delen av Hultsfreds kommun ligger över HK (figur 3-2).

Landhöjningen och isavsmältningen har i ett komplicerat samspel bildat issjöar och innanhav med omväxlande sött, bräckt och salt vatten (figur 3-3). Detta har påverkat grundvattnets kemi såtillvida att t ex salt grundvatten ofta påträffas i bergborrade brunnar som ligger under HK /Aastrup och Bertills, 1995/. Genom att analysera den kemiska sammansättningen och isotopförhållandena hos ett vattenprov kan vattnets ursprung identifieras. Figur 3-3 tyder på att HK i Hultsfreds kommun hänger samman med utbredningen av Baltiska issjön.

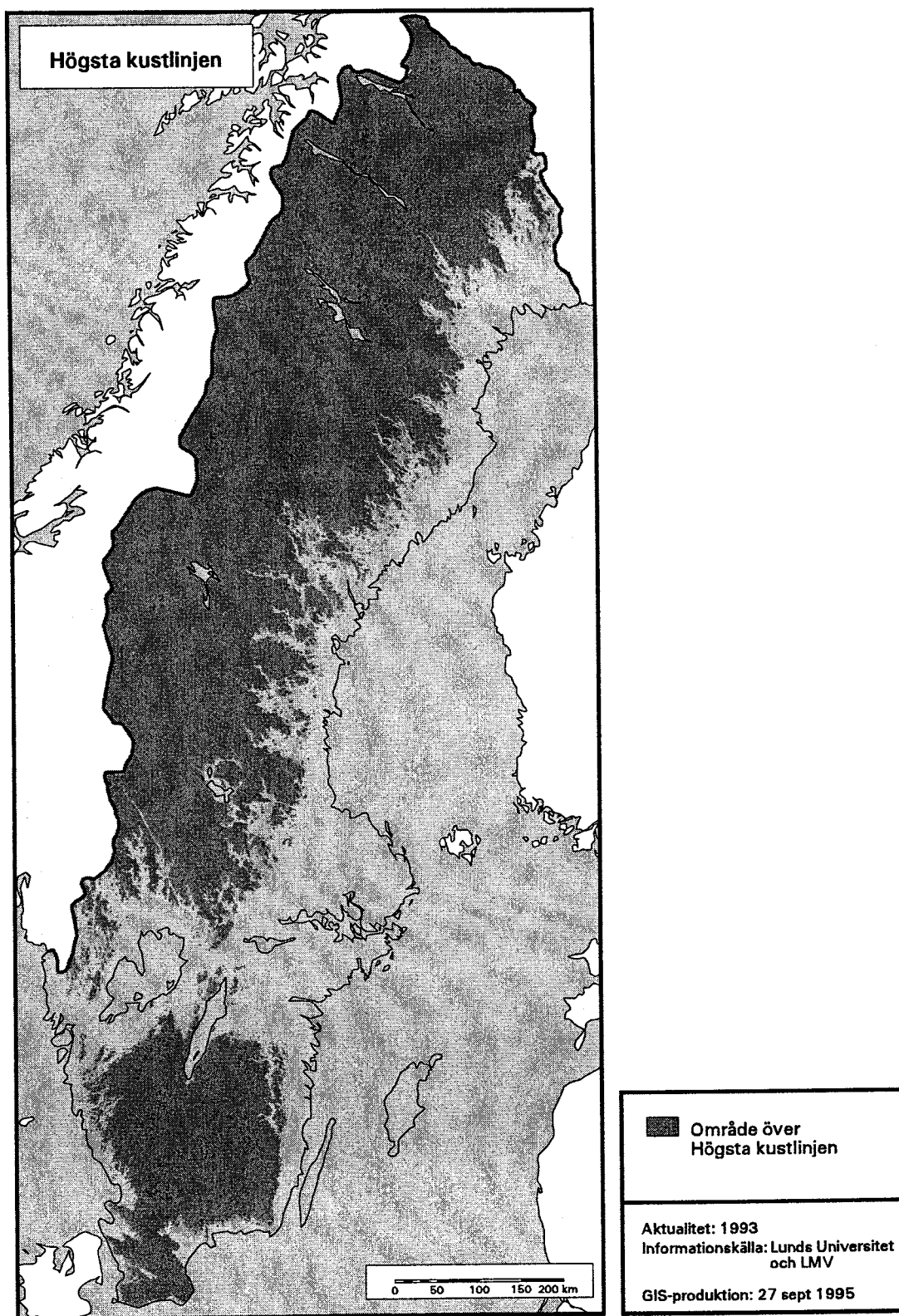
Strandförskjutning kallas den sammantagna effekten av land- och havsytans nivåförändringar. Positiv strandförskjutning innebär att kustlinjen förskjuts utåt (regression), dvs att landets utbredning ökar relativt havets. Det omvända förhållandet kallas för negativ strandförskjutning (transgression). Strandförskjutningen kan således skrivas som:

$$S = L - H \quad (3-1)$$

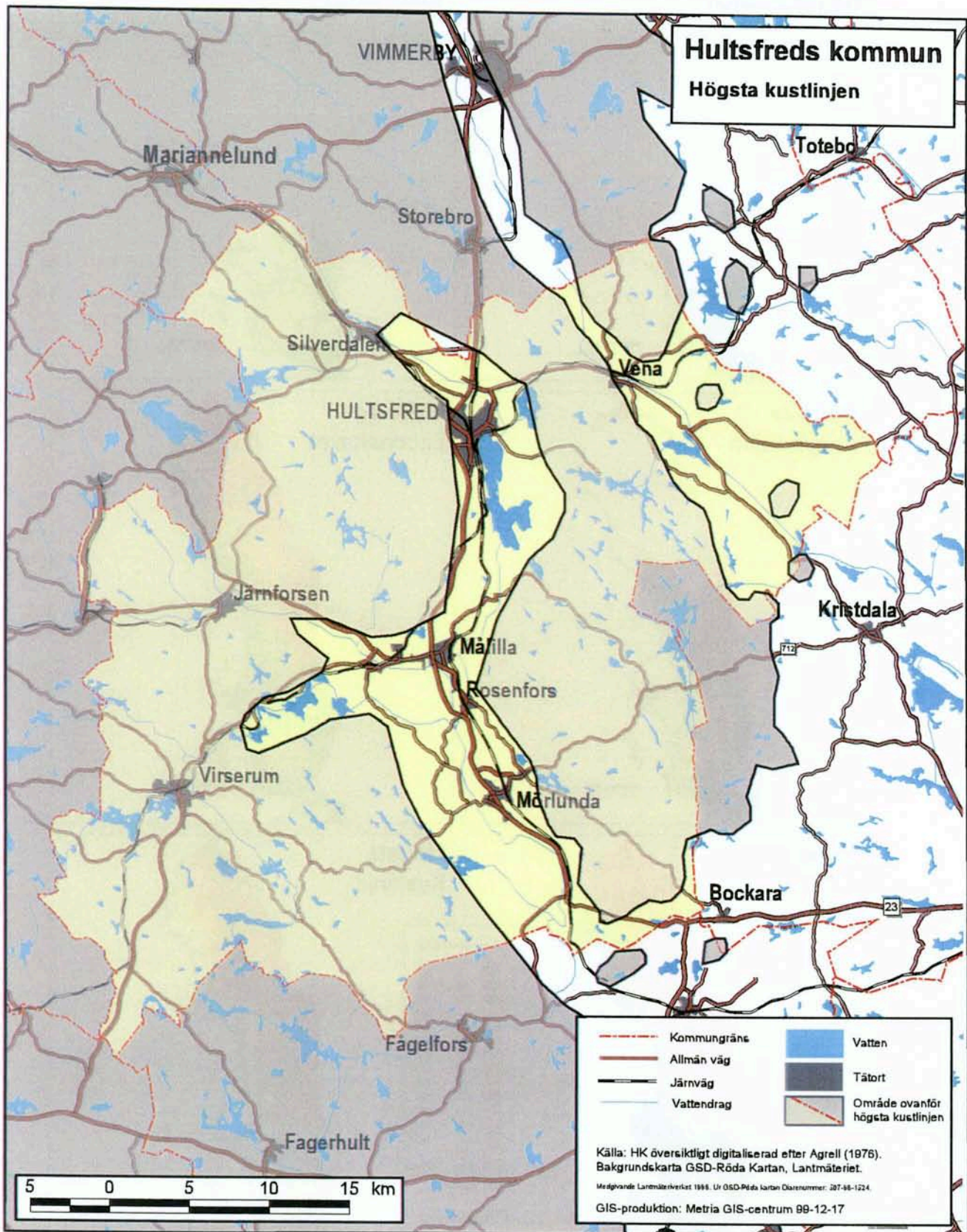
*Där*

*S* = Strandförskjutning, (m)  
*L* = Landytans nivåförändring, (m)  
*H* = Havsytans nivåförändring, (m)



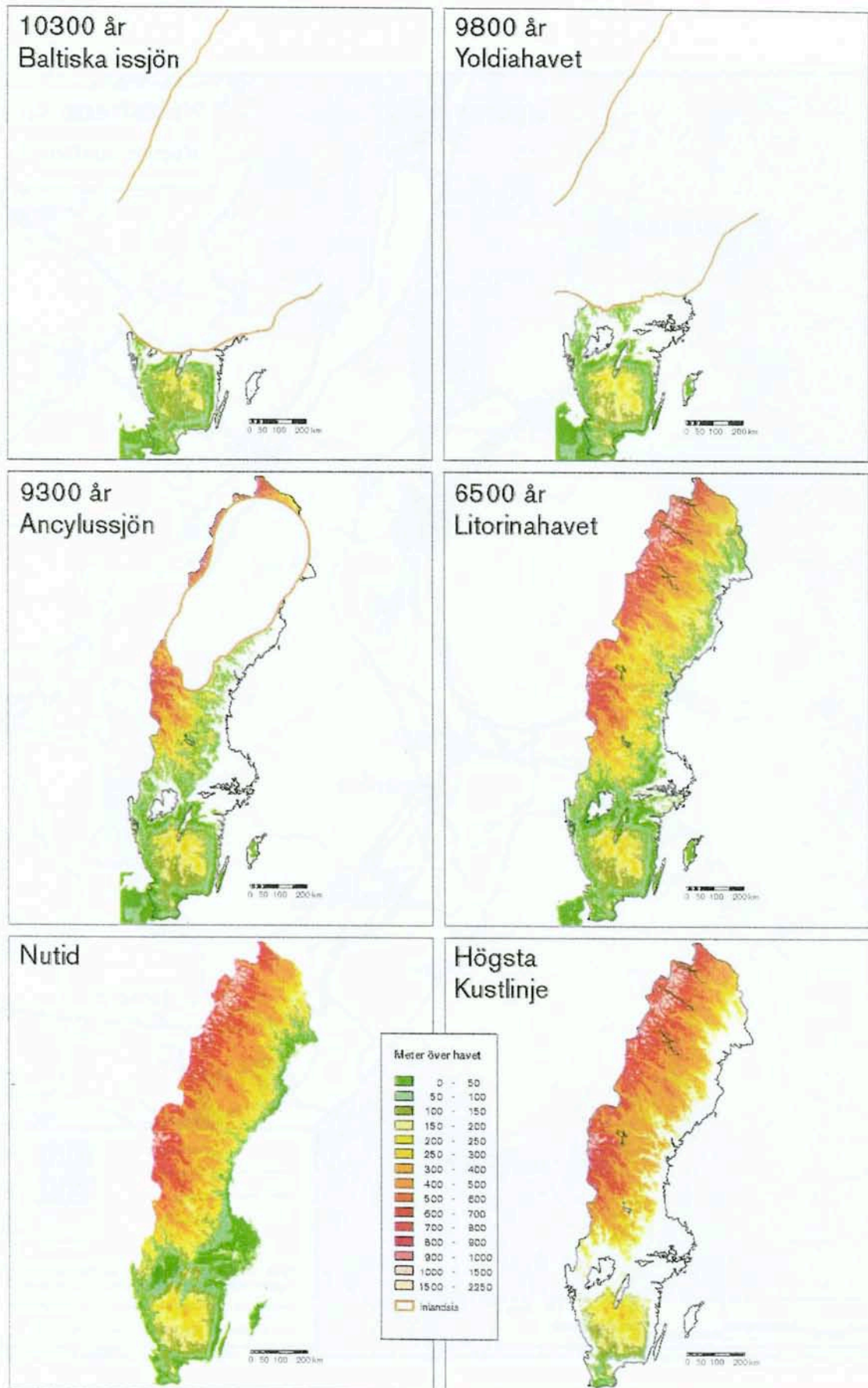


**Figur 3-1** Karta över högsta kustlinjen (HK). Områden över HK har inte varit täckta av vatten efter den senaste istiden /SKB, 1995a/. Över HK är grundvattnet i den övre delen av berggrunden i allmänhet sött /Aastrup och Bertills, 1995/.



**Figur 3-2** Förenklad bild av högsta kustlinjens sträckning genom Hultsfreds kommun /fritt efter Agrell, 1976/. Den nordöstra delen och centrala delarna av kommunen har varit täckta av vatten efter den senaste istiden.





**Figur 3-3** Östersjöns olika utvecklingsstadier efter den senaste isavsmältningen samt en karta över HK (jmf figur 3-1). Ofärgade partier innanför nuvarande kustkontur var vattentäckta vid de aktuella tidpunkterna /SKB, 1995b/. Över HK är grundvattnet i den övre delen av berggrunden i allmänhet sött /Aastrup och Bertills, 1995/.

## 3.2 Hultsfreds kommun

Den historiska strandförskjutningen för Smålandskusten i höjd med Hultsfreds kommun kan visas med ett diagram. Figur 3-4 visar strandförskjutningen vid olika tidpunkter under de senaste 14 000 åren. Grafen är framställd med hjälp av en beräkningsmodell framtagen av Påsse /1997/. Bakåt i tiden betecknas i geologiska sammanhang ofta med BP (Before Present), där 0 BP är år 1950. 14 000 BP motsvarar således 12 050 f Kr.

Strax efter det att landisen lämnat kommunen var strandförskjutningen mycket snabb, cirka 3 m per 100 år. Omkring 7 000 BP hade hastigheten på strandförskjutningen minskat till cirka 0,3 m per 100 år /Påsse, 1997/. Den dåvarande havsytan stod då omkring 20 m högre än dagens. Ancylussjön hade fått förbindelse med västerhavet genom Öresund och Bälten och därmed hade saltvatten börjat strömma in. Ancylussjön följdes därmed av ett havsstadium, Litorinahavet.

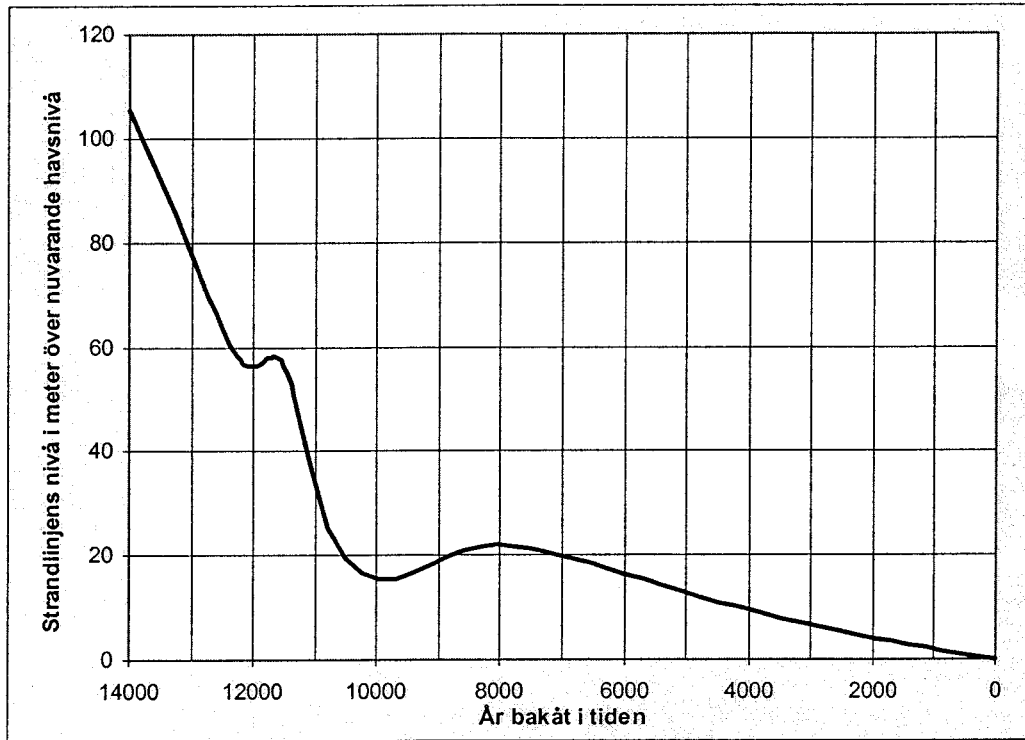
Mellan 12 000–11 500 BP och mellan 10 000–8 000 BP var landhöjningen under korta perioder mindre än havsytans stigning. Under dessa perioder dränktes delar av det dåvarande kustområdet (transgression). Havsytans stigning sammanfaller med den post-glaciala värmetiden då klimatet var varmare än idag och det förekom värmekrävande växter som idag inte alls finns i Sverige. Klimatet blev därefter kallare och några hundra år e Kr invaderades området av gran samtidigt som ädelskogens utbredning minskade. Till skillnad från de värmekrävande växterna, som kommit söderifrån, spred sig granen från Finland.

I figur 3-5 och 3-6 visas två experimentbilder framtagna med hjälp av LMV:s höjddatabas och diagrammet i figur 3-4. Figur 3-5 visar strandlinjen 13 600 BP (11 650 f Kr) och figur 3-6 visar strandlinjen 13 250 BP (11 300 f Kr). Den beräknade strandlinjens läge är osäker eftersom strandförskjutningen var mycket snabb inom det aktuella området.

## 3.3 Klipperåsområdet

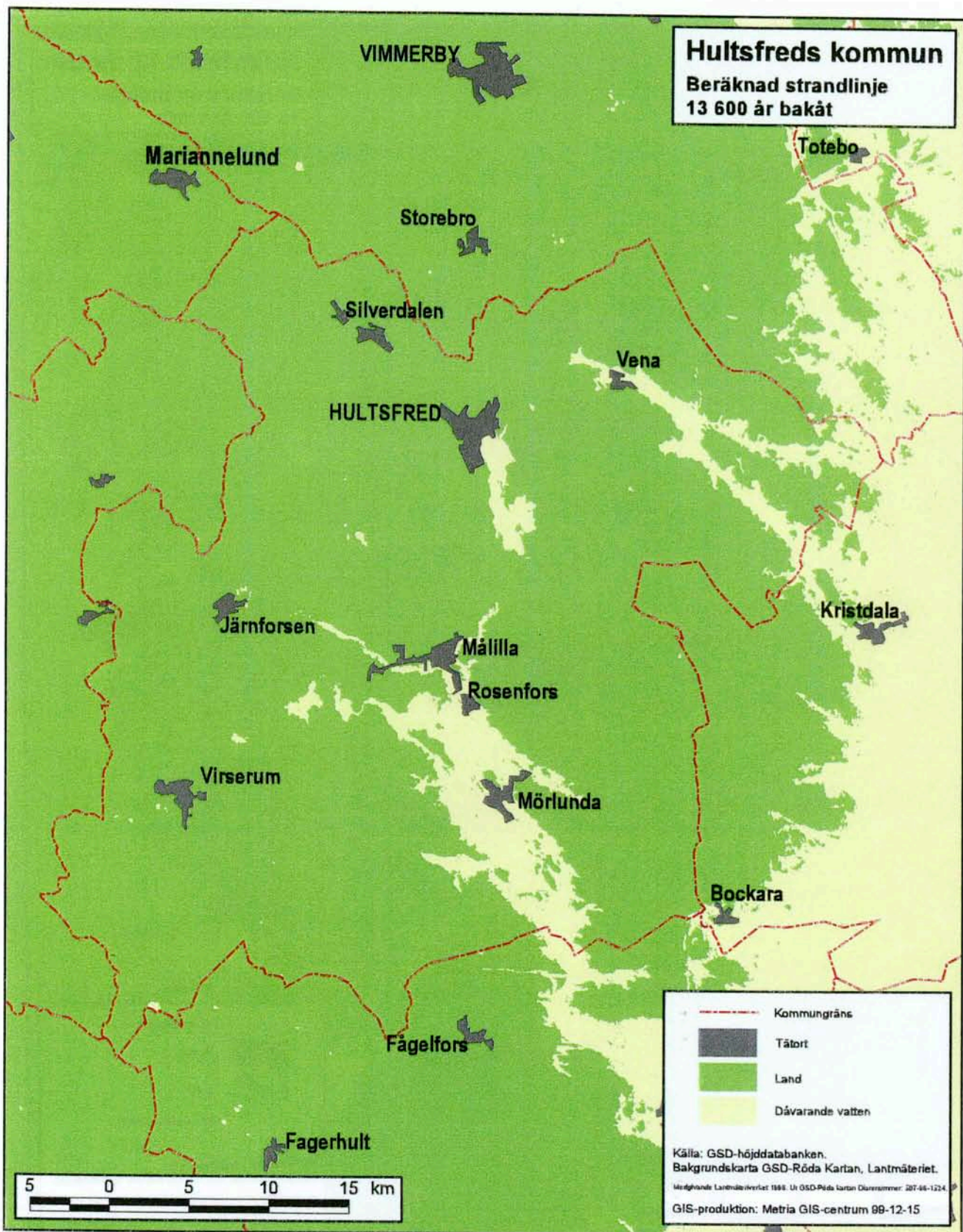
Det 12 km<sup>2</sup> stora undersökningsområdet vid Klipperås ligger ca 45 km söder om Hultsfreds kommun på gränsen mellan Nybro och Emmaboda kommuner. De kvartära avlagringarna består huvudsakligen av morän med upp till 10 m mäktighet överlagrad av torv i sänkorna. Området har inte varit täckt av hav efter den senaste istiden. Därför är grundvattnet sött ända ned till undersökningsdjupet 860 m /Ahlbom m fl, 1992/.

*Sammanfattningsvis konstateras att Hultsfreds kommun har en småkuperad topografi och att endast några mindre områden i sydöstra och nordöstra delen av kommunen var täckta av vatten direkt efter den senaste istiden.*



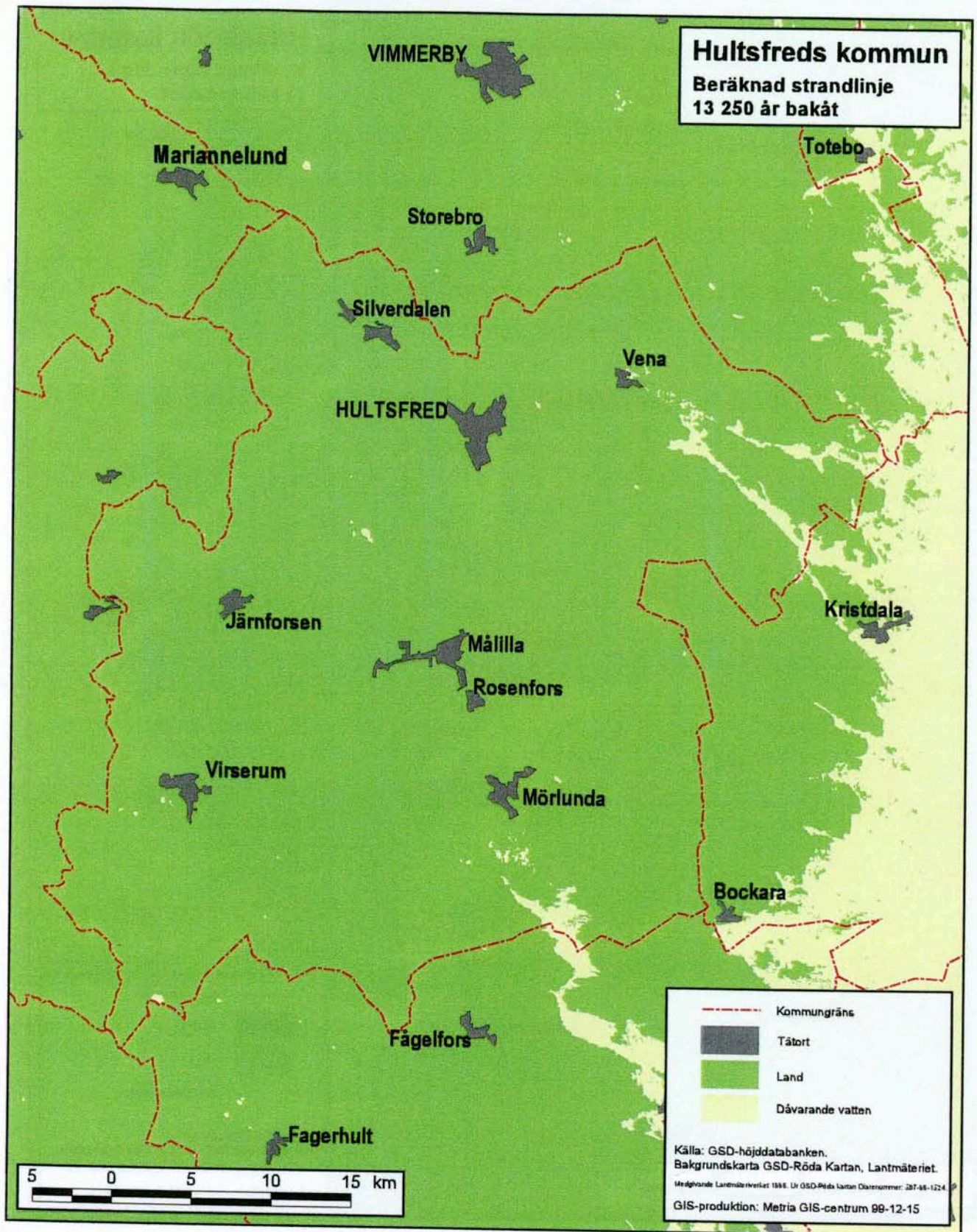
*Figur 3-4 Strandförskjutning i Småland för perioden 14 000 BP fram till idag enligt en modell av Pässe /1997/. Noll på tidsaxeln motsvarar år 1950.*





*Figur 3-5 13 600 BP låg strandlinjen ca 95 m över nuvarande havsnivå. Kartan är framtagen med hjälp av LMV:s höjddatabas och grafen i figur 3-4.*





*Figur 3-6 13 250 BP låg strandlinjen ca 85 m över nuvarande havsnivå. Kartan är framtagen med hjälp av LMV:s höjddatabas och grafen i figur 3-4.*



## 4 Grundvattnets rörelse

### 4.1 Vattnets kretslopp

Den nederbörd som faller över ett landområde fördelas mellan avdunstning, avrinning i form av yt- och grundvattenavrinning samt magasinförändringar. Exempel på naturliga magasin är sjöar, torvmarker, mark- och grundvattenmagasin i lösa jordlager samt snötäcke. Under den sk grundvattenytan råder vattenmättade förhållanden. Figur 4-1 visar en schematisk bild över vattnets kretslopp - den hydrologiska cykeln. Som framgår av figuren kan man indela grundvattnet i ytligt respektive djupt grundvatten. I Sverige är ungefär hälften av dricksvattenförsörjningen baserad på ytligt grundvatten, dvs brunnar i de lösa jordlagren och den övre delen av berggrunden, och hälften på ytvatten. Mediandjupet på brunnarna i berggrunden är ca 70 m /Berggren, 1998/.

### 4.2 Vattenbalans

Ett område inom vilket nederbörd, minskat med avdunstning och magasinförändringar, avrinner genom en specifik punkt kallas avrinningsområde. Ett avrinningsområde avgränsas av ytvattendelare och/eller grundvattendelare. Inom avrinningsområden där höjddpartierna utgörs av ett tunt moräntäcke på sprickfattigt berg följer grundvattenytan på det hela taget markytans topografi, vilket innebär att yt- och grundvattendelare sammanfaller. Sådana områden är vanligt förekommande i Hultsfreds kommun. Vattenbalansekvationen för ett avrinningsområde kan uttryckas som:

$$P = E + R_g + R_y + \Delta M \quad (4-1)$$

där

$P$  = Nederbörd, (mm/år)

$E$  = Avdunstning, (mm/år)

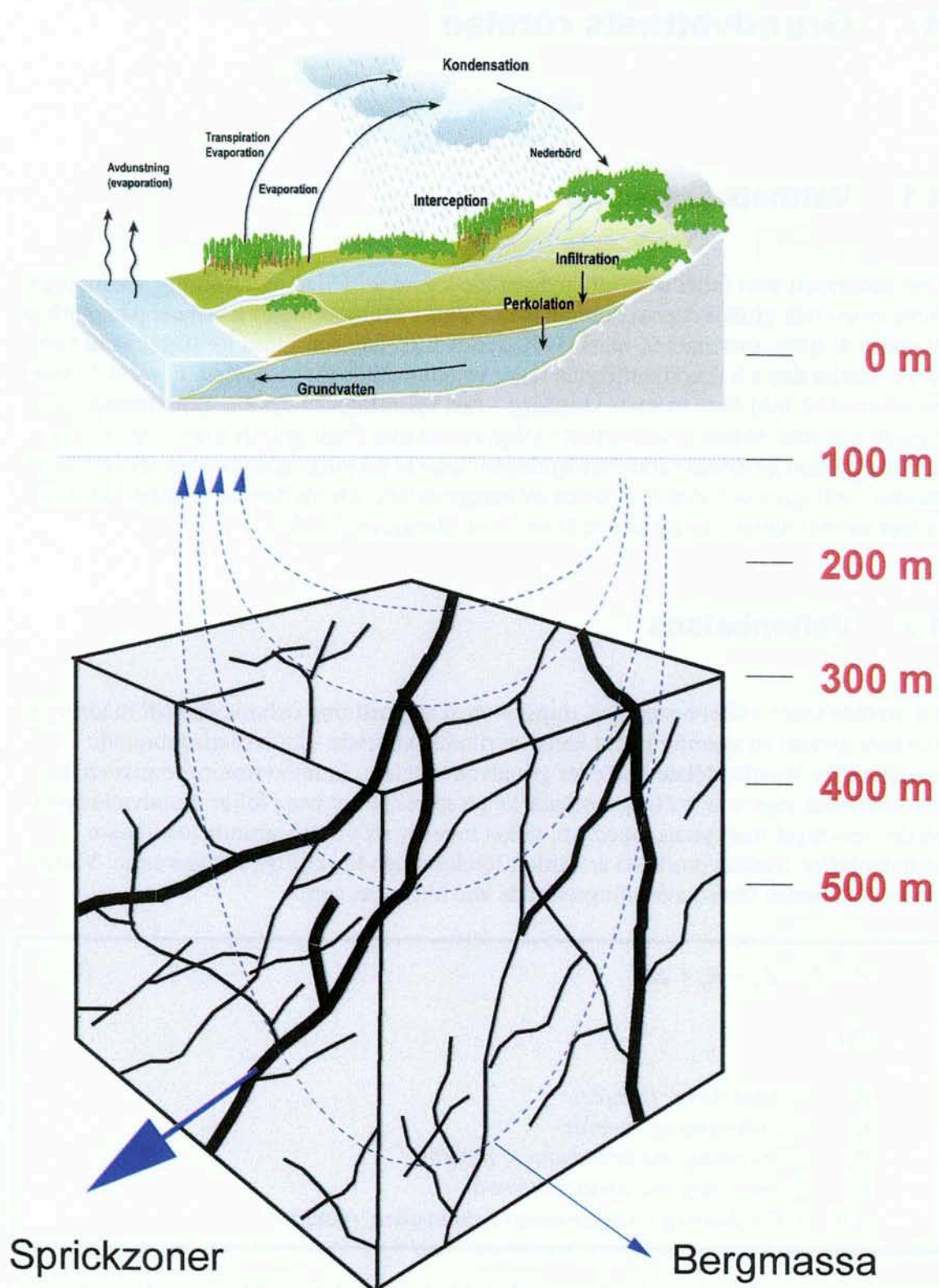
$R_g$  = Avrinning via grundvatten, (mm/år)

$R_y$  = Avrinning via ytvatten, (mm/år)

$\Delta M$  = Förändring i magasinerad vattenvolym, (mm/år)

Om vattenbalansekvationen beaktar en tillräckligt lång tidsperiod kan nettoförändringen i magasinerad vattenvolym antas vara försumbar, dvs  $\Delta M = 0$  i ekvation 4-1.

## Den hydrologiska cykeln



**Figur 4-1** Principbild över vattnets kretslopp - den hydrologiska cykeln. Streckade pilar symboliserar vattenströmning på olika djup. De största vattenflödena förekommer närmast markytan och i vattenförande sprickzoner.

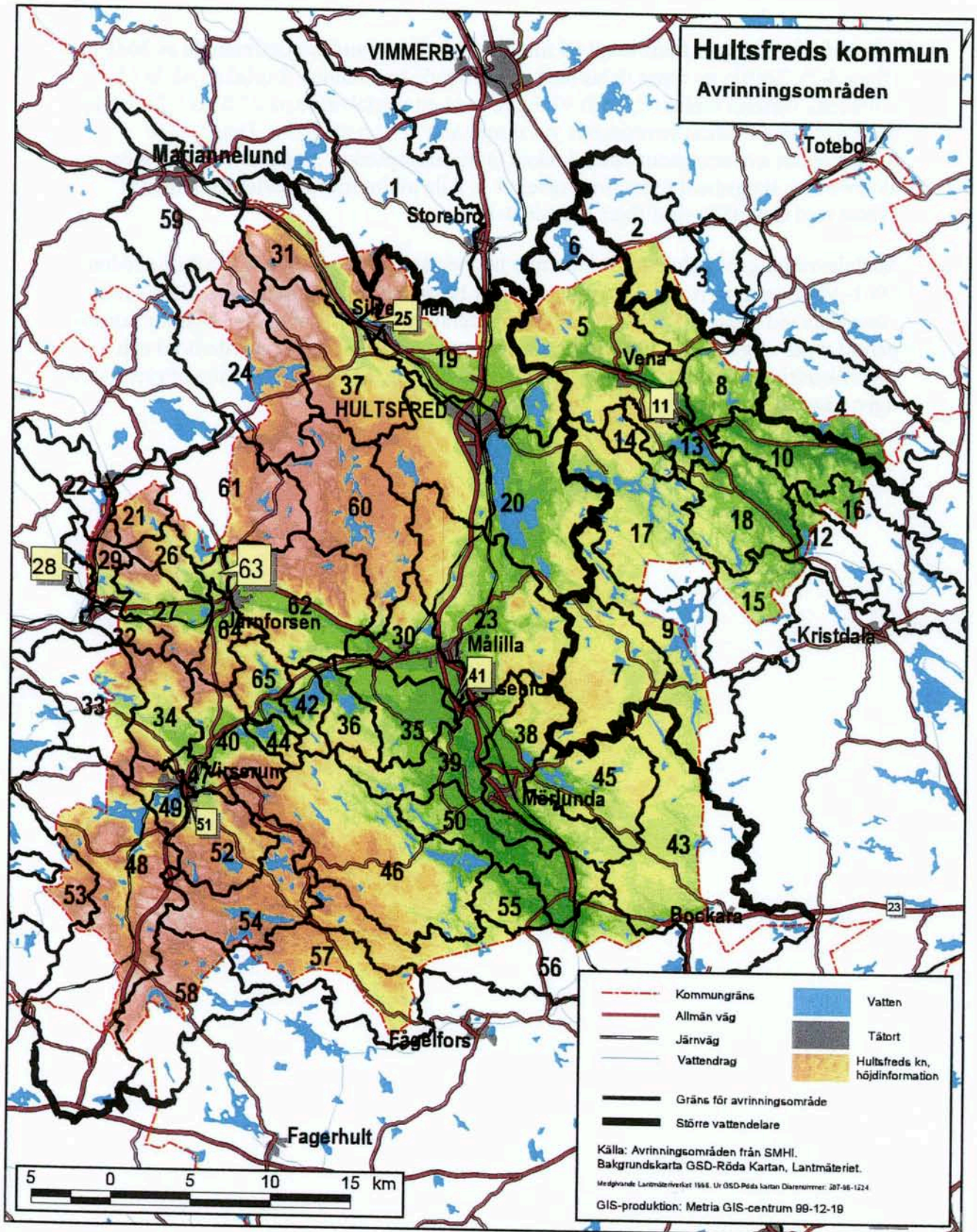
I Hultsfreds kommun finns totalt 65 mindre avrinningsområden definierade av SMHI (figur 4-2). Trettio av dessa delas med angränsande kommuner. Storleken på de 65 områdena varierar mellan 0,5 och 97,5 km<sup>2</sup> med ett medelvärde på 27,5 km<sup>2</sup>. I medeltal är ca 82% av avrinningsområdenas yta skogsmark och ca 6% sjöar. Detaljerade uppgifter om avrinningsområdenas namn (avrinningspunkt), medelhöjd, totala area, sjöareal och skogsareal redovisas i tabell 4-1. Alla avrinningsområden avbördas åt sydöst mot Östersjön (jmf figur 4-2 och 4-3).

Medelavrinningen<sup>1</sup> i Hultsfreds kommun har beräknats till ca 200 mm/år för perioden 1961–90 /Brandt m fl, 1994/. Avrinningen är beräknad med hjälp av en modell som utvecklats vid SMHI /Bergström, 1992/. Medelavrinningen för hela Sverige för samma period visas i figur 4-4. I litteraturen förekommer ibland orden nettonederbörd och specifik avrinning som synonymer till medelavrinning. Specifik avrinning uttrycks vanligen i sorten (L/s)/km<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Med medelavrinning avses här den genomsnittliga avrinningen under ett år, dvs *årsmedelavrinning*.  
 $200 \text{ mm/år} = 0.2 \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{)/år} = 200 \text{ L/(m}^2 \text{ år)} = 200 \text{ L/(10}^{-6} \text{ km}^2\text{/m}^2 \cdot 31.5 \times 10^6 \text{ s/år)} \approx 6.3 \text{ (L/s)/km}^2$ .



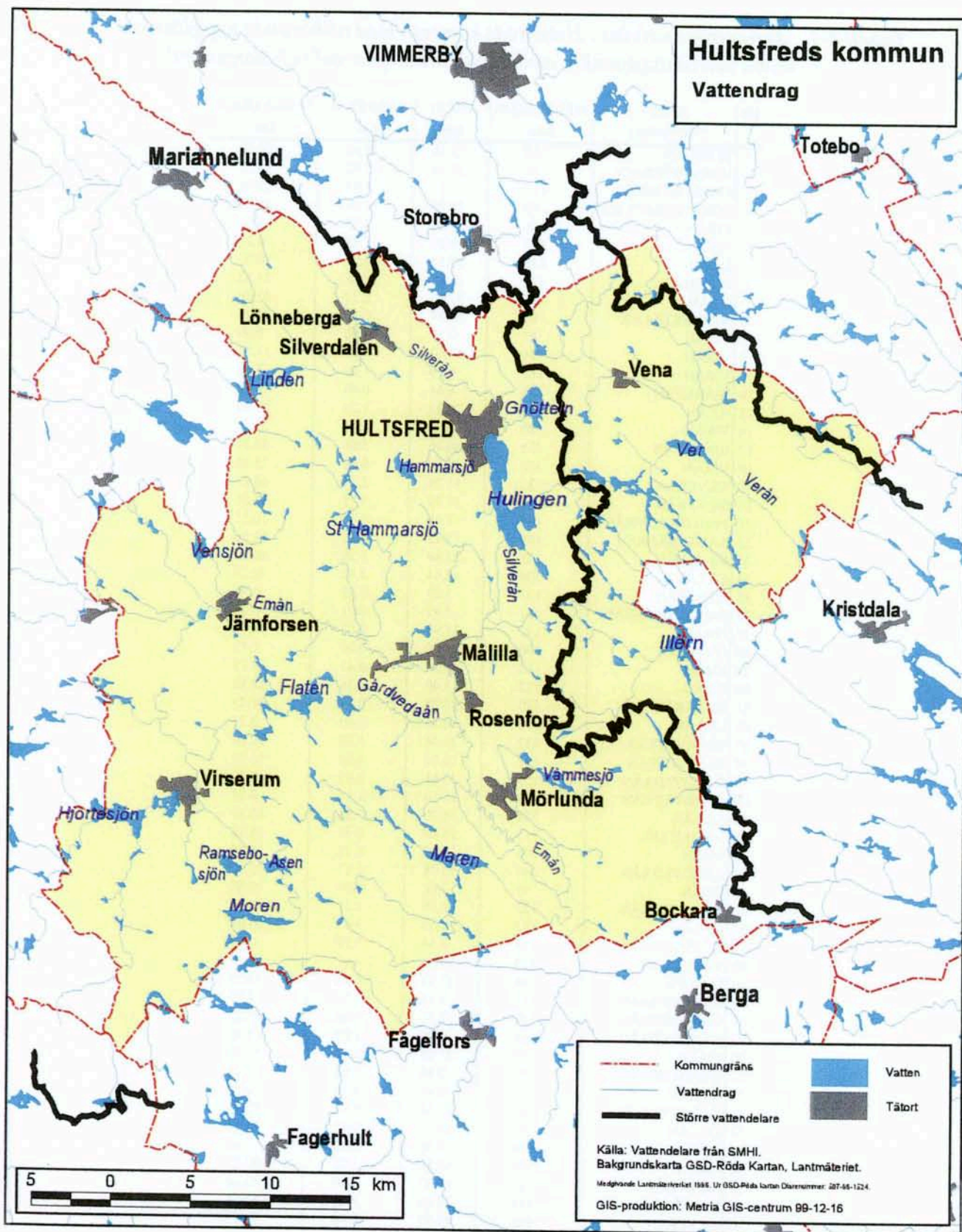


Figur 4-2 Avrinningsområden inom Hultsfreds kommun. Avrinningsområdenas namn (avrinningspunkt), medelhöjd, area, sjöareal och skogsareal redovisas i tabell 4-1.

**Tabell 4-1** Avrinningsområden i Hultsfreds kommun med tillhörande uppgifter om namn (avrinningspunkt), medelhöjd, area, sjöareal och skogsareal.

ID	NAMN (Vattendrag)	MEDELHÖJD	AREAL	SJÖAREAL	SKOGSAREAL
		möh	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>
1	STÅNGÅN	162	75.19	3.85	66.50
2	MARSTRÖMMEN	131	29.73	0.93	23.50
3	MARSTRÖMMEN	118	17.17	3.99	13.00
4	HÖKFORSBÄCKEN	95	38.36	2.19	35.50
5	VIRÅN	126	54.50	2.03	43.50
6	VIRÅN	130	8.10	1.53	4.25
7	ILLÅN	135	33.35	2.03	30.00
8	ROSEBÄCK	115	25.86	1.36	21.50
9	ILLÅN	126	37.61	5.37	30.50
10	MÖLLEKULLÅ	95	26.49	0.38	24.25
11	VIRÅN	97	0.57	0.00	0.50
12	VIRÅN	91	13.63	1.47	11.75
13	VIRÅN	113	9.19	1.60	7.50
14	BJÄRKEÅN	136	6.08	0.48	6.75
15	ILLÅN	115	27.32	1.25	27.00
16	VIRÅN	80	30.03	1.49	25.50
17	BJÄRKEÅN	125	40.46	5.66	35.25
18	VIRÅN	107	27.63	0.68	25.00
19	SILVERÅN	132	51.78	2.35	40.83
20	SILVERÅN	124	71.78	9.28	53.25
21	PAULISTRÖMSÅN	184	11.18	0.45	10.55
22	RAMSEBÄCKEN	195	15.45	0.67	14.56
23	SILVERÅN	125	55.84	1.38	46.75
24	LILLÅN	200	45.64	3.82	42.25
25	SILVERÅN	135	1.29	0.32	0.46
26	PAULISTRÖMSÅN	151	7.93	0.01	6.87
27	EMÅN	140	15.98	0.67	12.00
28	GNYLTAÅN	130	1.86	0.00	1.83
29	EMÅN	162	31.93	0.41	29.75
30	EMÅN	112	17.40	0.36	12.50
31	SILVERÅN	170	30.23	0.79	28.25
32	LILLÅN	150	6.76	0.00	5.25
33	SKÄRVETEÅN	152	31.04	1.88	29.00
34	SKÄRVETEÅN	147	16.99	0.03	13.00
35	GÅRDVEDAÅN	105	20.01	0.03	13.00
36	GÅRDVEDAÅN	122	11.10	1.17	8.25
37	LILLÅN	168	36.70	0.53	34.50
38	VÅMMESJÖ	115	28.99	0.50	18.88
39	EMÅN	105	28.89	0.32	15.54
40	GÅRDVEDAÅN	142	16.78	0.37	13.00
41	EMÅN	95	0.88	0.00	0.50
42	GÅRDVEDAÅN	122	7.89	1.71	5.75
43	LILLÅN	112	72.65	3.03	53.00
44	GÅRDVEDAÅN	123	4.54	0.59	3.98
45	VÅMMESJÖ	124	26.64	1.47	24.64
46	MARÅN	144	67.68	6.34	56.25
47	GÅRDVEDAÅN	137	4.48	0.00	2.87
48	GÅRDVEDAÅN	194	97.51	5.08	82.25
49	GÅRDVEDAÅN	153	8.10	1.30	5.25
50	EMÅN	100	25.98	0.46	17.49
51	GÅRDVEDAÅN	127	0.46	0.00	0.22
52	LILLÅN	171	20.92	1.16	19.24
53	GÅRDVEDAÅN	192	27.34	0.97	25.86
54	LILLÅN	180	28.47	0.95	24.26
55	MARÅN	106	10.65	0.32	7.50
56	EMÅN	120	62.56	3.07	47.25
57	SKÄRVÅN	157	35.93	2.58	33.00
58	KATTEBÄCK	194	38.16	3.21	33.25
59	SILVERÅN	192	45.33	0.70	30.75
60	STENSJÖBÄCK	175	40.76	4.16	35.50
61	SÄLLEVADSÅN	181	37.47	2.24	33.75
62	EMÅN	145	39.67	0.64	26.50
63	SÄLLEVADSÅN	126	2.38	0.03	2.25
64	EMÅN	148	9.80	0.06	9.00
65	GÅRDVEDAÅN	130	11.29	1.30	9.67

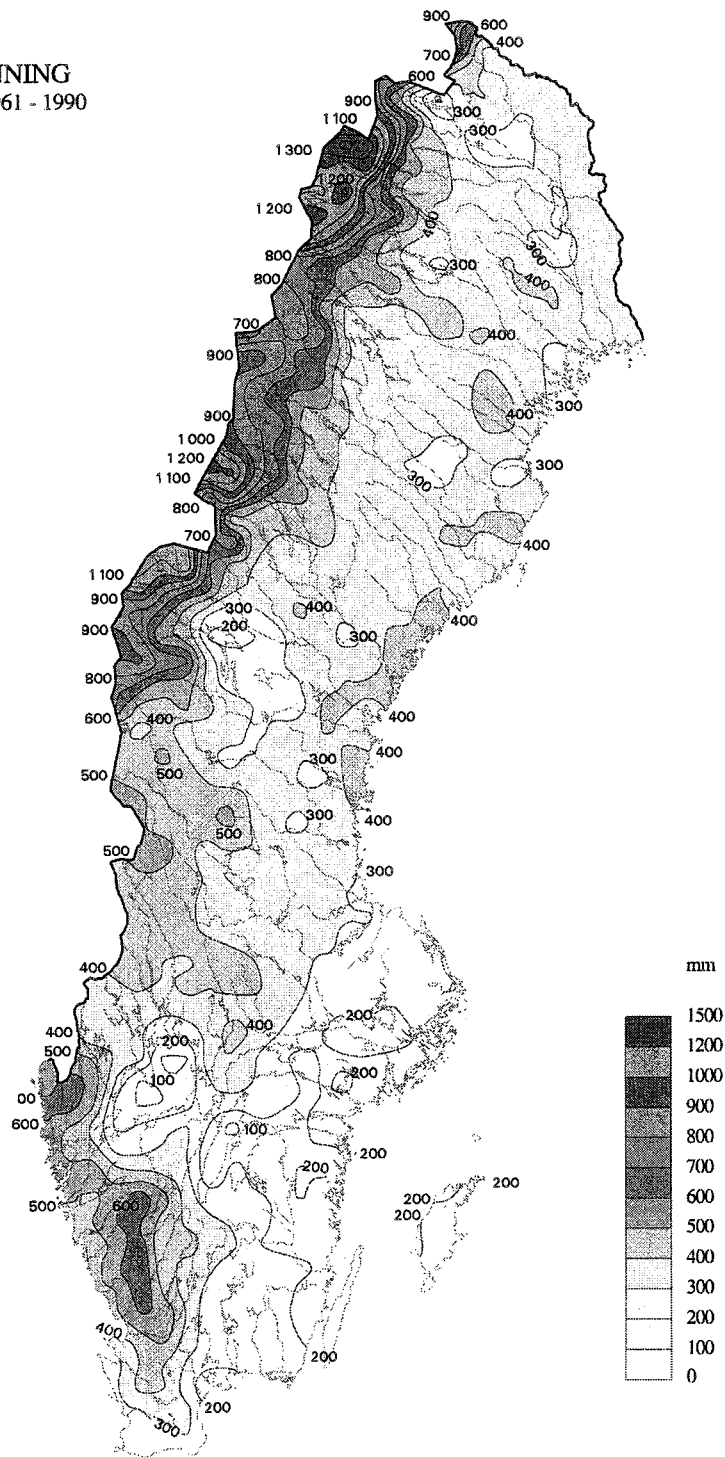




Figur 4-3 Större ytvattendrag inom Hultsfreds kommun.

**SMHI**

ÅRSÄVRINNING  
Medelvärde 1961 - 1990

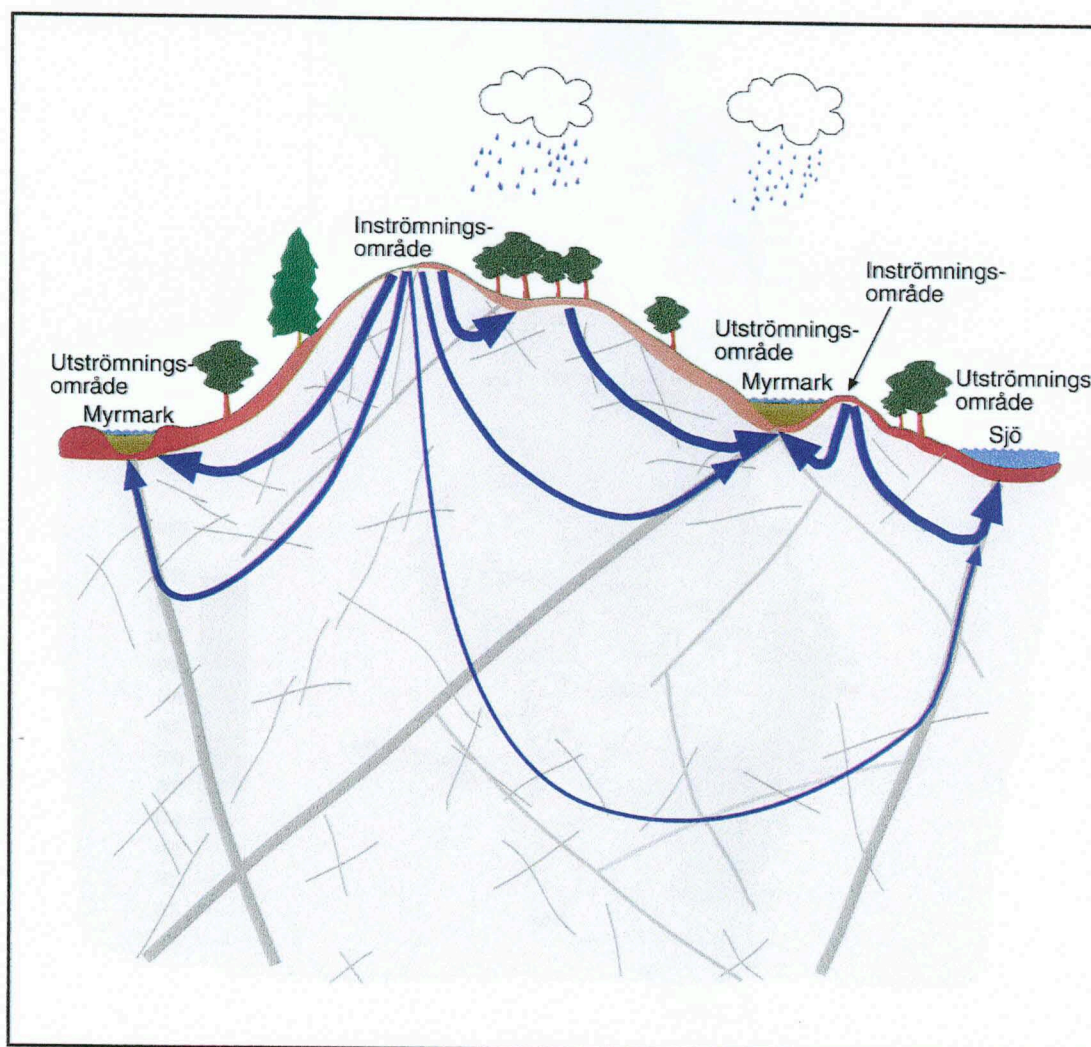


*Figur 4-4 Medelavrinning för Sverige under perioden 1961–1990 i mm/år /Brandt m fl, 1994/. I Hultsfreds kommun är medelavrinningen ca 200 mm/år.*



### 4.3 Grundvattenomsättning och uppehållstid

Ett avrinningsområde kan indelas i in- och utströmningsområden. I inströmningsområden bildas grundvatten och i utströmningsområden strömmar grundvattnet ut. I allmänhet utgör höjdområden inströmningsområden och sjöar, åar, bäckar och kärr utströmningsområden (figur 4-5). Grundvattnet strömmar således från högre belägna områden till lägre liggande delar av terrängen. Gränserna mellan in- och utströmningsområden är inte fixa utan varierar med grundvattennivån. Fördelningen mellan in- och utströmningsområden inom ett avrinningsområde följer således den årliga naturliga förändringen i grundvattennivåer. Utströmningsområdena har störst utbredning under och strax efter snösmältningen medan de är minst under vintermånaderna.



**Figur 4-5** Principbild över inströmnings- och utströmningsområden. Vatten som kommer fram till ett ytvattendrag har transporterats olika långt och olika länge. Det kan därmed också ha olika sammansättning. Nederbörd som faller på utströmningsområdena bildar inte grundvatten utan avrinner tillsammans med det utströmmande grundvattnet till ytvattendraget. Vanligen utgör grundvattnets bidrag till ytvavrinningen den större delen.

Ovanstående beskrivning gäller framförallt i jordlagren medan det är mera komplicerat att definiera in- och utströmningsområden för grundvattnet i berggrunden. Detta beror på att grundvattenströmning i berggrunden endast kan ske i sammanbundna vattengenomsläppliga sprickor och sprickzoner. Strömningsvägarna kan i större eller mindre grad styras till sprickor och sprickzoner, där vattengenomsläppligheten kan vara väsentligt högre än i bergmassan i övrigt. Strömningscellernas storlek beror både på de topografiska förhållandena och förekomsten av större vattengenomsläppliga sprickzoner. Därför är det svårt att utan detaljerade undersökningar i en regional skala definiera in- och utströmningsområden för djupt strömmande grundvatten, som t.ex. på förvarsdjup.

Den teoretiskt högsta möjliga grundvattenbildningen över ett område är lika med medelavrinningen, dvs skillnaden mellan nederbörd och avdunstning under ett år. Som tidigare nämnts är medelavrinningen i Hultsfreds kommun beräknad till ca 200 mm/år /Brandt m fl, 1994/. Eftersom den del av nederbörden som faller över utströmningsområden och fria vattenytor inte bildar grundvatten utan avrinner som ytvatten är den verkliga grundvattenbildningen inom ett avrinningsområde som regel mindre än medelavrinningen, under förutsättning att naturliga förhållanden råder och att den magasinerade vattenvolymen är oförändrad.

Grundvattenbildningen bestäms förutom av nederbörd, avdunstning och terrängläget även av markens infiltrationskapacitet. Denna är i sin tur beroende av faktorer som markens vattengenomsläpplighet, magasineringsmöjligheter och vattenhalt /se, t ex, von Brömssen, 1968; Johansson, 1987/. Grundvattenbildningen i jordlager är generellt sett betydligt större än grundvattenbildningen i urberg. Det beror på att urberg har en låg andel porer (hålrum) och att förekommande sprickor endast är sparsamt sammanbundna med varandra. Som riktvärde kan sägas att den vattenförande hålrumsvolymen per enhetsvolym (flödesporositeten) vanligtvis inte överskrider 30% i lösa jordlager /Knutsson och Morfeldt, 1993/. För urberg är flödesporositeten mycket svårdefinierad. Fältmätningar på 450 m djup indikerar ett medelvärde kring 0.5% /Rhén m fl, 1997/, men också att detta värde lokalt kan vara både högre (i sprickzoner) respektive lägre (i bergmassan). Att flödesporositeten generellt sett är lägre i urberg än i lösa avlagringar innebär att transporttiden för vattenlösliga ämnen som rör sig med vattnets hastighet är mycket kortare i urberg under i övrigt likartade förhållanden.

Med hjälp av Darcys lag är det möjligt att uppskatta storleken på grundvattenflödet i genomsläppliga geologiska material. Darcys lag säger, något förenklat, att vattenflödet per ytenhet,  $(m^3/s)/m^2$ , mellan två punkter är lika med det geologiska materialets vattengenomsläpplighet multiplicerat med differensen i grundvattennivå mellan punkterna. Med denna förenkling kan Darcys lag skrivas som:

$$q = -K I \quad (4-2)$$

där

- $q$  = Grundvattenflöde per ytenhet (Darcyflöde, specifikt flöde),  $((m^3/s)/m^2)$   
 $K$  = Vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet),  $(m/s)$   
 $I$  = Hydraulisk gradient (negativ i strömningsriktningen),  $(m/m)$

Vattengenomsläppligheten i urberg bestäms främst av de geometriska och hydrauliska egenskaperna hos vattenförande sprickor. Vattenförande sprickzoner har vanligtvis en väsentligt högre vattengenomsläpplighet än bergmassornas spricksystem. Eftersom svenskt urberg är tämligen ogenomsläppligt och jordtäcknet ganska tunt följer i regel grundvattenytan topografin, vilket innebär att topografin kan användas för att uppskatta den drivande kraften för grundvattnets rörelse, den hydrauliska gradienten.

Storlek och riktning på den topografiska gradienten påverkar således både ytvattnets och grundvattnets avrinning. Inom Hultsfreds kommun är storleken på förekommande topografiska gradienter<sup>2</sup> i kommunskala som regel 1-5%. De västliga delarna är småkuperade och högst belägna, med höjder på ca 270 m ö h. Även i de östliga delarna är landskapet småkuperat, men höjderna når sällan mer än 150 m ö h. De få ställen där större områden med liten gradient uppträder är i åarnas dalgångar, framförallt i Gårdsvedaåns dalgång. De östra delarna av dalgångarna är belägna på 80-90 m ö h. I Hultsfreds kommun är den lokala topografiska gradienten riktad mot åarnas dalgångar, medan den i ett regionalt perspektiv är riktad åt sydöst (jmf figur 4-2 och 4-3). Storlek och riktning på den topografiska gradienten är i allmänhet en fråga om skala. Sett över hela regioner brukar ofta skillnader i lokala topografiska gradienter (avrinningsområden) överskuggas av regionala trender. För Hultsfreds kommun och landskapet ut till Östersjön är den regionala gradienten ca 0,3%, dvs ca en tiondel av den lokala gradienten. De lokala gradienterna inom olika avrinningsområden kan därför också vara av betydelse som drivande kraft för berggrundvattnets rörelse på olika djup.

Vattengenomsläppligheten i berggrunden är vanligtvis störst i de översta delarna närmast jordlagren där berget är mest påverkat av vittringsprocesser och inlandsisens tryck med efterföljande avlastning vid avsmältningen. Detta innebär att merparten av berggrundvattnet uppträder och strömmar (omsätts) i de översta delarna. Endast en mindre del strömmar vidare mot djupet. Sammantaget medför skillnader i vattengenomsläpplighet att djupare beläget berggrundvatten ofta har en högre ålder och en annan kemisk sammansättning än ett ytligt berggrundvatten. Som tidigare nämnts har sprickzoner vanligtvis en väsentligt högre vattengenomsläpplighet jämfört med spricksystemen i omgivande bergmassor. Skillnader i ålder och sammansättning mellan berggrundvatten i sprickzoner och i omgivande bergmassor kan därför också förekomma.

Skillnaderna i vattengenomsläpplighet mellan jordlager, bergmassa och vattenförande sprickzoner är vanligtvis av mycket större betydelse för grundvattnets rörelse och omsättning än förekommande variationer i hydraulisk gradient /SKB, 1995a/. Betydelsen illustreras bäst med ett beräkningsexempel. Värdena på vattengenomsläppligheten i följande exempel är hämtade från Knutsson och Morfeldt /1993/.

### **Beräkningsexempel**

*För en antagen hydraulisk gradient av 1% och en vattengenomsläpplighet på  $1,5 \cdot 10^{-8}$  m/s i bergmassa och  $1,5 \cdot 10^{-5}$  m/s i sprickzoner ger ekvation 4-2 att det specifika flödet i bergmassan är  $1,5 \cdot 10^{-10}$  (m<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> medan det i sprickzoner är  $1,5 \cdot 10^{-7}$  (m<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup>. Omräknat till samma sort som används vid medelavrinning, mm/år, erhålls 4,5 mm/år i bergmassan och 4 500 mm/år i sprickzonerna. Motsvarande beräkning för normalmorän med  $10^{-7}$ – $10^{-6}$  m/s i vattengenomsläpplighet ger 30 – 300 mm/år. Dessa värden skall jämföras med maximalt ca 200 mm/år i medelavrinning i Hultsfreds kommun.*

<sup>2</sup> En topografisk gradient på 1% motsvarar 10 m höjdskillnad per kilometer.

Beräkningsexemplet demonstrerar vattengenomsläpplighetens stora betydelse för vattnets kretslopp under markytan. Merparten av grundvattnets avrinning sker i jordlagren. Där jordlager saknas är bergmassans låga vattengenomsläpplighet ofta begränsande för infiltrationen medan vattenförande sprickzoner kan vara mycket mer genomsläppliga.

Huvuddelen av det grundvatten som bildar ytvattendrag i ett avrinningsområde utgörs följaktligen av utströmmande ytligt grundvatten. Undersökningar har visat att ungefär 60–85% av de flödestoppar som uppstår i ett ytvattendrag i samband med regn och snösmältning orsakas av utströmmande ytligt grundvatten /Grip och Rodhe, 1985/. Omkring 20–30% av avrunnet vatten i några studerade avrinningsområden i norra Sverige uppvisar uppehållstider på mindre än ett år, medan 97–99% uppvisar uppehållstider på mindre än tio år /Nyberg och Jönsson, 1994/. Närmare uppgifter om åldersbestämningar av djupa vattenprover från SKB:s borrhål i Klipperåsområdet presenteras i kapitel 6.5.3.

*Sammanfattningsvis konstateras att:*

- *Medelavrinningen i Hultsfreds kommun är måttlig, ca 200 mm/år. Merparten av denna avrinning utgörs av utströmmande ytligt grundvatten, som har en snabb omsättning genom de, relativt sett, mer genomsläppliga jordlagren.*
- *Lokala topografiska gradienter inom kommunens olika avrinningsområden kan vara av betydelse för berggrundvattnets strömning på olika djup eftersom de är större än förekommande regionala gradienter. Av störst betydelse för omsättningen är dock skillnader i vattengenomsläpplighet mellan olika geologiska enheter och strukturer.*

## 5 Berggrundens vattengenomsläpplighet

### 5.1 Inledning

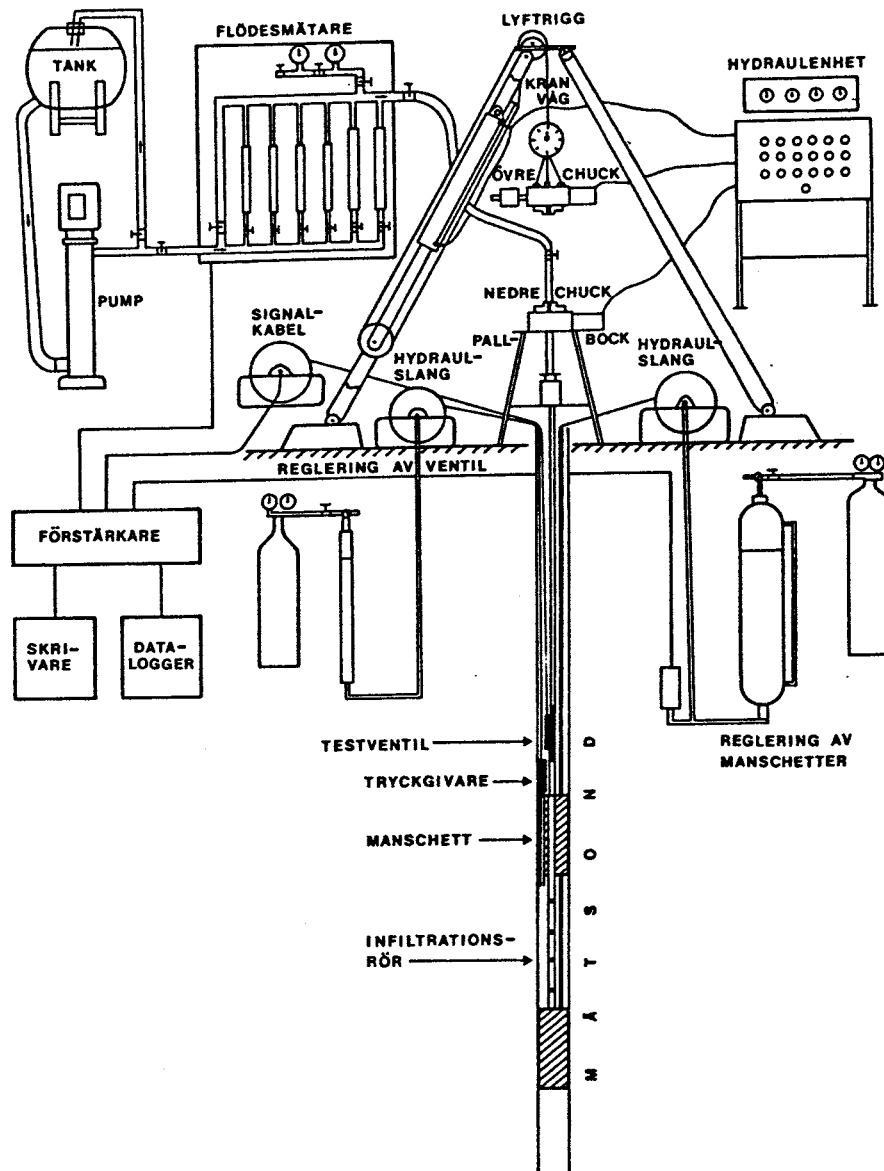
I detta kapitel jämförs data från bergbrunnarna i Hultsfreds kommun som finns i SGU:s brunnsarkiv med data från de relativt sett djupare undersökningsborrhål som gjorts på uppdrag av SKB i Klipperåsområdet (figur 1-3). Berggrunden inom Klipperåsområdet består huvudsakligen av Smålandsgranit, vilket även utgör stora delar av berggrunden i Hultsfreds kommun. Underlaget från Klipperåsområdet ger kunskap om berggrundens vattengenomsläpplighet och grundvattnets kemiska beskaffenhet på stora djup inom ett begränsat område, medan uppgifterna från brunnsarkivet är indikativa för de ytliga förhållandena inom ett större område. Målet för detta kapitel är att utreda dels om det föreligger skillnader i vattengenomsläpplighet mellan olika bergarter, dels om resultaten från de djupa undersökningarna från Klipperåsområdet kan kopplas till informationen från de grundare brunnarna i kommunen. Slutligen diskuteras skillnader i vattengenomsläpplighet mellan bergmassa och sprickzoner.

### 5.2 Hydraulisk konduktivitet i sprickigt berg

Det vanligaste sättet att beskriva vattengenomsläppligheten i jord och berg är att ange K-värdet (hydraulisk konduktivitet). K-värdet för urberg är beroende av förekomsten av vattengenomsläppliga sprickor, dvs sprickor som inte är isolerade eller täta utan står i kontakt med andra öppna sprickor. Sprickfrekvens och sprickgeometri har därför stor inverkan på K-värdet.

Sprickfrekvens mäts t ex i kärnborrhål och anges då som antalet sprickor per längdmeter. Bergets vattengenomsläpplighet brukar också mätas i kärnborrhål. I figur 5-1 visas principen för K-värdesbestämning med dubbelmanschett i urberg. K-värdet uttrycks vanligtvis i sorten m/s alternativt m/år ( $1 \text{ m/år} = 3,2 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ ).

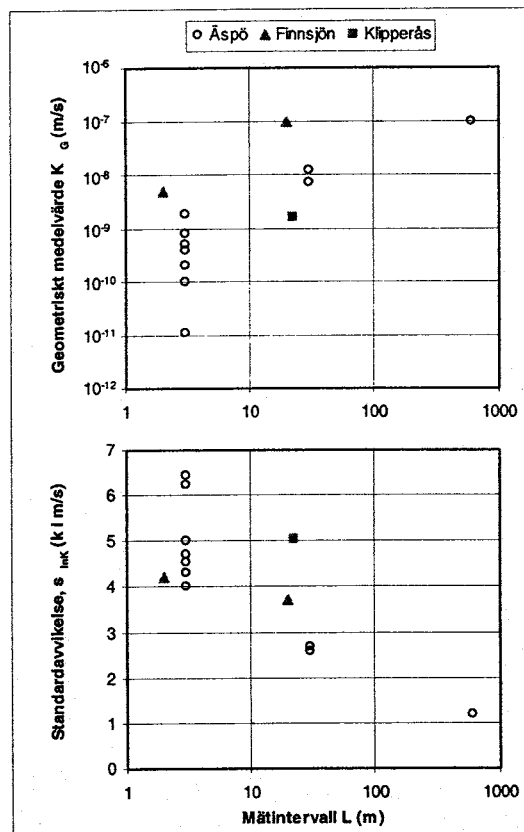
En viktig egenskap hos urberg är att frekvensen av sprickor med hög vattengenomsläpplighet i regel är mycket liten jämfört med frekvensen av sprickor med ringa eller måttlig vattengenomsläpplighet. En annan viktig egenskap är att skillnaden i vattengenomsläpplighet mellan olika sprickor kan vara mycket stor (flera tiopotenser). Dessa två egenskaper påverkar vår bild av bergets vattengenomsläpplighet. Av erfarenhet vet vi att antalet mätningar med låga K-värden i ett borrhål beror av mätintervallens (manschettavståndets) längd. Mätintervallens längd påverkar följaktligen K-värdesstatistiken för borrhålet ifråga och vår bild av bergets vattengenomsläpplighet.



**Figur 5-1** Principskiss för K-värdesbestämning i urberg med dubbelmanschett. Vatten från tankar på markytan pumpas in mellan manschetter i borrhålet under konstant tryck, så att vatteninjektionstest. Genom att mäta flödets variation med tiden kan K-värdet mellan manschetterna beräknas. Bilden visar en äldre typ av utrustning som bl a användes vid manschettmätningarna i Klipperås /Timje, 1983/.



I figur 5-2 visas ett exempel på K-värdets beroende av mätintervallets längd. Värderna som är markerade med cirklar härrör från detaljerade mätningar i några kärnbrorhål på Äspö i Oskarshamns kommun. Värderna som är markerade med trianglar representerar samtliga mätningar i de 11 kärnbrorhålen i Finnsjöområdet i Norduppland (2307 mätningar med intervallet 2–3 m och 78 mätningar med intervallet 20 m). Värderna som är markerade med kvadrater representerar samtliga mätningar i 7 kärnbrorhål i Klipperåsområdet (215 mätningar med intervallen 20 och 25 m). Diagrammen visar att även om de statistiska skillnaderna mellan olika borrorhål kan vara ganska stora (jmf Äspödata) ökar det geometriska medelvärdet av uppmätta K-värden med ökande längd på mätintervallet. För standardavvikelsen gäller det omvända förhållandet, den avtar med ökande längd på mätintervallet. Figur 5-2 säger således att skillnaderna i K-värde längs med ett borrorhål jämnas ut (homogeniseras) ju längre mätintervallet är. Följaktligen är det viktigt att tänka på mätintervallets längd om man skall kunna använda konduktivitetbegreppet för att noggrant karaktärisera vattengenomsläppligheten i sprickigt berg, dvs skilja på bergmassa och sprickzoner.



**Figur 5-2** K-värdets beroende av mätintervallets längd. Den övre bilden visar det geometriska medelvärdet och den undre visar standardavvikelsen av många K-värdebestämningar med olika långa mätintervall. Värderna som är markerade med cirklar härrör från detaljerade mätningar i några kärnbrorhål på Äspö i Oskarshamns kommun /Follin m fl, 1998/. Värderna som är markerade med trianglar representerar samtliga mätningar i de 11 kärnbrorhålen i Finnsjöområdet i Tierps kommun (2307 mätningar med intervallet 2–3 m och 78 mätningar med intervallet 20 m). Värderna som är markerade med kvadrater representerar samtliga mätningar i 7 kärnbrorhål i Klipperåsområdet ca 45 km söder om Hultsfreds kommun (215 mätningar med intervallen 20 och 25 m).



## 5.3 SKB:s undersökningar

Undersökningsmaterialet från SKB:s undersökningar i Klipperås omfattar manschettmätningar i 7 kärnbrorhåll. Borrhålens djup varierar mellan 553-943 m. Totalt har 62 manschettmätningar utförts med 5 m längd, 196 st med 20 m längd och 19 st med 25 m längd. Därtill kommer 11 enkelmanschettmätningar i de djupare delarna av borrhålen, med mätintervall mellan 8-232 m. De mätningar som gjorts med 5 m mätintervall är ej representativa för hela bergmassan då de endast är utförda i de delar av undersökningshålen som misstänks passera genom större vattenförande zoner. Mätningarna med 5 m mätintervall kan därför ej jämföras med övriga mätningar. En sammanfattande beskrivning av data och resultat från olika studier finns redovisad av Ahlbom m fl /1992/.

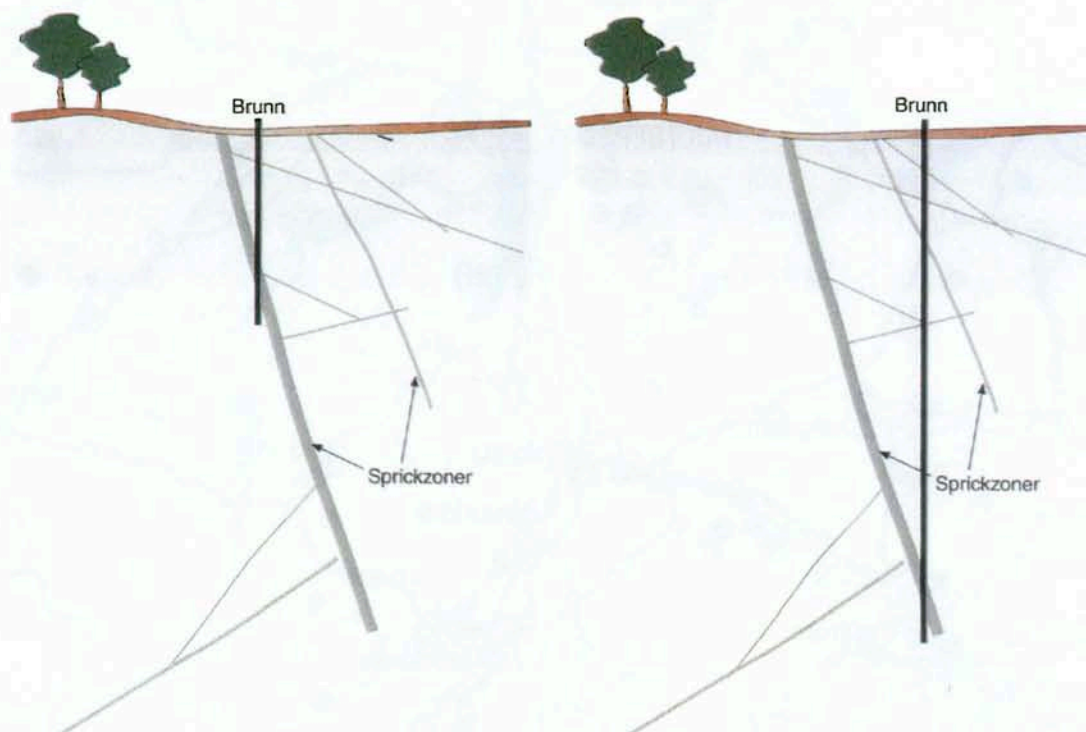
I denna studie har SKB:s manschettmätningar använts företrädesvis i syfte att bedöma vattengenomsläpplighetens storlek mot djupet samt skillnader i vattengenomsläpplighet mellan bergmassa och sprickzoner. De K-värden från Klipperåsområdet som behandlas i denna studie är hämtade från Ahlbom m fl /1992/. Värdena finns lagrade i SKB:s databas SICADA.

## 5.4 SGU:s brunnsarkiv

Brunnsarkivet är ett dokumentations- och informationsprojekt vid SGU:s grundvattenenhet. Projektets huvudsakliga mål är att insamla, bearbeta och arkivera geologisk och hydrogeologisk information från brunnsborrningar och grundvattenundersökningar /SFS, 1975/ på ett sådant sätt att uppgifterna är tillgängliga och användbara för såväl enskilda som myndigheter. Uppgifterna i brunnsarkivet är inte framtagna med tanke på någon speciell tillämpning och det är viktigt att notera att materialet har begränsningar av olika slag. Som exempel kan nämnas att det sedan seklets början har förekommit många olika metoder för att borra brunnar, pumpa och mäta vattenföring och avsänkning. Vidare har brunnarna i de flesta fall borrats för att tillgodose vattenbehovet hos enskilda hushåll, vilket innebär att informationen i många fall är betingad – man har borrat tills man fått tillräckligt med vatten. Ofta bestäms läget där en brunn skall borraras utifrån möjligheten att träffa på vattenförande sprickzoner i berget. De sprickzoner som är lättast att lokalisera med geofysiska instrument är de som är vertikala eller nästan vertikala. Beroende på hur nära en sådan sprickzon en brunn borraras kan vatten påträffas på olika djup, se exempel i figur 5-3. Av borrhållstekniska skäl är en bergbrunn sällan djupare än ca 120 m. För- och nackdelar med att använda uppgifter från brunnsarkivet för att beräkna K-värden diskuteras bl a av Wladis m fl /1997/, Berggren /1998/ och Rodhe och Eriksson /1998/. Trots dessa begränsningar är materialet hydrogeologiskt intressant och allmänt anses att det kan användas för att *översiktligt* jämföra vattengenomsläpplighet hos olika bergartskategorier i berggrundens övre del.

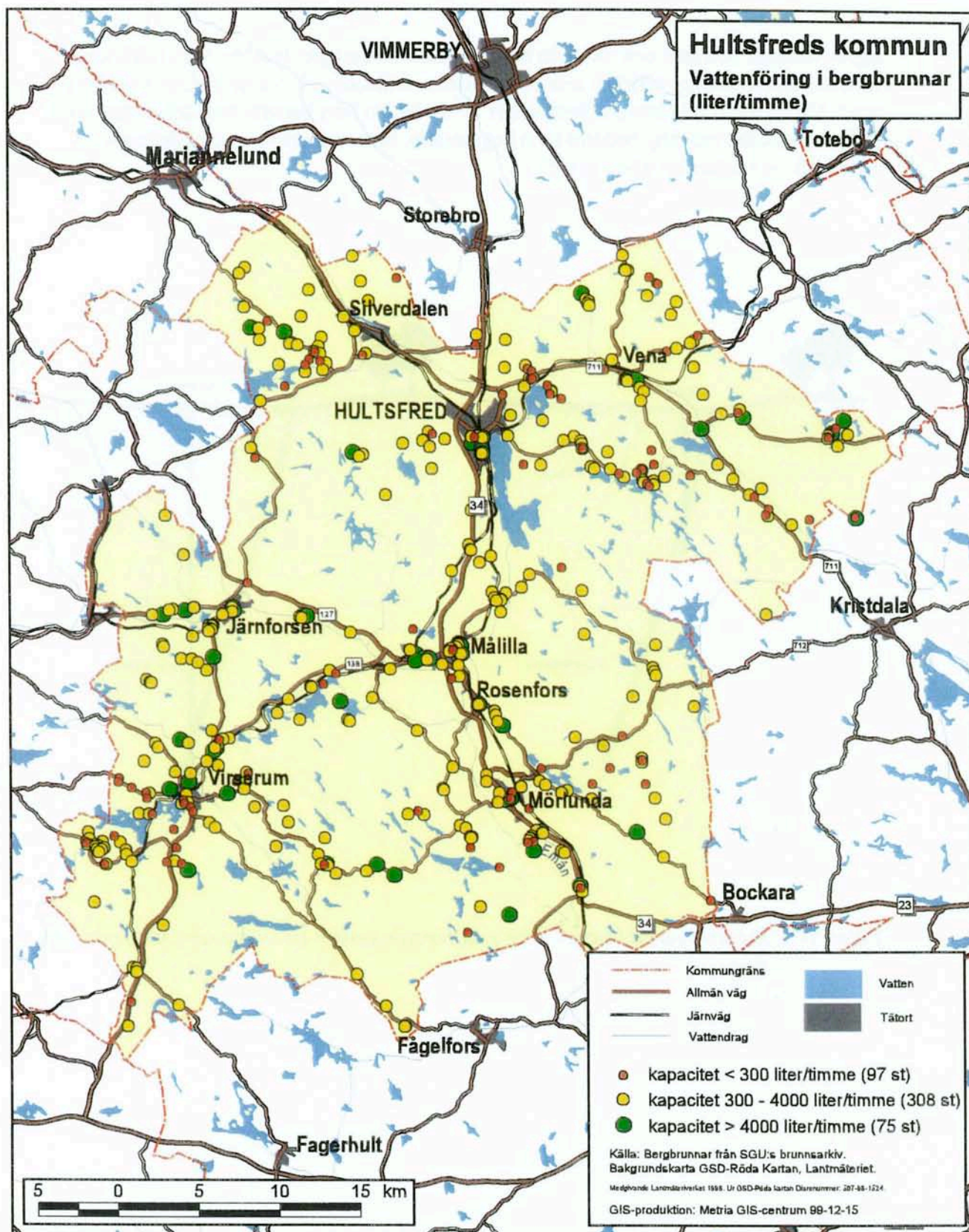
I denna studie har en utvärdering gjorts av K-värden baserade på vattenföringsmätningar från bergborrade vattenförsörjningsbrunnar inom Hultsfreds kommun. Totalt har data från 480 brunnar med ett djup större än tio meter i berg analyserats, se figur 1-1 och figur 5-4. Brunnarna är borrade under perioden 1930-1998 och är i medeltal borrade till ca 73 m djup samt testade med konventionell brunnsborrningsteknik. De grundaste bergbrunnarna har tagits bort i analysen därför att vattnet i dessa ofta kommer från jord-

lagren närmast brunnen och inte från berggrunden. Underlaget bedöms vara tillräckligt stort för en tillförlitlig statistisk analys av relativa skillnader i K-värde mellan olika bergarter. Möjligheten till absoluta jämförelser av K-värden från vattenföringsmätningar med SKB:s manschettmätning bedöms som begränsade, beroende på bl a stora skillnader i mätteknik och mätintervallets längd.



**Figur 5-3** Exempel på en brunn i berg som borrats genom en större sprickzon på olika djup.





**Figur 5-4** Bergbrunnar i Hultsfreds kommun med känd vattenföring (480 st) enligt SGU:s brunnarkiv. Endast brunnar med en borrlängd i berg på minst 10 m har tagits med. Brunnarna är indelade i tre klasser med avseende på deras vattenföring (kapacitet). Kapacitetsgränserna är definierade som  $\pm 1$  standardavvikelse kring medianvärdet 1 000 L/h.

## 5.5 Definition av K-värde från brunnldata

Vattenföring i bergbrunnar anges vanligen som flöde (liter per timme). I hydrogeologiska sammanhang används ofta begreppet specifik kapacitet. Den specifika kapaciteten beräknas genom att dividera uppmätt vattenföring,  $Q$ , med uppmätt avsänkning,  $s$ . Specifik kapacitet,  $Q/s$ , anges vanligen i sorten liter per timme och meter avsänkning  $(L/h)/m$  (alternativt kubikmeter vatten per sekund och meter avsänkning,  $(m^3/s)/m$ ).

En brunn som är borrhå i berg med hög vattengenomsläpplighet har i regel en hög specifik kapacitet och vice versa. Sambandet är dessvärre inte entydigt. Mängden vatten som kan rinna fram till en bergbrunn beror nämligen inte bara på bergets vattengenomsläpplighet utan även på brunnens djup. Om vattengenomsläppligheten per borrhå i berget antas vara konstant, så producerar en djup brunn mer vatten än en grund brunn vid jämförbar avsänkning. Den högre vattenföringen medför i detta exempel en högre specifik kapacitet för den djupare brunnen eftersom avsänkningen är densamma. Slutsatsen blir att vid beräkning av bergets medel-K-värde från brunnldata måste man ta hänsyn till brunnsdjupet. I denna studie används sambandet i ekvation 5-1 för att beräkna medel-K-värdet för de analyserade bergbrunnarna.

$$K = (Q/s) / L \quad (5-1)$$

där

$K$  = Vattengenomsläpplighet (medel-K-värde), (m/s)

$L$  = Borrhå längd i berg (beräknas som total borrhå längd – jorddjup), (m)

$Q$  = Vattenföring vid mättillfället, ( $m^3/s$ )

$s$  = Avsänkning vid mättillfället (sätts vanligen lika med  $L$ ), (m)

För fullständighetens skull skall sägas att det finns fler faktorer som kan påverka den specifika kapaciteten. Som exempel kan nämnas mätningens varaktighet, håldiametern och brunnens "kondition". För syftet med denna studie antas inverkan av andra faktorer än brunnsdjupet vara av underordnad betydelse i ett statistiskt perspektiv. Ett speciellt problem i sammanhanget är dock att det vanligtvis saknas värden på avsänkningen,  $s$ , för flertalet av bergbrunnarna i SGU:s brunnarkiv /Berggren, 1998/. Wladis m fl /1997/ anger att man som en god approximation kan anta att avsänkningen är lika med den borrhå längden i berg. I denna studie har detta antagande använts för 98% av brunnarna. Antagandet innebär vidare att medel-K-värdet enligt ekvation 5-1 blir omvänt proportionellt mot den borrhå längden i berg i kvadrat.

De analyserade bergbrunnarna har indelats i bergartskategorier av SGU enligt tabell 2-1. Syftet är att få en uppfattning om det föreligger skillnader i medel-K-värde mellan olika bergarter. Vidare har bergbrunnarnas medel-K-värden enligt ekvation 5-1 översiktligt jämförts med underlaget från SKB:s undersökningar av djupa borrhå i Klipperås. Syftet är dels att få en uppfattning om ett djupberoende föreligger, dels att bedöma om det finns skillnader i vattengenomsläpplighet mellan bergmassa och sprickzoner.

## 5.6 Analys av data

Det statistiska underlaget från SGU:s brunnsarkiv (480 st brunnar) återges i figur 5-5 och 5-6. Figur 5-5 är ett histogram för borrhöjden i berg medan figur 5-6 är ett histogram för brunnarnas vattenföring (kapacitet). Aktuellt medianvärde på borrhöjden i berg i Hulthfreds kommun (71 m) överensstämmer väl med brunnsarkivets riksmedianvärde (70 m) medan aktuellt medianvärde på brunnskapaciteten (1 000 L/h) är något högre än motsvarande riksmedianvärde (660 L/h) i brunnsarkivet /Berggren, 1998/. SKB har i sin översiktsstudie /SKB, 1995a/ beräknat närmevärden på den specifika kapaciteten för olika delar av Sverige genom att anta att avsänkningen är lika med borrhöjden i berg /jmf Wladis m fl, 1997/. Den på så sätt beräknade specifika kapaciteten (Q/s) ger, för regionen där Hulthfreds kommun ingår värden som ligger i kvartilen närmast över riksmedianvärdet för samtliga bergbrunnar i SGU:s brunnsarkiv. I en nationell jämförelse indikerar ovan omnämnda genomsnittsvärden för Hulthfreds kommun inget som kan anses vara onormalt för svenskt urberg.

I figur 5-7 visas ett diagram där brunnskapaciteten är plottad mot totala brunnsdjupet. Diagrammet visar att spridningen i vattenföring är stor (jmf figur 5-6) oavsett brunnsdjup. Detta kan förklaras av att lokala skillnader är allmänt förekommande eller av att brunnar har påträffat vattenförande sprickzoner på olika djup (jmf figur 5-3). I urberg beror tillgången på grundvatten av sprickigheten och framför allt av förekomsten av vattenförande sprickzoner. Den stora variationen i brunnsdjup kan bäst förstås av att informationen i många fall är betingad. Som exempel på faktorer som påverkar underlagets användbarhet kan nämnas:

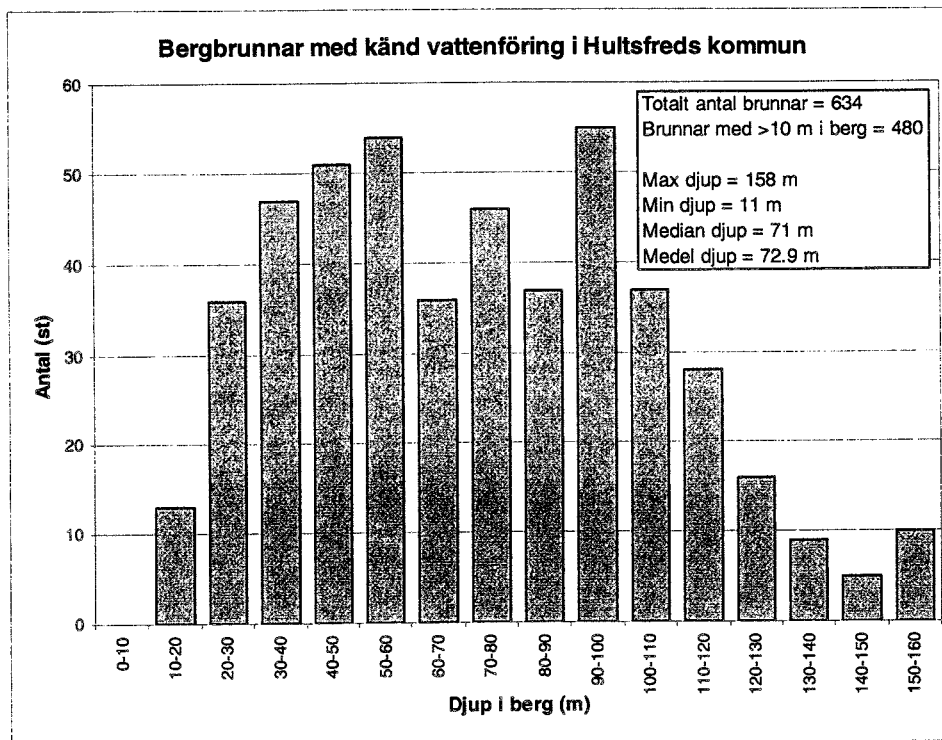
- man har fått tillräckligt med vatten (ingen anledning att borra djupare),
- tekniska begränsningar (största borrhöjden är ofta mindre än 120 m), och
- torra brunnar och brunnar med låg kapacitet inrapporteras sällan till brunnsarkivet.

I figur 5-8 har brunnskapaciteten räknats om till medel-K-värden uttryckt i sorten m/s med hjälp av ekvation 5-1. De olika markeringarna representerar olika bergartskategorier (se tabell 2-1). Diagrammet i figur 5-8 visar att variationen inom en och samma bergartskategori är stor och att antalet värden avtar under ca 60 m representativt borrhöjden<sup>3</sup>. Det senare kan delvis förklaras med att det maximala borrhöjden hos de flesta borrhöjden på marknaden är ca 120 m.

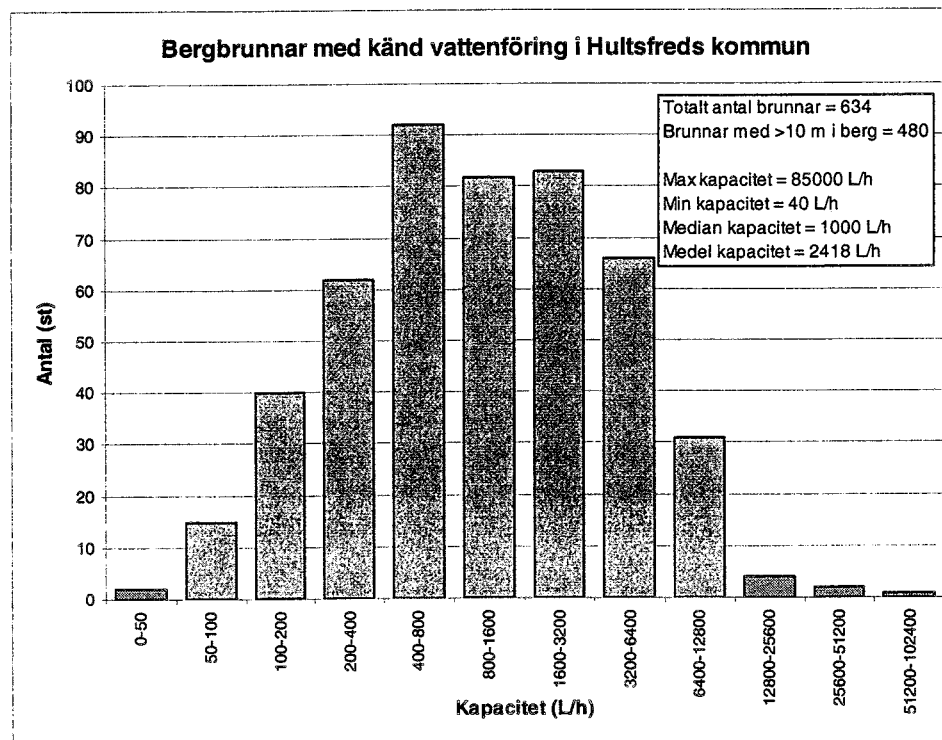
Figur 5-8 visar att variationen i medel-K-värde inom en bergart är större än skillnaderna mellan olika bergartskategorier, ett förhållande som har framhållits även i tidigare förstudier /Axelsson och Ekstav, 1995; Follin m fl, 1996a,b; Follin m fl, 1998/. Att spridningen inom en och samma bergart är stor skall tolkas som att vattengenomsläppligheten varierar mycket mellan olika platser och beror på förekomsten av sprickzoner. Vad gäller maximi- och minimivärden på olika nivåer kan man med ledning av brunnsarkivets uppgifter möjligen notera att Smålandsgraniter ofta förekommer bland maximivärdena medan gabbro ofta syns bland minimivärdena. Man bör dock notera att variationsvidden är stor även för dessa två bergartskategorier varför figur 5-8 inte kan användas för generella slutsatser om bergartsförhållandena på en enskild plats.

<sup>3</sup> Med representativt borrhöjden menas i denna studie att medel-K-värdet är plottat mot halva borrhöjden i berg.

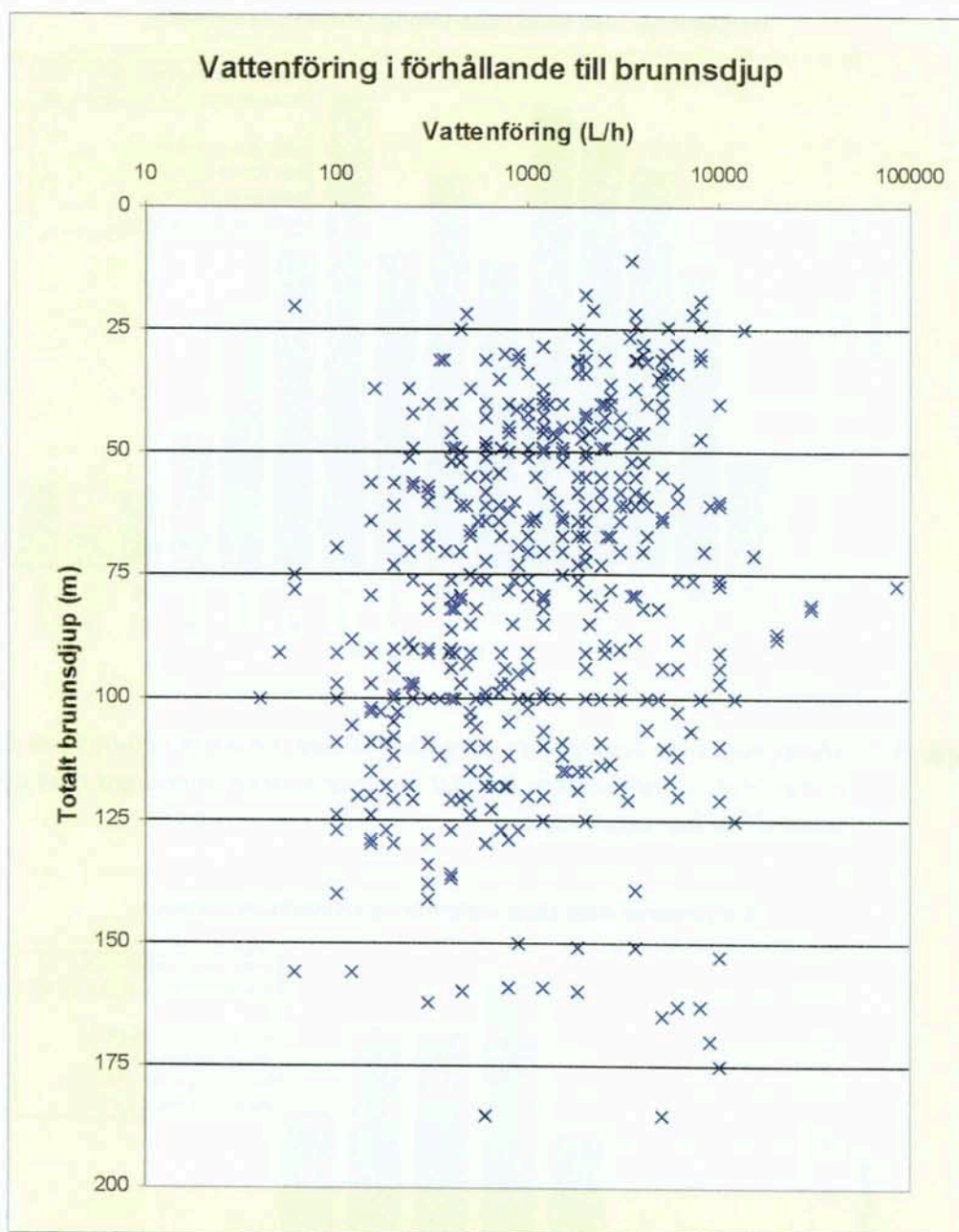




*Figur 5-5 Histogram över borrlängd i berg för 480 bergbrunnar i Hultsfreds kommun enligt SGU:s brunnsarkiv. Endast brunnar med en borrlängd i berg på minst 10 m har tagits med.*

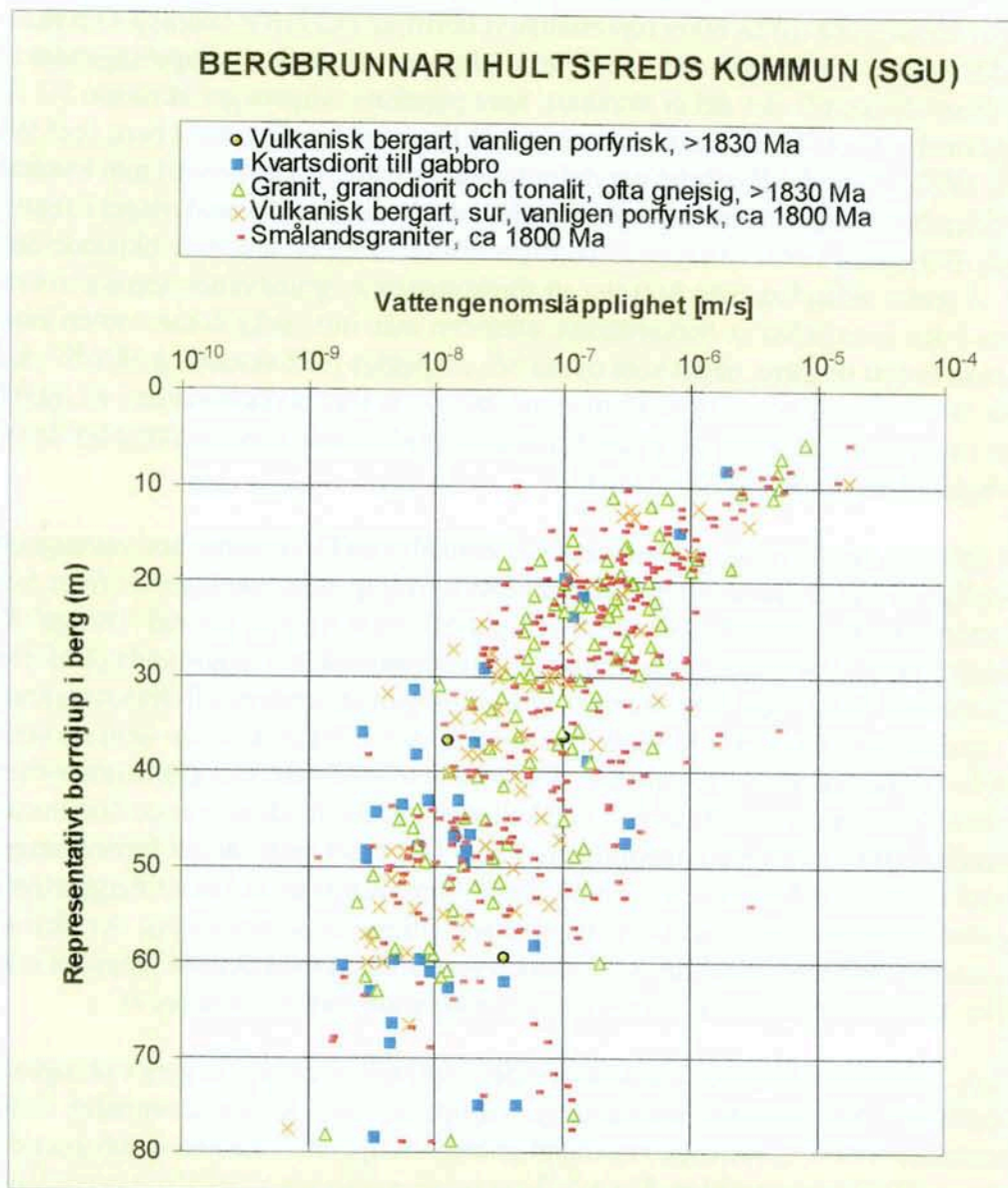


*Figur 5-6 Histogram över vattenföringsdata från 480 bergbrunnar i Hultsfreds kommun enligt SGU:s brunnsarkiv. Endast brunnar med en borrlängd i berg på minst 10 m har tagits med.*



**Figur 5-7** Vattenföringsdata och totalt brunnsdjup för 480 bergbrunnar inom Hultsfreds kommun enligt SGU:s brunnsarkiv. Endast brunnar med en borrlängd i berg på minst 10 m har tagits med.





**Figur 5-8** Medel-K-värden för brunnar i olika bergarter som funktion av representativt borrhjup. Medel-K-värdena har beräknats enligt ekvation 5-1 utifrån uppgifter om 480 bergbrunnar inom Hultsfreds kommun arkiverade i SGU:s brunnsarkiv.

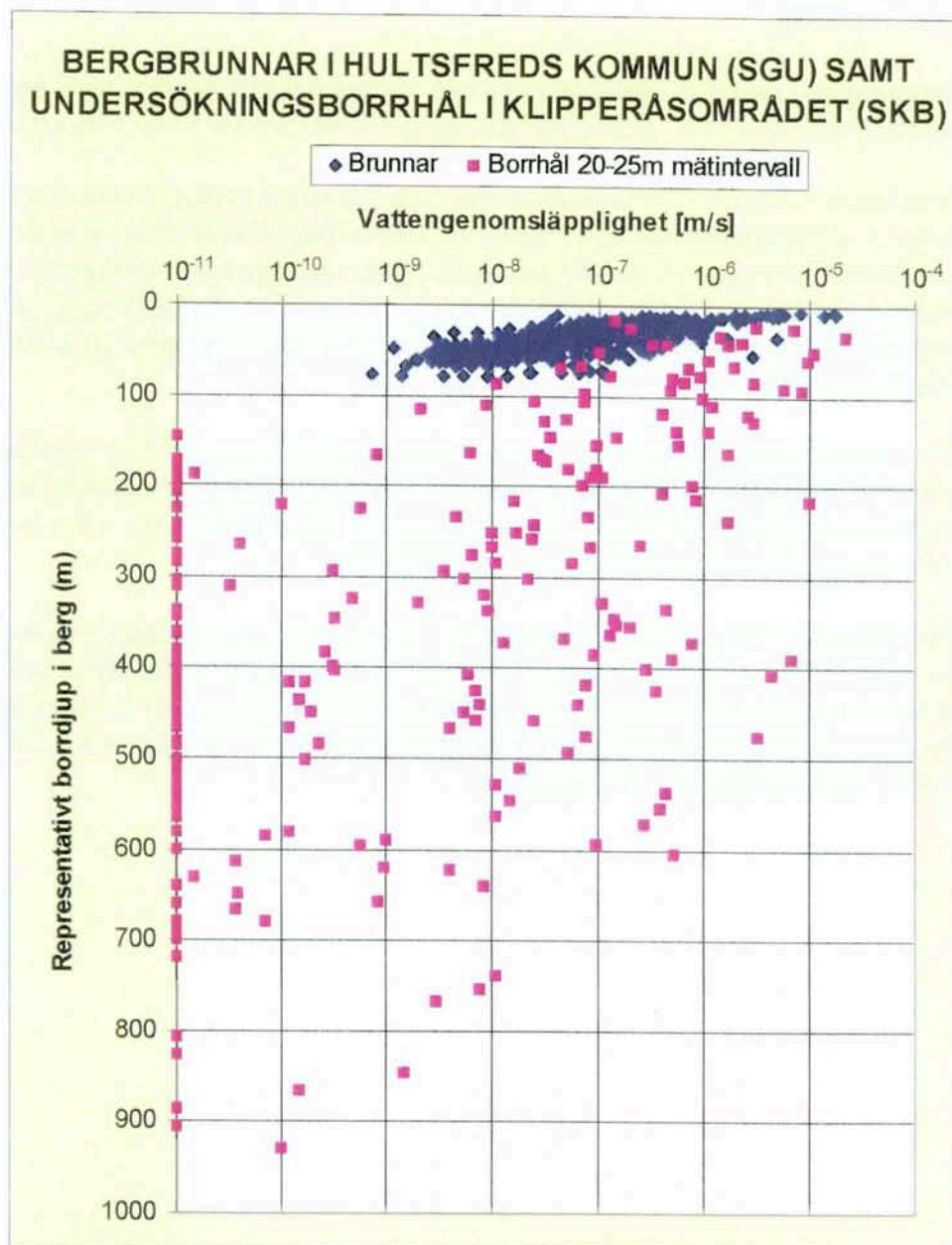
Figur 5-8 indikerar vidare att medel-K-värden plottade som punktvärden avtar med djupet särskilt ned till ca 60 m representativt borrhjup (120 m totaldjup). Om man jämför figur 5-8 med figur 5-7 och figur 5-3 finner man dock att djupavtagandet i figur 5-8 förmodligen till stor del är skenbart. Som påpekats tidigare ger ekvation 5-1 tillsammans med antagandet om att avsänkningen är lika med borrhjupen i berg /jmf Wladis m fl, 1997/ att medel-K-värdet per definition är omvänt proportionellt mot kvadraten på borrhjupen i berg. Eftersom djupberoendet i det betingade dataunderlaget i figur 5-7 är ringa /Berggren, 1998/ kan man följaktligen förvänta sig ett utseende liknande det i figur 5-8. Å andra sidan kan man ju tycka att förekomsten av grundvatten kanske trots allt är störst i den övre delen av berggrunden, eftersom man inte tycks få mer vatten bara för att man borrar djupare, något som också bör avspeglas i det aktuella medel-K-värdet. Figur 5-7 indikerar på sin höjd att man möjligtvis får lika mycket vatten i en djup brunn som i en grund (jmf figur 5-3). Om bergets medel-K-värde vore konstant borde vattenföringen öka med ökande borrhjup.

Att ett visst, om än ringa, djupberoende eventuellt kan förekomma hos vattengenomsläppligheten även under 60 m representativt borrhjup stöds möjligen av figur 5-9. Förutom samma medel-K-värden som i figur 5-8 visar figur 5-9 också "riktiga" K-värden från SKB:s manschettmätningar i Klipperåsområdet i någorlunda jämförbara mätintervall (20-25 m). Som framgår finns möjligen en tendens till djupavtagande även om spridningen hos dessa K-värden på olika nivåer är minst lika stor som spridningen hos de beräknade medel-K-värdena. Att K-värden bestämda med dubbelmanschett kan variera flera tiopotenser beror helt och hållet på om det förekommer en dominant vattenförande spricka inom mätintervallet eller inte. Figur 5-9 visar att det förekommer ett flertal vattenförande sprickor även på större djup. Den visar också att bergpartier med låg vattengenomsläpplighet förekommer både ytligt och på större djup. Av skäl som diskuterats tidigare (jmf figur 5-2) minskar spridningen med ökande längd på mätintervallet, eftersom effekterna av enskilda vattenförande sprickor jämnas ut.

Enligt Ahlbom m fl /1992/ förekommer det ett djupberoende i bergets vattengenomsläpplighet i SKB:s manschettmätningar i djupa borrhål i Klipperåsområdet. Enligt Bengtsson /1997/ är vattengenomsläppligheten i Klipperås inte lika djupberoende som i andra av SKB:s typområden. Figur 5-9 ger ingen möjlighet att bedöma eventuella skillnader i vattengenomsläpplighet mellan bergmassa och sprickzoner i Klipperåsområdet. Ahlbom m fl /1992/ redovisar emellertid uppgifter som pekar på att vattenförande sprickzoner i detta område kan vara ända upp till 100–1 000 gånger mer vattengenomsläppliga än omgivande bergmassa.

Klipperåsområdet ligger i en region som domineras av Smålandsgranit (85% av den undersökta bergvolymen har borrats i Smålandsgranit /Ahlbom m fl, 1992/). Detta är även den dominerande bergarten i stora delar av Hultsfreds kommun. Om de tektoniska processerna bakom berggrundens spricksystem är jämförbara, är det realistiskt att anta att de genomsnittliga hydrauliska förhållandena och egenskaperna som konstaterats för Klipperåsområdet även kan gälla som utgångspunkt för att uppskatta genomsnittliga förhållanden i områden med Smålandsgranit i Hultsfreds kommun. Man bör dock ha i minne att de lokala variationerna (och olikheterna) blir allt större ju mindre område som beaktas. En säkerhetsanalys av ett tänkbart läge för ett djupförvar kräver därför

detaljerade uppgifter mot djupet för platsen ifråga, något som kan erhållas först efter omfattande borrhålsundersökningar.



**Figur 5-9** *K*-värden på olika mätdjup för brunnar i Hultsfreds kommun och borrhål i Klipperåsområdet. *K*-värden för brunnar har beräknats enligt avsnitt 5.5. *K*-värden för Klipperåsområdet har beräknats från manschettmätningar i kärnborrhål på olika nivåer och finns lagrade i SKB:s databas SICADA. Mätningar som visar en vattengenomsläpplighet på  $1 \cdot 10^{-11}$  m/s ligger under mätgränsen och bergmassan har i verkligheten en lägre vattengenomsläpplighet. Med representativt borrhåldjup för en manschettmätning menas i detta diagram djupet till mätsektionens mittpunkt.

*Sammanfattningsvis konstateras att:*

- *En nationell jämförelse indikerar att genomsnittsvärden på borrhål längd i berg och vattenföring för bergbrunnar i Hultsfreds kommun får anses vara normala för svenskt urberg.*
- *Spridningen i medel-K-värde inom en och samma bergart bedöms vara betydligt större än skillnaderna i genomsnittliga medel-K-värden för olika bergarter.*
- *Beräknade medel-K-värden bedöms inte tyda på något tydligt djupberoende hos bergets vattengenomsläpplighet under ca 100 m djup. Enligt Ahlbom m fl /1992/ förekommer det dock ett djupberoende i bergets vattengenomsläpplighet i SKB:s manschettmätningar i djupa borrhål i Klipperåsområdet. Enligt Bengtsson /1997/ är vattengenomsläppligheten i Klipperåsområdet inte lika djupberoende som i andra av SKB:s typområden.*
- *De sammanfattande uppgifter som redovisas av Ahlbom m fl /1992/ från undersökningarna i Klipperåsområdet indikerar att enskilda K-värden bestämda med dubbelmanschett i djupa kärnborrhål kan vara upp till 100–1 000 högre i de stora vattenförande sprickzonerna än i omgivande bergmassa.*
- *Där berggrundens spricksystem liknar det som förekommer i Klipperåsområdet är det realistiskt att anta att de genomsnittliga hydrauliska förhållandena och egenkaperna som konstaterats för Klipperåsområdet även kan gälla som utgångspunkt för att uppskatta genomsnittliga förutsättningar inom andra, lika stora och geologiskt lika, delområden av kommunen.*

## 6 Grundvattnets kemi

### 6.1 Inledning

Grundvattnets kemiska sammansättning kan ha stor betydelse för lokaliseringsförutsättningarna för ett djupförvar. Sammanställningen och analysen av befintliga data från Hultsfreds kommun har därför fokuserats på om det föreligger avvikelser i halter från vad som anses vara normal grundvattenkemi i urberg /jmf SKB, 1992/. De analyserade mätvärdena härrör från vattenprov tagna i bergbrunnar i Hultsfreds kommun och undersökningsborrhål i Klipperås. Den geografiska spridningen hos borrhålen är begränsad men dessa har i gengäld ett större djup (326–860 m) än bergbrunnarna (20–76 m). Resultat och samband som redovisas ska därför endast ses som indikativa för förhållandena mot djupet i Hultsfreds kommun.

### 6.2 Underlag

Det underlag som funnits tillgängligt för denna utredning är följande:

- Vattenkemidata från SGU:s brunnsarkiv.
- Vattenkemidata från SKB gällande Klipperåsområdet.
- Vattenkemidata från kommunala vattentäkter och enskilda brunnar.
- Gröna kartan över området kring Hultsfred, Lantmäteriet.
- Berggrundskarta över Kalmar län, SGU.
- Hydrogeologiska kartan över Kalmar län, SGU.

SGU:s brunnsarkiv omfattar vattenkemidata från totalt 12 bergborrade brunnar med ett djup större än 10 meter i berg. Genom att sortera bort de grundaste brunnarna undviks problemet med att vattnet i grunda brunnar ofta kommer från jordlagren närmast brunnen och inte från berggrunden. Det representativa borrhålets djup på en av brunnarna är osäkert. De 12 brunnarnas lägen framgår av figur 1-2. Den geografiska spridningen är inte tillfredsställande och antalet uppgifter är inte tillräckligt för en tillförlitlig statistisk analys.

Underlaget från SKB:s undersökningar i Klipperåsområdet omfattar data från 3 borrhål, med provtagningsdjup mellan 326-860 m. Klipperåsområdet ligger ca 45 km söder om Hultsfreds kommun på gränsen mellan Nybro och Emmaboda kommun.



## 6.3 Processer som påverkar grundvattnets sammansättning

Grundvattnets kemiska sammansättning bestäms i huvudsak av följande fem processer:

1. Förhållanden vid passagen av jordmånszonen.
2. Ytreaktioner, jonbyte och sorption.
3. Upplösning och utfällning av mineral i sprickor och omgivande berg.
4. Bakteriell aktivitet, t ex sulfat- och järnreducerande bakterier.
5. Blandning av vatten med olika ursprung, t ex salt och sött vatten.

Passagen genom jordmånszonen har betydelse för grundvattnets "slutsammansättning". Markförhållandena påverkar kolsyra-bikarbonatsystemet och bestämmer vattnets  $pH$ . Vid en snabb passage genom markzonen, t ex i fallet tunna jordar på hällmark, sker kolsyrevittringen i stor utsträckning djupare ned i berget. Detta ger en relativt låg alkalinitet och ett högt  $pH$ . Det höga  $pH$ -värdet beror på att vittringen (neutraliseringen) av vattnet sker nere i berggrunden där inget kolsyra kan fyllas på. I mäktiga jordar sker en stor del av vittringen i själva markzonen med påfyllning av koldioxid (kolsyra) från markprocesserna vilket ger en hög alkalinitet och ett neutralt  $pH$ . Dessa kan betecknas som slutna respektive öppna system m a p tillförsel av koldioxid till grundvattnet /Stumm och Morgan, 1996/.

Jonbyte förekommer om vattnets sammansättning gradvis ändras. Då ett sött och ett salt vatten blandas eller byter plats sker jonbyte på laddade platser på mineral. I det svenska urberget har detta skett då vattnet under högsta kustlinjen förändrats från sött till salt och åter från salt till sött under de olika postglaciala skedena. Ett salt, natriumkloridrikt havsvatten resulterar i att negativt laddade jonbytande platser (jonbyteslägen) på mineral i jord och sprickor i berget blir belagda med natriumjoner. När en sötvattenperiod inträder, och ett för denna typiskt kalciumrikt vatten från markzonen tränger ned genom berget, byts kalcium i vattnet mot natrium från jonbyteslägena. Det betyder att berget fungerar som ett naturligt avhärtningsfilter och vattnet blir rikt på natriumbikarbonat och får en sammansättning av Ramlösatyp /Jacks m fl, 1981/.

Ett sött vatten domineras av kalcium och bikarbonat beroende på att kolsyran orsakar vittring av mineral och att de mineral som innehåller kalcium är de mest lösliga. Även magnesiuminnehållande mineral är relativt lösliga medan natrium- och kaliumsilikater i stort sett är mera svårslösliga. Om det sker blandning eller inbrytning av salt vatten, havsvatten, tillförs främst natrium och klorid men även en hel del magnesium och sulfat. Djupt nere i berggrunden har extremt salt vatten av okänt ursprung hittats. Detta vatten karaktäriseras av höga kalcium- och kloridhalter /Stumm och Morgan, 1996/.

Upplösning och utfällning kan ske i bergets spricksystem. Upplösning sker när ett mjukt vatten från de lösa jordarterna tränger ner i spricksystemen och möter gamla utfällningar av kalciumkarbonat från tidigare geologiska perioder. Vid blandning av två grundvatten kan utfällning av kalciumkarbonat ske, t ex då ett extremt hårt och kalciumrikt grundvatten på stort djup blandas med ett ovanifrån kommande bikarbonatrikt vatten. Upplösning av järnhydroxider sker vid redoxövergångar, dvs där förhållandena ändras från syrerika till syrefria. Utfällning av järnhydroxider sker om ett järnhaltigt vatten blandas med ett syrerikt.

Bakteriell aktivitet i vattnets väg finns naturligtvis i hög grad i markzonen. Vattenmätade organiska jordar ger ofta ett syrefritt vatten med låga redox-potentialer (se nedan). Vid oxidation av organiskt material utnyttjas först det lösta syret som oxidationsmedel (elektronacceptor). Därefter kan nitrat fungera som oxidationsmedel följt av manganoxider (med  $Mn^{4+}$ ) och järnhydroxider (med  $Fe^{3+}$ ). I de senare fallen omvandlas  $Mn^{4+}$  till  $Mn^{2+}$  och  $Fe^{3+}$  till  $Fe^{2+}$ .  $Mn^{2+}$  och  $Fe^{2+}$  är relativt lösliga i vatten och det är vanligt med höga halter av både mangan och järn i syrefria grundvatten. Slutligen kan sulfat-reducerande bakterier oxidera organiskt material under bildning av svavelväte.

Blandning av vatten med olika ursprung sker i stor utsträckning i berget där spricksystem med olika tryckförhållanden möts. En sådan blandning ger proportionella förändringar i lättlösliga komponenter som t ex kloridhalt men leder också till utfällning eller upplösning av sprickmineral.

## 6.4 Viktiga parametrar

Nedan diskuteras berggrundvattnets sammansättning utifrån ett antal parametrar, deras koppling till varandra samt deras beroende av djup och geografiska läge. Parametrarna har valts utifrån ursprungs-, stabilitets-, och korrosionsproblematik och beskrivs kortfattat nedan.

### *pH*

Vattnets *pH*-värde är ett mått på dess vätejonkoncentration  $\{H^+\}^4$ . Skalan för *pH*-värdet går från 0 till 14, där 0 anger ett mycket surt vatten och 14 ett mycket basiskt. Naturliga vatten uppvisar oftast ett *pH*-värde mellan 7 och 9. *pH*-värdet står i förhållande till kolsyrasystemet. Ytliga grundvatten samt djupt tagna vattenprov i ytvattendrag är ofta övermättade med koldioxid som avgår om provet får ha kontakt med atmosfären. Provets *pH* kan då stiga /Bydén, 1990; 1992/. Djupa grundvatten däremot har i allmänhet låga koldioxidtryck då det mesta av koldioxiden reagerat med sprickmineral, främst kalciumkarbonat.

---

<sup>4</sup> Plustecknet i  $\{H^+\}$  anger att vätejonens oxidationstal är +1, dvs att en elektron fattas (katjon). Joner med negativa oxidationstal har överskott på elektroner (anjoner).

### *Alkalinitet*

Alkalinitet är ett mått på vattnets förmåga att neutralisera syror, dvs dess förmåga att tåla tillskott av vätejoner utan att *pH*-värdet sänks. Alkalinitetens huvudsakliga komponent i naturliga vatten med ett *pH*-värde mellan 7 och 9, är  $\text{HCO}_3^-$ , vilket är den kemiska beteckningen på bikarbonat. Alkalinitet uttrycks vanligen i sorten mg  $\text{HCO}_3^-/\text{L}$  (milligram bikarbonat per liter).

Ett grundvattens alkalinitet bestäms oftast i de översta tiotals metrarna närmast markytan. Faktorer som påverkar alkaliniteten är bl.a. markprocesser (biologisk aktivitet) och kalkinnehållet hos förekommande jord- och bergarter. En kalkrik jordart eller berggrund medför en hög alkalinitet genom att en stor del av den tillförda koldioxiden reagerar med markens kalkinnehåll, vilket i sin tur innebär att mer koldioxid kan lösas i vattnet (jämför ovan med beskrivningen av det "öppna systemet"). Det är framförallt en kalkrik jord som ger hög alkalinitet. Kalk i berget löses endast upp i relation till tillgänglig kolsyra och till mättnad med avseende på kalciumkarbonat. I de flesta fall uppvisar grundvatten en alkalinitet mellan 40–200 mg/L. För att minimera korrosionen av koppar är det önskvärt att alkaliniteten är högre än 60 mg  $\text{HCO}_3^-/\text{L}$  /SLV, 1989/.

### *Sulfat*

Den kemiska beteckningen för sulfatjoner är  $\text{SO}_4^{2-}$  och mängden sulfatjoner i ett vattenprov uttrycks i sorten mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$ . Sulfatjoner i grundvatten kan ha olika ursprung. De kan tillföras grundvattnet via atmosfären, de kan härstamma från relict eller inträngande havsvatten och de kan också komma från oxidativ vittring av sulfidhaltiga mineral eller upplösning av sulfatmineral. Sulfat kan också försvinna ur vattnet genom sulfatreduktion. Detta innebär att anaeroba bakterier, samtidigt som de bryter ner organisk substans, omvandlar sulfat till svavelväte. Svavelvätelukt hos vatten från bergborrade brunnar är inte ovanligt.

Sulfathalten i ett grundvatten varierar vanligen mellan 2–150 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$ . Halter mellan 100 och 200 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$  betraktas ur teknisk synpunkt som anmärkningsvärda. Halter överstigande 200 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$  medför att vattnet betraktas som med tvekan tjänligt som dricksvatten. Sulfathalten i Östersjön är ca 500 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$  och i Nordsjön ca 2 700 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$ . I Hulfsfreds kommun är den atmosfäriskt deponerade mängden sulfat ca 14,4 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$  /NV, 1999/. På ostkusten är depositionen till en tät granskog av svavel ungefär dubbelt så stor som depositionen på öppet fält /Gun Lövblad, IVL, opublicerade data/.

### *Klorid*

Den kemiska beteckningen för kloridjoner är  $\text{Cl}^-$  och mängden kloridjoner i ett vattenprov uttrycks i sorten mg  $\text{Cl}^-/\text{L}$ . Kloridhalten i grundvatten i Sverige är vanligen låg (2–50 mg  $\text{Cl}^-/\text{L}$ ). Undantag utgörs av kustnära områden samt områden som ligger under den så kallade saltvattengränsen (det vill säga områden som varit täckta av salt eller bräckt vatten efter isavsmältningen). I dessa områden kan kloridhalterna uppgå till flera tusen mg  $\text{Cl}^-/\text{L}$ . Kloridhalten i Östersjön ligger f n mellan 2 000–4 000 mg  $\text{Cl}^-/\text{L}$  vilket kan jämföras med kloridhalten i havsvatten som f n är knappt 20 000 mg  $\text{Cl}^-/\text{L}$ .

Höga salthalter i grundvatten kan indelas i tre huvudgrupper m a p ursprung /Knutsson och Morfeldt, 1993/:



- Nutida inträngning av havsvatten i brunnar som ligger mycket nära stranden (högst 300–500 m) i tät, kristallin berggrund eller på kilometeravstånd från stranden i porösa jord- och bergarter.
- Relikt havsvatten dels i lågt liggande områden, där grundvattenbildningen varit så liten och grundvattenrörelserna så ringa att det salta porvattnet inte trängts undan, dels i djupa fickor i isälvsavlagringar eller bergsprickor, där det salta vattnet blivit inestängt. Relikt havsvatten påträffas också i äldre sedimentär berggrund, t ex på norra Öland, Gotland och sydvästra Skåne.
- Mycket salta vatten som finns på djupet i jordskorpan och som har konstaterats framförallt i den kanadensiska urbergsskölden men även i Finland /Bottomley m fl, 1994/ och Sverige /Follin, 1994/.

Förhöjda kloridhalter i brunnar vållar problem dels genom dålig smak på dricksvatten, dels på grund av risk för korrosionsskador på ledningar och installationer. Vatten med kloridhalter över 300 mg Cl/L anses "med tvekan tjänligt" (smakgränsen i Sverige är satt till 300 mg Cl/L) och med halter på >100 mg Cl/L "från teknisk synpunkt anmärkningsvärt" på grund av en ökad korrosionsrisk /NV, 1999/.

På ostkusten är den atmosfäriska depositionen av klorid ca 1,5–5 mg Cl/L beroende på vegetationstäcket, tät skog eller öppen mark /Gun Lövblad, IVL, opublicerade data, 1996/.

#### *Natrium och kalcium*

Natriumjonen ( $Na^+$ ) är jämte kalciumjonen ( $Ca^{2+}$ ) de dominerande katjonkomponenterna i grundvatten. Båda frigörs vid vittring och båda deltar i jonbytesreaktioner där kalciumjonerna har en större förmåga att sätta sig fast (affinitet) än natriumjonerna. Natrium- och kalciumhalterna är ofta kopplade till varandra och i viss utsträckning till *pH*-värdet. Natrium- och kalciumhalter i grundvatten överstiger som regel ej 200 mg  $Na^+$ /L respektive 50 mg  $Ca^{2+}$ /L.

#### *Magnesium*

Magnesiumjonen ( $Mg^{2+}$ ) frigörs genom vittringsprocesser och deltar i jonbytesjämvikter. Förekomsten av magnesium i urberg är lägre än förekomsten av natrium och kalcium. Vanligen överstiger inte magnesiumhalterna 25 mg  $Mg^{2+}$ /L.

#### *Totalhårdhet*

Den sammanlagda halten av kalciumjoner och magnesiumjoner definierar ett vattens totalhårdhet. Totalhårdheten uttrycks i mg  $Ca^{2+}$ /L efter att halten magnesium omräknats till ekvivalent kalciumhalt. Ett hårt vatten innehåller en hög halt kalcium och magnesium och har stor buffertkapacitet mot *pH*-förändringar. Ett hårt vatten kan även innehålla mer fri kolsyra än ett mjukt vatten utan att bli aggressivt ur korrosionssynpunkt. Indelningen av vatten i olika hårdhetsklasser sker enligt följande:

0–15	mg $Ca^{2+}/L$	Mycket mjukt vatten
15–35	mg $Ca^{2+}/L$	Mjukt vatten
35–70	mg $Ca^{2+}/L$	Medelhårt vatten
70–150	mg $Ca^{2+}/L$	Hårt vatten
>150	mg $Ca^{2+}/L$	Mycket hårt vatten

Typiska områden med hårt vatten är Uppland och Skåne beroende på kalkrika jordlager och/eller berggrundsförhållanden.

### *Kalium*

Kalium förekommer vanligen i relativt låga halter i grundvatten främst därför att det finns svårvittrade mineral och genom att det är ett växtnäringsämne som växtligheten effektivt ekonomiserar med.

### *Kvävekomponenter*

Kväve förekommer i vatten som ammonium ( $NH_4^+$ ), nitrat ( $NO_3^-$ ) och som nitrit ( $NO_2^-$ ). Nitrit förekommer vanligen i mycket låga halter. Kväve är ett växtnäringsämne och vanligen ett bristämne i de flesta ekosystem varför dess cirkulation sker i marknära områden. Ammonium är en positiv jon som binds ganska hårt i marken till bland annat lermaterial. Endast mycket nära en organisk förorening som t. ex. en avfallsdeponi hittas större mängder ammonium och då kan även mätbara mängder nitrit förekomma. I gödslande och väl dränerade, syrerika jordar kan ammonium omvandlas till nitrat. Nitrat är en negativ jon och mycket rörlig i marken om den ej fångas upp av växtligheten. Särskilt under milda vintrar då vegetationen sover kan nitrat lakas ned till grundvattnet. I grundvatten med lång omsättningstid sker ofta en biologisk eller kemisk denitrifikation, dvs en omvandling av nitrat till kvävgas. Den biologiska denitrifikationen sker genom bakterier som utnyttjar organiskt material som energikälla. En kemisk denitrifikation kan ske genom förekomst av sulfider i grundvattnet.

### *Redoxförhållande*

Det förekommer två huvudgrupper av kemiska reaktioner i naturen. Vid syra-basreaktioner överförs vätejoner och vid reduktions-oxidationsreaktioner (redox-) överförs elektroner. Oxidation är en reaktion där elektroner avges och reduktion en reaktion där elektroner tas upp. Eftersom elektroner i en lösning inte kan existera fritt måste alltid en oxidation vara kombinerad med en reduktion. Flertalet reaktioner i naturen är kombinationer av syra-bas och redoxreaktioner.

Den helt dominerande oxidationsreaktionen i naturen är oxidation av organiskt material. Djur, bakterier och svampar oxiderar organiskt material för att tillgodogöra sig den energi som bundits vid de gröna växternas fotosyntes. Flertalet organismer använder syre som oxidationsmedel, dvs elektronmottagare. Då syret konsumerats finns organismer som kan utnyttja andra elektronmottagare. Följande elektronmottagare utnyttjas då i ordning, resulterande i olika reduktioner:

1. nitrat → kvävgas
2. mangan( $Mn^{4+}$ ) → mangan( $Mn^{2+}$ )
3. järn( $Fe^{3+}$ ) → järn( $Fe^{2+}$ )
4. sulfat → svavelväte
5. koldioxid → metan

Fyrvärt mangan är en olöslig oxid medan tvåvärt mangan(II) är ganska vattenlösligt. På samma sätt är trevärt järn olösligt som hydroxid medan tvåvärt järn är vattenlösligt. Reducerande miljöer där syre saknas kan alltså kännetecknas av relativt höga halter av löst mangan och järn. Liksom det finns buffertsystem som stabiliserar *pH*-värdet finns det redoxbuffertar, varav  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ -systemet kan vara det viktigaste i grundvattenmiljön.

Redoxförhållandet i ett vatten beskriver således huruvida den kemiska miljön är reducerande eller oxiderande. För att förhindra korrosion av de tekniska barriärerna vid ett förvar (t ex kopparkapseln) och därefter upplösning av avfallet (uranoxidmatrisen) krävs reducerande (syrefria) förhållanden. Detta är normalt fallet i svensk berggrund som domineras av graniter och gnejser. I öppna system (kontakt med luft) bestäms ett vattens redoxegenskaper som regel helt av närvaron av syre. I slutna system bestäms grundvattnets redoxegenskaper av närvaron av redoxkomponenter i berget eller i vattenfasen. Processer som förbrukar syret (redoxbuffert) sker oftast i det ytliga berget på något tiotals meters djup. Innehållet av reducerande (järninnehållande) mineral i berggrunden och bakteriell syrereduktion anses dominera redoxbuffertkapaciteten i berggrunden /SKB, 1995b/. Små mängder organiskt material som följer med vattnet ned i berggrunden kan sannolikt underhålla en population av sulfatreducerande bakterier som producerar svavelväte, vilket kan fällas som järnsulfid och omvandlas till pyrit som är ett förekommande sprickmineral. Utfälld järnsulfid ( $FeS$ ) omvandlas långsamt till den mer kristallina pyriten ( $FeS_2$ ).

### *Järn*

Löst järn i grundvatten härstammar från mineral med järninnehåll och indikerar syrefria förhållanden då en del av järnet övergår i tvåvärd form och går i lösning. Under syrefria förhållanden kan trevärt järn också användas som elektronacceptor av vissa bakterier under nedbrytning av organiskt material. Ofta används kvoten  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  som ett mått på redoxförhållandet i ett grundvatten.

### *Organiskt material*

Organiskt material är syreförbrukande och ger på så sätt ett skydd mot oxiderande förhållanden. Nedbrytning av organiskt material sker antingen genom oxidation med hjälp av syre (ytligt), eller på djupet med hjälp av bakterier (t ex sulfatreducerande). Mängden organiskt material i ett vattenprov brukar i moderna analyser kvantifieras som *TOC* eller *DOC* (totalt organiskt material respektive löst organiskt material). I äldre undersökningar är det vanligt förekommande att mängden organiskt material i ett vattenprov uttrycks som den mängd tillsatt kaliumpermanganat,  $KMnO_4$  som det organiska materialet kunde förbruka.



## 6.5 Resultat

Det bör beaktas att nedanstående sammanställning baseras på vattenanalyser som delvis kommer från olika undersökningstillfällen. Det är därför oklart om förhållandena är jämförbara med avseende på provtagningsmetodik, provhantering och analysmetoder.

### 6.5.1 Parameteröversikt

Tabell 6-1 ger en översiktlig uppfattning av berggrundvattnets sammansättning i Hultsfreds kommun. Redovisade data kommer från SGU:s brunnarkiv.

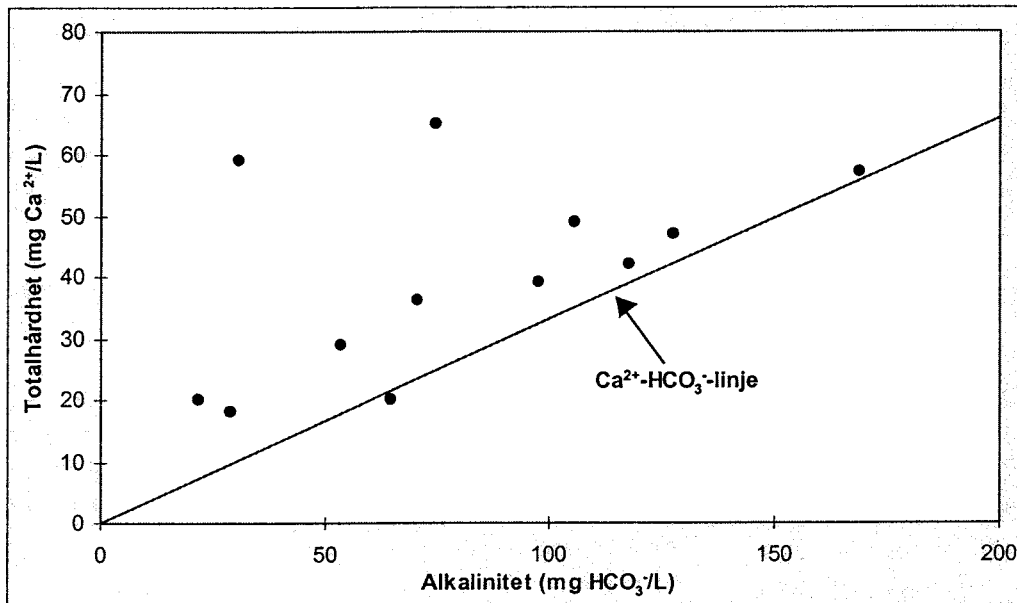
*Tabell 6-1 Parameteröversikt för grundvatten i bergborrade brunnar i Hultsfreds kommun. Data från SGU:s brunnarkiv.*

Parameter	Max	Min	Median	Standard avvikelse	Antal
<i>pH</i>	8,0	5,9	6,8	0,7	12
<i>Alkalinitet, mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L</i>	169	22	73	45	12
<i>Kalcium, mg Ca<sup>2+</sup>/L</i>	44	10	35	12	6
<i>Magnesium, mg Mg<sup>2+</sup>/L</i>	13	5,0	6,3	3,0	6
<i>Hårdhet, mg Ca<sup>2+</sup>/L</i>	65	18	41	16	12
<i>Natrium, mg Na<sup>+</sup>/L</i>	18	5,8	9,0	4,8	6
<i>Klorid, mg Cl<sup>-</sup>/L</i>	77	6,0	16	25	12
<i>Sulfat, mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L</i>	48	12	23	12	8
<i>Järn, mg Fe<sub>tot</sub>/L</i>	7,4	<0,05	0,1	2,1	12
<i>Org mtrl, mg KMnO<sub>4</sub>/L</i>	45	2,0	4,0	12	12

Sammanfattningsvis kan följande sägas om vattenkemin i bergborrade brunnar i Hultsfreds kommun som kommentar till statistiken i tabell 6-1:

- Medianvärdena för vattenkemin påminner om ett typiskt icke-salint grundvatten enligt SKBF /1983/, vilket stöds av figur 3-3. Högsta kustlinjen i Hultsfreds kommun (figur 3-2) representerar strandlinjen för Baltiska issjön, som var en sötvattenssjö. Spår av Östersjöns marina (saltvattenhav) utvecklingsstadier inom kommunen är inte kända.
- Variationsbredden för parametrarna är stor och i vissa fall är standardavvikelsen större än medianvärdet. Detta gäller för bland annat klorid, järn och organiskt material. Orsaken är troligen att datamängden är mycket begränsad och härrör från ett relativt stort geografiskt område.

- Genom att plotta totalhårdhet mot alkalinitet går det att se att korrelationen mellan alkalinitet och hårdhet är relativt tydlig. I figur 6-1 har en Ca-HCO<sub>3</sub>-linje lagts in. Linjen representerar en normal vittring i mark och berg där det finns lättillgängligt kalcium och magnesium endera som karbonat eller som lättvittrade silikater. I vatten där totalhårdheten överstiger 150 mg Ca<sup>2+</sup>/L utgörs motjonen av klorid. Detta förhållande tyder på en saltvattenintrusion med natriumjoner som bytts ut mot kalcium- och magnesiumjoner. I de aktuella fallen ligger totalhårdheten under 65 mg Ca<sup>2+</sup>/L i samtliga brunnar. Kalciumhalten är något högre än förväntat (över linjen), vilket troligtvis beror på den relativt höga sulfatdepositionen i området. Motjonen utgörs i det aktuella fallet av sulfat.
- Medianvärdet för sulfat ligger över den atmosfäriska depositionen (14,4 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L) i området enligt /NV, 1999/. Ingen av brunnarna har sulfathalter >100 mg/L vilket är SLV:s gräns för teknisk anmärkning.
- Grundvattnet varierar från mycket mjukt till medelhårt men är i ett övervägande antal fall medelhårt.
- I 7 av 12 brunnar är pH > 6,4 och alkaliniteten mellan 65-169 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L vilket medför att korrosionsrisken är liten och att en acceptabel pH-nivå kan bibehållas /NV, 1999/. I de övriga brunnarna ligger pH mellan 5,9-6,2 och alkaliniteten mellan 22-54. Korrosionsrisken i dessa brunnar ökar och alkaliniteten är otillräcklig för att ge stabil och acceptabel pH-nivå /NV, 1999/.
- I 5 av 8 prover är sulfathalten högre än kloridhalten, ett förhållande som är anmärkningsvärt vid jämförelse med vad som normalt är fallet i svenskt urberg. Främsta förklaringen tros vara sulfatdepositionen som är relativt hög i den här delen av Sverige. Förekomst av sulfid i mineral-/bergmatrisen kan också bidra till en ökad sulfathalt i grundvattnet.
- I samtliga prover är kloridhalten lägre än 100 mg Cl<sup>-</sup>/L vilket betyder att halten ligger under gränsen för ökad risk för korrosionsangrepp. Den depositionsbedingade kloridhalten i grundvattnet kan i södra Sverige (Götaland) variera upp till knappt 20 mg/L /NV, 1999/. I Östersjön är kloridhalten ca 3 100 mg Cl<sup>-</sup>/L.
- Grundvattenkemin i SGU-brunnarna i Hultsfreds kommun uppvisar en förväntad sammansättning utifrån den hydrogeologiska miljön /NV, 1999/. I sammanhanget bör nämnas att järnhalterna inte har kunnat jämföras eftersom totalhalten  $-Fe_{tot}$  anges för SGU data och halten löst järn för data i NV /1999/.
- Den kemiska sammansättningen i grundvatten från SGU:s brunnar överensstämmer i stort med vattenkemin i de 4 kommunala vattentäkterna samt de 61 undersökta enskilda brunnarna i kommunen. Inga uppgifter finns om vattentäkterna och brunnarna är anlagda i jord eller berg.
- Baserat på SGU-data har grundvattnet i Hultsfreds kommun i många avseenden en sammansättning som liknar det för grundvattnet i Oskarshamns kommun /Follin m fl, 1998/. De parametrar som skiljer sig åt är pH, alkalinitet, natrium, och klorid vars medianvärden är lägre i Hultsfreds kommun. Att halterna är lägre i Hultsfreds kommun beror sannolikt på att kommunen inte varit täckt av Östersjöns marina utvecklingsstadier (figur 3-3). Den del av kommunen som ligger under högsta kustlinjen har varit täckt av Baltiska issjön.



**Figur 6-1** Korrelation mellan totalhårdhet och alkalinitet i vatten från bergborrade brunnar i Hultsfreds kommun.  $\text{Ca-HCO}_3^-$  linjen representerar en normal vittring i mark och berg där det finns lättillgängligt kalcium och magnesium endera som karbonat eller som lättvittrade silikater. Data från SGU:s brunnarkiv.

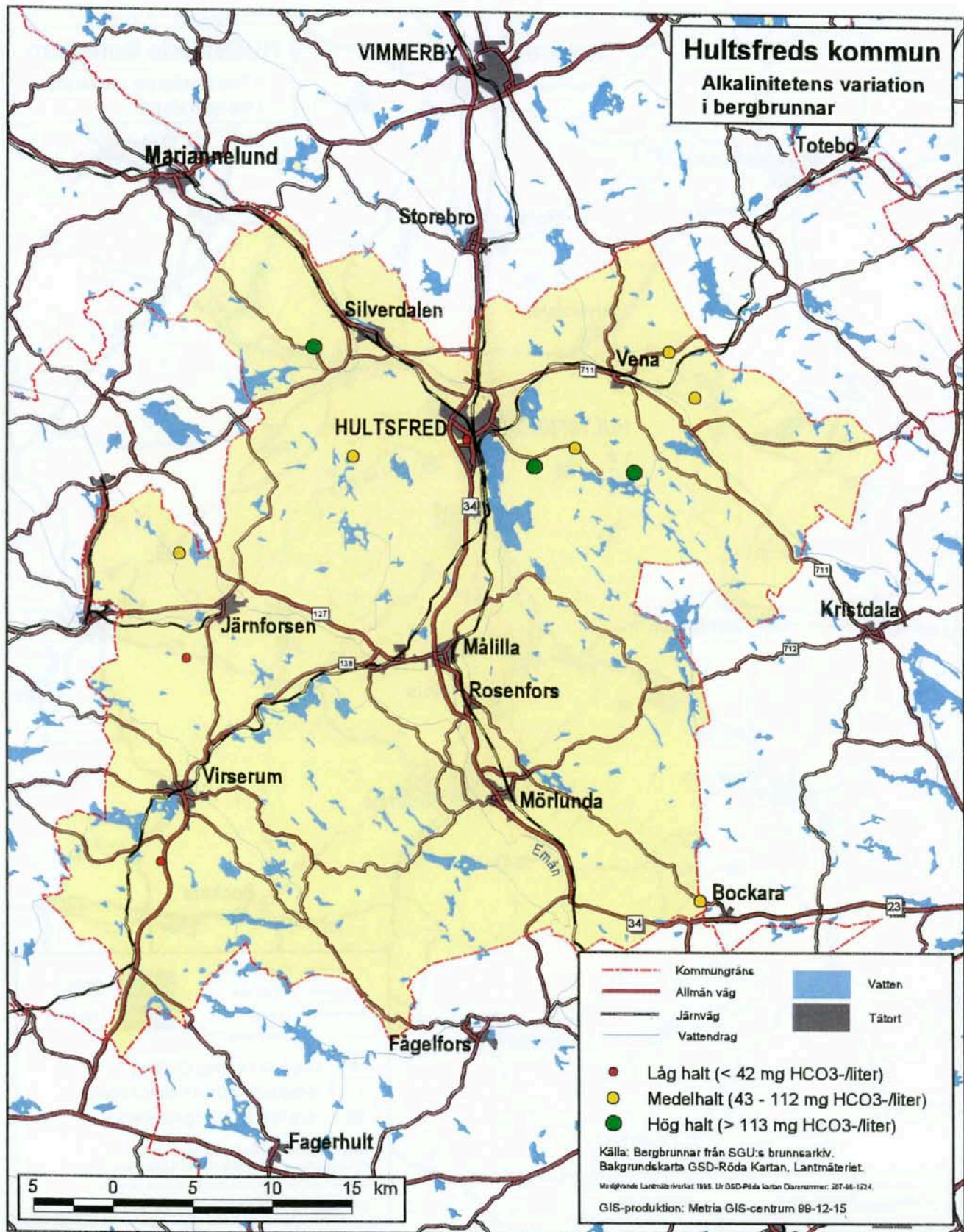
### 6.5.2 Geografisk variation

I figurerna 6-2 och 6-3 åskådliggörs hur halterna för alkalinitet respektive klorid varierar geografiskt inom kommunen. De olika stora cirkelarna i de båda figurerna svarar mot följande koncentrationsförhållanden:

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <i>Liten</i> (röd) cirkel:      | Värdet ligger i den undre kvartilen ( $\leq 25\%$ ).       |
| <i>Mellanstor</i> (gul) cirkel: | Värdet ligger inom intervallet $> 25\%$ till $\leq 75\%$ . |
| <i>Stor</i> (grön) cirkel:      | Värdet ligger i den övre kvartilen ( $> 75\%$ ).           |

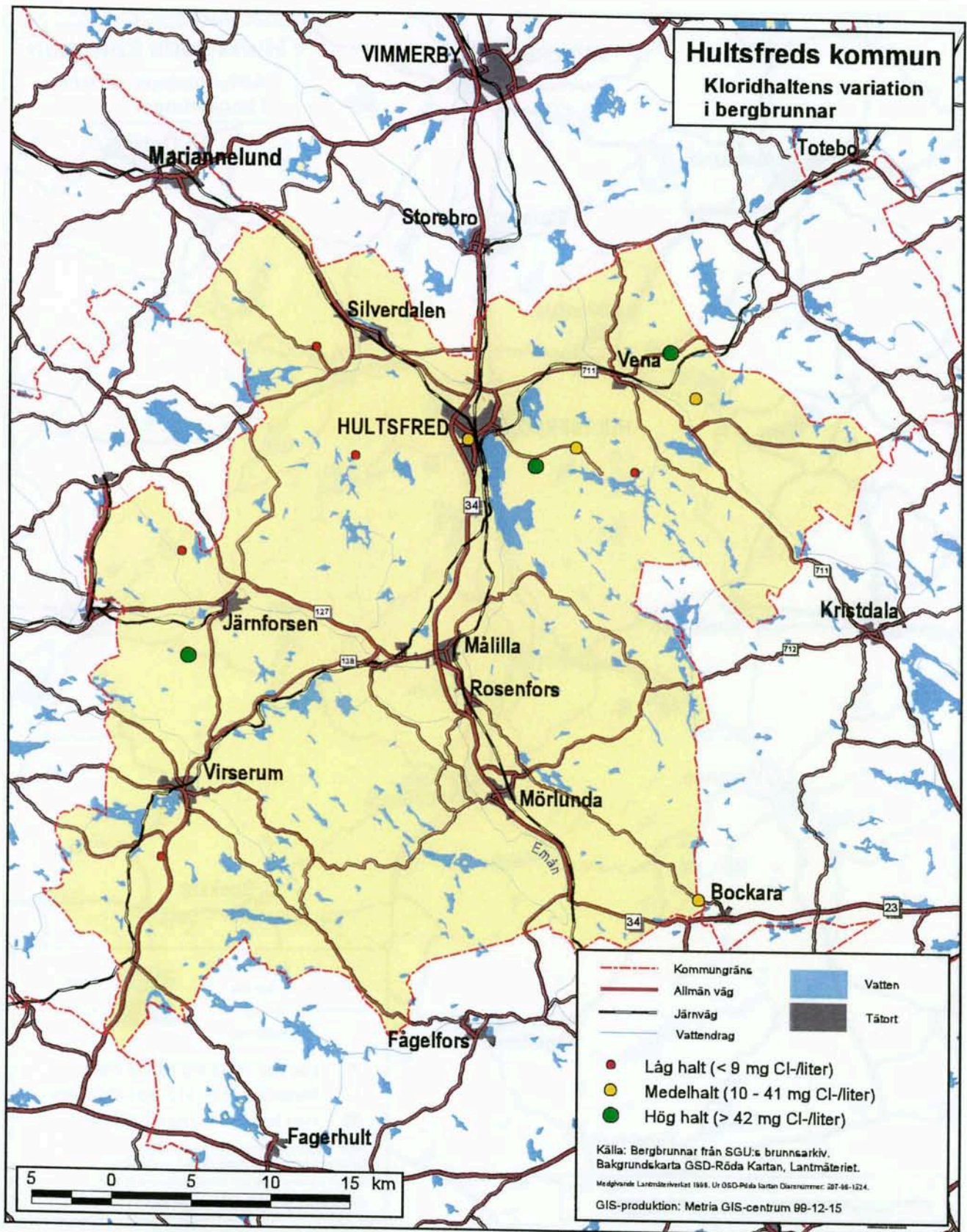
Enligt figurerna kan inga tendenser skönjas till geografiska variationer i alkalinitet eller kloridhalt. Detta beror troligen dels på en begränsad datamängd, och dels på att området är för litet.





Figur 6-2 Alkalinitetens variation i bergboreade brunnar. Data från SGU:s brunnarkiv.





Figur 6-3 Kloridhaltens variation i bergboreade brunnar. Data från SGU:s brunnarkiv.

### 6.5.3 Klipperåsområdet

Klipperåsområdet har aldrig legat under havsytan och grundvattnet i området är av ytlig och intermediär karaktär /Ahlbom m.fl., 1992/.

I tabell 6-2 nedan sammanfattas data från Klipperåsområdet. Data är hämtade från tre kärnborrhål och provtagningsdjupet varierar mellan 326–860 m. Undersökningarna är gjorda mellan 1981 och 1985.

*Tabell 6-2 Parameteröversikt för grundvatten från Klipperåsområdet. Dataunderlaget är hämtat från SKB:s databas SICADA. Värdena representerar tre kärnborrhål där provtagningsdjupet varierar mellan 326–860 m.*

Parameter	Min	Median	Max
pH	7,5	8,0	8,7
Alkalinitet, mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	73	103	139
Kalcium, mg Ca <sup>2+</sup> /L	7,9	23	31
Magnesium, mg Mg <sup>2+</sup> /L	1,0	2,0	5,5
Hårdhet, mg Ca <sup>2+</sup> /L	11	30	34
Natrium, mg Na <sup>+</sup> /L	9,0	26	72
Klorid, mg Cl <sup>-</sup> /L	5,5	14,5	53
Sulfat, mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	0,1	0,8	4,5
Järn, mg Fe <sub>tot</sub> /L	0,06	0,098	0,44

Vid en jämförelse av data från Klipperås med data från brunnsarkivet avseende Hultsfreds kommun framgår att:

- Medianvärdena för Klipperås motsvarar ungefär värdena för SGU:s brunnar i Hultsfreds kommun. pH, alkaliniteten och natriumhalten ligger något högre i Klipperås medan de övriga parametrarna är lika eller ligger något lägre.
- Medianvärdena för studerade parametrar påminner om ett typiskt icke-salint grundvatten enligt SKBF /1983/. Även maximivärdena ligger, med undantag för kloridhalten, inom de intervall som anges i SKBF /1983/. Förklaringen till detta är att området aldrig har legat under havsytan. Troligtvis finns det spår av relict glacialt smältvatten i de djupa borrhålen /Ahlbom m. fl. 1992/.
- Grundvatten från Klipperås har en låg sulfathalt. Detta tyder på reducerande förhållanden där sulfat använts för att t ex bryta ned organiskt material. I vatten från Klipperås förekommer också låga kloridhalter och katjonhalter vilket igen indikerar att brunnsarkivet inte är saltvattenpåverkade.

Försök har gjorts att åldersbestämma grundvattnet från Klipperåsområdet med hjälp av <sup>14</sup>C-metoden på organiskt material /Smellie m fl, 1987/. Med denna metod bestämdes grundvattnets ålder på 400 – 700 m djup till omkring 28 000 – 30 000 år.

### 6.5.4 Djupberoende

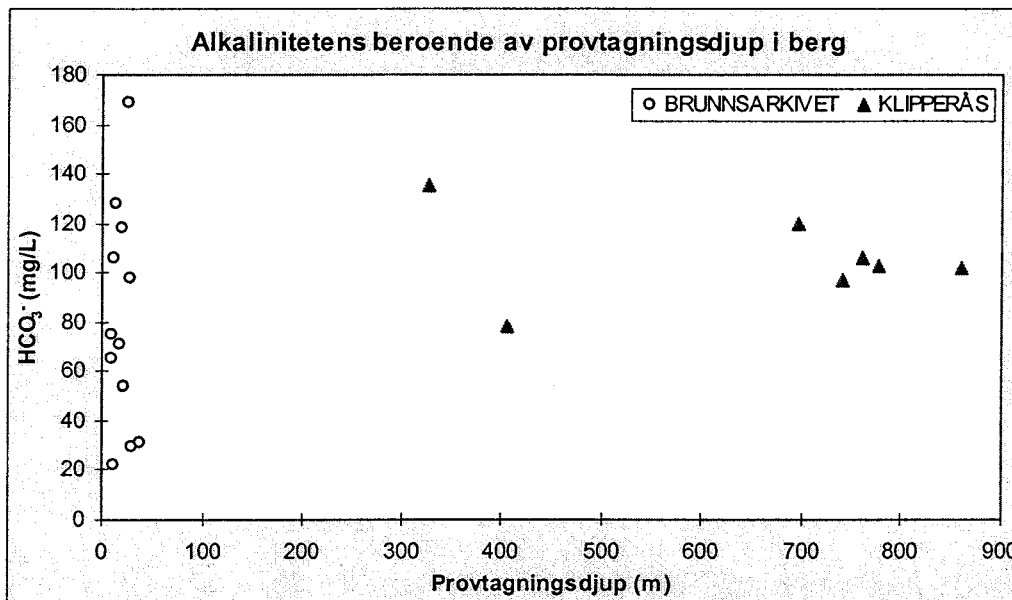
I figurerna 6-4 t o m 6-10 redovisas några olika vattenkemiska parametrars djupberoende enligt data från SGU:s brunnsarkiv och SKB:s undersökningar i Klipperås. För SGU:s data är endast brunnarnas totaldjup känt medan de specifika provtagningsnivåerna är kända för SKB:s data. För att kunna jämföra de olika mätresultaten har halva brunnsdjupet i berg valts som representativ provtagningsnivå för SGU:s data. Det



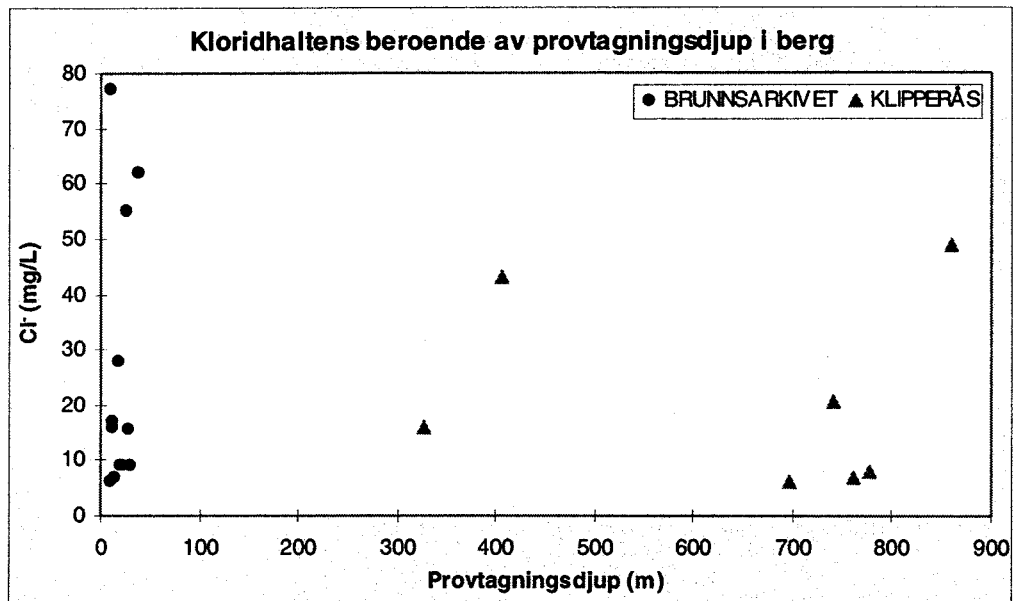
största provtagningsdjupet i Klipperås är 860 m, och för SGU:s data är halva brunnsdjupet i berg som mest 38 m.

Spridningen på data från SGU är mycket stor men det går ändå att se i figurerna 6-4 till 6-10 att berggrundvattnets kemi närmast markytan är annorlunda än på djupet. Den slutsats som kan dras är att sammansättningen hos ytliga grundvatten i många fall bestäms av marknära processer och av en relativt snabb omsättningstid /jmf Grip och Rodhe, 1985/. Grundvattnet från Klipperås uppvisar inga direkta trender vad det gäller djupberoende.

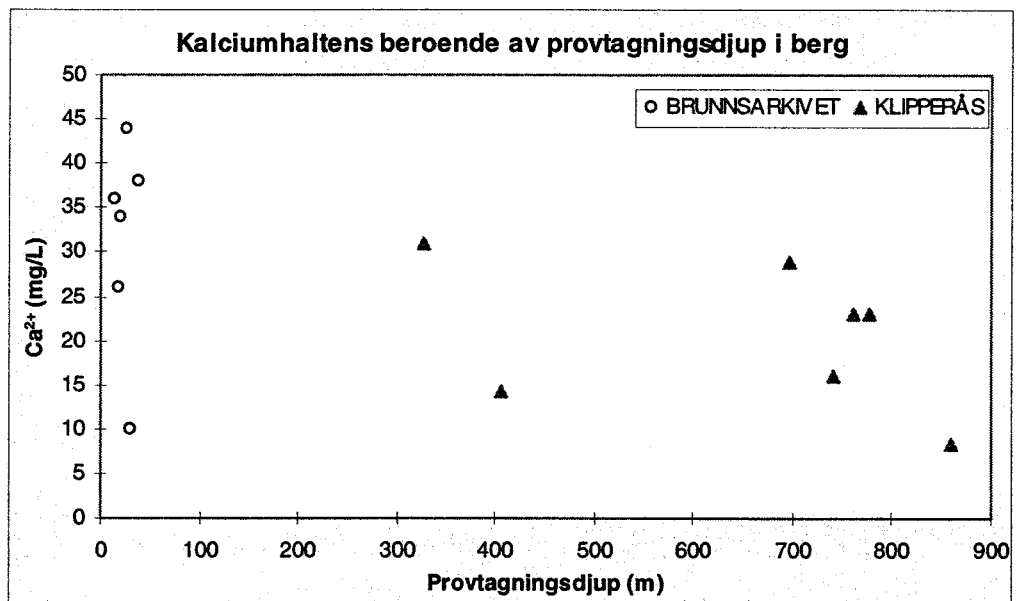
I figurerna 6-11 och 6-12 redovisas data för förhållandet mellan sulfat och klorid respektive natrium och klorid. I figurerna har motsvarande värden för havsvatten lagts in som referens. Att sulfathalterna generellt sett är lägre än förväntat i borrhålen i Klipperås beror troligtvis på att det råder reducerande förhållanden på djupet. SGU:s brunnar är mer påverkade av sulfatdepositionen eftersom de är grundare än borrhålen i Klipperås. I Klipperås är Na/Cl kvoten högre än förväntat. Detta betyder att vattnet är av så kallad Ramlösatyp /Jacks m fl, 1981/.



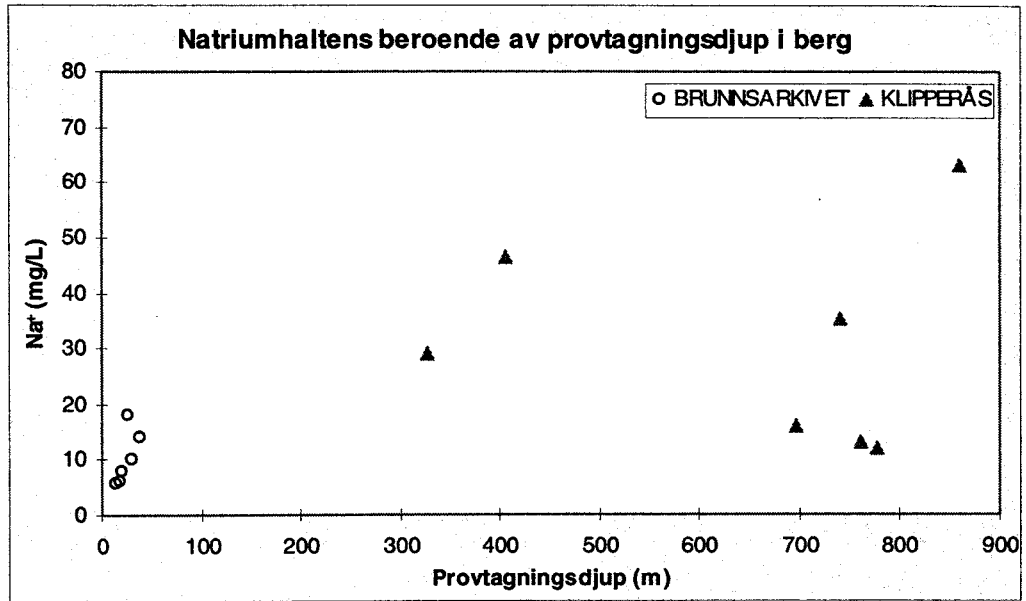
**Figur 6-4** Alkalinitetens beroende av provtagningsdjupet i berg. Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).



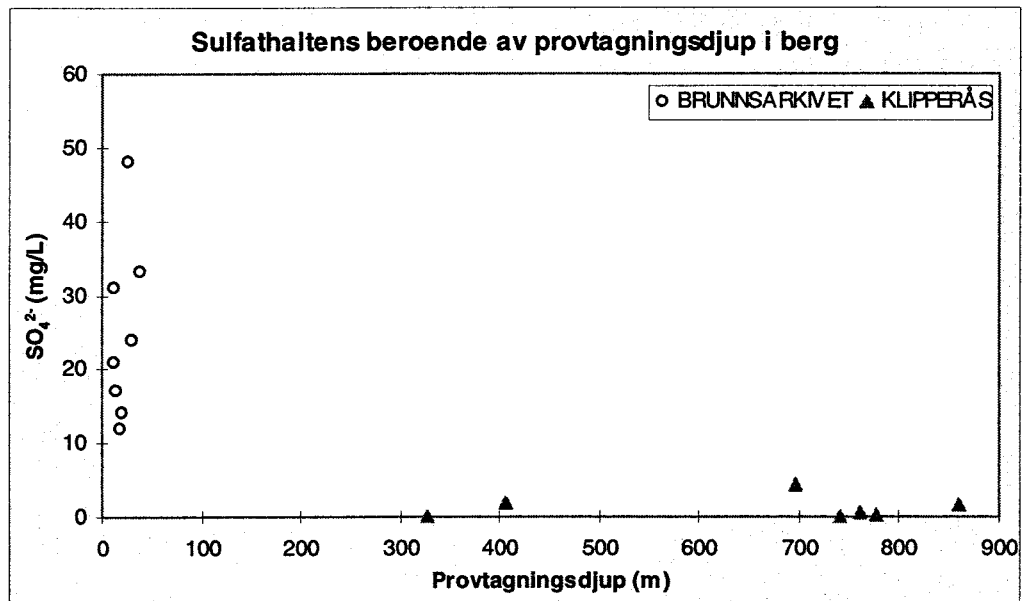
Figur 6-5 Kloridhaltens beroende av provtagningsdjupet i berg. Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).



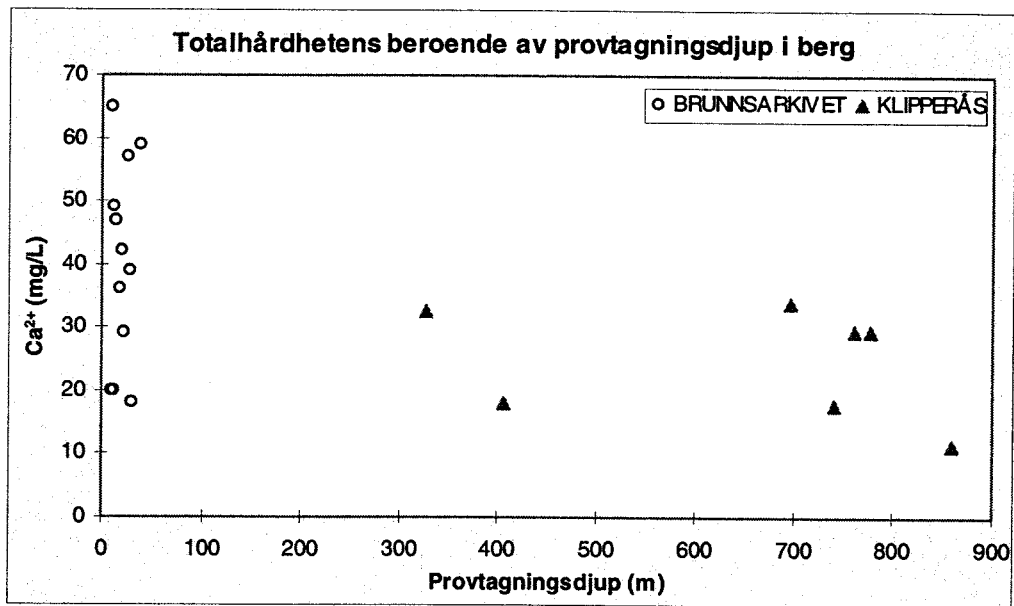
Figur 6-6 Kalciumhaltens beroende av provtagningsdjupet i berg. Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).



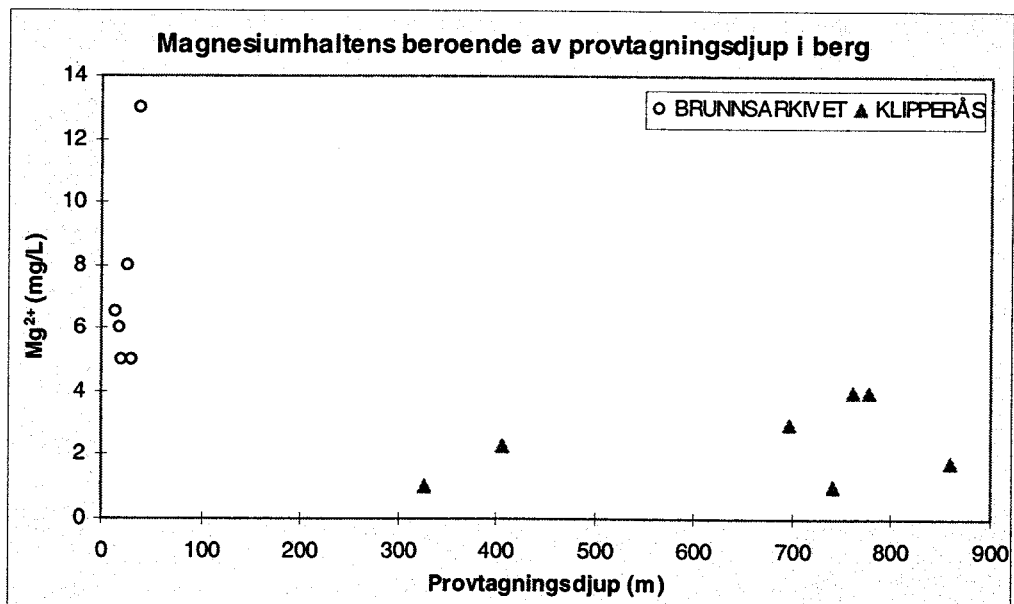
**Figur 6-7** Natriumhaltens beroende av provtagningsdjupet i berg. Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).



**Figur 6-8** Sulfathaltens beroende av provtagningsdjupet i berg. Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).

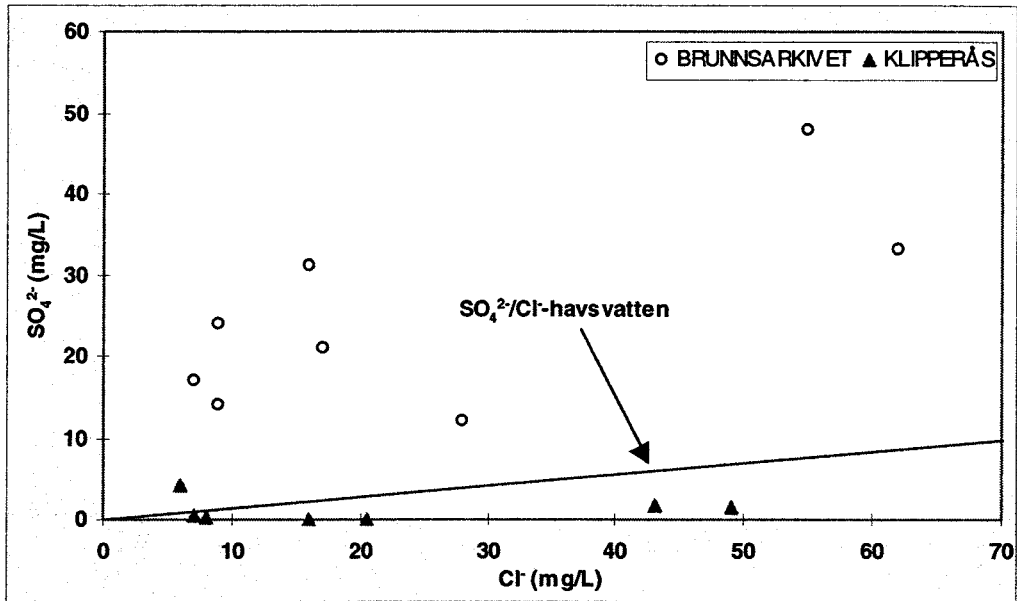


**Figur 6-9** Totalhårdhetens beroende av provtagningsdjupet i berg. Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).

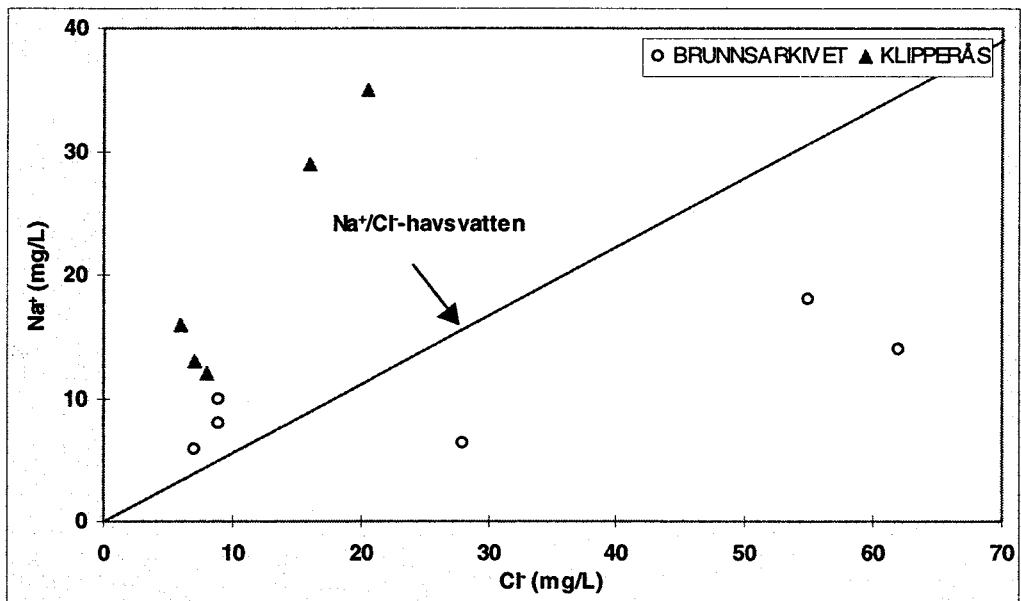


**Figur 6-10** Magnesiumhaltens beroende av provtagningsdjupet i berg. Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).





**Figur 6-11** Korrelation sulfat-klorid. Kvoten sulfat-klorid för havsvatten är inlagd som en linje /Krauskopf, 1967/. Om halterna faller under denna linje tyder det på kraftigt reducerande förhållanden och sulfatreduktion som ger svavelväte. Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).



**Figur 6-12** Korrelation natrium-klorid. Kvoten natrium-klorid för havsvatten är inlagd som en linje /Krauskopf, 1967/. Om halterna faller under denna linje tyder det på en pågående jonbytesprocess där natrium i vattnet bytts ut mot kalcium (strandförskjutning). Data från SGU (brunnsarkivet) och SKB (Klipperås).

### 6.5.5 Jämförelse mellan Klipperåsområdet och andra djupa undersökningar

Tabell 6-3 redovisar medianvärden för ett antal kemiska parametrar från de platser där SKB utfört djupa undersökningar (s k typområden). Dessutom redovisas data från de pågående undersökningarna i Simpevarpsområdet (inklusive Äspö och Laxemar) i Oskarshamns kommun. Tabell 6-3 indikerar att den kemiska sammansättningen hos djupa grundvatten från några av platserna inte uppvisar halter som tyder på saltvattenpåverkan. För Klipperås beror detta sannolikt på att området ligger över den högsta kustlinjen (se figur 3-1), vilket förklarar varför den kemiska sammansättningen liknar den för icke-salint grundvatten enligt SKBF /1983/. Att grundvattnets sammansättning skiljer sig åt mellan olika områden kan även bero på att de topografiska förhållandena är annorlunda, vilket leder till skillnader i grundvattenomsättning.

Det djupa grundvattnet i Simpevarp och Finnsjön (Tierps kommun i norra Uppland) är påverkat av salt grundvatten (se tabell 6-3). Dessa vatten uppvisar en klart högre halt av såväl klorid, natrium och sulfat. Hög järnhalt konstateras förutom i Finnsjön och Sternö (Blekinge) också i Kråkemåla (Oskarshamns kommun) och beror troligen på en relativt hög halt organiskt material i grundvattnet.

**Tabell 6-3** Medianvärden för ett antal kemiska parametrar på platser där SKB har utfört djupa undersökningar (typområden). Samtliga halter förutom pH är angivna i enheten mg/L /C Juhlin Consulting, 1991; Laaksoharju m fl, 1995; Nilsson, 1995; Laurent, 1982, 1983a, 1983b, 1983c, 1983d, 1986/. Data från Finnsjön har delats upp i ytliga(Y) och djupa(D) på grund av dominerande inverkan av en flack sprickzon.

Parameter	Kråkemåla	Klipperås	Simpevarp	Svartboberget	Finnsjön Y/D	Sternö	Kamlunge	Gideå	Fjällveden
Djup	103-491	326-860	133-1562	82-551	103-688	226-397	106-564	91-616	106-666
pH	8,1	8	8	6,8	7,9/7,9	7,2	7,5		
Ca <sup>2+</sup>	28	23	21	5,4	30/1201	82	12	10	20
Mg <sup>2+</sup>	8	2,0	4	0,6	5/28	16	1,7	2,3	3,4
Na <sup>+</sup>	69	26	202	1,4	136/920	54	5,6	49	36
Cl <sup>-</sup>	35	14,5	106	1	50/3567	36	4	5	8,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6	0,8	71	5	16/205	114	7	0,4	6,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	223	103	233	11	348/60	293	21	148	160
Fe	4,4	0,10	0,29	0,22	5/2,6	7,6	0,75	0,4	1,8

## 7 Långsiktiga förändringar

### 7.1 Faktorer som kan påverka utvecklingen

Det är framförallt tre faktorer som kan komma att påverka grundvattnets omsättning och därmed den kemiska sammansättningen i ett långtidsperspektiv. Dessa är strandförskjutning, växthuseffekt och långvarig klimatförsämring med nedisningar.

Strandförskjutningen efter den senaste istiden pågår fortfarande, om än i långsam takt. Den har betydelse endast i kommuner som har en kustlinje. Där medför strandförskjutningen dels att landarealen ökar då landet höjer sig och dels en ökad omsättning av grundvattnet nära kusten där det salta grundvattnet successivt sköljs ur och ersätts med sött.

Hur länge växthuseffekten, i den mån den kommer att manifesteras sig, kommer att pågå är oklart. Förmodligen handlar det om hundratals eller möjligtvis tusentals år.

Den klimatförsämring som påbörjades efter den postglaciala värmetiden anses vara början på en kallperiod, som på sikt leder till en ny nedisning av Skandinavien. Enligt Milankovitch teori /SKB, 1995a/ kommer områdena kring Hultsfred att vara istäckta under lång tid med början om ca 10 000-30 000 år.

### 7.2 Förväntade effekter i ett 1 000-års perspektiv

Effekten av strandförskjutningen på grundvattenförhållandena inåt landet bedöms numera vara mycket liten /Follin m fl, 1996a,b; Follin m fl, 1998/. Särskilt i områden som ligger över högsta kustlinjen (HK), där salt grundvatten ej påträffas i berggrunden. Större delen av Hultsfreds kommun ligger över högsta kustlinjen och påverkas således inte av den pågående strandförskjutningen.

Effekterna av en framtida temperaturförhöjning (växthuseffekten) är mycket osäkra för Skandinavien, bland annat därför att havsströmmarnas beteende i framtiden inte kan förutsägas. Ett av de rimliga perspektiven är en höjd temperatur och högre nederbörd, men det kan också bli kallare genom att havsströmmarna ändrar förlopp. Ett varmare klimat med högre nederbörd under några hundra år kommer sannolikt att ha en marginell effekt på grundvattnets kemi, eftersom en högre temperatur också ger en längre växtsäsong och därmed ger upphov till större avdunstning som hämmar grundvattenomsättningen.

Ett påtagligt kallare klimat till följd av en annalkande istid kommer att leda till en minskad avdunstning och en tundralik miljö med stora sumpområden. Även om nedbrytningen av organiskt material kommer att ske långsammare, kommer den lilla ned-

brytning som trots allt sker att förbruka allt tillgängligt syre i vattensamlingar och orsaka anaeroba (syrefria) förhållanden i marken. Som resultat fås dels en ökad ansamling av organiskt kol och humusämnen i jorden, dels reducerande (syreförbrukande) förhållanden högre upp närmare markytan. Det skall i sammanhanget påpekas att dagens förhöjda kvävedeposition från industrier, bostäder och bilism också leder till en ackumulering av kol i jorden genom att det organiska materialet blir mera inert, dvs kräver mer syre för att brytas ner.

Redoxförhållandenas stabilitet de närmaste 1 000 åren är viktiga för djupförvaret. Redoxförhållandena kommer sannolikt inte att ändras drastiskt under denna period och om de ändras, så finns det en övertygande sannolikhet för att man får mer reducerande förhållanden högre upp närmare markytan än idag, dvs fortsatt reducerande miljö för djupförvaret.

$Fe^{2+}/Fe^{3+}$ -systemet kommer även i framtiden att vara den viktigaste redoxbufferten i grundvattenmiljön på större djup. Huruvida en ökad sulfatreduktion kommer till stånd beror i hög grad på tillgången till organiskt material i grundvattnet och här spelar förhållandena under byggtiden troligen stor roll. Exempelvis kan infiltration av salt grundvatten till ett kustnära djupförvar tänkas mobilisera (frigöra) utfällda humusämnen nära markytan genom dispersion med natrium och därigenom öka de organiska halterna i närheten av förvaret, vilket skulle kunna öka svavelvätebildningen, åtminstone i ett kortare perspektiv.

*Sammanfattningsvis konstateras att inga drastiska förändringar av redoxförhållandena i grundvatten på större djup i berggrunden är att förvänta i ett 1 000-års perspektiv. Om redoxförhållanden trots allt ändras, så kommer övergången från oxiderande till reducerande förhållanden med all sannolikhet att förskjutas uppåt i berggrunden, dvs att man får mer reducerande förhållanden högre upp närmare markytan. Denna bedömning gäller oavsett vilket av följande framtidsscenarioer som beaktas: en fortsatt strandförskjutning med eller utan växthuseffekt, alternativt en långvarig klimatförsämring med nedisningar.*



## 8 Slutsatser

I föreliggande studie sammanställs och utvärderas tillgänglig information om grundvattenförhållandena i Hultsfreds kommun. Faktorer som behandlas är grundvattnets rörelse och kemiska sammansättning, samt möjliga förändringar av grundvattenförhållandena på lång sikt. Syftet är att med detta som grund göra bedömningar av kommunens lämplighet för ett djupförvar, med avseende på nämnda faktorer.

Huvudslutsatsen är att inget tyder på att grundvattenförhållandena i kommunen skulle vara olämpliga för ett djupförvar. Den tillgängliga informationen om grundvattnet ger inte underlag för att särskilt förorda eller utesluta någon del av kommunen. Dessa slutsatser är med nödvändighet preliminära. För att kunna utvärdera grundvattenförhållandenas betydelse för ett djupförvars säkerhet krävs detaljerade uppgifter om berggrunden mot djupet på den tänkta förläggningsplatsen, något som kan fås först efter omfattande borrhålsundersökningar.

Data om vattenföringen i bergborrade brunnar i Hultsfreds kommun visar på genomsnittsvärden som bedöms vara normala för svenskt urberg. Vidare görs bedömningen att spridningen i beräknad vattengenomsläpplighet inom en och samma bergart är betydligt större än skillnaderna mellan olika bergarter, vilket även noterats i andra delar av landet.

Då djupa borrhål saknas i Hultsfreds kommun finns inte några data om berggrunden och grundvattnet på större djup. För att i någon mån kompensera denna brist har data hämtats från Klipperåsområdet ca 45 km söder om Hultsfreds kommun, där SKB tidigare låtit utföra omfattande mark- och berggrundsundersökningar. Området består till stor del av Smålandsgranit, vilket även utgör den dominerande bergarten i stora delar av Hultsfreds kommun. De genomsnittliga hydrauliska förhållandena som konstaterats för Klipperåsområdet bedöms därför kunna användas för att uppskatta genomsnittliga förutsättningar inom lika stora, och geologiskt likartade, områden av Hultsfreds kommun. Beräknade värden från bergborrade brunnar i Hultsfreds kommun och från djupa borrhål i Klipperås tyder inte på att vattengenomsläppligheten ändras med djupet för borrhål under ca 60-100 m. Enligt Ahlbom m fl /1992/ förekommer det ett djupberoende i bergets vattengenomsläpplighet bestämd i djupa borrhål i Klipperåsområdet. Enligt Bengtsson /1997/ är vattengenomsläppligheten i Klipperås inte lika djupberoende som i vissa andra av SKB:s typområden.

Ahlbom m fl /1992/ konstaterar att undersökningarna i Klipperåsområdet visar att vattengenomsläppligheten kan vara upp till 100–1 000 högre i de stora vattenförande sprickzonerna än i omgivande bergmassa oavsett djup. Större vattenförande sprickzoner bör följaktligen undvikas vid inplaceringen av ett djupförvar. Detta bör istället förläggas till bergmassan mellan zonerna för att på bästa sätt tillvarata berggrundens hydrauliska barriärfunktion.

Det finns inga data om grundvattnets kemi på förvarsdjup i Hultsfreds kommun. I Klipperåsområdet finns däremot undersökningar av SKB i djupa bergborrhål. Det djupa berggrundvattnet i Klipperås uppvisar reducerande förhållanden med låg sulfathalt. Det

uppvisar även låga kloridhalter, vilket indikerar att det inte är påverkat av marint saltvatten. En förklaring är att området ligger över högsta kustlinjen.

Berggrundvattnets kemiska sammansättning har betydelse för beständigheten hos de tekniska barriärer (kopparkapsel och bentonitbuffert) som ska omge avfallet i djupförvaret. Sammansättningen hos berggrundvattnet i Hultsfreds kommun bedöms inte vara ogynnsam i detta avseende. Syrehalterna i berggrundvattnet på planerat försvarsdjup bedöms vara låga, och salthalterna torde inte överstiga de för marint vatten (havsvatten).

I ett längre tidsperspektiv är det framför allt tre faktorer som generellt kan förväntas påverka grundvattnets omsättning och kemiska sammansättning. Dessa är strandförskjutning, växthuseffekt och långvarig klimatförsämring med nedisningar. Strandförskjutningen bedöms inte ha någon påverkan i Hultsfreds kommun då större delen av kommunen ligger över högsta kustlinjen.

Effekterna av en temperaturhöjning genom ackumulation av växthusgaser är mycket osäkra för Skandinavien. En tänkbar utveckling är att det blir varmare och mera nederbördsrikt, men det kan också bli kallare genom att havsströmmarna ändrar sina rörelsemönster. För grundvattenförhållandena kan det senare alternativet få effekter som liknar de som följer av en nedisning. I båda fallen finns det en övertygande sannolikhet för att övergången till kemiskt reducerande förhållanden i berggrundvattnet förskjuts närmare ytan. Eftersom reducerande förhållanden är ett krav för djupförvarets långsiktiga funktion bedöms en sådan utveckling vara gynnsam.

## 9 Referenser

- Aastrup M, Bertills U, 1995.** Grundvattnets kemi i Sverige. Rapport 4415, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Agrell H, 1976.** The highest coastline in south-eastern Sweden. *Boreas*, 5,143-154.
- Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992.** Klipperås study site. Scope of activities and main results, SKB TR 92-22, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Axelsson C-L, Ekstav A, 1995.** Förstudie Malå. Hydrogeologisk beskrivning. SKB Djupförvar, PR D-95-003, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Bengtsson L, 1997.** Hydraulisk konduktivitet i kristallin berggrund, Analys av djupvariation i sex svenska områden, B 446, Geologiska institutionen, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Berggren M, 1998.** Hydraulic conductivity in Swedish bedrock estimated by means of geostatistics, A study based on data recorded in the Archive on Wells at the Geological Survey of Sweden, Thesis Report Series 1988:9, Avdelningen för Mark- och vattenresurser, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Bergström S, 1992.** The HBV-model its structure and applications. SMHI RH No 4, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Norrköping.
- Bottomley D J, Gregoire D C, Raven K G, 1994.** Saline groundwaters in the Canadian Shield: geochemical and isotopic evidence for a residual evaporite brine component. *Geochim. Cosmochim. Acta* (58) 1483-1498.
- Brandt M, Jutman T, Alexandersson H, 1994.** Sveriges vattenbalans, Årsmedelvärden 1961-90 av nederbörd, avdunstning och avrinning, SMHI Hydrologi 49, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Norrköping.
- Brömssen U von, 1968.** Grundvattenbildning i geologiskt olika terrängavsnitt, Försök till bestämning av infiltrationskoefficienter. Särtryck ur Metod-Teknik-Analys.
- Bydén S, 1990.** Mäta försurning, Inst för miljövård. Göteborgs universitet, Bokskogen, Göteborg.
- Bydén S, 1992.** Mäta vatten, Inst för miljövård. Göteborgs universitet, Bokskogen, Göteborg.
- Christopher Juhlin Consulting, 1991.** The Borehole KLX 01 at Laxemar – Geological, Hydrogeological and Groundwater chemistry data in section 702-1078 m. SKB PR 25-91-07, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Follin S, 1994.** Djupborrning KLX02, Etapp 1, Evaluation of the hydraulic testing of KLX02, SKB AR 94–21, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Follin S, Årebäck M, Jacks G, 1996a.** Förstudie Nyköping. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. SKB Djupförvar, PR D–96–014, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Follin S, Årebäck M, Jacks G, 1996b.** Förstudie Östhammar. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. SKB Djupförvar, PR D–96–017, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Follin S, Årebäck M, Axelsson C-L, Stigsson M, Jacks G, 1998.** Förstudie Oskarshamn. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. SKB R–98–55, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Gentzschein B, 1986.** Hydrogeological investigations at the Klipperås study site. SKB TR 86–08, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Grip H, Rodhe A, 1985.** Vattnets väg från regn till bäck. Forskningsrådets förlagstjänst, Stockholm.

**Jacks G, Agerstrand T, Hansson G, 1981.** Effect on groundwater composition of sequential flooding of aquifers with fresh and saline water, proc, 7<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting, Uppsala, 14-17 Sept, 59-64.

**Johansson P-O, 1987.** Methods for estimation of direct natural groundwater recharge in humid climates with examples from sandy till aquifers in southeastern Sweden. Institutionen för kulturteknik, Meddelande Trita-Kut 1045, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

**Johansson, R., K-A. Kornfält, A.H. Lindén, S-I. Svantesson, C-H. Wahlgren, H. Isaksson och H. Lindroos, 2000:** Förstudie Hultsfred – Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB R–00–04, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Knutsson G, Morfeldt C-O, 1993.** Grundvatten, teori och tillämpning. AB Svensk Byggtjänst, Solna.

**Krauskopf K B, 1967.** Introduction to Geochemistry, McGraw-Hill Book Company, New-York.

**Laaksoharju M, Smellie J, Nilsson A-C Skårman C, 1995.** Groundwater sampling and chemical characterisation of the Laxemar deep borehole KLX02. SKB TR 95–05, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Laurent S, 1982.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Kråkemåla, Sternö and Finnsjön. SKB TR 82–23, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Laurent S, 1983a.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Fjällveden. SKB TR 83–19, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.



- Laurent S, 1983b.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Svartboberget. SKB TR 83–41, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Laurent S, 1983c.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Kamlunge. SKB TR 83–70, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Laurent S, 1983d.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Gideå. SKB TR 83–17, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Laurent S, 1986.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Klipperås. SKB TR 86–17, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Nilsson A C, 1995.** Compilation of groundwater chemistry data from Äspö 1990–1994. SKB PR 25-95-02, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- NV, 1999.** Bedömningsgrunder för grundvatten, Rapport 4915, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Nyberg G, Jönsson S, 1994.** Förstudie Storuman. Geohydrologisk beskrivning. SKB PR 44–94–005, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Påsse T, 1997.** A mathematical model of past, present and future shore level displacement in Fennoscandia. SKB TR 97–28, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Rhén I (red.), Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/5. Models based on site characterization 1986–1995. SKB TR 97–06, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Rodhe A, Eriksson E, 1998.** Hydrologi och hydrokemi, *Kunskap och Säkerhet*, Rapportdel, Uppsala universitet, 21–29.
- SFS, 1975.** Lagen om uppgiftsskyldighet vid grundvattentäktsundersökning och brunnborrning, Svensk Författningssamling, SFS 1975:424.
- SKB, 1992.** FUD–92, Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 1995a.** Översiktstudie. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 1995b.** FUD–95, Kärnavfallets behandling och slutförvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKBF, 1983.** Final storage of spent fuel - KBS-3, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SLV, 1989.** Föreskrifter och allmänna råd om dricksvatten, SLV FS 1989:30 (med ändringar införda t o m 1997:32). Statens Livsmedelsverk, Stockholm.

**Smellie J, Larsson N-L, Wikberg P, Puigdomènech I, Tullborg E-L, 1987.** Hydrochemical investigations in crystalline bedrock in relation to existing hydraulic conditions: Klipperås test site, Småland, Southern Sweden. SKB TR 87-21, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Stumm W. Morgan J J, 1996.** Aquatic chemistry – equilibria and rates in natural waters. Wiley Interscience, New York.

**Timje H, 1983.** Hydrogeologiska undersökningar inom typområdet Gideå. SKB AR 83-26, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

**Wladis D, Jönsson P, Wallroth T, 1997.** Regional characterization of hydraulic properties of rock using well test data. SKB TR 97-29, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.