

R-00-24

Förstudie Östhammar

Kommunens yttrande över den preliminära slutrapporten samt kompletterande utredningar

Svensk Kärnbränslehantering AB

Oktober 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 Östhammar

Kommunens yttrande över den preliminära slutrapporten samt kompletterande utredningar

Svensk Kärnbränslehantering AB

Oktober 2000

Förord

Den preliminära slutrapporten från SKB:s förstudie i Östhammars kommun avseende lokalisering av ett djupförvar för använt kärnbränsle publicerades i september 1997. Kommunens referensgrupp uppdrog åt Uppsala universitet att granska rapporten. Resultatet från denna granskning, jämte remissvar och synpunkter från i första hand nämnder, partier och allmänheten, och med kommentarer från SKB, Statens kärnkraftinspektion (SKI) och Statens strålskyddsinstitut (SSI), låg sedan till grund för ett utlåtande från referensgruppen och kommunfullmäktiges yttrande över den preliminära slutrapporten. Det senare avgavs i samband med kommunfullmäktiges sammanträde den 16 november 1999. I yttrandet begär kommunen ett antal *"kompletteringar, förtydliganden och nya utredningar"*.

Denna rapport inleds med en bakgrund till kommunens yttrande över den preliminära slutrapporten följt av yttrandet och SKB:s allmänna kommentarer på Uppsala universitets granskning. I resterande och huvudsakliga del av rapporten presenteras de utredningar/kompletteringar som SKB utfört med anledning av kommunens yttrande. Utredningarna läggs fram med oavkortad originaltext. Utredningsresultaten kommer att arbetas in i slutrapporten, men i sammanfattande form, liksom fallet är för övriga utredningar inom förstudien.

En del av utredningarna/kompletteringarna har gjorts av SKB, andra av externa utredare. Slutsatser och framförda åsikter i de avsnitt som skrivits av externa utredare är författarnas egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	7
	Nya utredningar	7
	Förtydliganden och tillägg	8
	Referenser	10
2	Östhammars kommuns yttrande över den preliminära slutrapporten från förstudien	11
3	SKB:s svar på Uppsala universitets granskning av den preliminära slutrapporten från förstudien i Östhammars kommun	19
	Referenser	25
4	Nya utredningar, kompletteringar och tillägg	27
	Flik 1	29
	Flik 2	33
	Flik 3	39
	Flik 4	65
	Flik 5	79
	Flik 6	83
	Flik 7	87
	Flik 8	89
	Flik 9	93

1 Bakgrund

Den preliminära slutrapporten från SKB:s förstudie i Östhammars kommun avseende lokalisering av ett djupförvar för använt kärnbränsle publicerades i september 1997 /1-1/. Rapporten remitterades den 9 september 1997 till kommunstyrelsen i Östhammars kommun. Vid inledningen av förstudien hade kommunen tillsatt en referensgrupp sammansatt av representanter från olika politiska partier med uppgift att följa, granska och informera om förstudiearbetet. Referensgruppen uppdrog åt experter inom ett antal relevanta ämnesområden från Uppsala universitet att granska rapporten ur olika aspekter. Resultaten från denna granskning /1-2, 1-3/, jämte sammanfattningar av remissvar från i första hand nämnder, partier och allmänheten, och med kommentarer från SKB, Statens kärnkraftinspektion (SKI) och Statens strålskyddsinstitut (SSI), låg sedan till grund för ett utlåtande från referensgruppen daterat den 19 april 1999 liksom för kommunfullmäktiges yttrande över den preliminära slutrapporten. Det senare avgavs i samband med kommunfullmäktiges sammanträde den 16 november 1999 och registrerades på SKB den 9 december 1999.

I yttrandet begär kommunen ett antal ”kompletteringar, förtydliganden och nya utredningar”. Två av utredningarna önskar kommunen att själv utföra och publicera, se kapitel 2. Merparten av det nya material som efterfrågas tas dock fram av SKB. I slutrapporten från förstudien i Östhammar, som publiceras under hösten 2000, kommer det kompletterande utredningsmaterialet att beaktas.

Fristående från de av Östhammars kommun begärda tilläggen har geologiska fältstudier genomförts i delar av kommunen under 1998, vilka redovisats i /1-4/. Ytterligare en rapport har presenterats under våren 2000, /1-5/, där naturvärdena i Forsmarksområdet beskrivs.

I föreliggande rapport redovisas i kapitel 2 Östhammars kommuns yttrande över förstudiens preliminära slutrapport i oavkortad form. SKB:s svar på Uppsala universitets granskning av den preliminära slutrapporten återges i kapitel 3. Slutligen, i kapitel 4, presenteras de nya utredningar som SKB utfört med anledning av kommunens yttrande. Utredningarna läggs fram med oavkortad originaltext. Utredningsresultaten kommer, som nämnts, att arbetas in i slutrapporten, men i sammanfattande form, liksom fallet är för övriga utredningar inom förstudien.

1.1 Nya utredningar

Sammanlagt presenteras åtta kompletterande utredningar av större eller mindre omfattning. Dessa är:

1. Miljöpåverkan från djupförvaret genom kemisk toxicitet hos de ämnen som ingår i bränslekapslarna (såväl bränsle som kapselhölje).
2. Tredimensionell tolkning av de geologiska förhållandena i området Forsmark-Bolundsfjärden.
3. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. Kompletterande utredning.
4. Inverkan av havsytehöjning på djupförvaret.

5. Osäkerheterna i förutsägelseerna om klimatologiska förändringars påverkan på ett djupförvar.
6. Omhändertagande av bergmassor.
7. Miljöpåverkan på kort och lång sikt av grundvattensänkningen i anslutning till djupförvaret under bygg- och början på drifttiden.
8. Osäkerheterna i förutsägelseerna om samhällsutvecklingen i långsiktigt perspektiv.

1.2 Förtydliganden och tillägg

Förutom ovanstående nya utredningar har kommunen begärt ett antal tilläggsarbeten som man benämner ”kompletteringar” och ”förtydliganden”. Dessa är:

1. Två påståenden i den preliminära slutrapportens kapitel 6 avseende MKB-samråd på regional respektive lokal nivå stryks. Ett förklarande tillägg görs i stället.
2. Redovisning av SKB:s syn på hur djupförvarsfrågan kan sättas in i ett långsiktigt etiskt perspektiv, där också ansvarsfrågan mellan generationerna belyses.
3. Redovisning av hur bristen på indata vid lokaliseringen av ett förvar under havet kan kompenseras med annan metodik.
4. Presentation av utförd maringeologisk kartläggning av närområden till SFR.
5. Tillämpliga delar av rapporten /1-4/, R-98-57, ”Delprojekt jordarter, bergarter och deformationszoner. Kompletterande arbeten 1998”, arbetas in i kapitel 5 i slutrapporten.
6. In- och utströmningsområden markeras på topografiska kartan.
7. Kartan i den preliminära slutrapporten över avrinningsområden förbättras.

De nya utredningarna samt vissa av kompletteringarna presenteras under kapitel 4 uppdelat i nio avsnitt. Varje avsnitt har tilldelats en egen flik i rapporten med egen sidnumrering och, i förekommande fall, egen referensförteckning. Smärre förtydliganden och uppdateringar berörs inte här, utan arbetas in enbart i slutrapporten.

I tabell 1-1 sammanfattas de kompletteringar som presenteras dels i denna rapport, dels var de behandlas i slutrapporten. Av tabellen framgår också till vilken flik i denna rapport liksom till vilket kapitel i slutrapporten som respektive komplettering/ändring i första hand hänförs. I vissa fall kan flera kapitel i slutrapporten beröras. Exempelvis kommer texten i det sammanfattande kapitel 9 i slutrapporten att behöva justeras med anledning av resultaten i flera av de nya utredningarna.

Tabell 1-1. Förstudie Östhammar – slutrapport. Sammanfattning av förändringar i förhållande till preliminär slutrapport.

Flik i denna rapport (i kapitel 4)	Nya utredningar	Kompletteringar och förtydliganden	Kapitel i slutrapporten
1		Redovisning av SKB:s syn på hur djupförvarsfrågan kan sättas in i ett långsiktigt etiskt perspektiv, där också ansvarsfrågan mellan generationerna belyses.	1
2	Tredimensionell tolkning av de geologiska förhållandena i området Forsmark-Bolundsfjärden.		5
3	Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. Kompletterande utredning.	Kartan över avrinningsområden förbättras.	5
4	Inverkan av havsytehöjning på djupförvaret.	Presentation av utförd maringeologisk kartläggning av närområden till SFR.	5
4		In- och utströmningsområden markeras på topografiska kartan.	–
4	Miljöpåverkan på kort och lång sikt av grundvattensänkningen i anslutning till djupförvaret under bygg- och början på drifttiden.		7
5	Osäkerheterna i förutsägelsena om klimatologiska förändringars påverkan på ett djupförvar.		5
6	Kompletterande utredning avseende omhändertagande av bergmassor.		6
7	Miljöpåverkan från djupförvaret genom kemisk toxicitet hos de ämnen som ingår i bränslekapslarna (såväl bränsle som kapselhölje).		7
8		Redovisning av hur bristen på indata vid lokaliseringen av ett förvar under havet kan kompenseras med annan metodik.	5
9	Osäkerheterna i förutsägelsena om samhällsutvecklingen i långsiktigt perspektiv.		8

Referenser

- 1-1 **SKB.** Förstudie Östhammar. Preliminär slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- 1-2 **Uppsala universitet.** Kunskap och osäkerhet. Uppsala universitet granskar SKB:s förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun. Rapportdel. ISBN 91-506-1324-3, Uppsala universitet, 1998.
- 1-3 **Uppsala universitet.** Kunskap och osäkerhet. Uppsala universitet granskar SKB:s förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun. Sammanfattning. ISBN 91-506-1323-5, Uppsala universitet, 1998.
- 1-4 **Bergman S, Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Stephens M.** Förstudie Östhammar. Delprojekt jordarter, bergarter och deformationszoner. Kompletterande arbeten 1998. R-98-57, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.
- 1-5 **Spangenberg J, Eriksson S.** Naturvärden i Forsmarksområdet. Sammanställning av befintliga inventeringar, planer och program samt en fältstudie. R-00-20, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2000.

2 Östhammars kommuns yttrande över den preliminära slutrapporten

Östhammars kommuns yttrande över SKB:s remiss avseende den preliminära slutrapporten från förstudien avgavs av kommunfullmäktige vid dess ordinarie sammanträde den 16 november 1999 och ankom till och registrerades hos SKB den 9 december 1999. Yttrandet återges i sin helhet på de följande sidorna i detta kapitel.

Efter en inledning, som kortfattat beskriver SKB:s uppdrag, lokaliseringsprocessen för djupförvaret, SKB:s remiss avseende den preliminära slutrapporten samt kommunens utarbetande av svar på denna, följer själva yttrandet. Här specificeras i tolv punkter de kompletteringar, förtydliganden och nya utredningar som Östhammars kommun begär. De två första punkterna avser utredningar som kommunen själv önskar utföra och publicera. Övriga tio punkter relaterar till kompletteringar som SKB ansvarar för och som kommer att redovisas i slutrapporten.

Det sista stycket i yttrandet är rubricerat ”Frågor som Östhammars kommun anser bör tas upp efter förstudien och som inte besvaras i förstudien”. SKB uppfattar att kommunen med dessa frågor redan nu vill markera viktiga frågeställningar som bör belysas i ett eventuellt nästa steg, dvs om det blir aktuellt med en platsundersökning.

Svar på remiss från Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) över preliminär slutrapport avseende förstudie för lokalisering av djupförvar för använt kärnbränsle i Östhammars kommun

SKB:s uppdrag

SKB:s uppdrag är att inom landet kunna omhänderta och långsiktigt förvara utbränt kärnbränsle på ett sådant sätt att det isoleras från biosfären. Den metod som framtagits (KBS-3) innebär inneslutning i kapslar och deponering i stabil kristallin berggrund på stort djup vilket skall ge ett antal tekniska och naturliga barriärer.

Processen

Lokaliseringsprocessen för ett djupförvar för använt kärnbränsle innefattar ett antal olika steg. Dessa är i huvudsak översiktsstudier, förstudier och platsundersökningar innan lokaliseringsprovningsen sker och beslut kan fattas om detaljundersökning och bygge.

Översiktsstudier beslutas och genomförs av SKB för att klarlägga storskaliga samband om lämplighet för djupförvar i olika delar av Sverige.

Förstudier ger en överblick i kommunskala och innefattar bl a undersökningar om vad som är känt om berggrunden, hur kommunen planerar sin markanvändning, miljöaspekter m m. Dessutom görs genomgångar av näringsliv m fl sociala aspekter. I förstudien görs en första bedömning om det i kommunen kan finnas områden av intresse för vidare studier.

I platsundersökningen görs en mera detaljerad teknisk undersökning av berggrunden och detta steg innebär fysisk verksamhet i form av borringar och fältverksamhet.

Remissen

SKB anför i skrivelse 1997-09-16 bl a följande:

Den preliminära slutrapporten för förstudie Östhammar överlämnades 1997-09-09 till kommunstyrelsen. SKB:s förhoppning är att rapporten ger en bra bild av vilka förutsättningar det finns att lokalisera ett djupförvar till kommunen och vilka konsekvenser en sådan etablering kan medföra.

Förutom Östhammars kommun skickas rapporten till länsstyrelsen, grannkommunerna och andra intresserade. Även om formella beslut i lokaliseringsärendet ligger många år framåt i tiden är det viktigt att tidigt i lokaliseringsprocessen få synpunkter på förstudiens resultat och värderingar, liksom förslag till kompletterande studier. Detta ger oss möjlighet att i förstudien ta fram ett för alla parter bra underlag inför beslutet om en eventuell platsundersökning.

Avslutningsvis anför SKB:

”Synpunkter och förslag rörande de avsnitt i den preliminära slutrapporten som berör miljöpåverkan av ett djupförvar i Kommunen är speciellt värdefulla med tanke på den MKB-diskussion som förs inom Kommunen, på länsstyrelsenivå och nationellt.”

Utarbetande av svar på remissen

Östhammars kommun har i skrivelse 1999-02-05 från SKB erhållit förlängd remisstid t o m 1999-05-15.

Östhammars kommun har anhållit om ytterligare förlängd remisstid så att kommunfullmäktige kan avge yttrande vid sitt novembersammanträde.

Kommunstyrelsen har i § 221/95 tillsatt en referensgrupp med uppgift att följa, granska och informera om rubr ärende.

Föreligger referensgruppens utlåtande 1999-04-19 till yttrande över remissen. Östhammars kommuns yttrande bygger på referensgruppens utlåtande.

Underlag för beslut

För att få fram en så bra analys som är rimligt har referensgruppen låtit Uppsala universitet granska förstudierapporten.

Till underlag för yttrande har kommunstyrelsen följande rapporter och dokument:

- SKB:s preliminära slutrapport med delrapporter
- SKB:s FUD-program 98 (Forskning, Utveckling, Demonstration) med underlagsrapport
- Uppsala universitets granskningsrapport "Kunskap och osäkerhet", sammanfattning med rapportdel
- Sammanfattning av remissvar från nämnder, partier m fl med kommentarer från SKB, SKI och SSI
- Sammanfattning av synpunkter från allmänheten med kommentarer från SKB, SKI och SSI

Angående metoder för slutförvar

Det pågår ett ständigt forsknings- och utvecklingsarbete omkring metoder att slutligt ta hand om använt kärnbränsle.

Förstudien avser en metod som inte är färdigutvecklad. Förutsättningarna för att tillämpa metoden kan komma att ändras fram till dess en ansökan om att få bygga ett djupförvar någonstans inlämnas till regeringen. Denna förstudie gäller endast under de förutsättningar som rådde vid beslutstillfället, då kommunen medgav SKB att få företa en förstudie i kommunen.

Kompletteringar enligt SKB

SKB har i skrivelse till kommunen 1999-02-11 angivit kompletteringar som SKB avser att vidta på eget initiativ samt föreslagit att kommunen i två fall vidtar egna studier frikopplat från förstudien. Här föreslår referensgruppen att överenskommelse träffas med SKB om att SKB åtar sig finansieringen av dessa studier på liknande sätt som då kommunen ingick avtal med SKB om förutsättningarna för en förstudie. I så fall återkommer referensgruppen med förslag.

YTTRANDE

Östhammars kommun begär följande kompletteringar, förtydliganden och nya utredningar:

1. SKB finansierar Östhammars kommuns studier om kommunens möjligheter att motsvara SKB:s behov av rekryteringsunderlag, kompetens, underleverantörer och liknande infrastrukturella frågor vid byggandet och drift av ett djupförvar.
2. SKB finansierar Östhammars kommuns studie av hur ett djupförvar skulle påverka befolkningens välbefinnande och näringslivets utveckling.

3. Beräkningsmetoderna avseende berggrundens genomsläplighet ner till 100 meter är vetenskapligt godkända dock att extrapoleringen från 100 meter till 500 meter ej kan anses vetenskapligt godkänd och därför bör avsnittet om konduktivitetens djupvariation omarbetas.

4. Förstudien kompletteras med en tredimensionell bild av geologin på förvarsdjup som visar tolkningar av förhållandena på ytan genom tvärsnitt av området Forsmark-Bolundsfjärden.

5. I avsnittet om klimatologiska förändringars påverkan på ett djupförvar bör en redovisning ske av osäkerheterna av förutsägelseerna.

6. I avsnittet om långsiktigt perspektiv på samhällsutvecklingen bör en redovisning ske av osäkerheterna av förutsägelseerna.

7. Förstudien kompletteras med ett avsnitt om hur djupförvarsfrågan kan sättas in i ett långsiktigt etiskt perspektiv, där också ansvarsfrågan mellan generationerna belyses.

8. SKB kompletterar förstudien med de åtaganden som framgår av SKB:s ovan nämnda skrivelse (dat 1999-02-11) till kommunen.

A) En precisering av hur bristen på indata vid lokaliseringen av ett förvar under havet kan kompenseras med annan metodik.

B) En översiktlig redovisning i förstudien av:

1. In- och utströmningsområden på topografiska kartan.
2. Utförd maringeologisk kartläggning av närområden till SFR.
3. Vad en havsytehöjning kan innebära för förvaret.
4. Hur grundvattensänkning i samband med förvaret kan påverka miljön, på kort och lång sikt.
5. En mer utvecklad plan för hur SKB avser att ta hand om bergmassorna.
6. Kartan över avrinningsområden förbättras.

9. Rapporten R-98-57 "Delprojekt jordarter, bergarter och deformationszoner, Kompletteranden arbeten 1998" i lämpliga delar medtas i den slutliga rapporten.

10. Listan på referenser kompletteras till den grad att möjlighet ges till en riktig bedömning eller analys av slutrapporten.

11. Den kemiska toxiciteten på miljön av ett djupförvar redovisas.

12. SKB ur förstudien stryker följande påståenden:

Sid 82, 6.2.4, Regionala samråd: "I Uppsala län kallas den regionala MKB-gruppen för MKB-samråd", då MKB-samråd ännu inte har ägt rum på regional nivå.

Sid 83, 6.2.5, Lokala MKB-samråd: "I Östhammar - - - för allmänheten.", då MKB-samråd ännu inte har ägt rum på lokal nivå. Det kan istället skrivas in på sid 95, 6.3.3, Östhammar, under första stycket; Referensgruppen.

Frågor som Östhammars kommun anser bör tas upp efter förstudien och som inte besvaras i förstudien

På olika håll framkommer frågor i anslutning till förstudien om plats för djupförvar för använt kärnbränsle i Östhammars kommun som inte har direkt med förstudien att göra som listas nedan.

S = Sammanfattning i universitetets granskningsrapport

R = Rapportdelen

1. Kartläggning av Singözonens karaktär, exakta dimensioner och djupgående, vilket har betydelse för den långsiktiga säkerheten för ett djupförvar (R 8).
2. Kartläggning av tektoniska linser avseende:
 - horisontell utbredning/gränsförhållanden,
 - omgivande deformationszoners karaktär och djupgående,
 - indikationer på reaktivering i omgivande deformationszoner,
 - den tredimensionella formen, bergmekanik (R 13-14).
3. Kartläggning av malmpotentialen på förvarsdjup (R 16).
4. Kartläggning av maringeologin (R 19).
5. Påverkan av grundvattensänkning (R 20).
6. Återställningsplan för bergmassor (R 21).
7. Moderna metoder för osäkerhetsangivelser vid modellering av grundvattenflöden, -nivåer och transporthastigheter av olika ämnen samt kartläggning av plutoniums förmåga att tränga upp till markytan och spridningsområdet vid ett kapselhaveri samt tidsaspekten (R 29).
8. Beträffande befolknings- och sysselsättningsprognoser bör känslighetsanalyser användas för att belysa hur förändrade förutsättningar i prognoserna förändrar slutresultatet (R 40).

9. SKB har utan saklig redovisning flyttat tänkt förvarsdjup från 700 meter till 500 meter.
10. SKB har utan saklig redovisning föreslagit en minskning av kapseltjockleken från 50 millimeter till 30 millimeter.

Östhammars kommun

Birger Norén

Kommunstyrelsens ordf

Sten Huhta

Kommunchef

3 SKB:s svar på Uppsala universitets granskning av den preliminära slutrapporten

Sammanfattning

”Ett antal mindre anmärkningar, påpekanden och kritiska synpunkter har också framförts, sammanfattade i slutet av varje delyttrande. Dessa kan emellertid inte nämnvärt störa det allmänna intrycket att, ur geovetenskaplig synpunkt, har SKB lagt en stabil grund för kommande undersökningar”. Så skriver Uppsala universitet och så uppfattar vi även granskningens slutomdöme sett i ett helhetsperspektiv.

Universitetets granskning är värdefull ur flera aspekter. Den är omfattande, ger konkreta förslag till förbättringar av beslutsunderlaget och är en viktig del i den kvalitetsgranskning som alla parter är betjänta av. Vi menar att denna och kommande granskningar, som inte minst säkerhets- och strålskyddsmyndigheterna kommer att göra under lokalisering-processens gång, är viktiga för allmänhetens förtroende och för att kunna presentera en fullständig och vetenskapligt korrekt miljökonsekvensbeskrivning.

För vår del är det glädjande att universitetet stödjer vår uppfattning att det finns områden i kommunen som är lämpade för fortsatta studier. Flera av dessa områden ligger i s k tektoniska linser med, vad vi kan bedöma i dag, relativt opåverkad berggrund omgivna av större deformationszoner. Såväl vi som universitetet bedömer att dessa områden kan vara lämpliga förvarsområden, men att det givetvis återstår omfattande undersökningar för att fastställa detta. Sådana undersökningar görs under nästa fas (platsundersökning) som bland annat inkluderar provborrningar.

Universitetet ger förslag till hur slutrapporten bör modifieras på vissa punkter och ger även förslag till kompletterande studier. Som granskningsgruppen skriver hör vissa studier hemma i en platsundersökning. Detta gäller exempelvis undersökningar i borrhål. Andra är sådana som kan genomföras i förstudien. Vi anser att universitetets förslag är kloka och kan bidra till ett förbättrat beslutsunderlag. Vi kommer därför att ta upp en diskussion med kommunen och våra utredare om att genomföra studierna och inkludera resultaten i slutrapporten.

Generellt håller vi med granskarna om att det med nuvarande kunskap kan vara svårt att välja mellan intressanta områden i kommunen. Frågan är om det blir så mycket enklare efter att ha borrar ett djupt borrhål i varje område som granskarna föreslår. Vår erfarenhet är att det oftast krävs betydligt fler hål och ett omfattande kartläggnings- och mätprogram på markytan innan det finns en klar bild av förhållandena på förvarsdjup. Vi menar att det är bättre att börja med platsundersökningar i ett område som har goda geologiska förutsättningar och som har miljö- och infrastrukturella fördelar. Samtidigt innebär denna strategi att det måste finnas beredskap att flytta platsundersökningarna till något annat intressant område om berggrunden på den undersökta platsen inte uppfyller kraven för ett djupförvar.

Granskarna är kritiska till hur vi använt brunnsdata för att få en grov uppskattning av vattengenomsläppligheten på förvarsdjup i kommunen. Vi håller med om att detta avsnitt bör strykas eller skrivas om. Detta ändrar inga slutsatser i förstudien eftersom denna uppskattning inte har använts till att bedöma om kommunen är lämplig för ett djupförvar, än mindre till att välja platser inom kommunen.

Allmänt

Uppsala universitet har på uppdrag av Östhammars kommuns referensgrupp granskat den preliminära slutrapporten från förstudie Östhammar samt de utredningar som ligger till grund för denna. Granskningen har omfattat samtliga ämnesområden som ingår i förstudien med undantag för utformning av djupförvarets ovanjordsanläggning.

En allmän kommentar är att granskningen är till stor nytta inför färdigställandet av slutrapporten. Den ger flera konkreta och välgrundade förslag till kompletteringar. Vi menar att den stegvisa process som nu pågår med utredningar, granskningar och kompletteringar är nödvändig för att få fram ett fullständigt och trovärdigt beslutsunderlag inför val av platser för platsundersökningar och för den miljökonsekvensbeskrivning som ska ingå i underlaget när SKB, efter genomförda platsundersökningar, ansöker om att få lokalisera djupförvaret.

Texten i universitetets granskning skiljer sig ibland mellan rapportdelen och sammanfattningen. Vi har uppfattat rapportdelen som den ursprungliga och utgår därför från den i nedanstående kommentarer.

Berggrundsgeologi och tektonik

Den viktigaste frågan i förstudien är ”Finns det områden i Östhammars kommun med geologiska förutsättningar för vidare studier?”

I den preliminära slutrapporten menar vi att sådana förutsättningar troligen finns. Vi identifierar fyra områden som kan vara lämpliga och prioriterar ett av dem, nämligen området vid Bolundsfjärden, sydost om Forsmarksverket.

Uppsala universitet ger stöd för vår slutsats om att dessa områden kan vara lämpliga för vidare studier. Granskarna skriver bland annat ”den allmänna slutsatsen, att kommunen förfogar över potentiellt lämpliga platser för slutförvar några hundra meter ned i berget, är godtagbar med hänsyn till den information som sammanställts och tolkats. Den utgör därför ett gott stöd till förslaget om undersökningar på större djup i berget över förhållandena inom en av de potentiella lokalerna”. Man skriver vidare att de stora linsliknande granitområden som SKB har identifierat ”förefaller vara tillräckligt stora och tillräckligt urskiljbara för att betraktas som potentiella djupförvarslokaler”. De skriver även ”linserna bedöms som mycket intressanta då de eventuellt kan utgöra en typ av ”bergartsplintar” lämpliga för djupförvar”.

Granskarna anser att man inte på det här stadiet kan välja mellan de intressanta områdena utan föreslår att förstudien inkluderar ett djupt borrhål i varje område. Vi menar att borrhning på samtliga områden inte är en framkomlig väg, ur flera aspekter. Borrhningen är att betrakta som en platsundersökning, vilket enligt oss själva, Statens kärnkraftinspektion och regeringen ska ske efter det att samtliga förstudier är avslutade.

Generellt håller vi med om att det med nuvarande kunskap kan vara svårt att välja mellan intressanta områden. Frågan är om det blir så mycket enklare efter ett borrhål. Vår erfarenhet är att det oftast krävs betydligt fler hål och ett omfattande kartläggnings- och mätprogram på markytan innan det finns en klar bild av förhållandena på förvarsdjup. Vi menar att det är bättre att börja med platsundersökningar i ett område som har goda geologiska förutsättningar och som har miljö- och infrastrukturella fördelar. Samtidigt innebär denna strategi att det måste finnas beredskap att flytta platsundersökningarna till något annat intressant område om berggrunden på den undersökta platsen inte uppfyller kraven för ett djupförvar.

Övriga synpunkter som granskarna har är att den berggrundsgeologiska delen av förstudien bör kompletteras med följande:

- Principiella tvärsnitt, främst i området vid Forsmark.
- Generella synpunkter rörande skjuvzoners betydelse för ett djupförvar.
- En belysning av Singözonen i ett regionalt sammanhang.
- En precisering av hur bristen på geologiska indata vid en lokalisering av ett förvar under havet kan kompenseras med annan metodik.

Vi bedömer att samtliga förslag till kompletteringar är bra, och vi kommer därför att be våra utredare om att genomföra studierna och rapportera resultaten i slutrapporten.

Malmpotential; radon

Granskaren menar att malmpotentialen på förvarsdjup inte är känd och föreslår vissa metoder som kan förbättra kunskapsunderlaget. De undersökningsmetoder som granskaren föreslår finns i vårt kommande platsundersökningsprogram. Vad beträffar radon skriver granskaren att denna faktor sannolikt inte utgör något hinder för etableringen av ett underjordslager. Granskaren menar vidare att, baserat på experimentella data, det kan finnas en upptransport av metaller och andra element, troligen med hjälp av en bärgas, som inte har beaktats i förstudien. Han föreslår en mätmetod för att spåra sådan transport. Vi kommer att diskutera om den föreslagna metoden är lämplig att användas vid en eventuell platsundersökning.

Bergmekanik

Granskaren skriver att den preliminära slutrapportens slutsatser rörande bergmekanik och förutsättningar för att bygga berganläggningar är godtagbara. Han pekar även på att det finns borrhålsresultat som visar på onormala förhållanden. Hans slutsats är att vidare undersökningar behövs. Vi håller med om att sådana undersökningar är nödvändiga, men att de är av en sådan art (borrhålsstudier) att de är aktuella först i samband med en eventuell platsundersökning.

Kvartärgeologi; markanvändning och miljö

Granskaren skriver att ”sammanfattningsvis kan konstateras att den del som behandlar markanvändning och miljö i stort sett uppfyller de krav som kan ställas på ett inledande MKB-dokument”. Vad beträffar istiders och mellanliggande värmetiders påverkan på ett djupförvar skriver granskaren att dessa redovisas i stort sett enligt det kunskapsläge som finns idag.

Granskaren har följande förslag till kompletteringar:

- En redovisning av in- och utströmningsområden på topografisk karta.
- En redovisning av den maringeologiska kartläggning av närområdet till SFR som SGU har genomfört.
- Vad en havsytehöjning innebär för förvaret.
- Hur grundvattensänkningen i samband med förvaret kan påverka miljön.
- En mer utvecklad plan för hur man avser att ta hand om bergmassorna.

Granskaren skriver att ovannämnda kompletteringar ska ses som förslag till vad som ska redovisas om det blir aktuellt med mer detaljerade undersökningar. Vi anser att en översiktlig redovisning av frågeställningarna är väl värda att genomföras redan i förstudien, särskilt för det intressanta området vid Forsmark.

Hydrologi och hydrokemi

Granskarna skriver att det krävs omfattande borrhålsundersökningar för att besvara viktiga frågor rörande grundvattenströmning och vattenkemi och att dessa undersökningar kan göras först i platsundersökningsskedet. De instämmer med vår bedömning att flack terräng och låg vattengenomsläpplighet är gynnsamma faktorer för lågt grundvattenflöde på förvarsdjup, samt att utströmningsområden bör undvikas.

Av ovannämnda faktorer kan förstudien redovisa tillförlitliga data om topografi och till viss del även utströmningsområden. Eftersom djupa borrhål saknas i de intressanta områdena finns det emellertid mycket lite att redovisa rörande berggrundens vattengenomsläpplighet på förvarsdjup. Eftersom denna faktor är viktig, har vi beskrivit de uppgifter som finns, även om relevansen för ett förvar i något av de intressanta områdena är liten.

Förutom uppgifter om vattengenomsläppligheten på 500 m djup i försöksområdet vid Finnsjön, strax utanför kommungränsen, har vi utnyttjat en statistisk metod för att få en grov uppfattning av vattengenomsläppligheten på förvarsdjup. Denna innebär statistisk analys och extrapolation av data från existerande bergbore brunnar spridda i hela kommunen. Eftersom dessa endast når ca 100 m djup har extrapoleringen gjorts till förvarsdjup (500 m). Vi är givetvis medvetna om att de data om vattengenomsläppligheten som fås med en sådan metod är mycket osäkra. Vi har därför inte använt dessa uppgifter till att bedöma om kommunen är lämplig för ett djupförvar, än mindre till att välja platser inom kommunen.

Granskarna är kritiska till extrapoleringen av brunndata. De menar att extrapoleringen innehåller felaktigheter och att den är otillåten. De anser därför att denna beräkning bör utgå ur slutrapporten. Vi har bitt vår utredningskonsult om synpunkter på granskarnas skrivning. Svaret finns tillgängligt för den intresserade. Sammanfattningsvis ger utredaren granskarna rätt i att osäkerheterna med extrapoleringen är så stora att det förmodligen är bättre att inte skriva något alls. Om inte annat så för att undvika missförstånd. Skall uppgifterna tas med bör osäkerheterna tydligare beskrivas. Avsnittet rörande vattengenomsläppligheten i slutrapporten kommer därför att skrivas om.

Granskarna menar att subhorisontella sprickzoner, som den som finns i Finnsjöområdet, kan vara fördelaktiga för ett djupförvar. En åsikt som vi delar och som kan vara särskilt intressant i området vid Bolundsfjärden i Forsmark, eftersom man vid Forsmarksverket har påträffat en tolkad horisontell zon i ett borrhål på 300 m djup.

Beträffande grundvattnets kemi så skriver granskarna att ”vår bedömning är att analysen och diskussionen är uttömmande”. De menar det krävs direkta mätningar i borrhål på förvarsdjup för att komma vidare. Vi instämmer med detta.

Konkreta förslag till kompletteringar i förstudien inom områdena hydrologi och hydrokemi är:

- Förbättra grafiken på kartan över avrinningsområdena.
- Ta bort jämförelsen mellan grundvattenflöde och grundvattenbildning.
- Komplettera med en uppskattning av transporttider till beräkningsexemplet rörande grundvattenflöde.

- Stryk beräkningarna av vattengenomsläpplighetens djupvariation baserade på brunnldata.
- Tillfoga en sammanfattning av resultatet från undersökningarna vid Finnsjön vad det gäller vattengenomsläpplighet, möjliga strömningsmönster och vattenkemi.
- Diskutera saltvattnets inverkan på strömningsmönster och omsättningstid.

Här har vi följande kommentarer:

Kartan över avrinningsområden kan förbättras. Det är viktigt att belysa vilka områden som avvattnas mot Mälaren respektive Östersjön.

Jämförelsen mellan grundvattenflöde och grundvattenbildning är av värde och bör finnas kvar, men detta förutsätter att den nuvarande texten förbättras för att undvika begreppsförvirring.

En komplettering av beräkningsexemplet rörande grundvattenflöde med en uppskattning av transporttider anser vi inte bör genomföras av två skäl. För det första måste man då även hantera osäkerheter i effektiv porositet, vilket det saknas uppgifter om. För det andra säger transporttiden i sig inte något om nukleidtransport i berg om man inte dessutom tar hänsyn till andra mekanismer (t ex våt flödesarea och matrisdiffusion). Om man inkluderar alla osäkerheter som finns i detta skede, när inga undersökningar på en specifik plats är gjorda, kommer beräkningarna att visa på vattentransporttider som troligen kommer att variera mellan 10 år och 10 000-tals år, vilket inte utgör någon särskilt värdefull information. Betydligt bättre uppskattningar av transporttider kan och kommer att göras efter platsundersökningar.

Finnsjön ligger i Tierps kommun. En uttömmande sammanfattning av förhållandena i Finnsjön kommer att finnas med i Förstudie Tierp.

Betydelsen av sött och salt grundvatten på grundvattnets strömningsmönster och omsättningstid kan illustreras med ett eller ett par exempel. Bland annat kan vi här hänvisa till de modellstudier som för närvarande utförs i Finnsjöområdet inom ramen för säkerhetsanalysen SR 97.

Kemiska aspekter

Granskaren diskuterar korrosion av en kapsel av KBS-3 typ. Hans slutsats är att berggrund innehållande sulfidmalmer bör undvikas som depositionsplats för kopparkapslar. Anledningen är att det där i grundvattnet kan finnas påtagliga mängder av sulfatjoner som bakterier kan ombilda till sulfidjoner. De sistnämnda jonerna kan korrodera koppar. Vi instämmer i att sådana miljöer bör undvikas (vilket även har gjorts i förstudien av andra skäl).

Granskaren menar vidare att mikrober i berggrunden på den intressanta platsen bör studeras omsorgsfullt. Vi instämmer i detta och menar att en sådan studie bör genomföras vid eventuella platsundersökningar.

En allmän kommentar i detta sammanhang är att SKB är drivande i den forskning som bedrivs i Sverige rörande mikrober i berggrunden. Som framgår av SKB:s FUD-program 98 är mikrober och deras påverkan på ett djupförvar ett prioriterat område i SKB:s långsiktiga forskningsplan. I programmet anges att den viktigaste forskningen inom detta område är just sulfatreducerade bakterier och deras överlevnad i förvaret.

Den pågående forskningen visar att bentonitbufferten, som omger kapslarna, är en livsfientlig miljö för mikrober på grund av kombinationen strålning, värme och låg tillgänglighet av vatten i högkompakterad bentonit. Baserat på dagens kunskap finns det därför inget som talar för att mikrober på lång sikt kan påverka säkerheten för kopparkapslarna. Vi menar emellertid att detta ytterligare måste säkerställas och fortsätter därför forskningen på detta område.

Mikrobiologiska aspekter

Här beskriver granskaren kunskapsläget rörande mikroorganismer i berggrunden. Han menar att det är viktigt att forskningen fortsätter. Som framgår ovan delar vi den åsikten.

Samhällsvetenskapliga aspekter

Granskaren menar att de samhällsvetenskapliga analyserna i förstudien är förtjänstfullt genomförda, särskilt kartläggningen av nulägesförhållanden samt direkta/indirekta sysselsättningseffekter av lokalisering av ett djupförvar till kommunen. Han menar att även beskrivningarna som görs om den framtida utvecklingen i kommunen är väl genomförda, men att den långa tidsrymden (50 år) medför att sådana prognoser är osäkra.

Granskaren ger två förslag till kompletteringar:

- En fördjupad analys med avseende på kommunens nuvarande förmåga att svara upp mot ett djupförvars behov av underleverantörer och rekryteringsunderlag.
- Ett resonemang kring och analys av hur ett djupförvar påverkar befolkningens välbefinnande och hälsa.

Båda studierna kan vara värda att genomföra. Den förstnämnda studien berör frågor som ofta ställs till oss och som även har ställts till referensgruppen via den svarstalong som finns i deras informationsbroschyr. Vanliga frågor är: Blir det kommuninnevånarna som får jobben? Är jobben sådana att de passar "vanligt folk" eller är det dataexperter och ingenjörer som efterfrågas? Kan driften bli "outsourcad" till "lägsta anbud"? (Dessa är exempel på frågor som har ställts till referensgruppen).

För att få en bra belysning av vad en etablering av ett djupförvar innebär, kopplat till den vision som finns i dag om framtiden i kommunen, anser vi att denna analys med fördel bör genomföras av företagare och andra i kommunen. För att understryka att detta är en separat och oberoende studie bör redovisningen ej ske i SKB:s slutrapport.

En analys av hur ett djupförvar påverkar befolkningens välbefinnande och hälsa gjordes i Förstudie Storuman av Umeå universitet (Socioekonomiska konsekvenser av ett djupförvar för använt kärnbränsle i Storuman kommun, SKB PR 44-94-019). Slutsatsen där var att det är omöjligt att kvantifiera vare sig positiva eller negativa psykosociala effekter av lokalisering av ett djupförvar. För Östhammars del finns det större möjligheter att kvantifiera effekterna, eftersom här finns erfarenheter av tillkomst och drift av både Forsmarksverket och slutförvaret SFR.

Psykologiska aspekter

Granskaren skriver att SKB:s preliminära slutrapport inte tar upp hur och varför människor reagerar och agerar på information kring frågan rörande lokalisering av ett djupförvar. Granskaren ger därför en allmän beskrivning av vad som är känt om detta

ämne från forskningslitteraturen. Bland annat diskuteras allmänhetens bedömningar av risker, betydelse av förtroende och tilltro och medias roll. Någon rekommendation till kompletterande studier ges inte. Granskarens text är intressant och tänkvärd och synpunkterna ska tas till vara i det fortsatta arbetet i kärnavfallsfrågan.

Etiska aspekter

Granskaren skriver att det förekommer en omfattande debatt, i Sverige och internationellt, om hur dagens generation tar sitt ansvar för kärnavfallet. Hon skriver att lokaliseringsprocessen är strukturerad som en demokratisk beslutsprocess där grundläggande etiska frågor spelar en central roll. Dessa gäller möjligheten att trovärdigt ta ansvar för åtgärder och beslut vilkas konsekvenser sträcker sig så långt in i framtiden samt att vår bedömning idag av dessa måste ske under osäkerhet. Hon menar att "osäkerheten utgör en omständighet som gör att politiska och därmed etiska bedömningar till sist måste fälla utslaget i beslutssituationen. Dessa bedömningar faller utanför SKB:s uppdrag. De kan göras endast i en demokratisk process. SKB kunde dock i sin redovisning av vetenskapligt och tekniskt kunskapsunderlag ha nämnt något om de etiska problem som aktualiseras av den tidsmässigt långa ansvarsperioden".

Granskarens slutsats är att slutrapportens inledningskapitel i sin beskrivning av bakgrunden bör kompletteras med ett kortare avsnitt om etiska frågeställningars relevans för kärnavfallsfrågan i dess helhet.

SKB inser att etiska aspekter är viktiga. Vi delar granskarens syn att de etiska frågorna bör vara en väsentlig del i lokaliseringsprocessen. Deras karaktär är sådan att de kan och bör diskuteras i breda kretsar inom samhället. Vi kommer i slutrapporten att lyfta fram vikten av de etiska aspekterna, men den detaljerade diskussionen måste föras i många sammanhang och hållas levande under hela arbetets gång. SKB kommer även fortsättningsvis att delta i debatten kring dessa frågor, inte minst vid informationsmöten med kommuninnevånare.

Referenser

SKB. Förstudie Östhammar. Preliminär slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.

Uppsala universitet. Kunskap och osäkerhet. Uppsala universitet granskar SKB:s förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun. Rapportdel. ISBN 91-506-1324-3, Uppsala universitet, 1998.

Uppsala universitet. Kunskap och osäkerhet. Uppsala universitet granskar SKB:s förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun. Sammanfattning. ISBN 91-506-1323-5, Uppsala universitet, 1998.

SKB. FUD-program 98. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk djupförvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.

Holm E (red). Socioekonomiska konsekvenser av ett djupförvar för använt kärnbränsle i Storumans kommun. SKB PR-44-94-019, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1994.

4 Nya utredningar, kompletteringar och tillägg (nio flikar)

I detta kapitel presenteras de nya utredningar, kompletteringar och tillägg som Östhammars kommun begärt av SKB. Materialet, som här indelats i nio fristående flikar, inarbetas även i slutrapporten, men då i förkortad, sammanfattande form. De större utredningarna har sin egen innehållsförteckning och referenslista. Alla flikar har egen sidonummering.

Kapitlet innehåller följande nio flikar (se även kapitel 1, tabell 1-1):

- Flik 1 Djupförvarsfrågan i ett långsiktigt etiskt perspektiv.
Författare: Claes Thegerström, SKB.
- Flik 2 Tredimensionell tolkning av de geologiska förhållandena i området Forsmark–Bolundsfjärden.
Författare: Michael Stephens, SGU och Hans Isaksson, GeoVista.
- Flik 3 Delprojekt grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar.
Kompletterande redovisning med anledning av Östhammars kommuns yttrande 1999-11-16 (punkterna 3–8.B.6).
Författare: Sven Follin, SF geoLogic AB.
- Flik 4 Delprojekt grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar.
Kompletterande redovisning med anledning av Östhammars kommuns yttrande 1999-11-16 (punkterna 8.B.1–8.B.4).
Författare: Sven Follin, SF geoLogic AB.
- Flik 5 Osäkerheter kring framtida klimatförändringar och deras påverkan på ett djupförvar.
Författare: Lena Morén, SKB.
- Flik 6 Omhändertagande av bergmassor.
Författare: Ingrid Aggeryd, Studvik Eco & Safety AB, Lennart Ekman, LE Geokonsult samt Christer Svemar, SKB.
- Flik 7 Miljöpåverkan från djupförvaret genom kemisk toxicitet.
Författare: Fred Karlsson, SKB.
- Flik 8 Hur bristen på indata vid lokaliseringen av ett djupförvar under havet kan kompletteras med annan metodik.
Författare: Kaj Ahlbom, SKB.
- Flik 9 Osäkerheten i förutsägelseerna om samhällsutvecklingen i långsiktigt perspektiv.
Författare: Stig Björne, EuroFutures AB

Förstudie Östhammar

Djupförvarsfrågan i ett långsiktigt etiskt perspektiv

Claes Thegerström, SKB

Uppsala universitets syn på etikfrågornas ställning och SKB:s ansvar för dessa i förstudiearbetet

Efter att den preliminära slutrapporten från SKB:s förstudie i Östhammars kommun presenterats /1/ utförde Uppsala universitet en granskning av rapporten /2/ och /3/. Förutom att diskutera naturvetenskapliga och tekniska frågeställningar belyser universitetets granskare förstudien ur samhällsvetenskaplig, psykologisk och etisk synvinkel. Baserat bland annat på denna granskning, som verkställdes på initiativ av kommunens referensgrupp för förstudien, formulerade kommunstyrelsen i Östhammars kommun ett yttrande över förstudien, se kapitel 2 i denna rapport. I yttrandet ingår en begäran om att förstudien kompletteras med ett avsnitt om hur djupförvarsfrågan kan sättas in i ett långsiktigt etiskt perspektiv, där också ansvarsfördelningen mellan generationerna belyses (kapitel 2, punkt 7).

I granskningsrapportens kapitel ”Etiska aspekter” diskuteras i vilken utsträckning etiska perspektiv borde aktualiseras i förstudien /2/. Likaså berörs frågan om hur SKB:s ansvar för de övergripande etiska spörsmål som är förknippade med djupförvarsfrågan kan definieras. Granskaren framhåller att lokaliseringsprocessen är strukturerad som en demokratisk beslutsprocess där SKB, i samspelet mellan olika aktörer i lokaliseringsarbetet, tilldelats uppdraget att svara för avfallshanteringen och att ta fram metod och plats för slutförvaring. I detta ansvar ingår att utarbeta det kunskapsunderlag som behövs i olika skeden av lokaliseringsprocessen. Universitetets granskare menar att grundläggande etiska frågor här har en central roll. Dessa gäller framför allt möjligheten att ta ansvar för åtgärder och beslut som får konsekvenser långt in i framtiden. I djupförvarsfrågan är tidsdimensionen sådan att den bedömning som kan göras idag av fattade beslut och vidtagna åtgärder är behäftad med osäkerhet, såväl avseende samhällets utveckling som det vetenskapliga och tekniska kunskapsunderlagets relevans. Granskaren framhåller att osäkerheten visserligen till en del kan hanteras genom strikta säkerhetsregler, men *”att den likväl utgör en omständighet som gör att politiska och därmed etiska bedömningar till sist måste fälla avgörandet”* .

I granskningsrapporten fastslås att dessa bedömningar faller utanför SKB:s uppdrag och att de kan göras endast i en demokratisk process. SKB kunde dock, enligt granskaren, i sin redovisning av det vetenskapliga och tekniska kunskapsunderlaget i förstudien ha nämnt något om de etiska problem som aktualiseras av den tidsmässigt långa ansvarshorisonten. Just den senare tillför nämligen ett osäkerhetsmoment som gäller inte minst möjligheterna

att uppfylla kravet på långsiktig säkerhet. Tydligare hänsyn borde också ha tagits till att förstudien är ett första led i en lokaliseringsprocess, och att därmed de etiska frågeställningar som är förknippade med den långsiktiga säkerheten aktualiseras redan i kommunens ställningstagande till förstudien. I lokaliseringsprocessen, som sker stegvis, finns en förbindelse mellan varje led, och den etiska dimensionen har samma tyngd i alla leden /2/.

Uppsala universitets granskare menar att värderingars betydelse visserligen antyds på några ställen i förstudien, men endast mera i förbigående. Förstudien förbigår förhållandet att de långsiktiga ansvarsfrågorna i Sverige liksom internationellt på senare tid kommit att stå i fokus för debatten om hur dagens generation tar sitt ansvar för kärnavfallet. *”Det svenska systemet för hantering av det radioaktiva avfallet och av lokaliseringsprocessen beskrivs där (i förstudien) utslutande i sina tekniska och vetenskapliga dimensioner, medan man förbiser att varje led i avfallsbanteringen och lokaliseringsprocessen också har en tydlig etisk dimension.”*

Granskningen av den preliminära slutrapporten från förstudien i Östhammars kommun leder fram till slutsatsen att inledningskapitlet i sin beskrivning av bakgrunden bör kompletteras med ett kortare avsnitt om etiska frågeställningars relevans för kärnavfallsfrågan i dess helhet. Granskaren finner att en sådan komplettering *”svarar väl mot förstudiens begränsade syfte att undersöka förutsättningarna för att förlägga ett slutförvar till kommunen” /2/.*

SKB:s syn på de etiska frågeställningarnas relevans för kärnavfallsproblematiken

I SKB:s kommentar till Uppsala universitets granskning av den preliminära slutrapporten (se tidigare i denna rapport) framhålls bland annat: *”SKB inser att etiska aspekter är viktiga. Vi delar granskarens syn att de etiska frågorna bör vara en väsentlig del i lokaliseringsprocessen. Deras karaktär är sådan att de kan och bör diskuteras i breda kretsar inom sambället.”*

SKB instämmer också i att övergripande bedömningar av etisk karaktär kan göras endast inom ramen för en demokratisk process. Med andra ord kan enskilda aktörer i lokaliseringsprocessen, till exempel SKB, inte åläggas ansvaret att formulera de etiska principer efter vilka lokaliseringsprocessen slutligen ska drivas. Detta är en samhällelig fråga i vid bemärkelse, och det är samhällets demokratiska institutioner som måste fatta de avgörande besluten och ta det yttersta ansvaret. SKB menar dock att alla aktörer i lokaliseringsarbetet, utifrån sina respektive uppdrag och allmänna förutsättningar, efter bästa förmåga måste bidra till att de etiska aspekterna hålls levande genom hela processen.

Av det ovan sagda framgår att samsynen mellan Uppsala universitets granskare och SKB i grunden är stor avseende betydelsen av etikfrågorna och beträffande den grad av ansvarsstagande som bör åläggas enskilda aktörer i lokaliseringsprocessen. Det kan dock konstateras att SKB, enligt granskaren, i den preliminära slutrapporten inte tillräckligt väl utvecklat de etiska aspekterna. Den tydliga fokuseringen på vetenskapliga och tekniska perspektiv, som i sig har en etisk dimension (att maximera säkerheten i förvarslösningen), borde här ha kompletterats med en tydligare profilering i de mer övergripande etikfrågorna.

I kommentaren till universitetets granskning skriver SKB vidare: *”Vi kommer i slutrapporten att lyfta fram vikten av de etiska aspekterna, men den detaljerade diskussionen måste föras i många sammanhang och hållas levande under hela arbetets gång. SKB kommer även i fortsättningen att delta i debatten kring dessa frågor, inte minst vid informationsmöten med kommuninnevånarna”.*

I nästa avsnitt diskuteras kortfattat vilka etiska grundprinciper som SKB anser måste vara vägledande i lokaliseringsprocessen inklusive i förstudiesammanhanget.

Etiska grundprinciper i SKB:s lokaliseringsarbete

Enligt svensk lag ska ägarna till kärnkraftverken svara för alla de åtgärder som behövs för att ta hand om kärnavfallet på ett säkert sätt. De företag som äger de svenska kärnkraftverken har givit det gemensamt ägda Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, uppdraget att svara för kärnavfallshanteringen från det att avfallet lämnar kärnkraftverken. En stor del av detta avfall, framför allt det använda kärnbränslet, tillhör den kategori av avfall vars potentiella miljöpåverkan sträcker sig mycket långt in i framtiden. SKB berörs därför i hög grad av den etiska problematik som skisserats tidigare i detta kapitel.

Utgångspunkterna för SKB:s arbete ges av krav i lagar och föreskrifter. Dessa krav speglar i sin tur samhällets etiska värderingar och tekniska/vetenskapliga överväganden och de har utarbetats i den demokratiska processen för lagstiftning i Sverige. SKB delar de etiska värderingar som ligger till grund för lagarna inom kärnavfallsområdet och tycker att de ger en bra vägledning för det arbete SKB är ålagd att göra. Exempel på viktiga etiska grundprinciper är, förutom kraven på säkerhet och strålskydd, bland annat att avfallsfrågan till alla väsentliga delar ska lösas av den generation som utnyttjat elproduktionen från kärnkraftverken och att det svenska kärnavfallet ska tas omhand inom landet. En annan viktig princip med etisk grund är kravet på att efter förslutning av ett förvar så ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan att det ska krävas övervakning och underhåll. Detta för att inte i onödan belasta framtida generationer. En viktig praktisk konsekvens för SKB:s arbete av ovanstående principer är att SKB aktivt och målmedvetet måste driva kärnavfallsprogrammet framåt mot att etablera en långsiktig säker förvaring som slutligen kan utformas så att inga ytterligare åtgärder krävs för dess säkerhet på lång sikt.

Djupförvarskonceptet och dess genomförande följer vidare de etiska grundprinciper som KASAM (Statens råd för kärnavfallsfrågor) formulerade redan 1987 /4/. En av grundsatserna har där formulerats på följande sätt: *"Ett slutförvar bör utformas så att det dels gör kontroll och åtgärder onödiga, dels inte omöjliggör kontroll och åtgärder."* Etikfrågorna har därefter fortlöpande diskuterats, såväl i Sverige som internationellt, och ett flertal skrifter har producerats, där de etiska aspekterna på kärnavfallet och djupförvarsfrågan har belysts. Här kan exempelvis KASAM-publikationerna /5/ och /6/ liksom skriften /7/ nämnas. SKB har sedan 1980-talets början deltagit och haft en aktiv roll i dessa diskussioner.

En annan etisk princip som SKB finner rimlig är att *risker och bördor förknippade med kärnavfallet fördelas så rättvist som möjligt mellan den nu verksamma generationen och de kommande generationerna /2/, /6/, /7/*. Dagens generation ska därför inte utsätta kommande släkten för större risker än vad vi själva finner acceptabelt. I förpliktelsen mot framtiden ligger också att vi inte får blockera kommande generationers möjlighet att använda eventuell framtida teknik för att oskadliggöra avfallet eller att använda detta som en resurs. Bakom det sistnämnda resonemanget ligger ännu en viktig etisk princip, *strävan efter rättvis resursfördelning mellan generationer /2/, /6/, /7/*. Det är därför väsentligt att förvaret utformas så att avfallet kan återtas och att informationen om förvarets innehåll och utformning bevaras så länge som möjligt. Det senare är ett sätt att överbrygga tidsklyftan mellan nutid och framtid genom att dagens generation förser nästa generation med den kunskap och de resurser som behövs för att hantera de problem som vi för vidare. Tankegången har i etikdiskussionerna lanserats som *"ett rullande nu"* eller *en kedja av generationer /2/, /6/, /7/*.

Vid utformningen av det djupförvar för använt kärnbränsle som SKB planerar måste de etiska grundprinciper som nämnts ovan vara vägledande. SKB menar att den nu verksamma generationen, som åtnjuter fördelarna med kärnkraften, också har ansvaret att på ett långsiktigt sätt omhänderta dess avfall. Det är därför angeläget att vi idag, när kunskap, teknik och resurser finns, uppfyller de krav som ställs i kärntekniklagen att *"Den som bedriver kärnteknisk verksamhet skall svara för att de åtgärder vidtas som behövs för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara i verksamheten uppkommet kärnavfall"*.

En, särskilt för SKB, viktig fråga är hur grundläggande etiska principer på bästa sätt uppfylls i praktiska tekniskt genomförbara lösningar. I vissa fall måste i den tekniska lösningen avvägningar göras mellan olika etiska principer. Principen om möjlighet till kontroll och återtag får t ex inte drivas så långt att den leder till tekniska lösningar med lägre passiv säkerhet på lång sikt.

SKB:s huvudinriktning är att det använda bränslet ska inkapslas och därefter slutdeponeras i ett djupförvar på cirka 500 meters djup enligt den så kallade KBS-3-metoden. Denna huvudinriktning är accepterad av säkerhetsmyndigheter och regeringen. Det pågår emellertid också ett kontinuerligt arbete runt alternativa förvarskoncept /8/, och även om förstudien beskriver förhållanden av betydelse för ett KBS-3-förvar, är resultaten i sina huvuddrag tillämpliga även för en bedömning av lokaliseringmöjligheterna för andra typer av bergförvar. Det kan också nämnas att någon form av slutförvaring behövs även om en metod som transmutation skulle bli verklighet. Arbetet med djupförvaret blir därför väsentligt även med en sådan teknik.

I slutrapporten från förstudien i Östhammar kommer SKB redan i kapitel 1 att på ett tydligare sätt än vad som skedde i den preliminära slutrapporten söka klargöra sin inställning i etikfrågorna. Därvid kommer texten i detta avsnitt att i tillämpliga delar arbetas in i kapitlet.

Referenser

- /1/ **SKB.** Förstudie Östhammar. Preliminär slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997
- /2/ **Uppsala universitet.** Kunskap och osäkerhet. Uppsala universitet granskar SKB:s förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun. Rapportdel. ISBN 91-506-1324-3, Uppsala universitet 1998.
- /3/ **Uppsala universitet.** Kunskap och osäkerhet. Uppsala universitet granskar SKB:s förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun. Sammanfattning. ISBN 91-506-1323-5, Uppsala universitet, 1998.
- /4/ **KASAM.** Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 1987. ISBN 91-38-009938-1, Statens råd för kärnavfallsfrågor, 1998.
- /5/ **KASAM/Statens kärnbränslenämnd.** Etik och kärnavfall. Rapport från ett seminarium om etiskt handlande under osäkerhet i Stockholm den 8-9 september 1987. SKN rapport 28, KASAM/Statens kärnbränslenämnd, 1988.
- /6/ **KASAM.** Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 1998. SOU 1998:68, ISBN 91-38-20933-0, Statens råd för kärnavfallsfrågor, 1998.
- /7/ **Nationelle samordnaren på kärnavfallsområdet.** Ansvar, rättvisa och trovärdighet – etiska dilemman kring kärnavfall. ISBN 91-7345-080-4, Kommentus, 1999.
- /8/ **SKB.** FUD-program 98. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk djupförvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.

Förstudie Östhammar

Tredimensionell tolkning av de geologiska förhållandena i området Forsmark–Bolundsfjärden

Michael B. Stephens, Sveriges Geologiska Undersökning

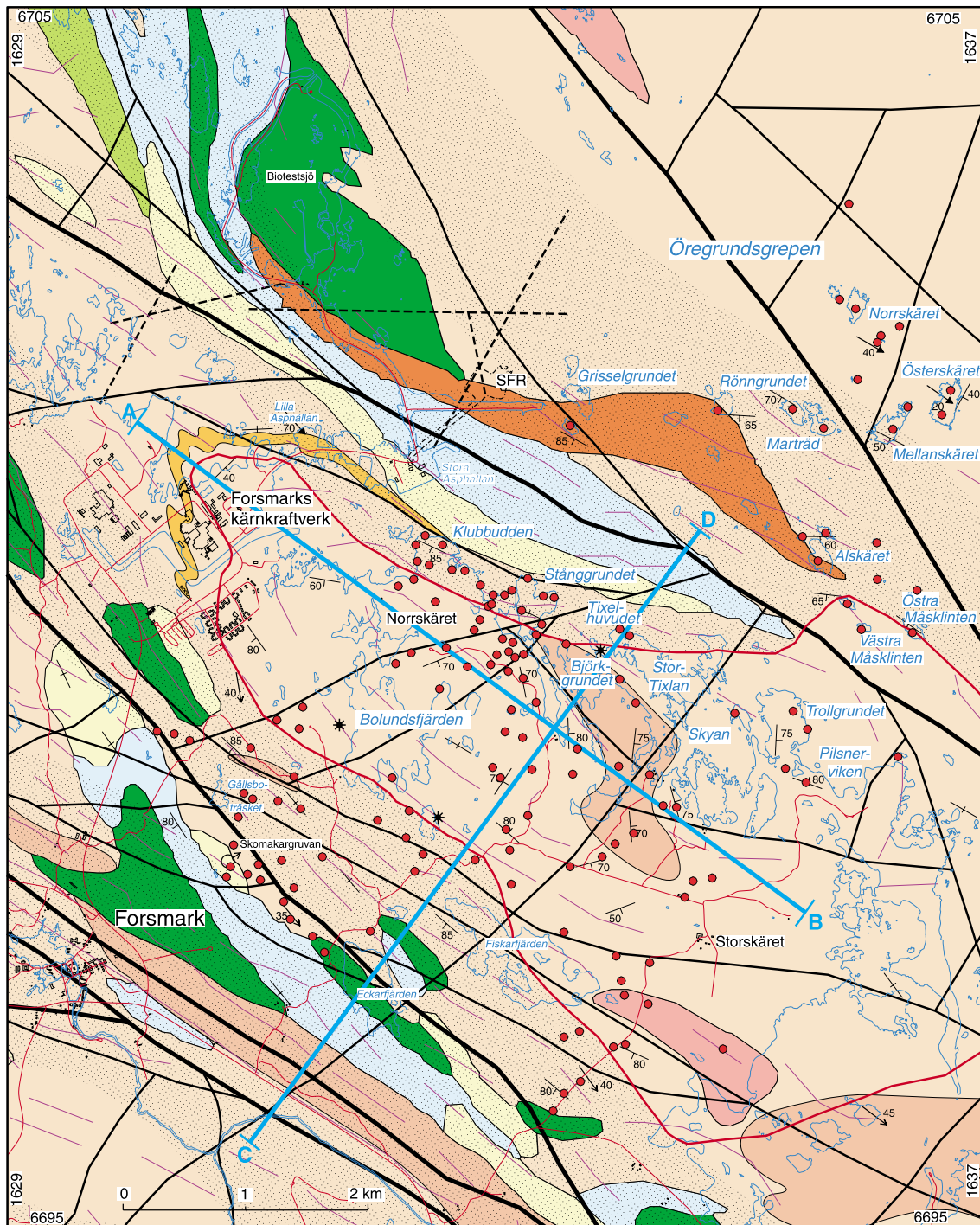
Hans Isaksson, GeoVista AB

Geologiska profiler i området kring Bolundsfjärden, nordost om Forsmark

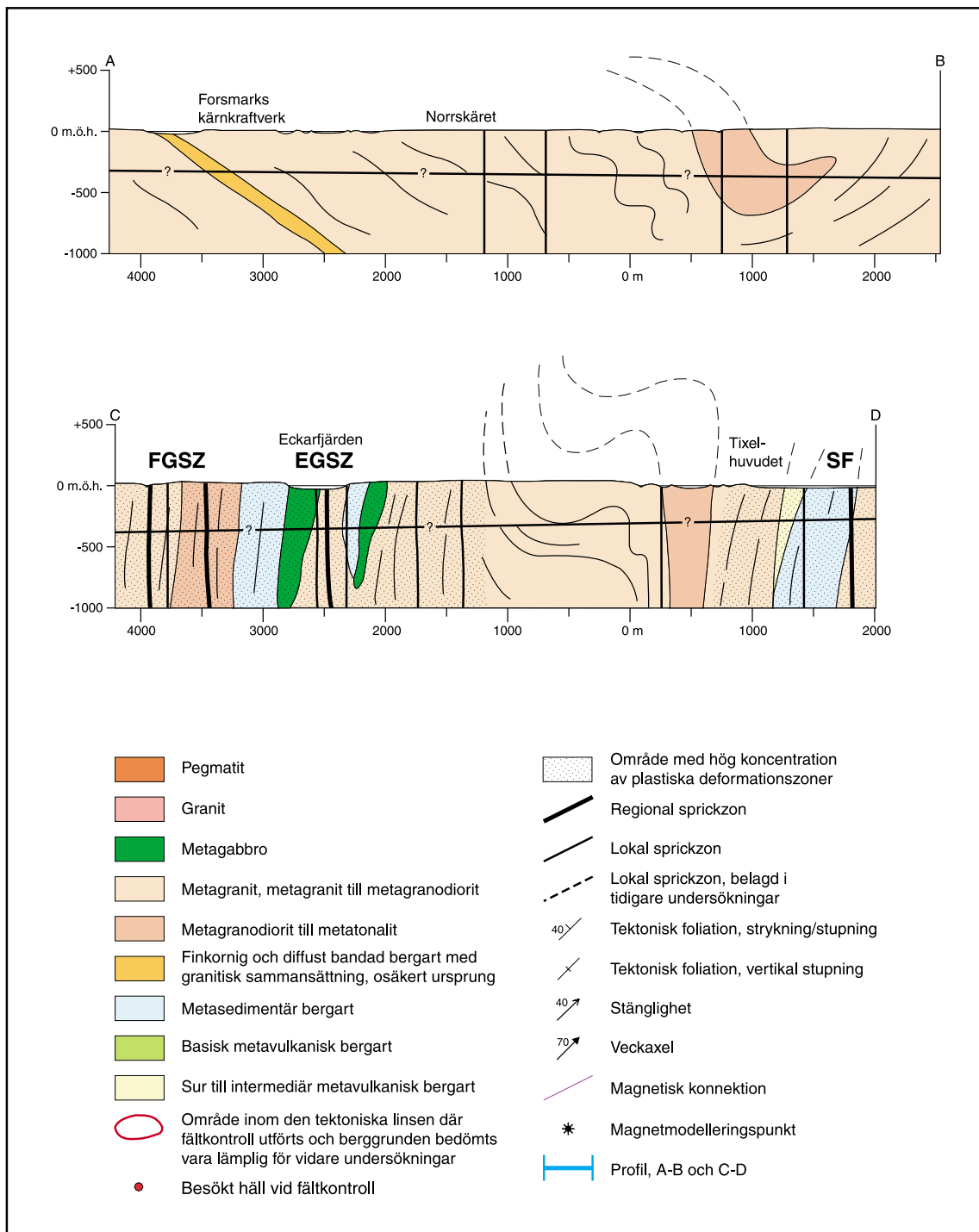
Resultaten av utförda geologiska undersökningar inom ramen för förstudien av Östhammars kommun samt en sammanvägning med andra viktiga faktorer har redovisats av SKB (1997). Som resultat av dessa arbeten har i första hand ett område nordost om Forsmark, kring Bolundsfjärden, bedömts vara av intresse för vidare undersökningar. Området ligger inom en så kallad tektonisk lins som sträcker sig från norr om Forsmarks kärnkraftverk mot sydost till Öregrund. Fältkontroll av området söder och öster om kärnkraftverket (Bergman m fl, 1998) har bekräftat att åtminstone denna del av linsen är lämplig för vidare undersökningar se figur 1.

I tidigare förstudiearbeten har befintlig geologisk information presenterats i form av kartor som visar berggrundens sammansättning och strukturer på ytan. Eftersom ett djupförvar kommer att anläggas på betydande djup, cirka 500 meter, är det emellertid av största vikt att undersöka berggrundens egenskaper mot djupet. För en tillförlitlig undersökning krävs då bland annat direkt information från aktuellt djup, vilket endast kan erhållas genom borrhning. En preliminär tolkning av berggrundens sammansättning samt förekomst av deformationszoner (plastiska skjuvzoner, sprickzoner och förkastningar) kan dock göras genom att nyttja direkta observationer från ytan i kombination med tolkning av geofysiska data (till exempel mätningar av variationer i jordens magnetfält). En sådan preliminär tolkning presenteras nedan.

Två geologiska tvärprofiler har upprättats i det aktuella området (figur 1). Profil A-B sträcker sig längs med den tektoniska linsen, från norr om Forsmarks kärnkraftverk till öster om Storskäret. Profilen är parallell med stängligheten i berggrunden och med veckaxlarna till de småskaliga veck som finns i området. Den följer i stort sett axialplanen av storskaliga veckstrukturer inom linsen (se också nedan) och övertvårar fyra tolkade lokala sprickzoner (Bergman m fl, 1998). Profil C-D stryker vinkelrätt mot Profil A-B och övertvårar både den tektoniska linsen och de zoner med kraftigt deformerade bergarter som tillhör Singöskjuvzonen och som begränsar linsen mot sydväst och mot nordost. Flera regionala och lokala sprickzoner (Bergman m fl, 1998) korsas också, däribland Forsmark-Granfjärden-sprickzonen (FGSZ), Eckarfjärden-Gällsbo-träsket-sprickzonen (EGSZ) och Singöförkastningen (SF).



Figur 1. Berggrundskarta (denna sida) och två geologiska profiler (nästa sida) över Forsmarksområdet. Profilerna skär varandra i punkten 0 meter på respektive profil. Streckade linjer i profilerna representerar tolkade formlinjer av den tektoniska foliationen. Observera att den markerade flacka sprickzonen (linje med frågetecknet) är helt hypotetisk.



Figur 1. Fortsättning. Geologiska profiler över Forsmarksområdet.

De två profilerna visar en preliminär tolkning av berggrundens sammansättning och de strukturgeologiska förhållandena ned till 1000 meters djup, längs med och tvärs över den tektoniska linsen. Profilerna har upprättats utifrån följande förutsättningar:

1. Berggrundsgeologin i ytan baseras huvudsakligen på den berggrundskarta som presenterats av Bergman m fl (1996). Mindre förändringar har dock gjorts med hänsyn till resultaten av kompletterande arbeten (Bergman m fl, 1998). Vidare har en mer detaljerad indelning gjorts av metagranitoiderna inom och sydväst om den tektoniska linsen. Denna indelning utnyttjar information presenterad av Stålhös (1989) för Östhammarsområdet samt av Bergman och Isaksson (1996) för området runt Forsmarks kärnkraftverk. Resultat från fältmätningar av såväl plana som linjära strukturer har hämtats från Stålhös (1989) och från Bergman m fl (1998). Dessa mätningar, i kombination med tolkning av magnetiska data från flygmätningar, har utgjort det viktigaste underlaget för de två profilerna. Den reviderade geologiska kartan och profilerna visas i figur 1.
2. Alla regionala och lokala deformationszoner som visas på den geologiska kartan i figur 1, både plastiska och spröda (sprickzoner), antas stupa brant eller vertikalt.
3. På bägge profilerna har en flack sprickzon markerats på cirka 300–400 meters djup. Denna zon är helt och hållet hypotetisk. Möjligheten att en sådan zon (eller zoner) skulle kunna finnas stöds emellertid av att en flackt stupande zon framtolkats i borrhålet DBT1 omedelbart nordost om Block 3 vid Forsmarks kärnkraftverk (Carlsson och Olsson, 1982) samt av att en flack sprickzon, zon H2, dokumenterats under SFR-anläggningen (Axelsson och Hansen, 1997). En möjlig fortsättning av zon H2 sydväst om Singöförkastningen in mot det nu aktuella området har tolkats av Axelsson och Hansen (1997).

En viktig aspekt på den tektoniska linsens interna struktur är den storskaliga veckningen av den tektoniska foliationen (figur 1). På basis av mätningar av småskaliga linjära strukturer i fält, antas veckaxlarna stupa måttligt till brant mot sydost. Information från geologisk kartering och tolkning av magnetiska data indikerar en kombinerad synformantiform struktur med en Z-liknande form i området norr om Storskäret och en mer storskalig synform i området nordost om Forsmarks kärnkraftverk. Dessa veck uppträder inom den tektoniska linsen som, vilket tidigare påpekats, ligger inklämd mellan olika segment av Singöskjuvzonen.

Det är viktigt att komma ihåg den stora osäkerhet som föreligger när de olika geologiska enheterna och deformationszonerna projiceras mot djupet. Om framtida arbeten radikalt ska kunna förbättra kännedomen om de geologiska förhållandena på förvarsdjup, cirka 500 meter, krävs därför detaljerade geofysiska mätningar och borrhning. Den presenterade preliminära tolkningen antyder dock att den tektoniska linsen med homogen berggrund mellan regionala plastiska skjuvzoner som återfinns i ytan har ett så pass stort djupgående, att samma förhållanden råder ned till ett djup av åtminstone 500–1 000 meter i området kring Bolundsfjärden. Den största osäkerheten i tolkningen är den eventuella förekomsten av flacka sprickzoner i området.

Referenser

Axelsson C-L, Hansen L M. Update of structural models at SFR nuclear waste repository, Forsmark, Sweden.
R-98-05, 1-42, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.

Bergman T, Isaksson H. Förstudie Östhammar. Sammanställning av befintlig geoinformation vid Forsmarksverket.
SKB PR D-96-025, 1-13, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1996.

Bergman S, Isaksson H, Johansson R, Lindén A, Persson C, Stephens M. Förstudie Östhammar. Jordarter, bergarter och deformationszoner.
SKB PR D-96-016, 1-81, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1996.

Bergman S, Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Stephens M. Förstudie Östhammar. Jordarter, bergarter och deformationszoner. Kompletterande arbeten 1998.
SKB R-98-57, 1-37, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.

Carlsson A, Olsson T. Characterization of deepseated rock masses by means of borehole investigations. In situ rock stress measurements, hydraulic testing and corelogging.
Vattenfall Forskning och Utveckling, Rapport 5:1, 1-155, 1982.

SKB. Förstudie Östhammar. Preliminär slutrapport 1-203.
Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.

Stålhös G. Berggrundskartan 12I Östhammar NO. SGU Serie Af nr 169.
Sveriges geologiska undersökning, 1989.

Ordlista

Antiform. En ryggformad upphöjning i berggrunden som uppkommit genom veckning av en lagerserie. Motsats till synform.

Axialplan, se veckaxelplan.

Deformationszon, skjuvzon. En zon där berggrunden kännetecknas av intensiv deformation och utefter vilken berggrunden på ömse sidor har rört sig.

Foliation, förskiffring. Planstruktur i en bergart definierad av parallellorientering av platta mineral Korn. Bildad under högt tryck och hög temperatur.

Förkastning. En spricka eller sprickzon parallellt med vilken berggrunden har rört sig.

Meta- Prefix som används framför bergartsnamn för att indikera omvandlad karaktär. (ex metagranitoid).

Plastisk deformation. Deformation vid vilken berggrunden reagerar plastiskt, dvs betar sig som en trögflytande massa. Vid denna deformation bildas t ex plastiska skjuvzoner med kraftig förskiffring och linjärstruktur.

Sprickzon, spröd deformationszon. Deformationszon längs vilken berggrunden reagerar genom uppsprickning.

Stupning. Vinkel som en planstruktur (t ex förskiffring, sprickzon, bergartskontakt) bildar med horisontalplanet.

Synform. En trågformad sänka i berggrunden som uppkommit genom veckning av en lagerserie. Motsats till antiform.

Tektonik. Den storskaliga uppbyggnaden av jordskorpan. Termen omfattar geologiska processer och strukturer relaterade till rörelser i berggrunden.

Tektonisk lins. Ett linsformat område som ligger mellan två plastiska deformationszoner och som visar låg eller ingen plastisk deformation.

Stänglighet. Linjär struktur hos bergart, vilket innebär att långsträckta mineral eller aggregat är orienterade parallellt.

Veck. Böjd planstruktur i berggrunden.

Veckaxel. Omböjningslinje för ett veck.

Veckaxelplan. Det plan som sammanbinder veckaxlarna för varje lager i en veckad bergartsserie.

För vidare förklaring av geologiska termer hänvisas till geologisk ordlista i t ex Bergman m fl (1998).

Förstudie Östhammar

Delprojekt grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar

Kompletterande redovisning med anledning av Uppsala universitets granskning samt Östhammars kommuns yttrande 1999-11-16 (punkterna 3 och 8.B.6).

Sven Follin, SF geoLogic AB

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

I oktober 1997 presenterade SKB den preliminära slutrapporten över förstudien /SKB, 1997/. Uppsala universitet har på uppdrag av Östhammars kommuns referensgrupp granskat den preliminära slutrapporten från Förstudie Östhammar samt de delutredningar som ligger till grund för denna /Uppsala universitet, 1998/. I denna kompletterande redovisning svarar vi på granskarnas och kommunens synpunkter inom ämnesområdena hydrologi och hydrokemi samt rättar till de felaktigheter och kompletteringsbehov som påpekats i samband med granskningen.

1.2 Sammanfattning av synpunkter

Universitetets granskning är värdefull ur flera aspekter. Den är omfattande, ger konkreta förslag till förbättringar av beslutsunderlaget och är en viktig del av den kvalitetsgranskning som alla parter är betjänta av. Universitetet ger vidare förslag till hur slutrapporten bör modifieras på vissa punkter och ger även förslag till kompletterande studier. Konkreta förslag från Uppsala universitets granskare till kompletteringar i förstudien inom hydrologi och hydrokemi är:

- Förbättra grafiken på kartan över avrinningsområden.
- Ta bort jämförelsen mellan grundvattenflöde och grundvattenbildning.
- Komplettera beräkningsexemplet rörande grundvattenflöde med en uppskattning av transporttider.
- Stryk beräkningarna av vattengenomsläpplighetens djupvariation baserade på brunndata.
- Tillfoga en sammanfattning av resultatet från undersökningarna vid Finnsjöområdet vad gäller vattengenomsläpplighet, möjliga strömningsmönster och vattenkemi. Diskutera saltvattnets inverkan på strömningsmönster och omsättningstid.

Vidare har Östhammars kommun yttrat sig över SKB:s remiss avseende preliminär slutrapport över djupförvar för använt kärnbränsle. I yttrandet begär kommunen ett antal kompletteringar, förtydliganden och nya utredningar. I denna kompletterande redovisning ges svar eller kompletterande information på de punkter som sammanfaller med Uppsala universitets önskemål, nämligen¹ :

3. Beräkningsmetoderna avseende berggrundens genomsläpplighet ner till 100 meter är vetenskapligt godkända, dock att extrapoleringen från 100 meter till 500 meter ej kan anses vetenskapligt godkänd och därför bör avsnittet om konduktivitetens djupvariation omarbetas.
8. B) En översiktlig redovisning i förstudien av:
6. Kartan över avrinningsområden förbättras.

Beträffande universitetets och kommunens synpunkter kan följande anföras:

Det är viktigt att belysa vilka avrinningsområden som avvattnas mot Mälaren respektive Östersjön. I kapitel 2 redovisas förbättrade kartor i detta avseende.

Jämförelsen mellan grundvattenflöde och grundvattenbildning syftar till att beskriva samspelet mellan grundvattenbildning och det naturliga grundvattenflödet i jordlager och berggrund. Kapitel 3 förtydligar vad som avses i /Follin m fl, 1996b/.

I kapitel 4 har beräkningsexemplet i /Follin m fl, 1996b/ rörande grundvattenflöde kompletterats med en uppskattning av transporttider. Kapitlet innehåller också en kort beskrivning av de villkor som gäller i sammanhanget för beräkning av radionuklidtransport i urberg.

Kapitlet om berggrundens vattengenomsläpplighet i /Follin m fl, 1996b/, och då speciellt uppskattningen av vattengenomsläpplighetens djupvariation baserat på extrapolation av brunnsdata, har omarbetats och ersätts av kapitel 5 nedan. Sammanfattningsvis instämmer vi således med granskarna i att osäkerheterna med den använda extrapoleringen är så stora att förfarandet bör utgå. Det bör påpekas att den tidigare uppskattningen av vattengenomsläppligheten på förvarsdjup inte användes för att bedöma om kommunen är lämplig för ett djupförvar, än mindre till att välja platser inom kommunen.

Finnsjöområdet ligger i Tierps kommun. Valda delar av den sammanfattning av berggrundens vattengenomsläpplighet i Finnsjöområdet som redovisas i Förstudie Tierp /Follin m fl, 1999; Axelsson och Follin, 2000/ har integrerats i kapitel 6 nedan. I kapitel 6 berörs också inverkan av salt grundvatten på grundvattnets strömningsmönster och omsättningstid i Finnsjöområdet. Sådana studier har utförts i olika sammanhang, senast inom ramen för SKB:s säkerhetsanalys SR 97 /SKB, 1999/.

2 Avrinningsområden och recipienter

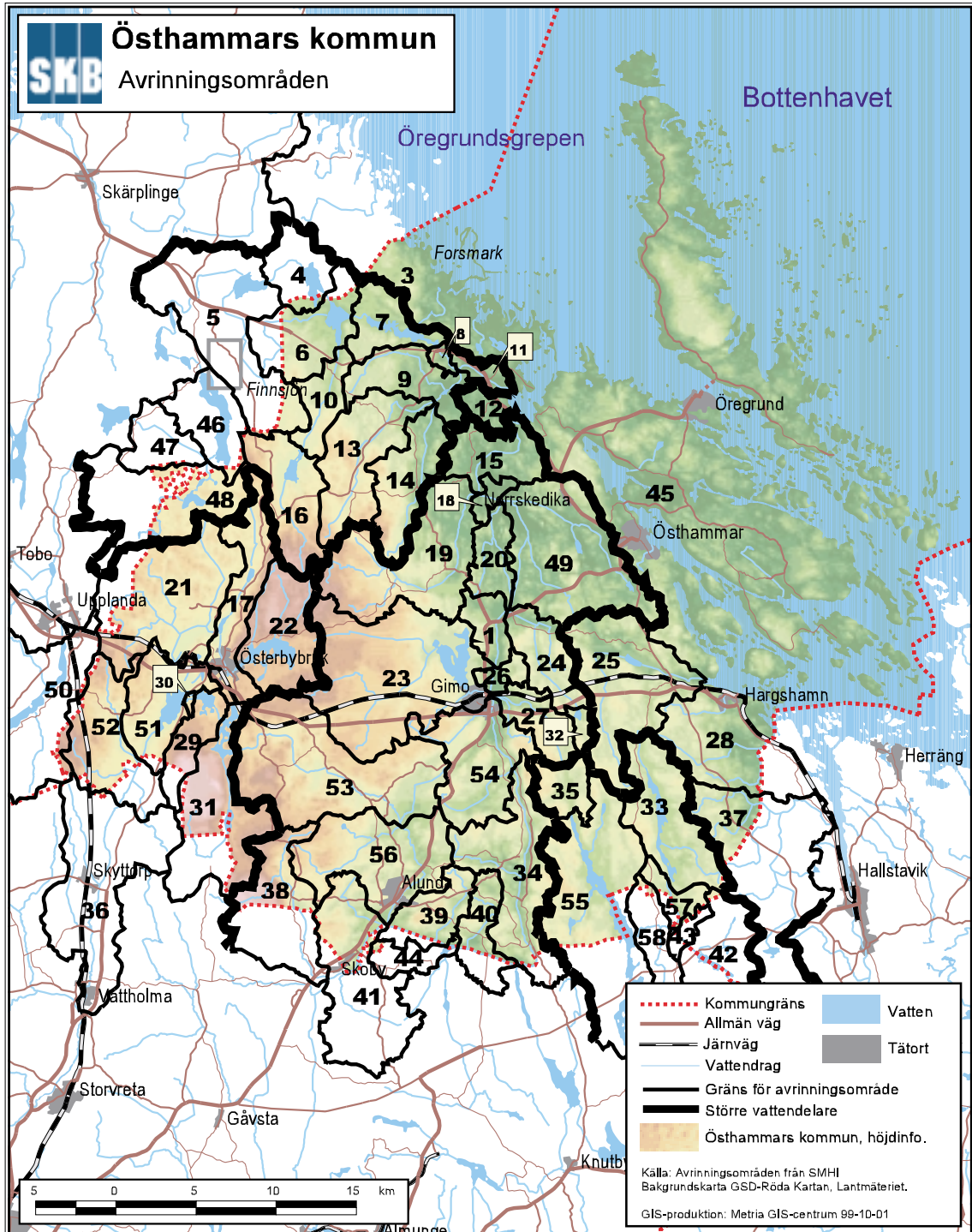
2.1 Avrinningsområden

Inom Östhammars kommun finns 58 avrinningsområden helt eller delvis inom kommungränsen enligt uppgift från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (figur 2-1). Arealen hos de 58 avrinningsområdena varierar mellan 1 och 175 km² med ett medianvärde på cirka 26 km². De mest betydelsefulla i sammanhanget är Olandsåns, Forsmarksåns, Fyrisåns och Skeboåns avrinningsområden (figur 2-2). I tabell 2-1 redovisas detaljerade uppgifter som sjöareal, skogsareal och medelhöjd för de 58 avrinningsområdena.

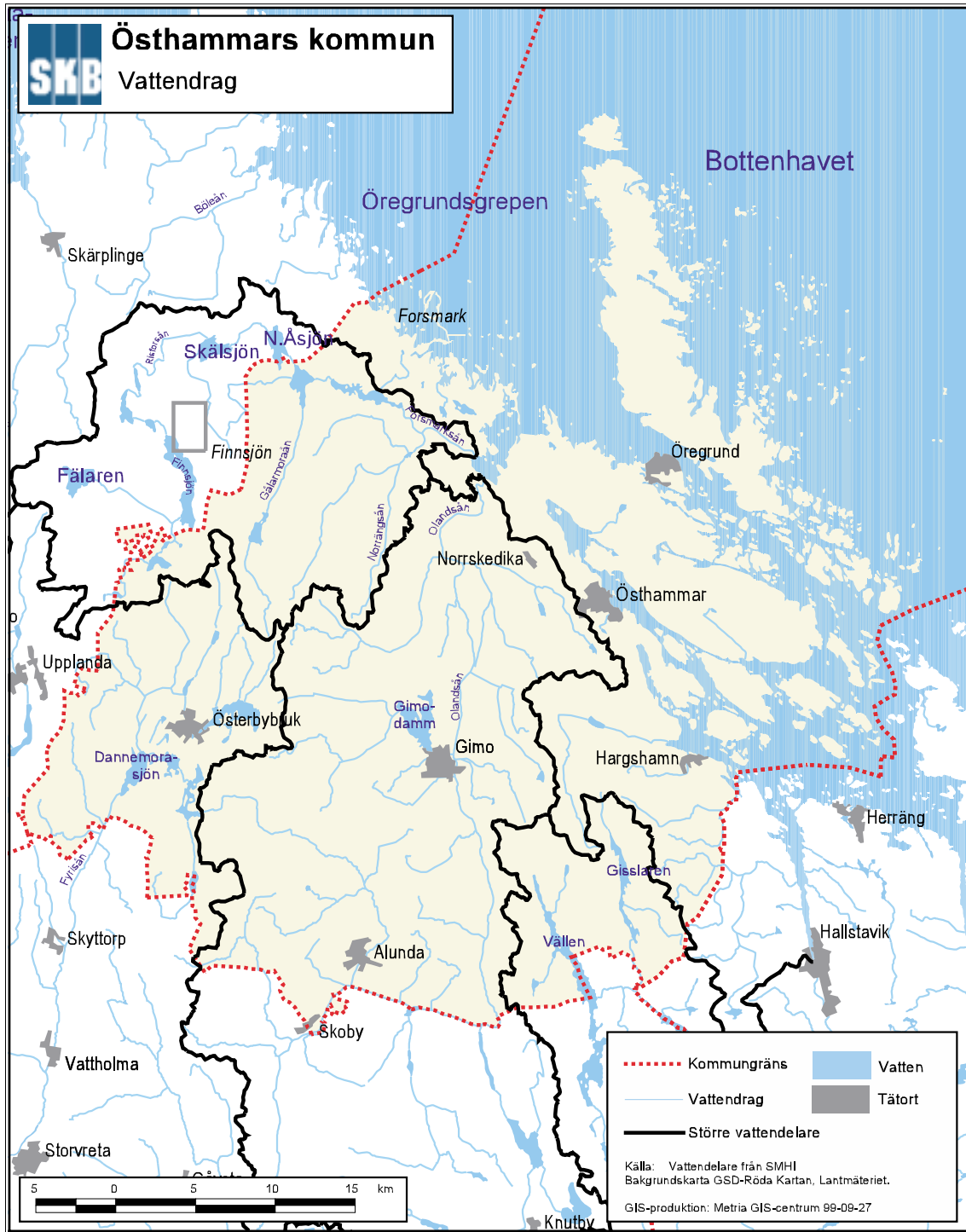
¹Numreringen av punkterna överensstämmer med den som används i Östhammars kommuns yttrande.

2.2 Recipienter

I /Antal m fl, 1998/ redovisas en regional bild av avrinningsförhållandena i Uppsala län av vilken det framgår att avrinningsområdena nr 17, 21, 22, 29, 30, 31, 50, 51 och 52 (figur 2-1) avrinner via Fyrisån mot Mälaren. Övriga avrinningsområden inom Östhammars kommun avrinner mot Östersjön.



Figur 2-1. Avrinningsområden i Östhammars kommun (58 stycken). I tabell 2-1 redovisas uppgifter som sjöareal, skogsareal och medelhöjd.



Figur 2-2. Större ytvattendelare och ytvattendrag inom Östhammars kommun.

Tabell 2-1. Avrinningsområden i Östhammars kommun (58 stycken) med tillhörande uppgifter om area, sjöareal, skogsareal och medelhöjd

ID	Namn	Areal km ²	Sjöareal km ²	Skogsareal km ²	Medelhöjd m.ö.h.
1	Olandsån	10	0	6	13
2	Olandsån	0	0	0	5
3	Havet	88	2	76	8
4	Forsmarksån	18	2	12	15
5	Forsmarksån	61	2	41	24
6	Forsmarksån	27	2	21	18
7	Forsmarksån	17	2	10	16
8	Forsmarksån	2	0	2	11
9	–	21	0	18	13
10	Gålaråån	13	0	11	22
11	Forsmarksån	6	0	5	8
12	Havet	7	0	5	7
13	–	35	0	30	26
14	Norrängsån	26	0	18	19
15	Olandsån	20	0	3	9
16	Gålaråån	28	1	23	35
17	Fyrisån	29	1	18	34
18	Olandsån	4	0	3	8
19	Eckarån	53	0	41	24
20	Olandsån	13	0	4	10
21	Fyrisån	58	2	46	32
22	Fyrisån	32	3	24	46
23	–	77	3	64	33
24	–	19	0	15	19
25	Gullströmsån	51	1	41	18
26	Olandsån	5	0	3	16
27	–	14	0	12	22
28	Havet	49	0	36	12
29	Dalån	13	1	10	46
30	Dalån	1	1	1	33
31	Dalån	44	3	37	50
32	–	3	0	4	23
33	–	36	3	28	20
34	Olandsån	46	0	20	20
35	–	12	0	12	24
36	Fyrisån	61	0	1	39
37	Gråskaån	66	0	52	17
38	Lyaån	36	0	27	38
39	Olandsån	17	0	5	19
40	Olandsån	15	0	3	19
41	Olandsån	48	0	22	23
42	Skeboån	62	4	56	22
43	Skeboån	4	0	4	19
44	Olandsån	8	0	1	17
45	Havet	175	1	122	9
46	Forsmarksån	21	4	16	33
47	Fålarån	14	0	14	34
48	Forsmarksån	45	2	38	34
49	Stängseldiket	59	1	33	11
50	Fyrisån	76	4	51	38
51	Fyrisån	25	4	12	29
52	Fyrisån	34	0	22	35
53	Olandsån	72	0	44	32
54	Olandsån	36	0	13	21
55	Skeboån	77	10	64	21
56	Olandsån	45	0	5	25
57	–	7	0	7	21
58	Skeboån	15	0	13	22

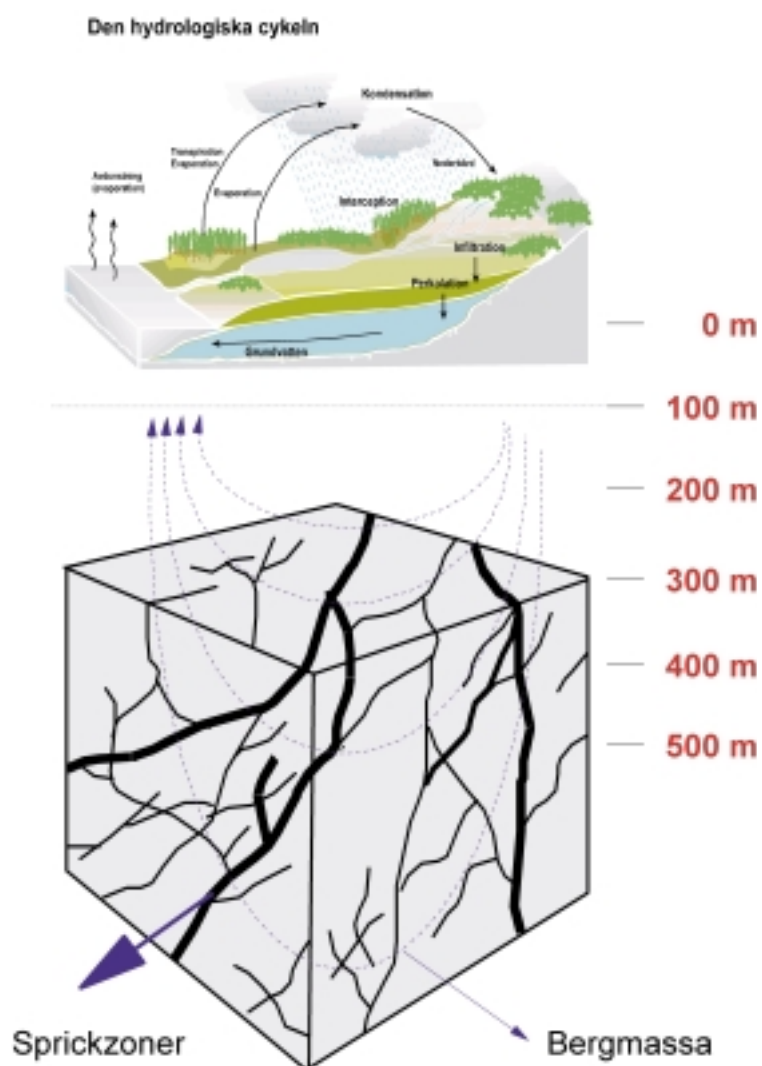
3 Grundvattenbildning och grundvattenflöde

3.1 Vattnets kretslopp

Figur 3-1 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. Mediandjupet på vattenförsörjningsbrunnar i svenskt urberg är ca 70 m /Berggren, 1998/.

3.2 Grundvattenbildning

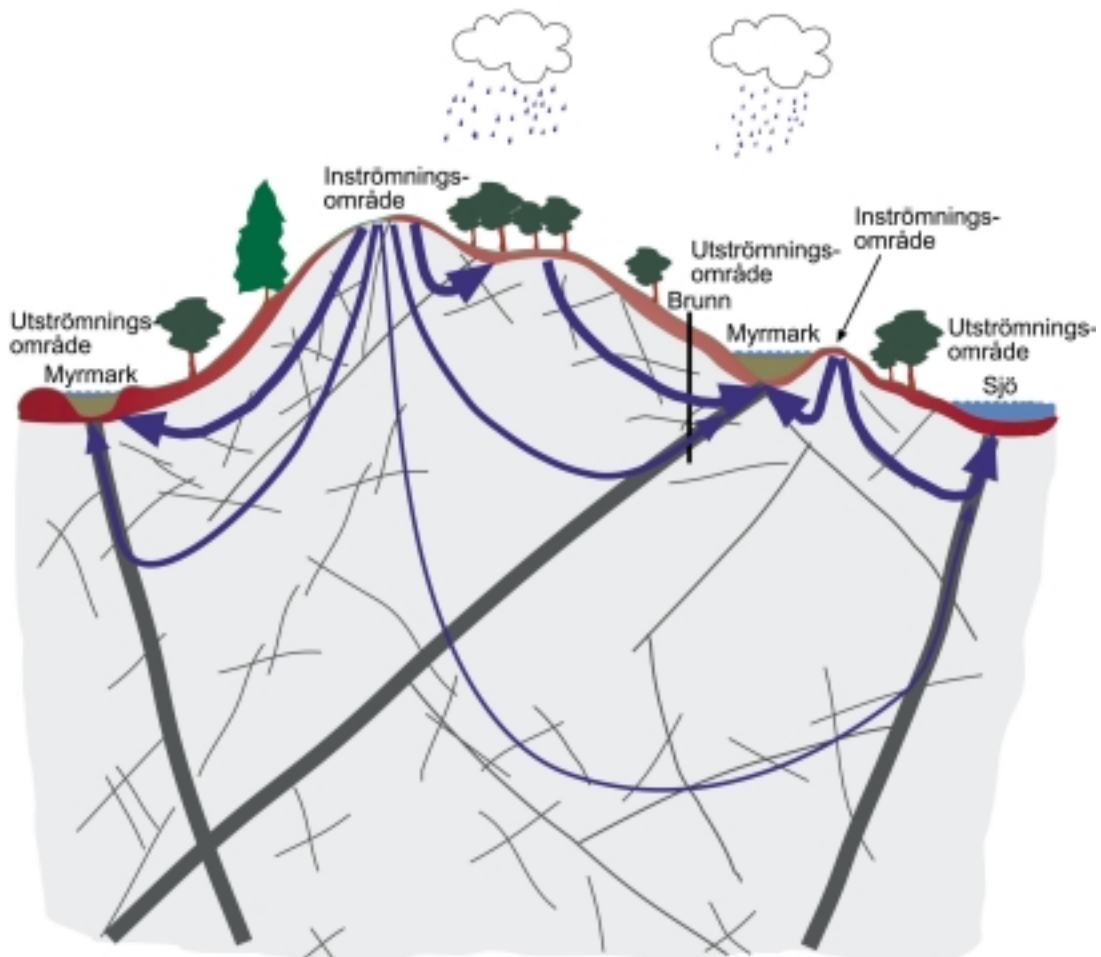
Med grundvattenbildning avses i allmänhet den process då nederbörd infiltrerar genom markytan och perkolerar ned till den vattenmättade grundvattenzonen /Nordberg och Persson, 1979/. Grundvattenbildningen bestäms förutom av nederbörd, avdunstning och terrängläget även av markens infiltrationskapacitet. Denna är i sin tur beroende av faktorer som markens vattengenomsläpplighet, magasineringsmöjligheter och vattenhalt. Eftersom



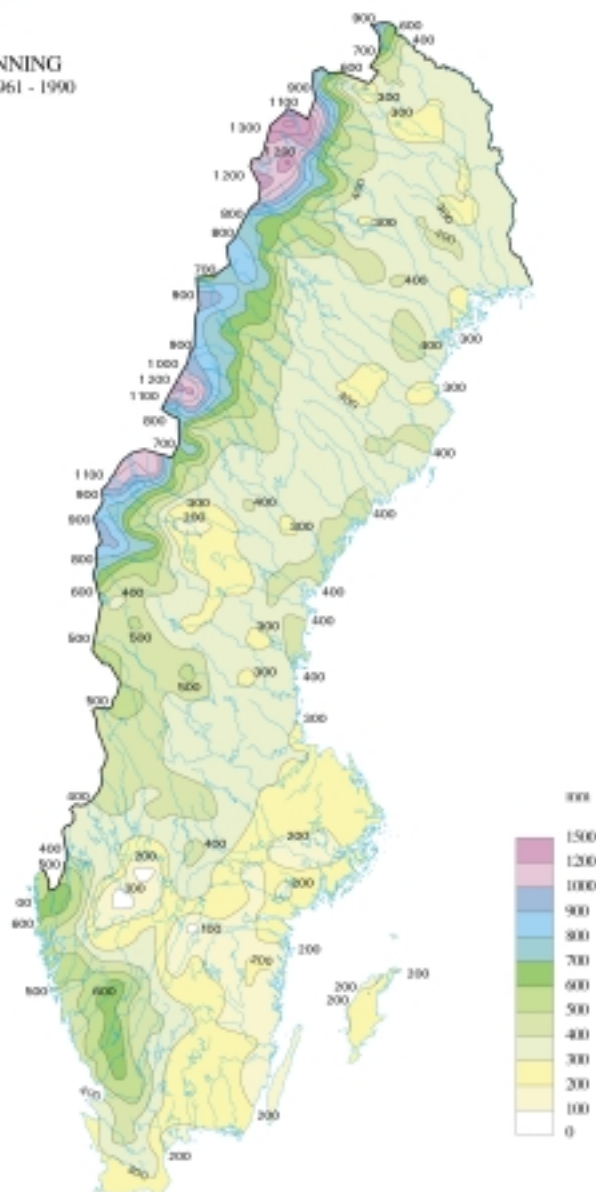
Figur 3-1. Principbild över vattnets kretslopp – den hydrologiska cykeln. Streckade pilar symboliserar grundvattenströmning. De största grundvattenflödena förekommer närmast markytan och i vattenförande sprickzoner.

den del av nederbörden som faller över utströmningsområden och fria vattenytor inte infiltrerar, utan avrinner som ytvatten, är den verkliga grundvattenbildningen mindre än den teoretiskt högsta möjliga, under förutsättning att naturliga förhållanden råder och att den magasinerade vattenvolymen är oförändrad. Figur 3-2 visar en principbild över inströmnings- och utströmningsområden samt grundvattenflödets fördelning mot djupet. Större delen av grundvattenströmningen sker i jordlagren och den ytliga delen av berggrunden.

Den teoretiskt högsta möjliga grundvattenbildningen i ett område är lika med årsmedelavrinningen, dvs skillnaden mellan nederbörd och avdunstning under ett år. Medelavrinningen i Östhammars kommun har beräknats till cirka 200–300 mm/år för perioden 1961–1990 se figur 3-3. Grundvattenbildningen i jordlager är generellt sett betydligt större än grundvattenbildningen i urberg. Det beror på att urberg saknar jämnt fördelade porer (hålrum) och att förekommande sprickor endast är sparsamt sammanbundna. Som riktvärde kan sägas att den vattenförande hålrumsvolymen per enhetsvolym (flödesporositeten) vanligtvis inte överskrider 30 % i lösa jordlager /Knutsson och Morfeldt,



Figur 3-2. Principbild över inströmnings- och utströmningsområden. Grundvatten som når ett ytvattendrag har transporterats olika långt och olika länge. Det kan därmed ha olika kemisk sammansättning. Nederbörd som faller över utströmningsområden bildar inte grundvatten utan avrinner tillsammans med det utströmmande grundvattnet till ytvattendraget. Vanligen utgör det ytliga grundvattnets bidrag till ytavrinningen den större delen.



Figur 3-3. Medelavrinning för Sverige under perioden 1961–1990 i mm/år /Brandt m fl, 1994/. I Östhammars kommun är medelavrinningen 200–300 mm/år.

1993/. För urberg saknas ofta dokumentation. Fältmätningar från Äspölaboratoriet indikerar att flödesporositeten för urberg i medeltal ligger mellan 0,1–1 % /Rhen m fl, 1997/, men att detta värde lokalt kan vara både högre (i sprickzoner) respektive lägre (i bergmassan).

3.4 Grundvattenflöde

Figur 3-2 indikerar att merparten av den andel av medelavrinningen som bildar grundvatten, förhållandevis snart strömmar ut igen i olika ytvattendrag. Endast en bråkdel av den andel av medelavrinningen som bildar grundvatten strömmar vidare mot djupet och bildar berggrundvatten. I likhet med grundvattenbildningen ovanför grundvattenzonen är vattenflödet i grundvattenzonen starkt avhängigt av jordlagrens och berggrundens vattengenomsläpplighet.

Berggrundens vattengenomsläpplighet är vanligtvis störst i de översta delarna närmast jordlagren där berget är mest påverkat av inlandsisens erosion och andra vittringsprocesser som har betydelse för förhållandena i den ytliga berggrunden. Detta innebär att merparten av berggrundvattnet uppträder och strömmar (omsätts) i de översta delarna av berggrunden. Endast en mindre del strömmar vidare mot djupet. Som antyds i figur 3-1 har vattenförande sprickzoner vanligtvis en väsentligt högre vattengenomsläpplighet jämfört med mellanliggande bergmassors spricksystem.

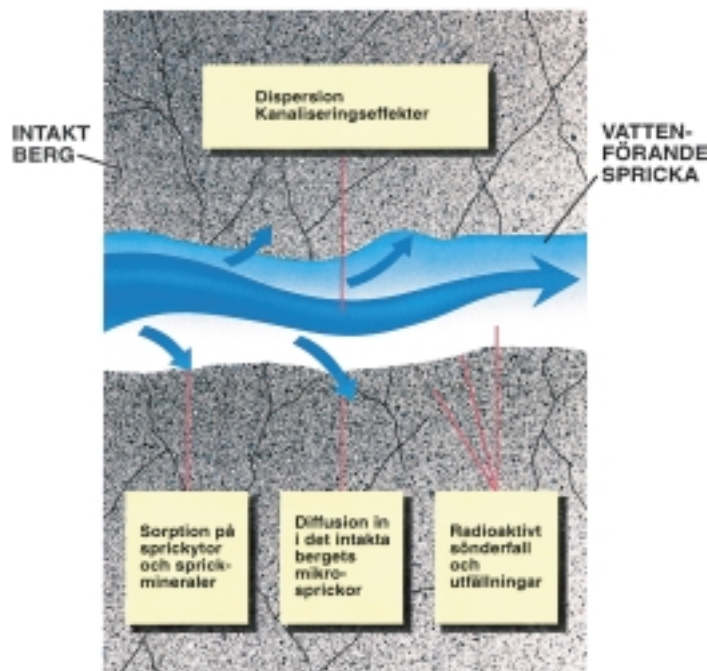
Den topografiska gradienten påverkar både ytvattnets och grundvattnets avrinning. I ett regionalt perspektiv brukar ofta skillnader i lokala topografiska gradienter överskuggas av regionala trender. För den norra delen av Uppland gäller dock att området regionalt sett är mycket flackt varför de lokala gradienterna inom olika avrinningsområden också kan vara av betydelse som drivande kraft för berggrundvattnets rörelse på olika djup. I den sydvästra delen av kommunen är den topografiska gradienten riktad mot söder, och yt- och grundvattenavrinningen sker mot Mälaren via Fyrisån. I övriga delar av kommunen sker avrinningen mot Östersjön.

Sammantaget medför skillnader i vattengenomsläpplighet mellan jordlager och berggrund att djupare beläget berggrundsvatten ofta har en högre ålder och en annan kemisk sammansättning än det ytliga grundvatten som används för vattenförsörjning. Skillnader i ålder och sammansättning kan också förekomma mellan berggrundsvatten i sprickzoner och bergmassa.

4 Bergets transportegenskaper

4.1 Radionuklidtransport i urberg

Berggrundens retentionsförmåga ("transportmotstånd") för olika radionuklider kännetecknas av en tydlig sorption ("fastläggning"), vilket medför en långsam transport och därmed också långa transporttider. Andra mekanismer som påverkar transporten av radionuklider i urberg är spridningen i olika flödesvägar (dispersion), matrisdiffusion i det intakta berget samt radioaktivt sönderfall och utfällningar se figur 4-1.



Figur 4-1. Illustration av de mekanismer som påverkar transport av radionuklider i kristallint berg.

På grund av den stora sorptionen är det svårt att platsspecifikt bestämma berggrundens transportegenskaper genom fältmätningar. Spårämnesförsök i fält kan i praktiken endast göras med så kallade vattentrogna (konservativa) spårämnen, dvs ämnen som **inte** sorberas på sprickmineral etc utan transporteras som vatten med vattnets transporthastighet. Under gynnsamma omständigheter kan man via spårämnesförsök få uppfattning om flödesporositet, transportvägar och dispersion. Men även spårämnesförsök med vattentrogna spårämnen är relativt tidskrävande och kan därför utföras endast i begränsad omfattning och över korta avstånd. En utförlig beskrivning av vilka transportegenskaper i berget, förutom bergets vattengenomsläpplighet (se kapitel 5), som är av störst betydelse för den radiologiska säkerheten finns redovisad i /Andersson m fl, 1998/ och /Andersson, 1999/.

4.2 Transport av vattentrogna ämnen

En komplettering av beräkningsexemplet rörande grundvattenflöde /Follin m fl, 1996b/ med en uppskattning av transporttider för vattentrogna ämnen, förutsätter att man känner bergets flödesporositet och flödesvägarnas längd, eftersom beräkningsexemplet inte refererar till någon särskild problemskala.

Som påpekats i avsnitt 3.2 saknas i stort sett dokumentation om flödesporositet för urberg. Fältmätningar från Äspölaboratoriet indikerar att flödesporositeten för urberg i medeltal ligger mellan 0,1–1 % /Rhén m fl, 1997/, men att detta värde lokalt kan vara både högre (i sprickzoner) respektive lägre (i bergmassan).

Flödesväglängden är inte detsamma som förvarsdjupet, eftersom den hydrauliska gradienten inte är entydigt uppåtriktad. I de modellsimuleringar som utförts inom ramen för SR 97 /SKB, 1999/, där data från bl a Finnsjöområdet använts, erhöles ett stort spektrum av flödesväglängder med advektiva transporttider i intervallet tiotals till tusentals år för vattentrogna ämnen.

Överslagsberäkning

För ändamålet antas här en flödesporositet av 0,5 % och en transportlängd av 500 m, dvs vertikal transport från förvarsdjupet mot markytan. Vidare antas att grundvattenflödet är konstant längs med flödesvägen mellan djupförvaret och markytan, vilket även det är en stark förenkling /jmf SKB, 1999/. Med referens till beräkningsexemplet i /Follin m fl, 1996b/ ansätts vidare det specifika grundvattenflödet i bergmassan till $5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$, m^2 . Sammantaget ger ovanstående antaganden en transporttid för ett vattentroget spårämne på ca 1 500 år,

$$t = (500 \text{ m}) / [(5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}, \text{m}^2) / (0,005)] \approx 1\,500 \text{ år.}$$

4.3 Transport av sorberande ämnen

Som framgår av avsnitt 4.1 tar det betydligt längre tid för sorberande ämnen att nå markytan. Även om olika radionuklider uppvisar olika sorberande egenskaper har sorptionens tidsfördröjande inverkan på transporten en betydande effekt på den sammantagna radioaktiviteten pga det radioaktiva sönderfallet /SKB, 1997/.

Möjligheten för olika radionuklider att fastna på kolloider skulle teoretiskt sett kunna innebära en snabbare transport. Enligt en utvärdering av /Allard m fl, 1991/ är dock förekomsten av kolloider i berggrundvattnet på förvarsnivå så liten att konsekvenserna av denna mekanism är utan betydelse för säkerheten.

5 Berggrundens vattengenomsläpplighet

5.1 Inledning

I detta kapitel jämförs data från de undersökningsborrhål som gjorts på uppdrag av SKB i Finnsjöområdet med data från de relativt sett grundare bergbrunnarna i SGU:s brunnsarkiv. Underlaget från Finnsjöområdet 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 Finnsjöområdet kan kopplas till informationen från de grundare brunnarna i kommunen. Slutligen diskuteras skillnader i vattengenomsläpplighet mellan bergmassa och sprickzoner.

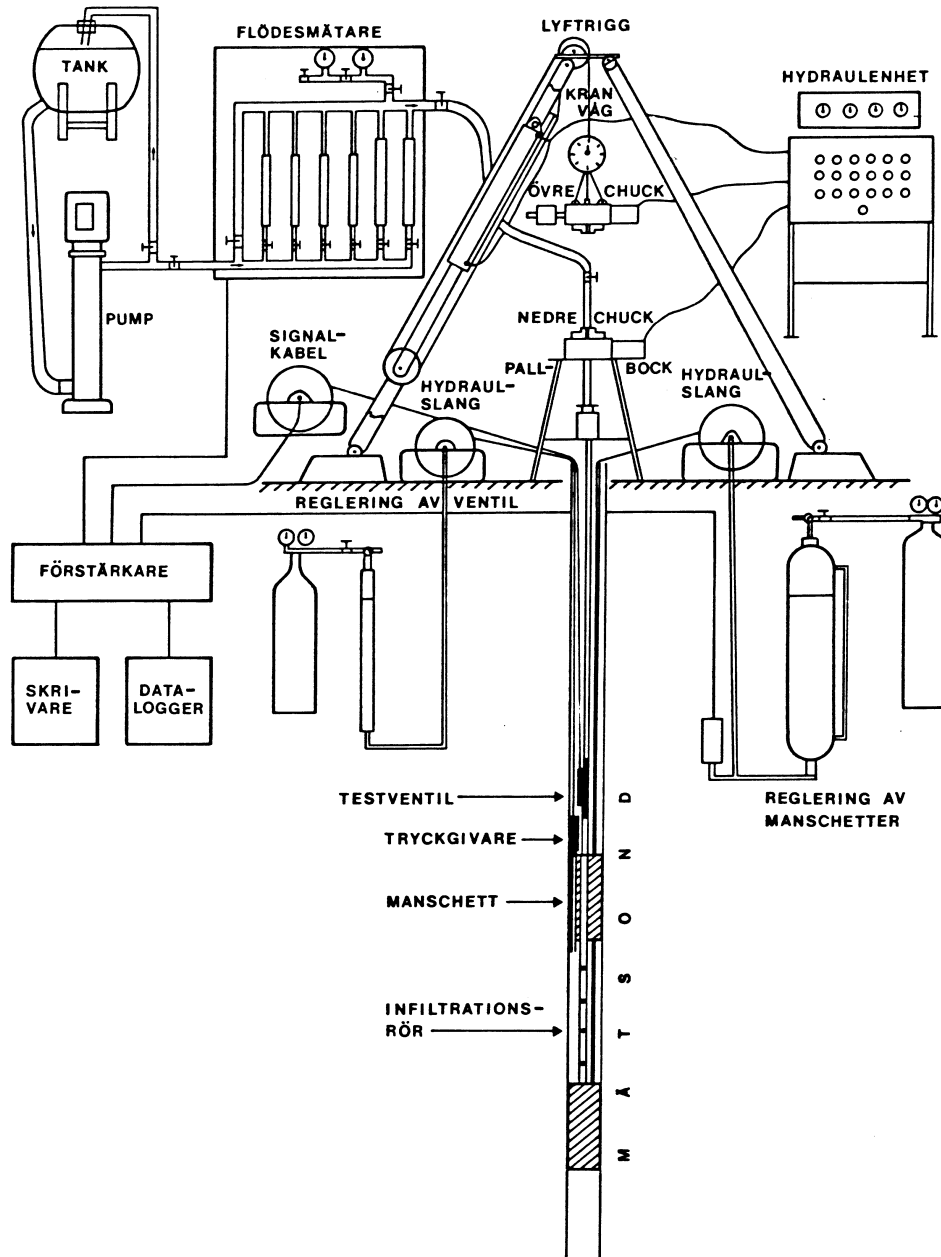
5.2 Hydraulisk konduktivitet i sprickigt berg

Det vanligaste sättet att beskriva vattengenomsläppligheten i jord och berg är att ange K-värdet (den hydrauliska konduktiviteten). 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. I hydrogeologiska sammanhang brukar man skilja på sprickzoner och bergmassa. Bergmassan innehåller också sprickor, men har lägre sprickfrekvens än sprickzonerna.

Sprickfrekvens mäts t ex i kärnborrhål och anges som antalet sprickor per längdmeter. Man kan antingen mäta på borrkärnan, som erhålls i samband med borrhning, eller mäta i borrhålet genom att sänka ner en sond. Även bergets vattengenomsläpplighet brukar 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 ($1 \text{ m/år} = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$).

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 man att antalet mätningar i ett borrhål med låga K-värden beror av mätintervallens (manschettavståndets) längd. Mätintervallens längd påverkar följaktligen K-värdesstatistiken för borrhålet ifråga och vår bild av bergets vattengenomsläpplighet.

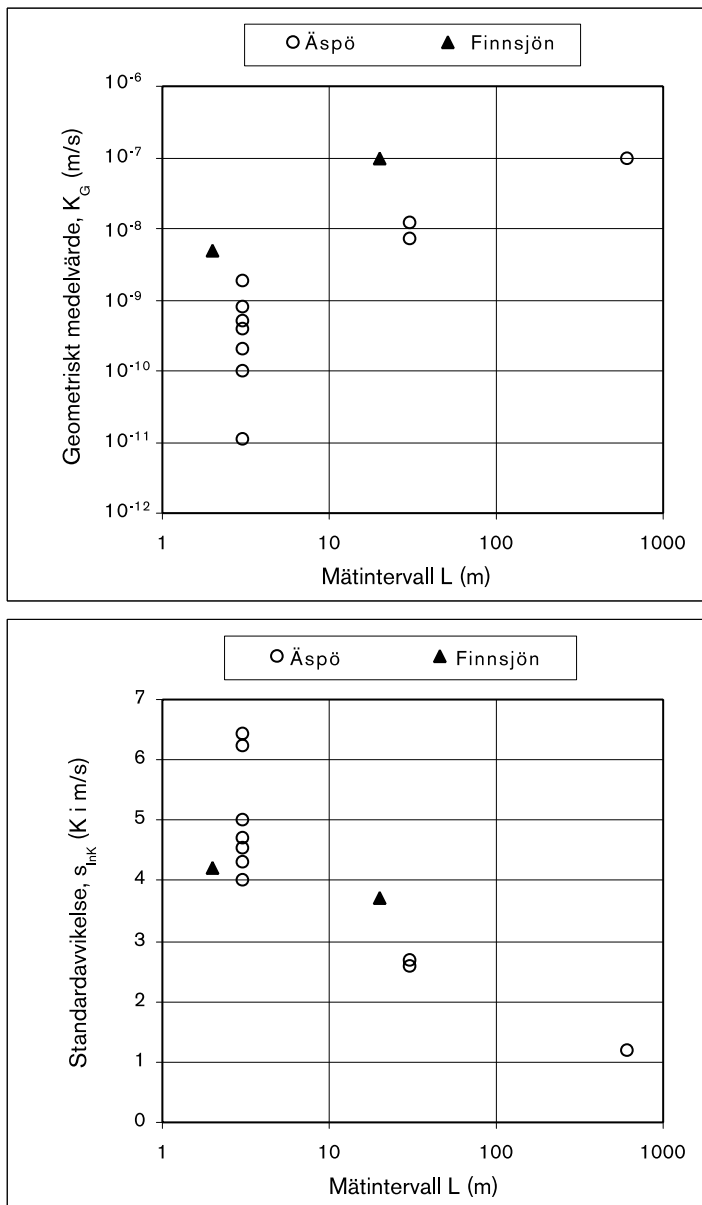
I figur 5-2 visas ett exempel på K-värdets beroende av mätintervallens längd. Värden som är markerade med cirklar härrör från detaljerade mätningar i några kärnborrhål på Äspö i Oskarshamns kommun. Triangelarna representerar värdena från samtliga mätningar i de 11 kärnborrhålen i Finnsjöområdet sammantaget (2 307 mätningar med intervallet 2–3 m och 78 mätningar med intervallet 20 m). Diagrammen visar att även om de statistiska skillnaderna mellan olika borrhål kan vara ganska stora (jmf Äspödata) ökar det geometriska medelvärde 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 borrhål jämnas ut (homogeniseras) ju längre mätintervallet är. Följaktligen är det viktigt att tänka på mätintervallets längd om man skall kunna använda konduktivitetsbegreppet för att noggrant karaktärisera vattengenomsläppligheten i sprickigt berg, dvs skilja på bergmassa och sprickzoner.



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 kallad 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 Finnsjöområdet /Timje, 1983/.

5.3 SKB:s undersökningar

Undersökningsmaterialet från SKB:s undersökningar i Finnsjöområdet omfattar manschettmätningar i 11 kärnborrhål. Borrhålens djup varierar mellan 193–691 m. Totalt har 1 377 manschettmätningar utförts med 2 m längd, 830 stycken med 3 m längd, 12 stycken med 5 m längd, 12 stycken med 10 m längd och 78 stycken 20 m längd. Därtill kommer ett antal mellanhålmätningar (interferenstester och spårämnesförsök) i enstaka sprickzoner. En sammanfattande beskrivning av data och resultat från olika studier finns redovisad av /Ahlbom m fl, 1992/.



Figur 5-2. K -värdets beroende av mätintervallets längd. Den övre bilden visar det geometriska medelvärdet och den undre visar standardavvikelsen av många K -värdesmätningar med olika långa mätintervall. Värderna som är markerade med cirklar härrör från detaljerade mätningar i några kärnborrhål på Äspö i Oskarshamns kommun /Follin m fl, 1998/. Värderna som är markerade med trianglar representerar samtliga mätningar i de 11 kärnborrhålen i Finnsjöområdet (2 307 mätningar med intervallet 2–3 m och 78 mätningar med intervallet 20 m).

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 Finnsjöområdet som behandlas i denna studie är hämtade från /Ahlbom m fl, 1992/. Värderna 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. Av maskintekniska skäl är en bergbrunn sällan djupare än cirka 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 vattenförsörjnings- och energibrunnar inom Östhammars kommun. Totalt har data från 1 449 brunnar med ett djup större än tio meter i berg analyserats, se figur 1-2 i /Follin m fl, 1996b/. Brunnarna har tillkommit under 1900-talet och är i medeltal borrade till cirka 57 m djup samt testade med konventionell brunnsborrnings- och kapacitetstestningsteknik. De grundaste bergbrunnarna har tagits bort i analysen därför att vattnet i dessa ofta kommer från jordlagren 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 bl a på stora skillnader i mätteknik och mätintervallens längd.

5.5 Definition av K-värde från brunnsdata

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 borrad i berg med hög vattengenomsläpplighet har i regel en hög specifik kapacitet och vice versa. Sambandet är tyvärr dock 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 bormeter i berget antas vara konstant, 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 brunnsdata 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

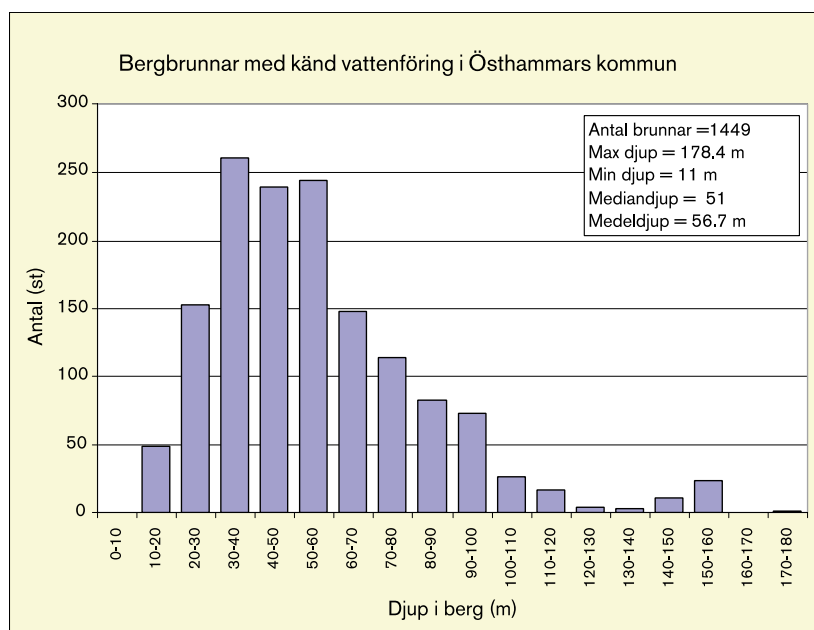
- K = Vattengenomsläpplighet (medel- K -värde), (m/s)
 L = Borrard längd i berg (beräknas som total borrlängd – jorddjup), (m)
 Q = Vattenföring vid mättillfället, (m³/s)
 S = Avsänkning vid mättillfället (sätts vanligen lika med L), (m)

För fullständighetens skull ska sägas att det finns fler faktorer som kan påverka den specifika kapaciteten. Som exempel kan nämnas mätningens varaktighet, håldiametern och graden av igensättning. 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 brunnsarkiv /Berggren, 1998/. /Wladis m fl, 1997/ anger att man som en god approximation kan anta att avsänkningen är lika med den borrade längden i berg. I denna studie har detta antagande använts för 94 % av brunnarna, dvs för de brunnar som saknar uppgifter om avsänkningens storlek. Antagandet innebär vidare att medel- K -värdet enligt Ekvation 5-1 blir omvänt proportionellt mot den borrade längden i berg i kvadrat.

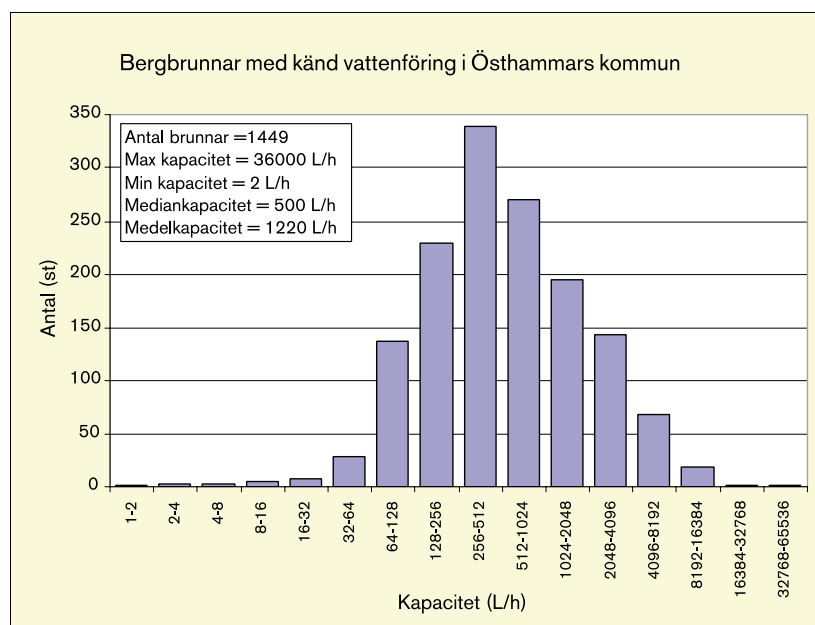
De analyserade bergbrunnarna har indelats i bergartskategorier efter sina lägen enligt berggrundskartan över Östhammars kommun /Bergman m fl, 1996/. Syftet är att få en uppfattning om det föreligger skillnader i medel- K -värde mellan de olika bergarterna. Vidare har bergbrunnarnas medel- K -värden enligt Ekvation 5-1 översiktligt jämförts med underlaget från SKB. Syftet är dels att få en uppfattning om det finns ett djupberoende, dels att bedöma om det föreligger eventuella skillnader i vattengenomsläpplighet mellan bergmassa och sprickzoner.

5.6 Analys av data

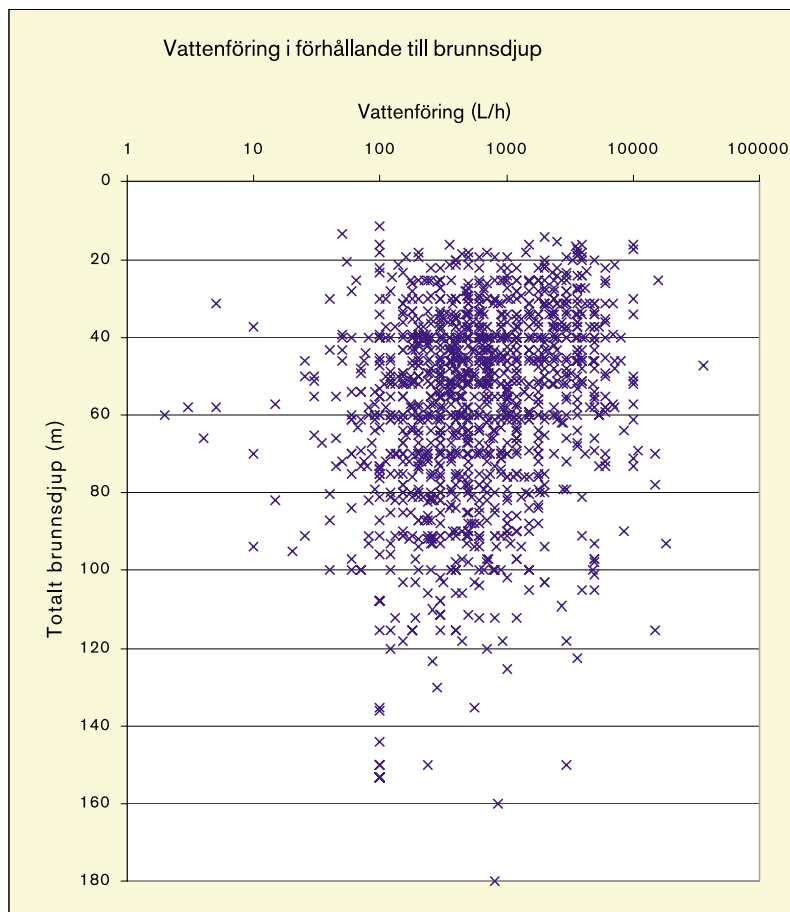
Det statistiska underlaget från SGU:s brunnsarkiv (1 449 stycken brunnar) återges i figur 5-3 och 5-4. Figur 5-3 är ett histogram för borrlängden i berg medan figur 5-4 är ett histogram för brunnarnas vattenföring (kapacitet). Aktuellt medianvärde på brunnsdjupet i Östhammars kommun (51 m) är lägre än brunnsarkivets riksmedianvärde (70 m). Även aktuellt medianvärde på brunnskapaciteten (500 L/h) är något lägre 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 borrlängden i berg. Den på så sätt beräknade specifika kapaciteten Q/s ger, för regionen där Östhammars kommun ingår, värden som ligger i kvartilen närmast under riksmedianvärdet för samtliga bergbrunnar i SGU:s brunnsarkiv. I en nationell jämförelse indikerar genomsnittsvärdena för Östhammars kommun med andra ord inget som kan anses vara onormalt.



Figur 5-3. Histogram över borrhöglängd i berg för 1 449 bergbrunnar i Östhammars kommun enligt SGU:s brunnsarkiv. Endast brunnar med en borrhöglängd i berg av minst 10 m har tagits med.



Figur 5-4. Histogram över vattenföringsdata från 1 449 bergbrunnar i Östhammars kommun enligt SGU:s brunnsarkiv. Endast brunnar med en borrhöglängd i berg av minst 10 m har tagits med.



Figur 5-5. Vattenföringsdata och totalt brunnsdjup för 1 449 bergbrunnar inom Östhammars kommun. Uppgifterna kommer från SGU:s brunnsarkiv.

I figur 5-5 visas ett diagram där brunnskapaciteten är plottad mot totala brunnsdjupet. Diagrammet visar att spridningen i vattenföring är stor (jmf figur 5-4) oavsett brunnsdjup, vilket förklaras av att lokala skillnader ofta är utslagsgivande. I urberg är förekomsten av grundvatten beroende av sprickigheten. 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:

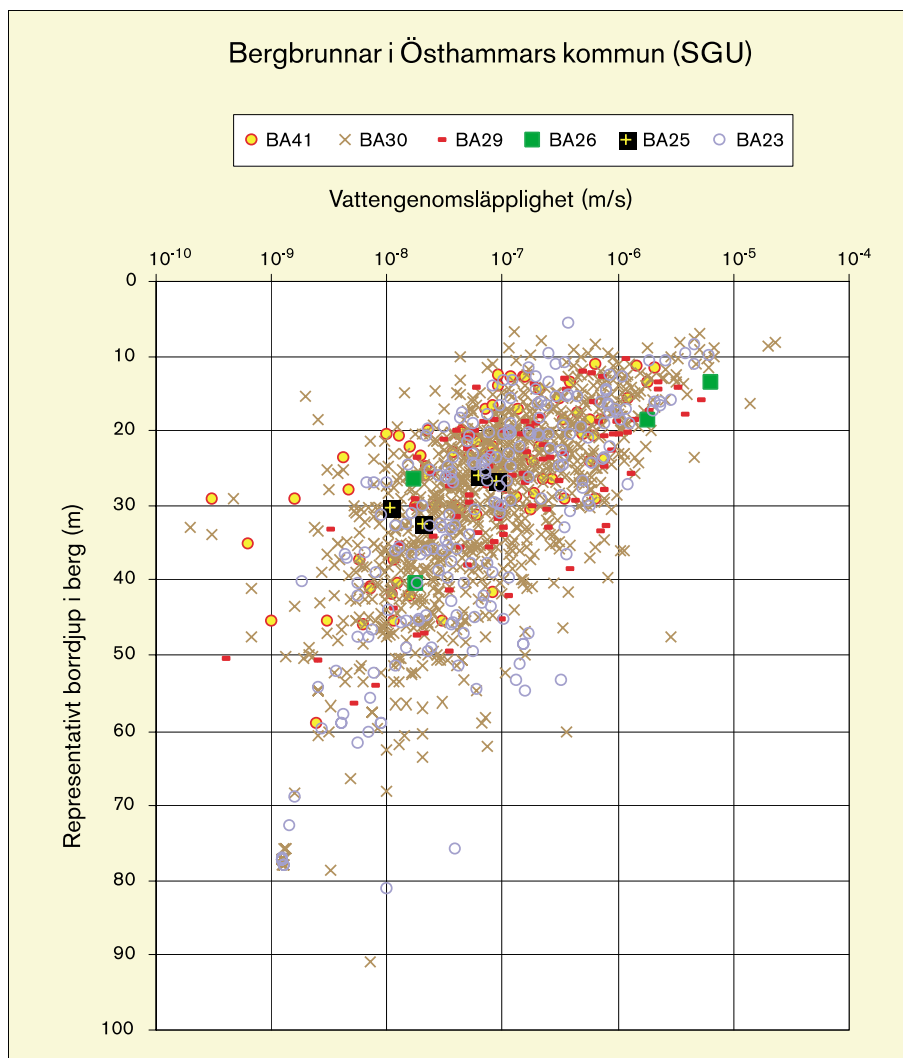
- man har fått tillräckligt med vatten (ingen anledning att borra djupare),
- man vill undvika salt grundvatten (vanligare på djupet och nära kusten),
- tekniska begränsningar (största borrhjup är ofta mindre än 120 m),
- kapaciteten hos torra brunnar eller sådana med låg kapacitet förbättras ofta på konstgjord väg genom s k hydraulisk spräckning, och
- fortsatt torra brunnar och brunnar med låg kapacitet inrapporteras sällan till brunnsarkivet.

Frånsett dessa begränsningar kan man konstatera att medelvattenföringen på ett visst djup inte tycks öka med ökande brunnsdjup i figur 5-5. I figur 5-6 har vattenföringsdata räknats om till medel-K-värden uttryckt i sorten m/s med hjälp av Ekvation 5-1. De olika marke-

³Med representativt borrhjup menas i denna studie att medel-K-värdet är plottat mot halva borrhjupet i berg.

ringarna representerar skilda bergartskategorier se figur 5-6. Diagrammet i figur 5-6 visar att variationen inom en och samma bergartskategori är stor och att antalet värden avtar under cirka 60 m representativt borrhjup³. Det senare kan delvis förklaras med att det maximala borrhjupet hos de flesta bormaskiner är cirka 120 m.

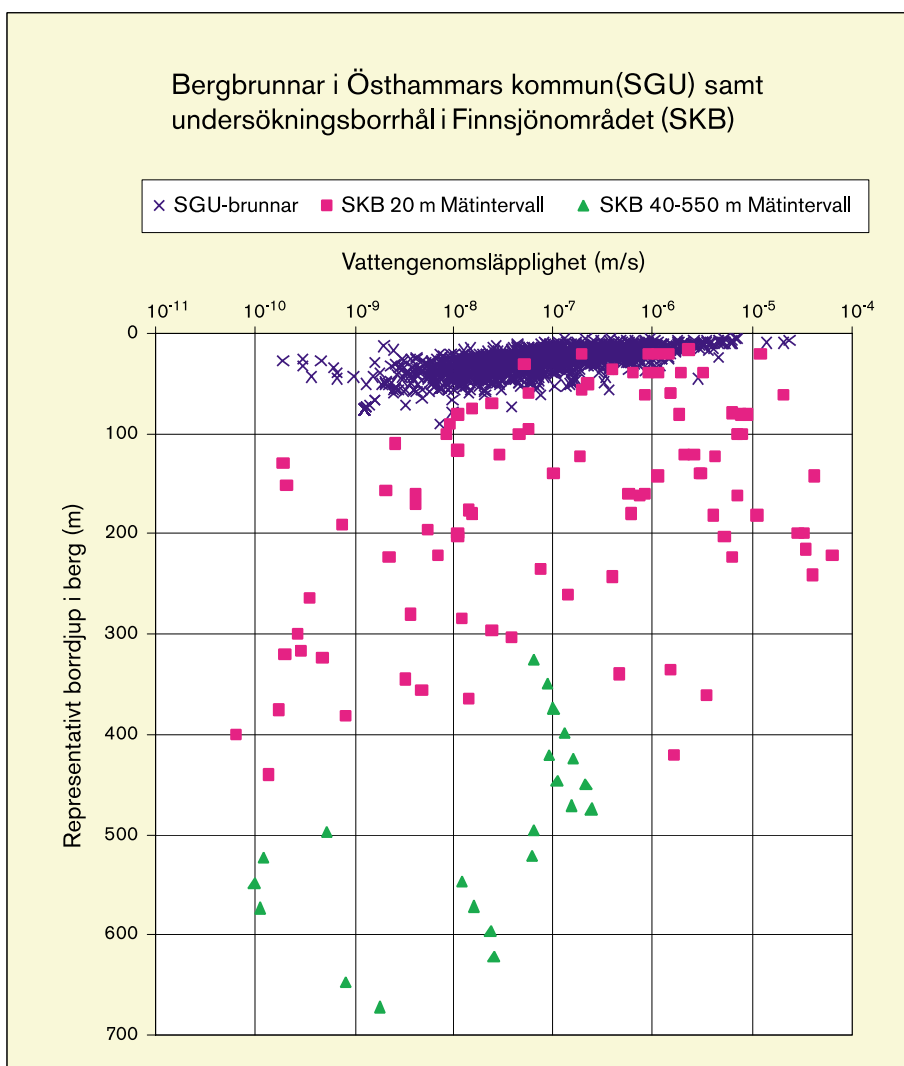
Figur 5-6 illustrerar att variationen i medel-K-värde inom en bergart är större än skillnaderna mellan olika bergartskategorier, ett förhållande som har framhållits även i tidigare förstudier /Axelsson och Ekstav, 1995; Follin m fl, 1996a,b; Follin m fl, 1998/. Att spridningen inom en och samma bergart är stor ska tolkas som att vattengenomsläppligheten varierar mycket mellan olika platser. Vad gäller maximi- och minimivärden på olika nivåer kan man med ledning av brunnsarkivets uppgifter möjligen notera att unga graniter ofta förekommer bland maximivärdena medan sura metavulkaniter 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.



Figur 5-6. 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 1 449 bergbrunnar inom Östhammars kommun arkiverade i SGU:s brunnsarkiv. Bergartskategorier: 23 = sur metavulkanit, 25 = kristallin kalksten, 26 = metasediment, 29 = gabbro, 30 = äldre granitoid, 41 = yngre granit och pegmatit.

Figur 5-6 indikerar vidare att beräknade **medel-K-värden plottade som punktvärden** avtar med djupet ned till cirka 60 m representativt borrhjup (120 m totaldjup). Därefter saknas i stort sett data för en analys. Om man jämför figur 5-6 med figur 5-5 finner man dock att djupavtagandet i figur 5-6 förmodligen till stor del är skenbart. Som påpekats tidigare ger Ekvation 5-1 tillsammans med antagandet om att avsänkning är lika med borrhjuplängden i berg /jmf Wladis m fl, 1997/ att medel-K-värdet per definition är omvänt proportionellt mot kvadraten på borrhjuplängden i berg. Å andra sidan kan man konstatera att om bergets **K-värde** vore konstant borde vattenföringen öka med ökande brunnsdjup.

Att ett visst, om än ringa, djupberoende eventuellt kan förekomma hos vattengenomsläppligheten under 60 m representativt borrhjup stöds möjligen av figur 5-7. Förutom samma medel-K-värden som i figur 5-6 visar figur 5-7 också "riktiga" K-värden från SKB:s manschettmätningar i Finnsjöområdet i någorlunda jämförbara mätintervall. I diagrammet har manschettmätningar i två olika mätklasser tagits med; 20 m och 40–550 m mätintervall. Det representativa borrhjupet för en manschettmätning är lika med djupet till



Figur 5-7. K-värden på olika mätdjup. Kryssymboler visar medel-K-värden som beräknats utifrån brunnsdata i SGU:s brunnsarkiv för Östhammars kommun. Övriga symboler (kvadrater och trianglar) visar K-värden från SKB:s undersökningar i Finnsjöområdet. Dessa har beräknats utifrån manschettmätningar i kärnborrhål på olika nivåer och finns lagrade i SKB:s databas SICADA. Med representativt borrhjup för en manschettmätning menas i detta diagram djupet till mätintervallets mittpunkt.

intervallets mittpunkt. Som framgår finns möjligen en viss 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 ett par tiopotenser beror helt och hållet på om det förekommer en dominant vattenförande spricka inom mätintervallet eller inte. Av skäl som diskuterats tidigare (jmf figur 5-2) minskar spridningen med ökande längd på mätintervallet, eftersom chansen för att vattenförande sprickor finns med samtidigt ökar.

Enligt /Ahlbom m fl, 1992/ föreligger ett djupberoende i bergets vattengenomsläpplighet i SKB:s manchettmätningar i djupa borrhål i Finnsjöområdet. Enligt /Bengtsson, 1997/ är vattengenomsläpplighetens djuptrend i Finnsjöområdet svår att klarlägga.

Figur 5-7 ger ingen möjlighet att bedöma eventuella skillnader i vattengenomsläpplighet mellan bergmassa och sprickzoner i Finnsjöområdet. /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.

Om de tektoniska processerna bakom berggrundens spricksystem i olika delar av kommunen är tämligen likartade, är det realistiskt att anta att de genomsnittliga hydrauliska förhållandena och egenskaperna som konstaterats för Finnsjöområdet även kan gälla som utgångspunkt för att uppskatta genomsnittliga förhållanden inom andra, lika stora, delområden av kommunen. 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.

Sammanfattningsvis konstateras att:

- I en nationell jämförelse indikerar analyserade rådata från SGU:s brunnarkiv genomsnittsvärden för bergbrunnar i Östhammars kommun som får anses vara normala för svenskt urberg med avseende på borrhålslängd i berg och vattenföring.
- I denna studie görs bedömningen att spridningen i medel-K-värde inom en och samma bergart är betydligt större än skillnaderna i genomsnittliga medel-K-värden för olika bergarter.
- I denna studie görs också bedömningen att beräknade medel-K-värden inte tyder på något tydligt djupberoende hos bergets vattengenomsläpplighet under cirka 100 m djup. Enligt /Ahlbom m fl, 1992/ föreligger ett djupberoende i bergets vattengenomsläpplighet i SKB:s manchettmätningar i djupa borrhål i Finnsjöområdet. Enligt /Bengtsson, 1997/ är vattengenomsläpplighetens djuptrend i Finnsjöområdet svår att klarlägga.
- De sammanfattande uppgifter som redovisas av /Ahlbom m fl, 1992/ från undersökningarna i Finnsjöområdet 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 Finnsjöområdet är det realistiskt att anta att de genomsnittliga hydrauliska förhållandena och egenskaperna som konstaterats för Finnsjöområdet även kan gälla som utgångspunkt för att uppskatta genomsnittliga förhållanden inom andra, lika stora och geologiskt lika, delområden av kommunen.

6 Berggrundvattnet i Finnsjöområdet

6.1 Kemi

De kvartära avlagringarna inom Finnsjöområdet är tunna och består huvudsakligen av morän och torv. I moränen utgörs upp till 20–30 % av finmaterialet av kalciumkarbonat, CaCO_3 . Det höga kalkinnehållet beror förmodligen på inblandning av sedimentära bergarter från berggrunden under Bottenhavet nordost om Uppsala län. De kalkrika bergarterna har brutits loss av inlandsisen, malts ner till fina fraktioner och transporterats in över norra Uppland. För 5 000–7 000 år sedan var Finnsjöområdet liksom övriga Uppland täckt av Litorinahavet vilket har lämnat spår i form av bland annat salt grundvatten. I nordöstra Uppland är det vanligt med salthalter på >300 mg/L (*Cl*) i grunda brunnar (<100 m). Uppskattningsvis innehåller åtminstone 10 % av alla brunnar (50–100 m) i denna region salint (dvs salt) grundvatten /Lindewald, 1985/. De flesta av brunnarna med salt grundvattnen återfinns nära Östersjön men ett antal är belägna i inlandet.

Undersökningsområdet vid Finnsjön består av två bergblock, norra och södra blocket. En subhorisontell zon (kallad Zon 2) delar det norra blocket i en övre och en undre del. Denna zon saknas i det södra blocket. I det södra blocket och ovanför Zon 2 i det norra blocket har grundvattenströmningen efter landhöjningen medfört att salt grundvatten utbytts mot yngre sött grundvatten. Även öster om det södra blocket förekommer salt grundvatten, eftersom detta ej har kunnat bytas ut mot sött grundvatten beroende på tätande lerlager i markytan. I Finnsjöområdet förekommer således två olika typer av berggrundvatten, ett äldre salt och ett yngre sött grundvatten /Ahlbom m fl, 1992/.

I tabell 5-1 nedan sammanfattas grundvattenkemiska data från Finnsjöområdet. Eftersom två olika typer av grundvatten förekommer, presenteras data för vatten provtaget dels ovanför Zon 2 och i södra blocket, och dels i samt under Zon 2 och öster om södra blocket. Data är hämtade från nio olika kärnborrhål /Laurent, 1982; Ahlbom m fl, 1992/ och provtagningsdjupet varierar mellan 71–688 m. Fem av kärnborrhålen är borrhålen genom Zon 2 medan ett ligger öster om södra blocket. De återstående kärnborrhålen är belägna i södra blocket och i alla dessa förekommer endast sötvatten. Provtagningen ägde i huvudsak rum under tidsperioden 1977–1982.

Tabell 5-1. Parameteröversikt för grundvatten från Finnsjöområdet. Dataunderlaget är hämtat från /Laurent,1982/ och /Ahlbom m fl,1992/. Värdena kommer från 9 olika kärnborrhål där provtagningsdjupet varierar mellan 71–688 m

Parameter	Över zon 2 + södra blocket			Under zon 2 + öster om södra blocket		
	Min	Median	Max	Min	Median	Max
PH	6,9	7,7	8,7	7,3	7,8	8,5
Alkalinitet, mg HCO_3^- /L	220	333	393	12	60	292
Kalcium, mg Ca^{2+} /L	22	30	76	37	1201	1914
Magnesium, mg Mg^{2+} /L	4	6,2	7	4	68	120
Hårdhet, mg Ca^{2+} /L	29	37	86	57	1266	2022
Natrium, mg Na^+ /L	23	106	220	220	952	1520
Klorid, mg Cl^- /L	11	61	211	320	3509	5775
Sulfat, mg SO_4^{2-} /L	1	8,3	46	35	210	340
Järn, mg Fe^{2+} /L	2,6	5,6	21	0,2	2,4	7

Vid en jämförelse av data från Finnsjöområdet med data från brunnarkivet avseende Östhammars kommun finner man att:

- Medianvärdena för de grundvattenkemiska parametrarna från de salta vattenproverna i Finnsjöområdet är genomgående högre än motsvarande värden för SGU:s brunnar i Östhammars kommun. Detta gäller för samtliga parametrar med undantag för alkaliniteten, som är lägre i Finnsjöområdet. För det salta grundvattnet i Finnsjöområdet har troligen alkaliniteten sänkts genom utfällning av kalciumkarbonat.
- De salta vattenproverna från Finnsjöområdet har genomgående låga Na/Cl kvoter. Detta tyder på ett jonbyte där natrium i vattnet bytts ut mot kalcium från sprickmineralens utbytbara förråd. Detta i sin tur speglar saltvatteninträngning /Mercado, 1985/.

6.2 Strömningsmönster och omsättningstid

Den kemiska sammansättningen på grundvatten från Finnsjöområdet indikerar att grundvattnet här i huvudsak kan delas in i två olika typer, ett salint och ett icke salint grundvatten. Det salina vattnet härstammar troligen från den tid då området var täckt av salta hav. Det har på grund av sprickmönster, jordlager och topografi isolerats, vilket tyder på en mycket långsam omsättning. Man har försökt åldersbestämma grundvattnet från Finnsjöområdet med hjälp av kol-14-metoden på organiskt material /Pettersson m fl, 1989/. Med denna metod erhöles en ålder av ca 4 600 år för det salta grundvattnet under den subhorisontella sprickzonen.

Förekomsten av salt grundvatten under Zon 2 indikerar således att det djupare berggrundvattnet i Finnsjöområdets norra block är förhållandevis opåverkat av (isolerat från) normala grundvattenrörelser på motsvarande djup, en bedömning som stöds av isotopdateringen. En mer utförlig (kvantitativ) diskussion av jordlagerförhållandenas och sprickzonernas betydelse för grundvattenrörelserna i Finnsjöområdet finns redovisad av /Ahlbom och Svensson, 1991/.

Inom ramen för SKB:s säkerhetsredovisningsprojekt SR 97 /SKB, 1999/ har SKB låtit utföra modellberäkningar av grundvattenrörelser inklusive simulering av radionuklidtransport från ett tänkt djupförvar beläget under Zon 2 /Hartley m fl, 1998; Gylling m fl, 1999/. Beräkningarna visar att de bakomliggande faktorerna till att salt grundvatten ännu finns kvar i berggrunden även har en fördröjande inverkan på transporttiderna för simuleringen av vattentrogna partiklars transport från förvaret till markytan.

Referenser

- Ahlbom K, Svensson U.** The groundwater circulation in the Finnsjö area – the impact of density gradients.
SKB TR 91-57, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1991.
- Ahlbom K, Anderson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S.** Finnsjö study site. Scope of activities and main results.
SKB TR 92-33, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1992.
- Allard B, Karlsson F, Neretnieks I.** Concentrations of particulate matter and humic substances in deep groundwaters and estimated effects on the adsorption and transport of radionuclides.
SKB TR 91-50, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1991.
- Andersson J, Hermanson J, Elert M, Gylling B, Moreno L, Selroos J-O.** Derivation and treatment of the flow wetted surface and other geosphere parameters in the transport models FARF31 and COMP23 for use in safety assessment.
SKB R-98-60, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.
- Andersson J.** SR 97 Data and data uncertainties – Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations.
SKB TR-99-09, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.
- Antal I, Bergman S, Gierup J, Persson Ch, Thunholm B, Stephens M, Johansson R.** Översiktstudie av Uppsala län - Geologiska förutsättningar.
SKB R-98-32, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.
- Axelsson C-L, Ekstav A.** Förstudie Malå. Hydrogeologisk beskrivning.
SKB Djupförvar, PR D-95-003, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1995.
- Axelsson C-L, Follin S.** Errata gällande rapporten SKB R-99-57, Förstudie Tierp, Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar.
Svensk Kärnbränslehantering AB, 2000.
- Bengtsson L.** Hydraulisk konduktivitet i kristallin berggrund, Analys av djupvariation i sex svenska områden. B 446, Geologiska institutionen, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1997.
- Berggren M.** 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, 1998.
- Bergman S, Isaksson H, Johansson R (red), Persson Ch, Stephens M.** Förstudie Östhammar – Jordarter, bergarter och deformationszoner.
SKB PR D-96-016, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1996.
- Brandt M, Jutman T, Alexandersson H.** Sveriges vattenbalans, Årsmedelvärden 1961–1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning, SMHI Hydrologi 49, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 1994.
- Follin S, Årebäck M, Jacks G, 1996a.** Förstudie Nyköping. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar.
SKB Djupförvar, PR D-96-014, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1996.

- Follin S, Årebäck M, Jacks G, 1996b:** Förstudie Östhammar. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar.
SKB Djupförvar, PR D-96-017, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1996.
- Follin S, Årebäck M, Axelsson C-L, Stigsson M, Jacks G.** Förstudie Oskarshamn. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar.
SKB R-98-55, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.
- Follin S, Årebäck M, Stigsson M, Isgren F, Jacks F.** Förstudie Tierp. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar.
SKB R-98-57, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.
- Gylling B, Lindgren M, Marsic N, Södergren S, Widén H.** Site-scale stochastic continuum modelling of Beberg.
SKB TS-99-06, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.
- Hartley L, Boghammar A, Grundfelt B.** Investigation of the large scale regional hydrogeological situation at Beberg.
SKB TR-98-24, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.
- Knutsson G, Morfeldt C-O.** Grundvatten, teori och tillämpning.
AB Svensk Byggtjänst, 1993.
- Laurent S.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Kråkemåla, Sternö and Finnsjö.
SKB TR 82-23, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1992.
- Lindewald H.** Salt grundvatten i Sverige.
Rapporter och meddelanden nr 39, Sveriges geologiska undersökning, 1985.
- Mercado A.** The use of hydrochemical patterns in carbonate sand and sandstone aquifers to identify intrusion and flushing of saline water.
Ground Water, 23, 635-645, 1985.
- Nordberg L, Persson G.** Vårt vatten – Tillgång, utnyttjande.
LT:s förlag, 1979.
- Pettersson C, Arsenie J, Ephraime J, Boren H, Allard B.** Properties of fulvic acids from deep groundwaters.
The Science of the Total Environment, 81/82, 287–296, 1989.
- Rhén I (red.), Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/5. Models based on site characterization 1986-1995.
SKB TR 97-06, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- Rodhe A, Eriksson E.** Hydrologi och hydrokemi, Ur Kunskap och osäkerhet – Uppsala universitet granskar SKB:s förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun. Rapportdel, ISBN: 91-506-1324-5, Uppsala universitet, 21–29, 1998.
- SFS.** Lagen om uppgiftsskyldighet vid grundvattentäcksundersökning och brunnsborrning.
Svensk Författningssamling, SFS 1975:424, 1975.
- SKB.** Översiktstudie.
Svensk Kärnbränslehantering AB, 1995.

SKB. Förstudie Östhammar, Preliminär slutrapport.
Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.

SKB. SR 97.
Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.

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

Uppsala universitet. Kunskap och osäkerhet – Uppsala universitet granskar SKB:s
förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun.
Rapportdel, ISBN: 91-506-1324-5, Uppsala universitet, 1998.

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

Östhammars kommun. Yttrande 1999-11-16.
Östhammars kommun, 1999.

Förstudie Östhammar

Delprojekt grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar

Kompletterande redovisning med anledning av Östhammars kommuns yttrande 1999-11-16 (punkterna 8.B.1-8.B.4).

Sven Follin, SF geoLogic AB

1 Inledning

Östhammars kommun har yttrat sig över SKB:s remiss avseende preliminär slutrapport över djupförvar för använt kärnbränsle. I yttrandet begär kommunen ett antal kompletteringar, förtydliganden och nya utredningar. I denna kompletterande redovisning finns några av de punkter som berör hydrogeologi, hydrologi och maringeologi sammanfattat och kommenterat, nämligen¹:

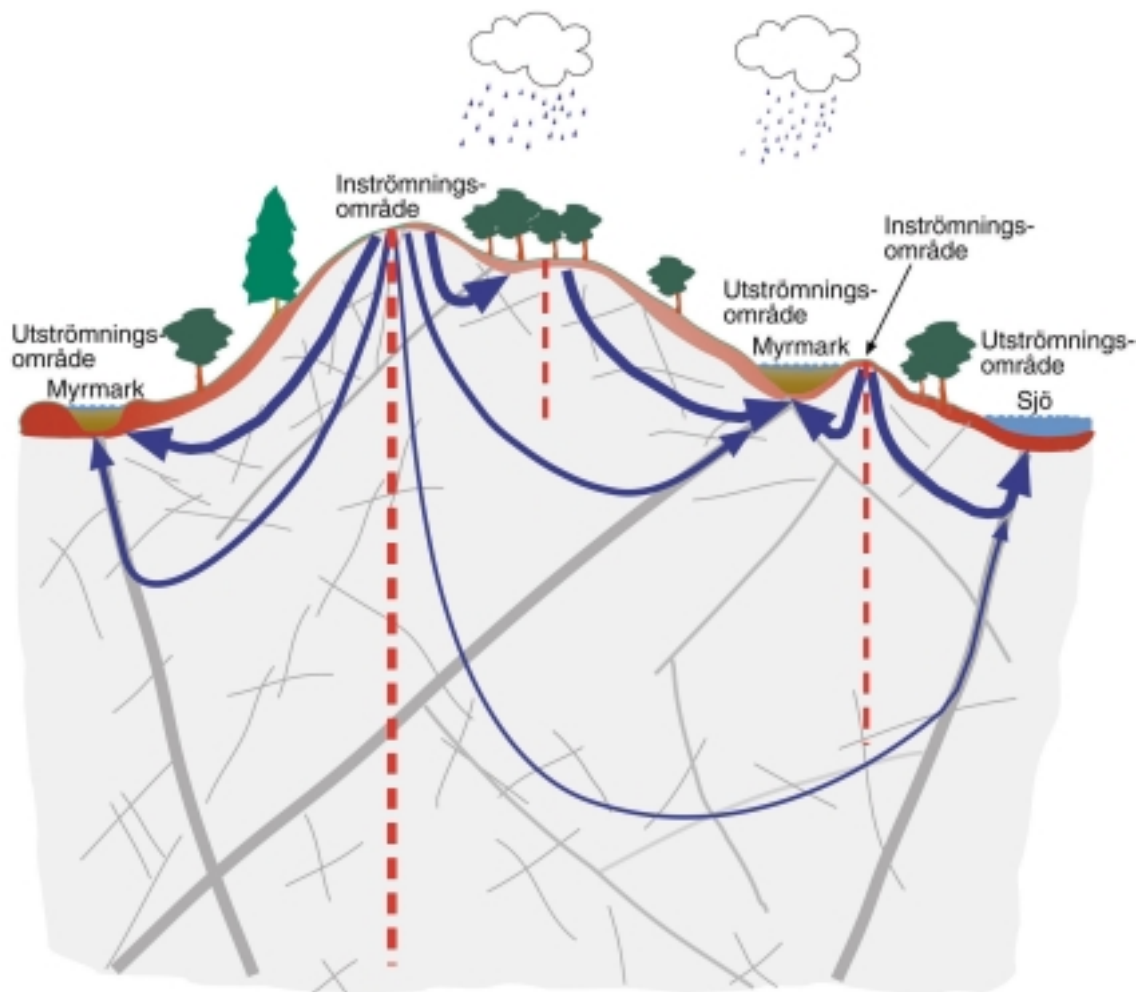
8. B) En översiktlig redovisning i förstudien av:

1. In- och utströmningsområden på topografiska kartan.
6. Utförd maringeologisk kartläggning av närområden till SFR.
7. Vad en havsyttehöjning kan innebära för förvaret.
8. Hur grundvattensänkning i samband med förvaret kan påverka miljön på kort och lång sikt.

2 In- och utströmningsområden

Figur 2-1 visar en principbild över några inströmnings- och utströmningsområden samt grundvattenflödets fördelning mot djupet. Figuren indikerar att merparten av den andel av avrinningen som bildar grundvatten förhållandevis snart strömmar ut igen i olika ytvattendrag. Endast en bråkdel fortsätter vidare mot djupet och bildar djupt berggrundvatten. Vidare framgår av figuren att topografins betydelse som grundvattendelare är tydligast för avrinningen i jordlager och den ytliga delen av berggrunden. Grundvattenströmningen i berggrundens djupare delar är inte lika förutsägbar, eftersom sprickor och sprickzoner kan skära över gränserna mellan olika avrinningsområden.

¹ Numreringen av punkterna överensstämmer med den som används i Östhammars kommuns yttrande.

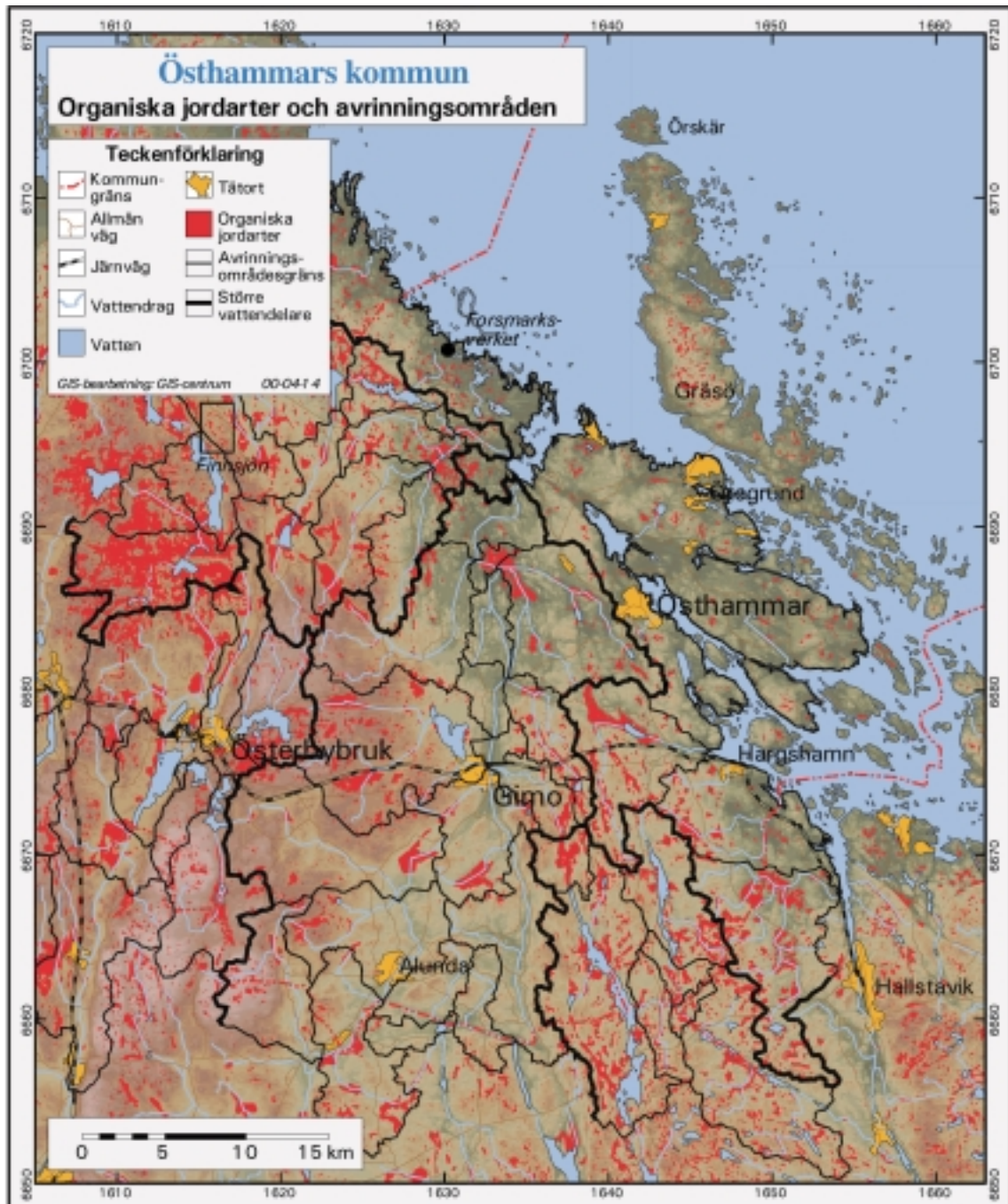


Figur 2-1. Principbild över inströmnings- och utströmningsområden. Grundvatten som når ett ytvattendrag har transporterats olika långt och olika länge. Nederbörd som faller över utströmningsområden bildar inte grundvatten utan avrinner tillsammans med det utströmmande grundvattnet till ytvattendraget. Vanligen utgör det ytliga grundvattnets bidrag till ytavrinningen den större delen. Topografins betydelse som grundvattendelare (streckade linjer) är tydligast för avrinningen i jordlager och den ytliga delen av berggrunden.

Den topografiska gradienten påverkar både ytvattnets och grundvattnets avrinning. I ett regionalt perspektiv brukar ofta skillnader i lokala topografiska gradienter överskuggas av regionala trender. För den norra delen av Uppland gäller dock att området regionalt sett är mycket flackt varför de lokala gradienterna inom olika avrinningsområden också kan vara av betydelse som drivande kraft för berggrundvattnets rörelse på olika djup. I den sydvästra delen av kommunen är den topografiska gradienten riktad mot söder, och yt- och grundvattenavrinningen sker mot Mälaren via Fyrisån. I övriga delar av kommunen sker avrinningen mot Östersjön.

I ett flackt landskap som norduppland är det vanskligt att urskilja några utpräglade större inströmningsområden. När det gäller utströmningsområden är däremot vattendragen, inklusive sjöar, vanligtvis utpräglade sådana. För övriga delar av landskapet måste detaljerade studier göras av in- och utströmningsområden innan gränserna till dessa kan dras. En komplicerande faktor i detta sammanhang är att gränserna för in- och utströmningsområden kan variera under året. För att ändå ge en bild över dessa förhållanden i kommunskalet bifogas en karta se figur 2-2 som visar förekomsten av organiska jordarter inom Östhammars kommun.

Med organiska jordarter menas här i första hand torvmossar, myrmarker och kärr. Organiska jordarter indikerar fuktiga markförhållanden, vilket är vanligt i utströmningsområden men även i högt belägna och flacka inströmningsområden. Informationen har lagts ovanpå en färgkodad topografisk karta över Östhammars kommun för att underlätta bedömningen. Kartan visar dessutom förekommande avrinningsområden och större vattendelare.



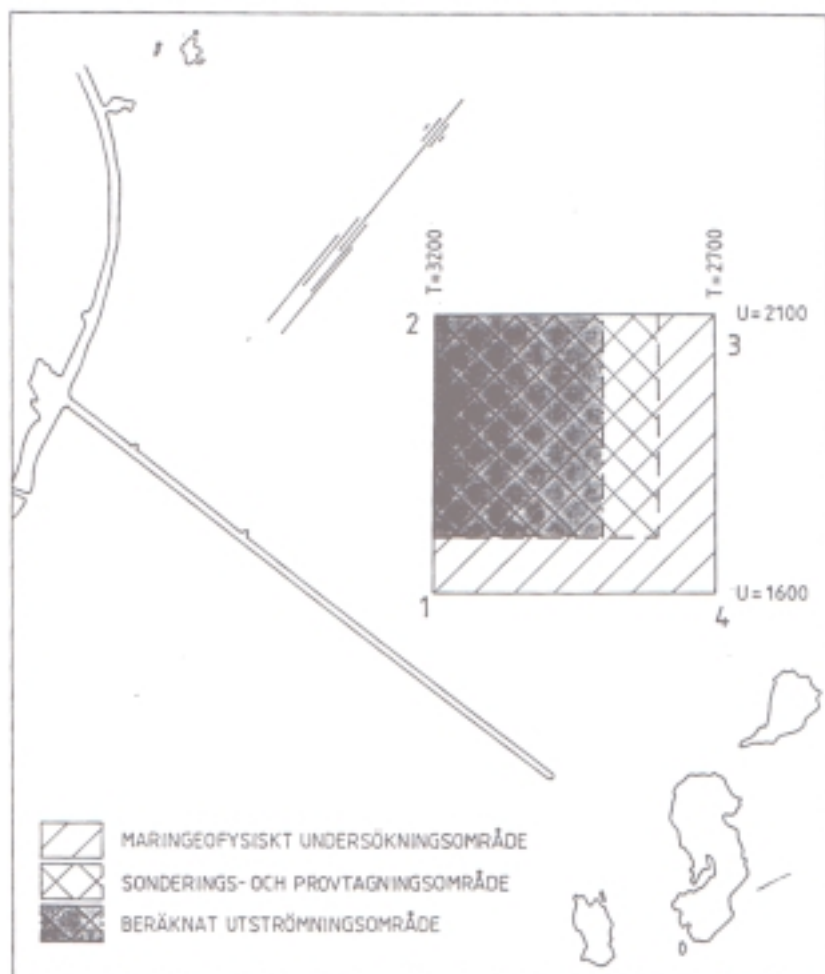
Figur 2-2. Förekomst av organiska jordarter (torvmossar, myrmarker och kärr) i Östhammars kommun. Organiska jordarter indikerar vanligen in- och utströmningsområden.

3 Maringeologisk kartläggning av närområden till SFR

I /Sigurdsson, 1987/ redovisas resultatet av SGAB:s maringeologiska kartläggning av ett (500x500 m) stort undersökningsområde beläget cirka 3 km nordost om Forsmarks kärnkraftverk, se figur 3-1. Syftet med arbetet var att införskaffa kunskap om bottensedimentens utbredning och tätande förmåga inom ett område, som enligt modellberäkningar bedömts utgöra utströmningsområde för berggrundvatten som passerat förbi slutförvaret för radioaktivt driftavfall (SFR).

Undersökningarna, som utfördes i två etapper, omfattade kartläggning av sedimentens mäktighet och areella fördelning samt analys av materialets sammansättning. Etapp 1 omfattade sonderingsborrning och provtagning. Arbetet utfördes från havsisen i februari 1987. Bottensedimenten provtogs med moränprovtagare och proverna bedömdes okulärt och analyserades med avseende på kornstorlekssammansättning. Etapp 2 utgjordes av maringeologiska ekolodsmätningar från båt och utfördes i maj 1987.

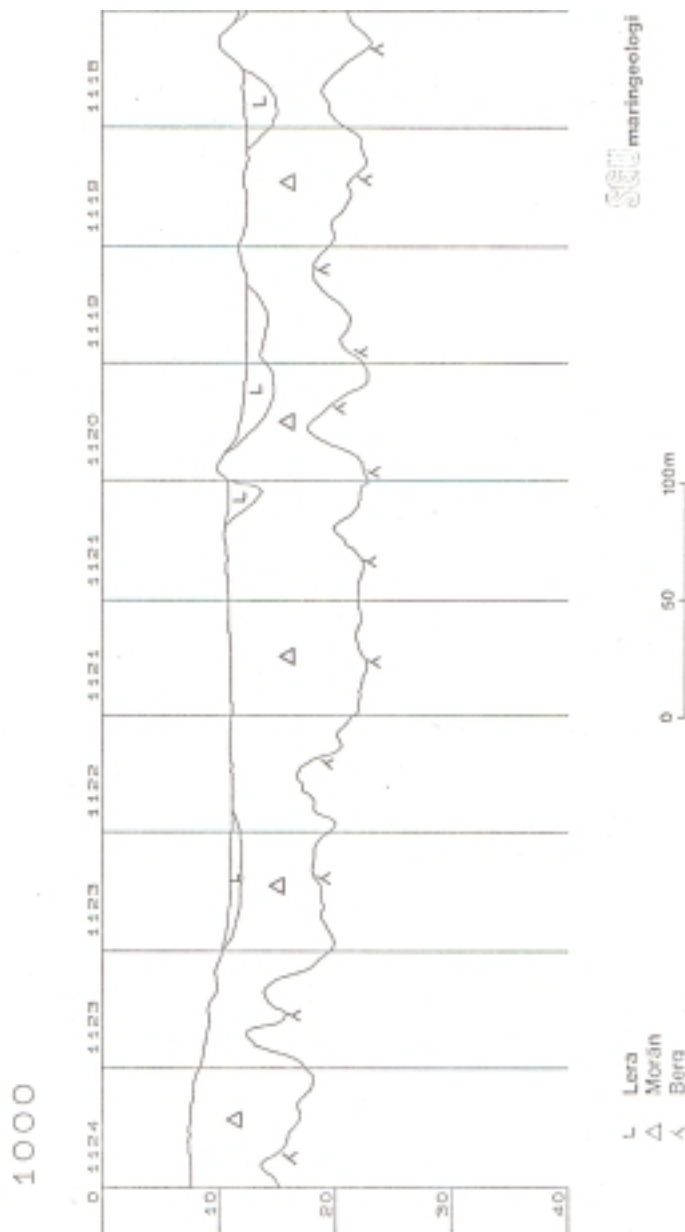
Sammanfattningsvis konstaterar /Sigurdsson, 1987/ att de erhållna resultaten visar på en ojämn berggrundsytta som ligger mellan 10 och 24 meter under havsytan. Jordlagren ovanpå berggrunden utgörs av en kalkhaltig, rik- till storblockig, sandig-grusig morän med en varierande mäktighet mellan 4–14 meter. Mindre områden med 0–4 meter mäktig



Figur 3-1. Översiktskarta över undersökningsområdet 3 km nordost om Forsmarks kärnkraftverk /Sigurdsson, 1987/.

glaciärra förekommer sporadiskt. Någon postglacial lera av betydelse har inte observerats och kalt berg saknas helt inom undersökningsområdet. Enligt en litteraturstudie utförd av /Isæus, 1998/ är halten organiskt material på och i moränen liten, vilket indikerar att det undersökta området är att betrakta som en transportbotten /Brydsten, 1999/.

I figur 3-2 illustreras den uppmätta maringeologiska situationen. Bortsett från avsaknaden av kalt berg liknar jordlagerförhållandena de som karterats på land /jmf Bergman m fl, 1996/.



Figur 3-2. Sektion som illustrerar den uppmätta maringeologiska situationen inom undersökningsområdet 3 km nordost om Forsmarks kärnkraftverk /Sigurdsson, 1987/.

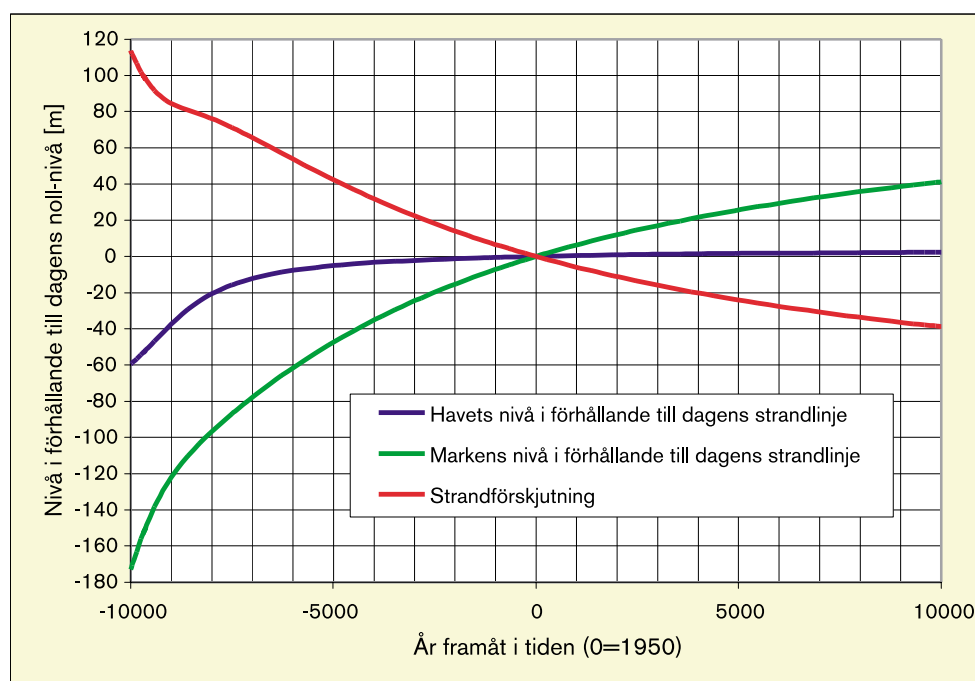
4 Konsekvenser av en havsytehöjning

I figur 4-1 visas en prognos över den historiska och förväntade strandförskjutningen för Östhammars kommun enligt en modell av /Pässe, 1997/. Som framgår av figuren har landet under de senaste 10 000 åren stigit med cirka 173 meter samtidigt som även havet har stigit cirka 59 meter. Skillnaden mellan dessa två processer kallas strandförskjutning och denna uppgår till cirka 114 meter för den aktuella perioden.

Havsytehöjning (eustasi) är ett klimatologiskt kontrollerat fenomen styrt av processer som påverkar glaciation och deglaciation. För cirka 3 000 år sedan inträffade maximum i isavsmältningen. Än idag pågår enligt modellen i figur 4-1 en havsytehöjning /Pässe, 1997/.

I den modell som ligger bakom figur 4-1 ingår bara naturliga processer, dvs inte mänsklig påverkan som t ex växthuseffekten. De finns forskare som menar att människans påverkan på klimatet är så stor att man måste beakta risken för en ökad isavsmältning med åtföljande havsytehöjning. Enligt /New Scientist, 1999/ indikerar mätningar sedan 1976 att jordens medeltemperatur nu ökar med 2°C per 100 år. Enligt samma tidskrift förväntas *International Panel on Climate Change* (IPCC) utkomma med en rapport under 2001, där man konstaterar att en temperaturhöjning med 3°C kommer att utlösa en irreversibel avsmältning av istäcket över Grönland. Isavsmältningen kommer tillsammans med vattnets volymutvidgning i så fall att medföra att havsnivån stiger med, som mest, cirka 9 meter under de kommande 1 000 åren. Av denna maximala höjning svarar vattnets volymutvidgning på grund av högre temperatur för cirka 2 meter.

Om man antar att det beskrivna scenariot enligt ovan inträffar, dvs att växthuseffekten medför en irreversibel avsmältning av istäcket över Grönland, kommer Östhammars kommun att utsättas för en temporär transgression³ motsvarande cirka 2,5 meters höjning av strandlinjens nuvarande läge under de kommande 1 000 åren. Beräkningen redovisas i tabell 4-1.



Figur 4-1. Prognos över den historiska och förväntade strandförskjutningen för Östhammars kommun enligt en modell av /Pässe, 1997/. Strandförskjutningskurvan visar strandlinjens läge i förhållande till nuvarande strandlinje.

³ Transgression betyder överskridande, havsutbredning över land.

Tabell 4-1. Överslagsberäkning av vad växthuseffekten i kombination med beräknad, naturlig strandförskjutning enligt /Pässe, 1997/ maximalt kan innebära för Östhammars kommun under de kommande 1 000 åren

Havsyntans naturliga stigning (se figur 4-1)	~ 0,5 m
Landhöjning (se figur 4-1)	~ 7,0 m
Växthuseffektens påverkan på havsyntans stigning /New Scientist, 1999/	~ 9 m
Nettoeffekt i strandförskjutning (transgression)	~ 2,5 m

Enligt figur 4-1 innebär en transgression av 2,5 meter att strandlinjeläget om 1 000 år kan motsvara det som fanns för cirka 300 år sedan. Eftersom landhöjningsprocessen fortskrider kommer emellertid effekten av isavsmältning och världshavens volymutvidgning att "försvinna" med tiden. Baserat på data i figur 4-1 innebär detta att strandlinjeläget om cirka 1 300 år kan motsvara dagens situation.

Om djupförvaret placeras i ett terrängavsnitt som är högre än 2,5 m över nuvarande havsnivå kan man enligt ovannämnda scenario förvänta sig att ett kustnära förvar inte kommer att täckas av hav under de närmaste 1 000 åren. Om aktuellt terrängavsnitt är lägre än 2,5 m över nuvarande havsnivå kan man på samma grunder anta att marken ovanför förvaret under en kortare tid kommer att stå under vatten.

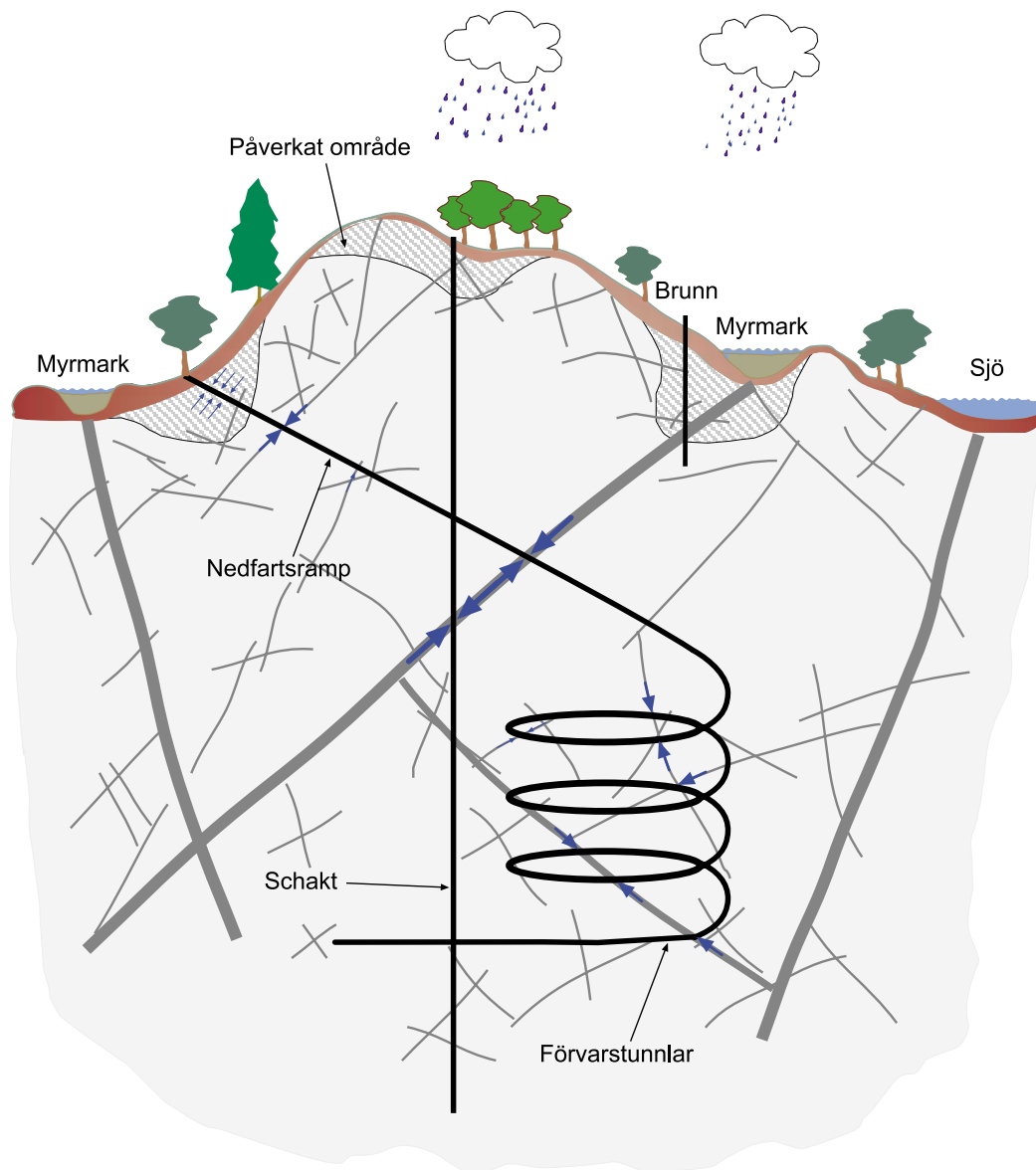
Oavsett terrängläge kommer ett kustnära förvar i Östhammars kommun troligen att någon gång befinna sig under hav under den kommande glaciationscykeln. Konsekvenserna av detta har utretts i säkerhetsanalysen SR 97 /SKB, 1999/. Där visas att en havsytteförändring inte förändrar bedömningen att ett förslutet förvar uppfyller säkerhetskraven, dvs förslutningen av djupförvaret utförs för att fungera oavsett om det är land eller hav ovanför förvaret. Skulle man däremot välja att inte försluta förvaret kommer det att fyllas med havsvatten. Ett sådant scenario har inte analyserats men bedöms här ge en sämre situation ur säkerhetssynpunkt jämfört med ett förslutet förvar.

Om strandförskjutningen fortsätter, såsom figur 4-1 indikerar, kommer ett kustnära förvar med tiden att hamna allt längre bort från den kustnära zon där grundvattnet strömmar ut. Detta innebär att strömningsvägarnas längd från förvaret också kommer att öka. Vid en transgression kommer strömningsvägarnas längd från förvaret först att minska för att därefter åter öka.

5 Grundvattensänkning och dess effekter på miljön

Ett djupförvar består av olika förvarsdelar som kan påverka det ytliga respektive djupa grundvattnet på skilda sätt. För att grundvattennivån i jordlagren ska sänkas krävs först att det ytliga berggrundvattnet avsänks. Risken för sänkning av det ytliga berggrundvattnet är störst i anslutning till de ytligt liggande förvarsdelarna, som t ex påslag för nedfartsramp och schakt. De djupare liggande förvarsdelarna, exempelvis deponeringstunnlar, bergshallar och transporttunnlar, samt nedfartsrampens och schaktets nedre delar, kommer i första hand att kunna påverka det djupare berggrundvattnet. De djupt liggande förvarsdelarna kan endast orsaka sänkning av det ytliga berggrundvattnet om det finns vattenförande sprickzoner eller sprickor som förbinder de djupare förvarsdelarna med den ytliga berggrunden se figur 5-1.

En sänkning av grundvattennivån i den ytliga berggrunden kan bidra till ett ökat vertikalt grundvattenflöde från jordlagren till berggrunden, vilket kan medföra en avsänkning av grundvattennivån även i jordlagren. Jordlagrens sammansättning och förekomst av



Figur 5-1. Schematisk figur över områden där det ytliga grundvattnet i jordlager och berggrund kan tänkas bli påverkat av ett djupförvar. Inom de påverkade områdena ändras grundvattennivån. (Pilar indikerar ställen med större inströmning till djupförvaret.)

eventuellt tätande horisontella skikt mot berget har stor betydelse för om en sänkning av grundvattennivån sker i jordlagren och hur stor denna i så fall blir. En annan viktig faktor är grundvattenbildningen till jordlagren. Sett över året kan de naturliga variationerna i grundvattennivå vara stora, liksom mellan torrår och våtår.

En grov uppskattning av det förväntade inläckaget till ett djupförvar kan erhållas från erfarenheter av inläckande grundvatten till befintliga undermarksanläggningar i berg. Ett flertal sammanställningar har gjorts av inflödet till gruvor och andra undermarksanläggningar /Axelsson m fl, 1994; Larsson, 1994; Axelsson, 1997/. En gruva liknar i stort utformningen av ett djupförvar med nedfartsramp, schakt och brytningsrum. Det finns dock minst en viktig skillnad; gruvans läge är inte lika påverkbart som valet av läge för ett djupförvar.

En sammanställning av inläckaget till nio gruvor i Sverige med varierande djup och utbruten volym berg har gjorts av /Axelsson, 1997/. Det totala inläckaget varierar mellan cirka 15–70 m³/h. Inläckaget per volym utbrutet berg uppgår i de torraste och samtidigt djupaste gruvorna (460–1 210 m) till cirka 2–20 L/h per 1 000 m³, medan större inläckage på 100–200 L/h per 1 000 m³ framför allt förekommer i gruvor med mindre djup (90–275 meter). Generellt minskar inläckaget per volymsenhet med ökande djup.

De gruvor som mest liknar djupförvaret vad gäller utbruten bergvolym är Peitknäs i Norsjö kommun, Västerbottens län, och Saxberget i Lukvika kommun, Kopparbergs län. I Peitknäsgruvan sker brytning idag ned till cirka 1 130 meter, medan Saxbergsgruvan, som lades ned 1988, uppnådde ett maximalt brytdjup av 745 meter. Den utbrutna volymen berg i Peitknäs är cirka 1 miljon m³, och uppumpad mängd vatten (inläckande grundvatten) uppgår till cirka 80 m³/h (80 L/h per 1000 m³). I Saxberget uppgår den utbrutna volymen berg ned till 545 meter till cirka 1,6 miljon m³, och motsvarande beräknat inläckage av grundvatten är cirka 13,5 m³/h (8,6 L/h per 1000 m³). Den torraste gruvan som inventerats är den numera nedlagda Dannemora gruva i Östhammars kommun, Uppsala län, vilken samtidigt är en av de största vad beträffar volymen utbrutet berg (16,5 milj m³). Inläckaget av berggrundvatten till Dannemora gruva uppgick till cirka 26 m³/h (1,6 L/h per 1000 m³). Gruvan var i drift i cirka 500 år och påverkan på omgivande växtlighet och brunnar var och är mycket begränsad enligt muntliga källor.

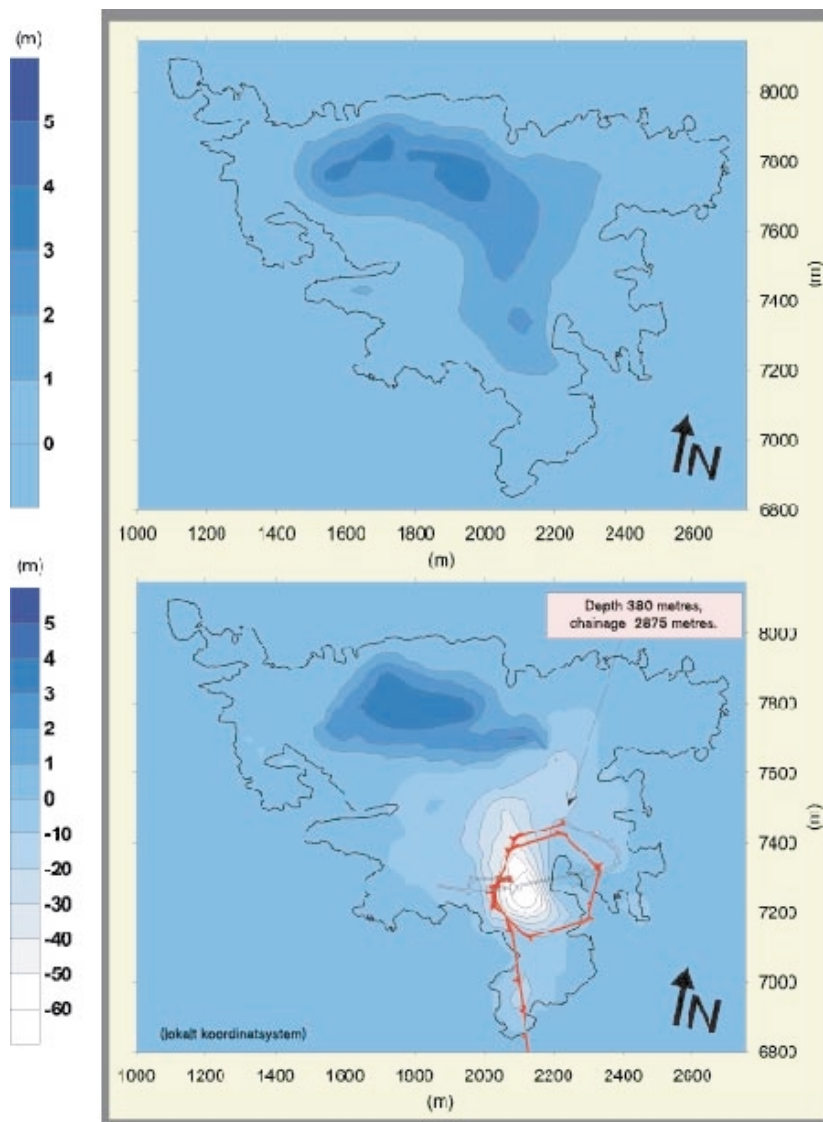
Under den inledande driften av djupförvaret, som bedöms pågå 5–10 år, kommer den utbrutna bergvolymen vid djupförvaret att uppgå till cirka 0,5 miljoner m³. Baserat på erfarenheterna från de inventerade gruvorna och undermarksanläggningarna kan det totala inläckaget av grundvatten under denna period uppskattas till cirka 1–10 m³/h. Under den reguljära driften, som bedöms pågå 20–40 år, kommer den utbrutna bergvolymen som mest att vara cirka 1,4 miljoner m³ och det totala inläckaget kan uppskattas som mest till cirka 3–30 m³/h. Det kan även bli mindre beroende på att endast ca 20 % av förvarets totala volym uppskattas vara öppet samtidigt (muntlig information från Olle Olsson, SKB).

Äspölaboratoriet under ön Äspö i Oskarshamns skärgård är en cirka tre kilometer lång anläggning, som sträcker sig ned till 450 m djup. Bergarbetena inleddes i slutet av åttiotalet. Inflödet till anläggningen uppmättes 1995 till cirka 100 m³/h /Rhén, 1995/. Om man interpolerar mellan grundvattennivåerna i olika borrhål i berg på Äspö erhålls en nivåkarta liknande den i figur 5-2. Som framgår av kartan är grundvattenavsänkningens utbredning ett par hundra meter. I jordlagren är utbredningen av avsänkningen mindre.

Den interpolerade kartan i figur 5-2 visar inte grundvattensänkningen i sprickzonerna respektive i mellanliggande bergmassor i detalj. Sänkningen av berggrundvattnet är som störst i sprickzonerna rakt ovanför anläggningen, medan berggrundvattennivån i mellanliggande bergmassor är jämförelsevis opåverkad. Figur 5-3 visar en simulering av sänkningstrattens utseende i sprickzoner respektive mellanliggande bergmassor.

Förekomst av salt grundvatten i enskilda brunnar längs med den svenska ostkusten är en tämligen vanlig företeelse. Ibland sammanhänger det med att grundvattenuttaget har varit för stort i förhållande till grundvattenbildningen. Salt grundvatten förekommer även inåt landet här och var, i synnerhet under den sk högsta kustlinjen. I samband med undermarksanläggningar kan det förekomma att saltvatten tränger upp från större djup. Figur 5-4 visualiserar fördelningen av salt grundvatten (uttryckt som milligram klorid per liter vatten) på Äspö före och efter utbyggnaden av Äspölaboratoriet. Som framgår orsakar avsänkningen runt tunnlar och schakt en lokal saltvattenuppträngning.

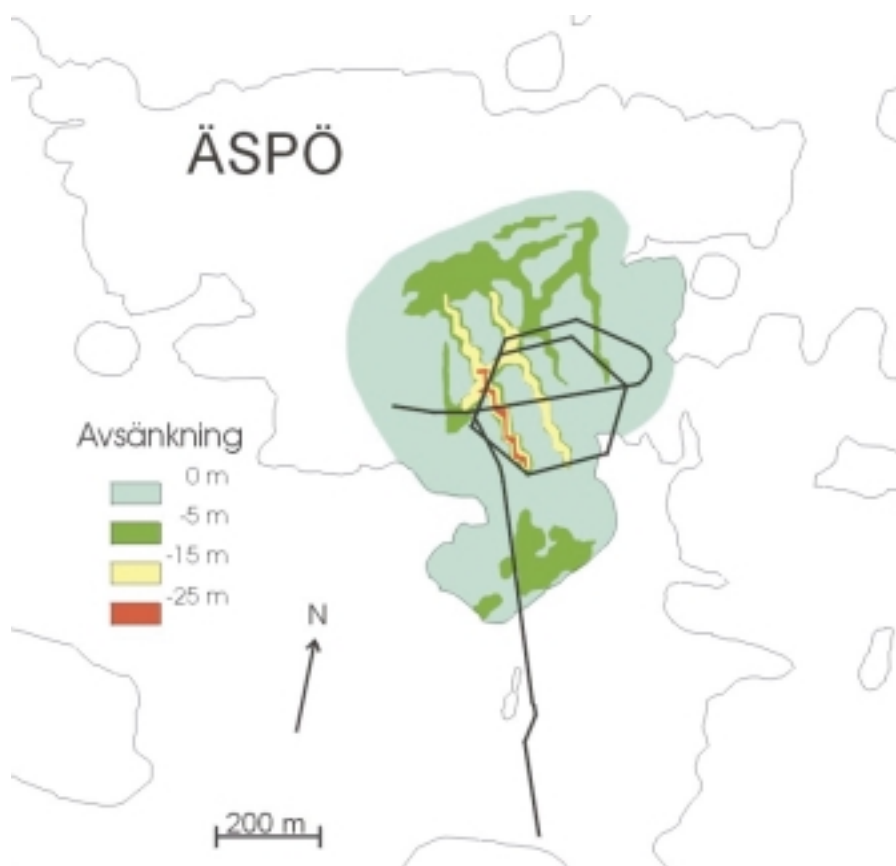
/Axelsson och Follin, 2000/ har sammanställt och analyserat befintlig information om effekter på enskilda brunnar och växtlighet till följd av grundvattensänkning i samband med undermarkskonstruktioner. Författarna konstaterar att enskilda brunnar i jordlager



Figur 5-2. Interpolerade grundvattennivåer i berg på Äspö före respektive under utbyggnaden av Äspölaboratoriet. Grundvattennivåerna är mätta i borrhål i berg. Som framgår av kartan är grundvattenavsänkningens utbredningsområde ett par hundra meter /SKB, 1999/.

och berg i närheten av ett djupförvar kan komma att utsättas för en grundvattennivå-sänkning om ett antal förutsättningar samverkar. För det första krävs att förvaret förläggs till ett område där tunnlar, ramp och schakt korsar ett flertal vattenförande sprickzoner. För det andra krävs att man misslyckas med att täta (injektera) inläckaget från dessa. Om så är fallet kan inläckaget av djupt berggrundvatten till anläggningen påverka enskilda bergbrunnar, som hämtar sitt vatten från dessa zoner, direkt eller indirekt, se figur 5-1. Det bör påpekas att mediandjupet för bergbrunnar i urberg är blott 70 meter /Berggren, 1998/.

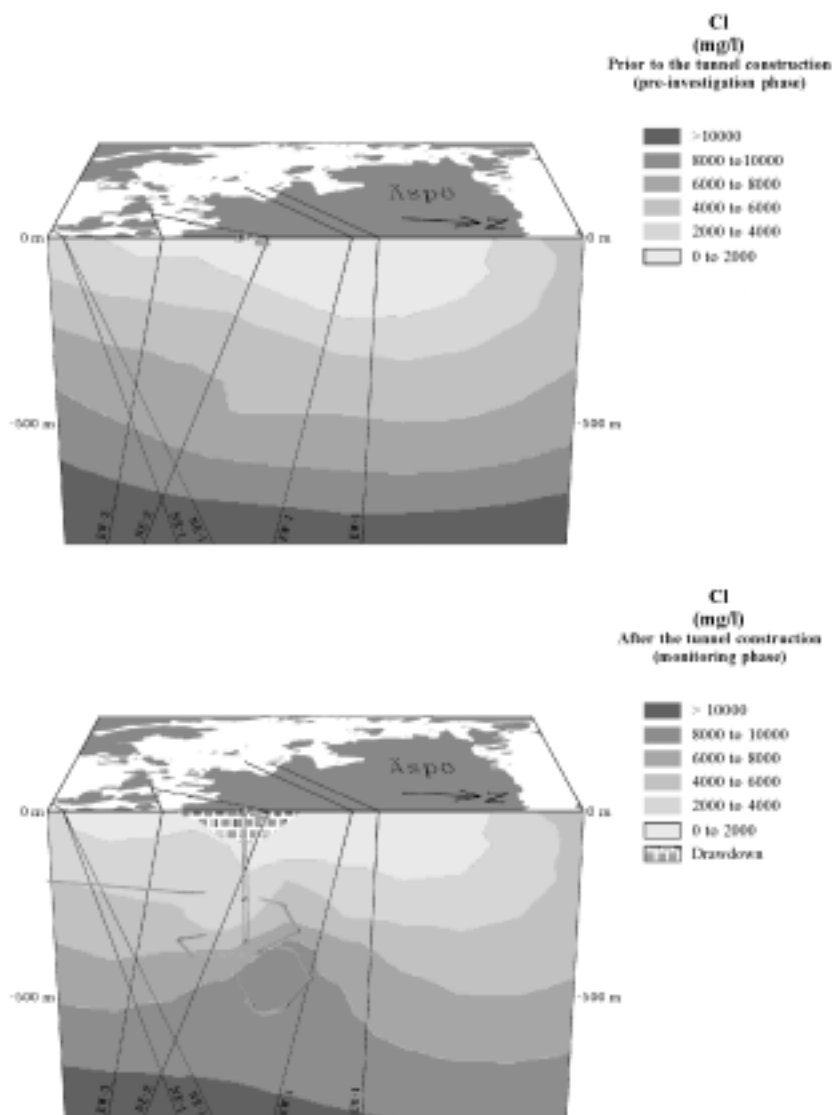
För att inläckaget till anläggningen ska påverka enskilda brunnar i jordlagren måste dessutom de vattenförande sprickzonerna nå fram, direkt eller indirekt, till jordlagren där jordbrunnarna finns, se figur 5-1. Vidare måste kontakten mellan grundvattnet i jordlagren och berggrunden vara god, dvs jordlagren måste bestå av sandiga och grusiga sediment och ligga dikt an mot berget utan tätande material emellan. Genom att undvika att förlägga djupförvaret till områden i närheten av isälvsavlagringar kan man kraftigt minska denna möjlighet till påverkan.



Figur 5-3. Simulering av berggrundvattnets avsänkning på Äspö. De största sänkningarna sker i sprickzonerna rakt ovanför Äspölaboratoriet (svart linje) /efter Svensson, 1997/.

Beträffande vegetationsskador visar resultaten från de ekologiska undersökningarna på Hallandsås, där berggrunden är kraftigt uppsprucken och inläckaget till tunnlarna har varit stort, att påverkan på vegetationen trots allt är begränsad. Detta beror på att en stor del av vegetationens vattenbehov täcks av nederbörden. Sammanfattningsvis görs här bedömningen att om den ingenjörsgelogiska anpassningen av förvarsläget optimeras ur hydrogeologisk synvinkel kommer man troligtvis inte att kunna påvisa några större effekter på vegetationen från bygge och drift av ett djupförvar.

/Axelsson och Follin, 2000/ konstaterar avslutningsvis att den faktiska sänkning som kommer att inträffa vid bygge och drift av djupförvaret, även efter att åtgärder vidtagits av olika slag, är ett reversibelt fenomen. Detta innebär att om anläggningen står öppen (dränerar omgivningen) under 30–40 år, så kommer tiden för återhämtning vara ungefär lika lång.



Figur 5-4. Visualisering av kloridhaltens rumsliga fördelning i grundvattnet under Äspö före och efter utbyggnaden av Äspölaboratoriet /Laaksoharju, 1999/.

Referenser

Axelsson C-L, Ekstav A, Hansen L. Avsänkning runt gruvor. SKB PR 44-94-026. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1994.

Axelsson C-L. Slutförvar av kvicksilver. Geohydrologiska förhållanden och volymer vid gruvor i Sverige. Rapport 4774. Naturvårdsverket, 1997.

Axelsson C-L, Follin S. Grundvattensänkning och dess effekter vid byggnation och drift av ett djupförvar. SKB R-00-21. Svensk Kärnbränslehantering AB, 2000.

Berggren M. 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, 1998.

- Bergman S, Isaksson H, Johansson R (red), Persson Ch, Stephens M.** Förstudie Östhammar. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB PR D-96-016. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1996.
- Brydsten L.** Change in coastal sedimentation conditions due to positive shore displacement in Öregrundsgrepen. SKB TR-99-37. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.
- Follin S, Årebäck M, Jacks G.** Förstudie Östhammar. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. SKB PR D-96-017. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1996.
- Isæus, M.** Description of the brackish environment in the Forsmark area. SKB U-98-15. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.
- Laaksoharju M.** Groundwater characterisation and modelling: problems, facts and possibilities. SKB TR-99-42. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.
- Larsson H.** Grundvatteninflöde till några befintliga undermarksanläggningar och gruvor. SKB AR 44-94-006. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1994.
- New Scientist.** Only ourselves to blame. New Scientist. Nov. 20, 1999. p 24, 1999.
- Påsse T.** A mathematical model of past, present and future shore level displacement in Fennoscandia. SKB TR 97-28. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- Rhén I.** Compilation of geohydrological data for Äspö. SKB AR 95-12. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1995.
- Sigurdsson T.** Bottenundersökning av ett område ovanför SFR, Forsmark. SFR AR 87-07, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1987.
- SKB.** Förstudie Östhammar, Preliminär slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- SKB.** SR 97. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.
- Svensson, U., 1997:** A site scale analysis of groundwater flow and salinity distribution in the Äspö area. SKB TR 97-17. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- Uppsala universitet, 1998:** Kunskap och osäkerhet – Uppsala universitet granskar SKB:s förstudie av djupförvar för kärnavfall i Östhammars kommun. Rapportdel. ISBN 91-506-1324-5. Uppsala universitet, 1998.
- Östhammars kommun, 1999:** Yttrande över SKB:s remiss avseende preliminär slutrapport över djupförvar för använt kärnbränsle. 1999-11-16. Östhammars kommun, 1999.

Förstudie Östhammar

Osäkerheter kring framtida klimatförändringar och deras påverkan på ett djupförvar

Lena Morén, SKB

Inledning

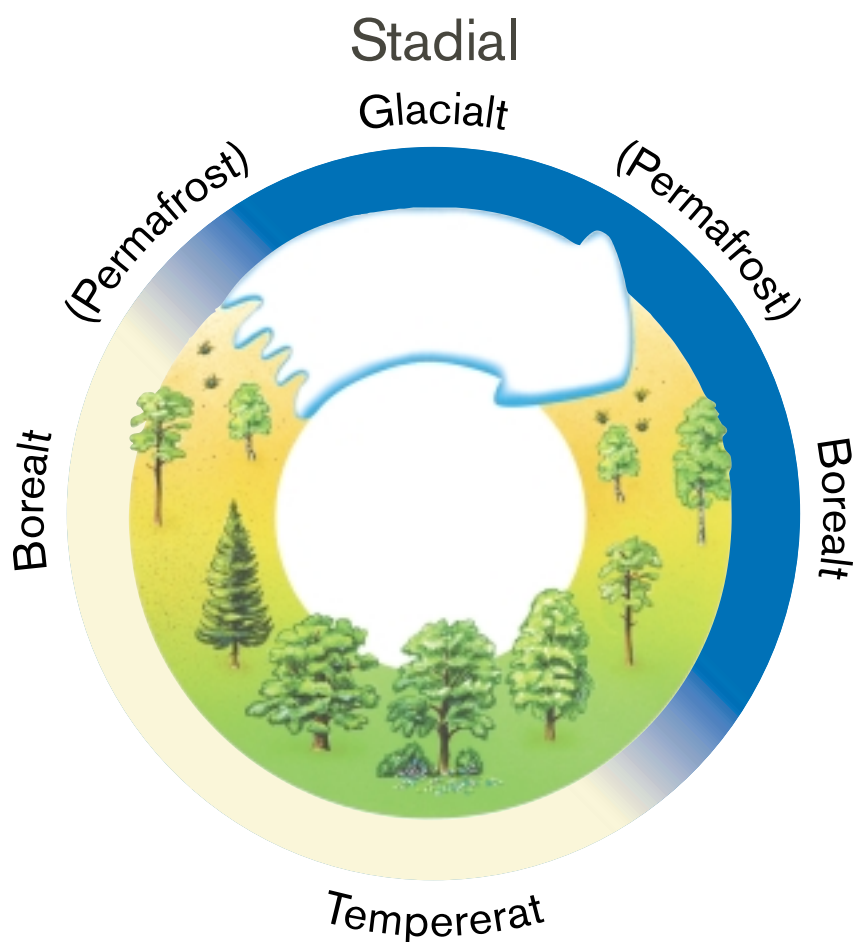
Ett djupförvar ska fungera i 100 000-tals år. För att kunna utvärdera säkerheten behöver vi veta hur de termiska, hydrologiska, mekaniska och kemiska förhållandena i förvaret förändras med tiden. I första hand frågar vi oss om förändringarna kan leda till att kapslar blir otäta. I andra hand – om det av någon anledning finns otäta kapslar – frågar vi oss hur förvarets förmåga att hindra radionuklider från att nå ytan påverkas. De klimatförändringar vi kan förvänta oss i långa tidsperspektiv kommer att förändra förhållandena på ytan totalt. På 500 meters djup i berget blir förändringarna betydligt mindre. Frågan är hur stora och långvariga förändringarna kan bli och ungefär när de kan komma att inträffa.

Vi lever idag i en period med varmt och stabilt klimat. Perioden brukar kallas Holocen och inleddes för cirka 10 000 år sedan. Senast jorden upplevde en period med ungefär lika varmt, men inte lika stabilt klimat, var för cirka 115 000–130 000 år sedan. Tiden däremellan har klimatet varit kallare än idag, under vissa perioder endast något kallare, men under andra betydligt kallare än idag.

För Sveriges del har klimatförändringarna inneburit att landet varit helt eller delvis täckt av is. Under kalla perioder har isen vuxit till från fjällkedjan och mot sydost. Framför isen kan permafrost ha förekommit. Klimatförhållandena i södra Sverige kan också ha liknat dagens klimat i norra Sverige. Inlandsisen trycker ned jordskorpan. Tillsammans med förändringar av havsnivån leder det till att kustlinjen förskjuts. Under större delen av en istidscykel är kustlinjen belägen högre än idag och större områden vattentäckta. Vi kan urskilja tre typiska skandinaviska klimattillstånd som vi kallar:

- 1 tempererat/borealt tillstånd,
- 2 permafrosttillstånd och
- 3 glacialt tillstånd.

De avlöser varandra i ett cykliskt förlopp, se figur 1. Förhållandena inom varje klimattillstånd kan beskrivas relativt väl. Klimatutvecklingen kan ses som förändringar av klimattillståndens utbredning i tid och rum. Perioderna med olika klimattillstånd är olika långa, dels beroende på hur omfattande och långvariga klimatförändringarna är, dels på platsens geografiska läge. Både läget i norrsydlig riktning och i förhållande till kusten har betydelse.



Figur 1. De olika klimattillstånden avlöser varandra i ett cykliskt förlopp. Periodernas längd kan variera mellan några 100-tals till flera tusentals år, dels beroende på klimatförändringarna, dels på platsens geografiska läge. Den blå skuggningen i cirkelns utkant visar perioder då platser som idag ligger nära kusten kan vara vattentäckta.

Utvärderingen av klimatförändringarnas påverkan på ett djupförvar sker i tre steg:

1. Antaganden om framtida klimatförändringar (scenarios).
2. Förändringar av förhållanden vid markytan ovanför förvaret.
3. Dessa förändringars påverkan på förhållanden i själva förvaret.

Olika typer av osäkerheter

Klimatförändringarna har lämnat spår i mark och växtlighet. Till exempel kan man från djuphavs- och sjösediment, iskärnor och träd erhålla olika typer av data som vittnar om gångna tiders klimat. När det gäller kunskap om klimatförändringar i långa tidsperspektiv – flera 1000-tals till 100 000-tals år – har studier av djuphavssedimenten spelat en viktig roll. Särskilt intressant är förhållandet mellan de stabila syreisotoperna O-18 och O-16 i fossila plankton som lagrats i djuphavssediment, eftersom detta förhållande avspeglar hur stor volym vatten som vid en viss tidpunkt var bunden i inlandsisar. Sådana data finns för de senaste 700 000–900 000 åren och visar att de långsiktiga globala klimatförändringarna troligen beror på förändringar i solinstrålningen, som orsakas av att jordens bana runt

solen och jordaxelns lutning ändras med tiden. Det råder idag enighet om att det är dessa förändringar av solinstrålningen som är drivkraften bakom de stora globala klimatförändringarna.

Variationerna i solinstrålningen kan beräknas med stor noggrannhet, även över långa tidsperioder. Med kunskap om dessa variationer kan man göra antaganden om framtida globala klimatförändringar. För detta behövs en modell som beskriver jordens klimatsystem. Klimatsystemet är emellertid mycket komplext och har också ett inslag av slumpmässighet. Vi kan idag inte beskriva och förstå det fullt ut. Antaganden om omfattningen av framtida klimatförändringar är därför osäkra.

Eftersom ändringar i solinstrålningen är drivkraften bakom stora långsiktiga klimatförändringar och förändringarna i solinstrålning kan beräknas med stor noggrannhet, är bedömningarna om *när* klimatförändringarna kan komma att ske ganska tillförlitliga. Bristande kunskaper om jordens klimatsystem gör dock bedömningarna av *hur* stora förändringarna kan bli mycket osäkra. Vi kan inte beräkna exakt hur jordens klimatsystem kommer att reagera på en förändring av solinstrålningen. Klimatsystemets känslighet beror på en rad faktorer, till exempel kontinenternas växtlighet, isutbredning, temperatur i världshaven, gasinnehåll i atmosfären med mera. Processer inom jordens klimatsystem, exempelvis cykliska variationer av havsströmmarna, påverkar också klimatet.

Även mänskliga aktiviteter som markanvändning och utsläpp av växthusgaser påverkar klimatet. Idag vet vi inte hur stor betydelse de mänskliga aktiviteterna kan ha för klimatutvecklingen på jorden. Vi vet att de leder till en ökning av den globala medeltemperaturen. Däremot känner man inte till hur stor uppvärmningen kan bli och vad den kan få för konsekvenser, till exempel om den kommer att få istäcket över Antarktis att smälta. För den långsiktiga utvecklingen av det Skandinaviska klimatet kan temperaturökningen innebära ett varmare klimat än det nuvarande med mindre istillväxt under de närmaste 1000-tals åren. Sett över flera 10 000-tals till 100 000-tals år är det dock mycket sannolikt att klimatförändringarna kommer att likna dem vi kan registrera för de gångna 100 000-tals åren.

Under kallperioden före nuvarande varmperiod täckte inlandsisen hela Sverige och nådde ned till norra Tyskland och Polen i söder och in över Ryssland i öster. Klimatförändringarna som skett efter det att isen drog sig tillbaka har lämnat spår i mark och växtlighet och kan beskrivas relativt väl. Vår kunskap om det skandinaviska klimatet under perioden före den sista nedisningen är dock begränsad, eftersom isen förstört i stort sett alla spår. För att beskriva det skandinaviska klimatet i ett långt tidsperspektiv är vi därför beroende av klimatdata från andra platser på jorden samt data som beskriver det globala klimatet. Detta är ytterligare ett osäkerhetsmoment.

För att beskriva förhållandena på en viss plats behöver vi veta något om kustlinjens läge – det gäller i synnerhet platser som idag ligger i anslutning till kusten. För att uppskatta kustlinjeförskjutningen krävs en modell som beskriver jordskorpan rörelser då den belastas av en inlandsis samt en modell som beskriver förändringarna av havsnivån då temperaturen sjunker och stora vattenvolymer binds upp i inlandsisar världen över. Även denna modellering är förknippad med osäkerheter, dels relaterade till klimatet och isarnas utbredning, dels till beskrivningen av jordskorpan rörelser.

När klimatförändringar och kustlinjeförskjutning skattats, kan utvecklingen på förvarsplatsen beskrivas som en serie av klimattillstånd samt – för platser i anslutning till den nuvarande kusten – perioder då platsen varit vattentäckt. Mot bakgrund av osäkerheterna som nämnts ovan är de olika periodernas längd mycket osäker. Även den exakta omfattningen av förändringarna är förknippad med stora osäkerheter. Baserat på olika modellberäkningar, spår som gångna klimatförändringar lämnat efter sig och studier av platser

på jorden som idag har klimatförhållanden som liknar dem vi kan förvänta oss i Sverige i framtiden, kan vi dock med relativt god säkerhet uppskatta de maximala förändringarna under olika tidsperioder.

I SR 97 – säkerheten efter förslutning, skattades de maximala förändringarna av de termiska, hydrologiska, mekaniska och kemiska förhållandena i förvaret som klimatförändringar förväntas ge upphov till. Även dessa beräkningar innehåller olika typer av osäkerheter. De hanteras ofta genom att de mest negativa antagandena och resultaten antas vara de som inträffar. Analysen visade att förändringarna inte är så stora att kapslar kan skadas. Under vissa perioder kommer förvarets förmåga att hindra radionuklider att nå ytan att vara sämre än under nuvarande klimatförhållanden. Det gäller då förvaret är istäckt och ligger i anslutning till iskanten. Då kan vi förvänta oss att vattenomsättningen i berget ökar på grund av att glacialt smältvatten tränger ned i berget. Under dessa perioder är emellertid vattenomsättningen på ytan mycket stor, vilket innebär att radionukliderna späds ut och att de stråldoser människan kan utsättas för minskar relativt dagens förhållanden.

Slutsatser

Osäkerheterna om kommande klimatförändringar är mycket stora. Det är idag inte möjligt att göra några prognoser som beskriver den framtida klimatutvecklingen. Studier av gångna tiders klimat visar dock inom vilka ramar det skandinaviska klimatet har varierat de senaste 100 000-tals åren. De visar också i vilken tidsföljd förändringarna har skett. Vår kunskap om gångna tiders klimat och drivkrafterna bakom historiska klimatförändringar gör det möjligt att beskriva trovärdiga framtidsbilder, *scenarier*. I säkerhetsanalysen SR 97 beskrivs scenarierna som en tidsserie av olika klimattillstånd. Modellberäkningar i kombination med kunskapen om det gångna klimatet gör det möjligt att beskriva omfattningen av klimatförändringarna inom varje klimattillstånd. Det är tillräckligt för att göra bedömningar av i vilken omfattning klimatförändringarna kan påverka ett djupförvar för använt kärnbränsle. Vi kan visa att förvaret är säkert, givet en godtycklig framtidsbild, ett givet scenario, som täcker in alla kända förändringar vi sett tillbaka i tiden. Eftersom scenariot täcker in alla typer av förändringar, menar vi att denna slutsats gäller oavsett exakt när, och om, de kommer att inträffa.

Referenser

SKB. Djupförvar för använt kärnbränsle SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.

Förstudie Östhammar

Omhändertagande av bergmassor

Ingrid Aggeryd, Studsvik Eco & Safety AB

Lennart Ekman, LE Geokonsult

Christer Svemar, SKB

I den preliminära slutrapporten behandlas frågan om mängden bergmassor och hanteringen av dessa vid byggande och drift av djupförvaret i första hand i kapitel 6. De miljömässiga aspekterna av bergmassehanteringen tas dock upp i kapitel 7. Texten är inte sammanhållen, utan korta avsnitt om bergmassor finns på flera ställen i dessa kapitel. Nedan har den preliminära slutrapportens framställning koncentrerats så att bättre överblick uppnås. Dessutom har en mindre kompletterande utredning i frågan gjorts, vars resultat också arbetats in i avsnittet.

Volymer och vikter

Den totala volymen på djupförvarets tunnlar och bergrum beräknas till 1–1,5 miljoner kubikmeter. Detta innebär att cirka 3–5 miljoner ton berg kommer att tas ut från djupförvaret. Ungefär hälften bryts ut under anläggningsskedet, det vill säga under de första 5–6 åren, och resterande mängd under djupförvarets 30–40-åriga driftperiod. Under byggandet av djupförvarets underjordsdel kommer således cirka 200 000–300 000 ton utsprängt berg per år att produceras. Till detta kommer bergmassor från utplaning av ytor för ovanjordsanläggningen och från eventuella väg- och järnvägsanslutningar. Dessa bergmassor kommer dock förmodligen att användas direkt som utfyllnad och liknande ändamål. De aktuella volymerna och vikterna sammanfattas i tabell 1. Beträffande volymer brukar man skilja mellan fast respektive löst mått, det vill säga volymen innan berget är bortsprängt respektive efter bortsprängning, då volymen ökar med en faktor cirka 1,5.

Som jämförelse till dessa mängder kan nämnas att man i samband med grundläggningsarbetena i Forsmark för reaktorbyggnaderna samt vid utförandet av kanaler, svallbassänger och de två kylvattentunnlarna schaktade ut totalt cirka 700 000 kubikmeter berg, varav cirka 370 000 kubikmeter från tunnlar och cirka 330 000 kubikmeter från ytobjekt. Senare byggdes Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR, varvid ytterligare 430 000 kubikmeter berg togs ut. Anläggningsarbetena vid Forsmark/SFR har därmed inneburit en utschaktning av cirka 1,1 miljoner kubikmeter berg att jämföra med de cirka 1–1,5 milj kubikmeter som totalt beräknas tas ut vid uppförande och drift av djupförvaret. Uttaget

Tabell 1. Volymer respektive vikter av utsprängda bergmassor vid olika skeden av djupförvarsetableringen

	Volymer (m ³)	Vikter (ton)
Totalt (fast mått)	1 000 000-1 500 000	3 000 000-5 000 000
Totalt (löst mått)	1 500 000-2 250 000	3 000 000-5 000 000
Under anläggningskedet, totalt (fast mått)	500 000-750 000	1 500 000-2 500 000
Under anläggningskedet, per år (fast mått)	83 000-150 000	250 000-500 000
Under driftskedet, totalt (fast mått)	500 000-750 000	1 500 000-2 500 000
Under driftskedet, per år (fast mått)	12 500-25 000	37 500-83 000

av bergmassor från djupförvaret sker dock under längre tid än för anläggningsarbetena vid Forsmark/SFR, varför det per år blir mindre bergmassor att hantera. Om bergmassorna inte nyttjas för andra ändamål är arealbehovet för upplag av bergmassor 15 hektar, dvs 500 x 300 meter.

Hantering av bergmassorna efter lossbrytning – miljöaspekter

Ända från den första förstudien i Storumans kommun har huvudalternativet varit att deponera överblivna bergmassor nära djupförvaret och mellanlagra de volymer som behövs för återfyllning. Tidigare fanns en osäkerhet i om bergkross kunde användas istället för kvartssand i blandningar för återfyll, en osäkerhet som delvis fortfarande kvarstår. Därför upptar deponeringsytan det område som behövs för allt berg från underjordsdelen.

Osäkerheten i användningen av bergkross gäller hur bergets innehåll av kalium kan lösas ut och spridas till bentoniten (det tätande materialet som efter deponeringen omger kapslarna), som då riskerar att omvandlas till icke svällande illitlera. Fortfarande behöver man av vetenskapliga skäl samla in information från försök i Äspölaboratoriet innan SKB kan lägga fast att bergkross ska användas för återfyllningen av djupförvaret.

Oavsett om bergkrossen används för återfyllning eller ej finns det troligen användning av överskottmassor som ballast lokalt eller regionalt, till exempel vid vägbyggen. Även export är tänkbart. Det kan noteras att efterfrågan på bergmassor har ökat som en följd av den alltmer restriktiva synen på nyttjande av naturgrus för bygg- och anläggningsändamål. I takt med att priset på bra ballast höjts, har också trycket på SKB ökat att göra massorna tillgängliga för allmänna byggen. I så fall skulle konsekvensen bli att den del av det lossbrutna berget som inte ska användas för återfyllning lastas på lastbil och fraktas till användaren. Krossning på platsen är inte nödvändigt, men sannolikt önskvärd.

Bergkrossen för återfyllen måste däremot krossas, och det behöver ske på platsen. Ovan jord är en krossanläggning belägen i det fria störande på grund av bullret, även om krossningen sker i perioder någon månad vartannat eller vart tredje år. Bättre ljudmiljö skapas om stationen byggs in eller sänks ner under markytan. Än bättre blir det om krossen placeras under jord, som i gruvor. Beträffande hantering av bergmassorna är en möjlig variant att hela volymen transporteras upp till markytan, deponeras tillfälligt i närheten av anläggningen, krossas, blandas med bentonit (och vatten) samt transporteras ner under jord igen. Utformningen av ett sådant tillfälligt bergupplag styrs av förhållandena på platsen. Exempel på detta ges i nästa avsnitt där olika lokaliseringalternativ för djupförvarets ovanjordsanläggning diskuteras. En annan, och ur vissa synvinklar rationellare hantering, vore att mellanlagra berget under jord samt att utföra alla aktiviteterna där.

Förutsättningarna för ett sådant upplägg utreds under år 2000 inom ramen för projektet med uppdatering av djupförvarets icke platsanpassade utformning (benämns Layout E inom SKB).

Sammantaget finns det goda möjligheter att utforma hanteringen av bergmassor från djupförvaret så att påverkan på miljön begränsas. En viss störning genom buller, avgaser och damm bedöms dock vara ofrånkomlig. Tillfälligt eller permanent lagrade bergmassor kommer främst att bestå av granit utan några nämnvärda halter av metaller eller andra miljöstörande ämnen. Skulle sådana mot förmodan förekomma i större halter, och om det rör sig om en längre tids lagring, måste läckage av miljöstörande ämnen till yt- och grundvattnet begränsas. Detta kan göras genom att man ökar tjockleken eller gör sammansättningen på det jordlager som bergmassorna täcks med tätare. Radontillskottet från djupförvarets sprängstensmassor bedöms vara litet jämfört med den naturliga radonavgången från omgivande terräng.

Hur hanteringen av bergmassor ska utformas kommer att diskuteras med kommunen och andra berörda och redovisas i den miljökonsekvensbeskrivning som ska bifogas en lokaliseringsansökan, om det blir aktuellt med att ansöka om ett djupförvar på den aktuella platsen. Där kommer det att framgå hur stor mängd av de uttagna massorna som kan nyttjas inom projektet för till exempel byggande av vägar, järnväg och hamn och som återfyllnadsmaterial i underjordsanläggningen. Vidare kommer hanteringen av de massor som inte nyttjas inom projektet att redovisas.

Hantering av bergmassor vid olika lokaliseringsalternativ

I den preliminära slutrapportens beskrivning av utformningen av djupförvarets industri-anläggning ovan jord (avsnitt 6.5) konstateras att det finns två tänkbara lägen för ovanjordsanläggningen vid Forsmark, läge A strax nordväst om kraftstationen, och läge B intill ovanjordsanläggningen för SFR. För läge A finns tillräckligt med mark för deponering av bergmassor väster om anläggningen. I SFR-alternativet (läge B) måste uppläggningsen av bergmassor hanteras annorlunda än vid läge A. Läget vid SFR är exponerat och landskapet är lågt och flackt. Höga kullar formade av sprängsten skulle där väsentligt ändra landskapsbilden. En lösning är att lägga upp det brutna berget på samma område som i läge A, alltså på ett separat upplag nordväst om kraftstationen. Alternativt kan bergmassorna lagras i bukten norr om SFR (intill öarna Stora och Lilla Asphällan) eller i viken mellan vågbrytarna. Massorna kan vid behov lastas och transporteras bort med gängse teknik. Ett tredje alternativ är, som ovan nämnts, att sälja av massorna eller delar av dessa, varvid upplagsproblemet minskar. Utskeppning kan ske direkt från hamnen.

Förstudie Östhammar

Miljöpåverkan från slutförvaret genom kemisk toxicitet

Fred Karlsson, SKB

Miljöpåverkan från slutförvaret genom kemisk toxicitet

Det mesta av säkerhetsarbetet är naturligtvis koncentrerat till de radioaktiva ämnena. Djupförvaret är tillskapat för att skydda både människan och naturen från dessa ämnen genom att hålla dem isolerade tills aktiviteten har avklingat. Utöver innehållet som är radiologiskt giftigt (toxiskt) är en del av ämnena i kapseln kemiskt giftiga. Vissa ämnen i det använda bränslet är såväl radiologiskt som kemiskt giftiga. I de flesta fall överväger dock den radiologiska giftigheten, sett ur ett riskperspektiv, varför säkerhetsanalyserna koncentrerats på den aspekten. Låt oss ett ögonblick bortse från de ämnen som är radiologiskt (och ibland även kemiskt) giftiga och i stället betrakta de som är enbart kemiskt toxiska.

I tabell 1 nedan ges en uppskattning av de viktigaste kemiskt giftiga ämnen som finns i en kapsel med utbränt bränsle då den levereras från inkapslingsstationen. Sett över mycket långa tidsrymder förändras bränslets sammansättning genom radioaktivt sönderfall. Den analys som gjorts i denna studie omfattar dock endast de kemiskt giftiga ämnen som från början finns i kapseln. För att uppskatta giftigheten har vi använt oss av riktlinjer för tillåten mängd av ämnet i dricksvatten.

Tabellen är en uppskattning. En del isotoper som egentligen inte är stabila har inkluderats och riktlinjerna är kanske inte helt aktuella. Men tabellen ger ändå en möjlighet att bedöma betydelsen av dessa grundämnen. Tabellen togs ursprungligen fram för den variant av kapsel som betraktades i säkerhetsanalysen SKB 91. Då ingick även bly som fyllning i kapseln. Detta har bytts ut mot en inre kapsel av segjärn istället. Underlaget till tabellen återfinns i SKB AR 91-31, se referenslistan.

Vi ser att koppar finns det mest av. Det är en del av kapseln helt enkelt. Koppar är inte särskilt giftigt. Man använder till exempel ofta kopparrör till varmvattenledningar.

Krom och nickel som anges i tabellen återfinns i bränsleelementens metalldelar av rostfritt stål och Inconell.

De övriga grundämnena i tabellen finns i det utbrända bränslet. De har bildats vid kärnklyvningen och ingår nu som föroreningar i det som är kvar av uranoxiden. Uranoxiden finns det fortfarande mest av och den utgör själva bränslematrisen. Kadmium är den

Tabell 1. Giftiga grundämnen i en kapsel med utbränt bränsle.

Grundämne	Mängd Kg	Riktvärde för max tillåten mängd i dricksvatten Mikrogram/liter
Silver	0,3	50
Barium	6,5	100
Kadmium	0,3	1
Krom	8,6	50
Nickel	10	50
Antimon	0,04	10
Selen	0,13	10
Uran	2000	20
Koppar	7500	1000

giftigaste metallen i tabellen, men den finns det endast lite av (cirka 0,3 kilogram). Väger man mängd mot giftighet är det uranet i bränslet som är en "värsting" med cirka två ton per kapsel och ganska lågt riktvärde för halt i dricksvatten.

När vi har kommit så här långt är det inte svårt att se att djupförvaret ger ett utomordentligt gott skydd även mot spridningen av kemiskt giftiga ämnen. Låt oss välja uranet som exempel och anta en skadad kapsel. Uranets löslighet i förvaret är ungefär de 20 mikrogram per liter som är gränsvärdet för dricksvatten. Men innan uran kan nå markytan eller hamna i en brunn sker en kraftig utspädning. Dessutom kan vi räkna med att mycket av uranet avsätter sig på vägen. Naturliga halter av uran i grundvattnet ligger vanligen under 1 mikrogram per liter, trots att uran är vanligt i granitiskt berg (exempelvis är 10 gram uran per ton berg inte ovanligt).

Andra ämnen kan vara lösligare än uran, till exempel kadmium, men detta ämne är uppblandat med uranet i hela kapseln, och för att lösa ut allt kadmium (0,3 kilogram) så måste 2 ton uran lösas upp. Det kräver enorma mängder vatten och följaktligen når kadmium aldrig i närheten av några gränsvärden. För att nu inte tala om den tid som krävs att laka bort allt uran.

Sammanfattningsvis kan därför konstateras att djupförvaret ger ett gott skydd mot spridning av kemiskt giftiga ämnen.

Finns det något annat som tillförs förvaret och kan klassas som kemiskt giftigt eller på annat sätt skadligt för miljön? Bygget och driften av anläggningen går naturligtvis inte helt spårlöst förbi. Maskiner och fordon ger till exempel upphov till avgaser och spill av oljor. Även detta har granskats men mest med omtanke om den kemiska miljön inuti förvaret som bör vara enkel och fri från komplicerade ämnen (bland annat för att underlätta säkerhetsanalysen). I övrigt skiljer sig inte detta från vad som gäller för normal byggverksamhet. Icke radiologisk miljöpåverkan behandlas i Systemredovisningen, SKB R-98-10.

Referenser

Wiborgh M, Markström A. "Compilation of potential toxic elements in a copper canister containing HLW."

SKB AR 91-31. Svensk Kärnbränslehantering AB, 1991.

SKB. "Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden."

SKB R-98-10 (sidorna 8-1 till 8-3), Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.

Förstudie Östhammar

Hur bristen på indata vid lokalisering av ett förvar under havet kan kompenseras med annan metodik

Kaj Ahlbom, SKB

Inledning

Kustlinjen är inte konstant över tiden. Genom förändringar av havsytans nivå och/eller genom landhöjning/sänkning torrläggs havsområden eller blötläggs landområden. Detta medför att kustlinjen förskjuts i den ena eller andra riktningen. Hastigheten i dessa processer varierar dock från område till område och från tid till annan. Som exempel kan nämnas att alla delar av Östhammars kommun som nu är land någon gång sedan istiden varit havstäckta och därefter legat (eller ligger) vid en kustlinje.

Brist på indata vid lokalisering av ett förvar under havet

Ett djupförvar för långlivat använt kärnbränsle, vilket måste hållas isolerat från biosfären under mycket långa tider, måste utformas så att det är säkert oavsett om det för tillfället är hav ovan den tilltänkta förvarsplatsen eller inte.

För att bedöma säkerheten och byggbarheten av ett djupförvar för använt kärnbränsle under havet behövs samma dataunderlag som för ett förvar under land. Den befintliga kunskapen om berggrunden under havet är av naturliga skäl ganska begränsad. Särskilt gäller detta för havstäckta urbergsområden med få eller inga öar. Uppgifter om faktorer av betydelse för ett djupförvar (jordarter, bergarter, malmpotential, deformationszoner, grundvattenrörelser, grundvattenkemi med mera) måste därför inhämtas från en kombination av olika typer av geofysiska mätningar, borrhningar och borrhålmätningar samt kompletteras med geologisk tolkning av resultaten.

Hur kan då undersökningarna utformas så att bristen på indata från havstäckta områden kompenseras? Om ett sådant område är aktuellt för en platsundersökning blir uppgiften inledningsvis att ta fram en geologisk karta med bergarter, deformationszoner och botten-sediment. Det är denna karta som kommer att utgöra underlaget för beslut om eventuella borrhningar och, i så fall, var inom kartområdet de skall göras. Förutom att använda befintlig information om havsbottentopografin och geologisk information från det närmaste

kustområdet och från eventuella öar och skär, måste undersökningen kompletteras med provtagning av lösa jordarter/sediment och geofysiska mätningar. Vad beträffar geofysiska metoder står följande i första hand till buds:

- Magnetiska mätningar.
- Refraktionsseismiska mätningar.
- Reflektionsseismiska mätningar.

Magnetiska anomalikartor från flygburna mätningar utförda av Sveriges geologiska undersökning, SGU, täcker redan idag stora delar av vårt lands kustområden. Dessa kartor ger ofta en god bild av var bergartsgränser och större deformationszoner är belägna. Där berggrunden är omagnetisk är möjligheterna att utnyttja kartorna mindre goda. Mer detaljerade data kan erhållas om kompletterande mätningar görs i ett tätare rutnät och på lägre höjd än som tillämpas generellt av SGU. Sådana kompletterande mätningar kan även göras från fartyg.

En annan möjlighet är så kallade refraktionsseismiska mätningar. Med dessa registreras akustiska vågors utbredning utefter berggrundens överyta. Där hastigheten på vågutbredningen är låg kan man förvänta sig en sprickzon i berggrunden. Även data om bottensedimentens typ och mäktighet erhålls. Denna geofysiska metod användes i förundersökningarna inför lokaliseringen av SFR-förvaret i Forsmark. När borrhål senare riktades mot tolkade sprickzoner konstaterades att de prognoser som upprättats från de seismiska mätningarna till stor del var riktiga. En nackdel med metoden är att den främst indikerar brantstående sprickzoner. Som för andra geofysiska metoder behöver mätdata tolkas innan de kan användas. Detta medför att resultaten alltid är behäftade med en viss grad av osäkerhet.

En annan seismisk metod är reflektionsseismik (kan närmast liknas vid avancerad ekolodning). En källa, exempelvis en sprängladdning eller elektrisk urladdning, alstrar en akustisk våg som fortplantas genom vattnet, bottensedimenten och berggrunden. Vågen reflekteras mot så kallade reflektorer, exempelvis olika typer av bottensediment, bergartsgränser eller sprickzoner. Metoden är särskilt lämplig där de geologiska förhållandena är regelbundna och kännetecknas av flackt liggande reflektorer. Sådana förhållanden är vanliga där sedimentära bergarter förekommer, och metoden är därför flitigt utnyttjad vid oljeprospektering. På senare år har reflektionsseismik även använts med lovande resultat i kristallin berggrund. En fördel är att metoden kan identifiera flacka sprickzoner, något som är svårt med andra geofysiska undersökningsmetoder. Bland annat har reflektionsseismiska mätningar utförts i typområdet vid Finnsjön i Tierps kommun. Mätningarna där påvisade tydligt en från borrhningar tidigare identifierad flack sprickzon.

Reflektionsseismiska mätningar från fartyg är vanligtvis enklare att utföra än landbaserade mätningar. Nackdelen är att det krävs fria vattenytor och ett visst vattendjup för att undvika att den del av mätutrustningen som bogseras efter fartyget fastnar i bottenstenar eller skär. Förmodligen är den långgrundna kust som finns i Norduppland, med många öar och skär, mindre lämplig för sådana mätningar.

Högupplösande marin reflektionsseismik, som är inriktad på undersökning av bottensedimentens typ och mäktighet, utförs rutinmässigt av bland annat SGU. Eftersom dessa undersökningar är inriktade i första hand på bottensedimentens karaktär saknas vanligtvis information om reflektorer i den underliggande berggrunden. Det finns även högupplösande ekolodning som ger en detaljerad bild av havsbottentopografin både under mätartyget och utåt sidorna. Dessa bilder kan på liknande sätt som en topografisk karta på land användas för att tolka var deformationszoner kan förväntas.

Slutsatser

Genom att komplettera befintlig geologisk information med magnetiska och seismiska mätningar kan en användbar geologisk karta tas fram över ett havstäckt område. Eftersom kartan baseras på indirekta observationer måste den kontrolleras med borrhningar från plattformar på liknande sätt som gjordes inför lokaliseringen av SFR-lagret. För kunskap om egenskaper och förhållanden på större djup i berggrunden krävs mätningar i djupa borrhål på motsvarande sätt som för ett förvar under land.

Referenser

Sturgeon L. Application of high resolution geophysical surveys for offshore site investigation.
SKB PR-44-92-005, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1992.

Förstudie Östhammar

Osäkerheten i förutsägelseerna om samhällsutvecklingen i långsiktigt perspektiv

Stig Björne, EuroFutures

Osäkerheter kring prognoser

Att göra prognoser över samhällsutvecklingen är förenat med stora osäkerheter. Det tidsperspektiv som studerats i förstudien spänner över ett halvt sekel, från nutid till mitten av nästa århundrade. Den långa prognostiden motiveras av de direkta och indirekta effekter som kan skönjas före, under och efter den ungefärliga femtioårsperioden under vilken djupförvarsanläggningen planeras, etableras, drivs och eventuellt försluts. Bedömningar av samhällsutvecklingen i ett så långt tidsperspektiv är självfallet förenade med stora osäkerheter. Den framtidsbedömning som skisseras i förstudien har en god förankring i den moderna synen på vilka faktorer som driver samhällsutvecklingen, men är ändå bara ett av många tänkbara alternativ. Genom att titta 50 år tillbaka i tiden och analysera utvecklingen fram till i dag får man en uppfattning om svårigheterna att förutse olika händelser och utvecklingsprocesser som påverkat utvecklingen.

Utvecklingen i till exempel Östhammars kommun påverkas av ett nästan oändligt antal faktorer. I en prognos måste dessa reduceras till ett fåtal mätbara variabler för att det överhuvudtaget ska vara möjligt att göra en prognos.

Prognoserna för Östhammar bygger på den historiska befolknings- och sysselsättningsutvecklingen och på vissa strukturfaktorer såsom närhet till högre utbildning, infrastruktur och befolknings-/arbetsplatstäthet. Dessa faktorer är förhållandevis stabila vilket gör att de inte förändras kraftigt över en kortare tid. Därför går det också att göra prognoser med hjälp av dessa. Det kvarstår ändå vissa osäkerheter i prognoserna över befolknings- och sysselsättningsutvecklingen som utredarna har hanterat genom att presentera två olika alternativ över utvecklingen. Den faktiska utvecklingen kommer möjligen inte att överensstämma exakt med något av prognosalternativen, men kommer sannolikt att ligga någonstans i närheten av dessa.

De faktorer man inte kan hantera i prognoser är olika specifika beslut och händelser i omvärlden, så kallade trendbrott. Om till exempel en företagsledare för ett stort företag bestämmer att man ska lokalisera ett större företag till Östhammars kommun kan det långsiktigt betyda att kommunen får en mer positiv utveckling än vad som annars skulle vara fallet. Det omvända kan vara att olika politiska beslut medför att exempelvis den svenska kärnkraften ska avvecklas i förtid (i förhållande till teknisk livslängd), vilket medför att Östhammar skulle få en mer negativ utveckling än om kärnkraften finns kvar under längre tid.