



SKB rapport R-97-03

December 1996

Parametrar av betydelse att bestämma vid geovetenskaplig platsundersökning

Johan Andersson, QuantiSci AB
Karl-Erik Almén, KEA GEO-Konsult AB
Lars O Ericsson, SKB
Anders Fredriksson, ADG Grundteknik KB
Fred Karlsson, SKB
Roy Stanfors, Roy Stanfors Consulting AB
Anders Ström, SKB



SKB, Box 5864, 102 40 Stockholm
Telefon 08-665 28 00 • Telefax 08-661 57 19 • Telex 13108 S

PARAMETRAR AV BETYDELSE ATT BESTÄMMA VID GEOVETENSKAPLIG PLATSUNDERSÖKNING

Johan Andersson¹, Karl-Erik Almén², Lars O Ericsson³,
Anders Fredriksson⁴, Fred Karlsson³, Roy Stanfors⁵,
Anders Ström³

- | | |
|---|----------------------------|
| 1 | QuantiSci AB |
| 2 | KEA GEO-Konsult AB |
| 3 | SKB |
| 4 | ADG Grundteknik KB |
| 5 | Roy Stanfors Consulting AB |

December 1996

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

FÖRORD

En grundläggande förutsättning vid SKB:s arbete med att lokalisera, bygga och ta i drift ett djupförvar för radioaktivt avfall är den långsiktiga säkerheten. Denna säkerhet bygger på såväl det använda bränslets egenskaper, de tekniska barriärernas funktion som på berggrundens egenskaper. Betydelsen av de geologiska förhållandena för djupförvarets långsiktiga funktion och radiologiska säkerhet analyseras och utvärderas i flera steg. I det inledande lokaliseringsarbetet, översiktsstudier och förstudier, görs översiktliga bedömningar om de grundläggande förutsättningarna för ett djupförvar. Därpå följer platsundersökningar som ska leda till en preliminär bekräftelse av om en plats är lämplig, samt en preliminär anpassning av djupförvarets layout till bergets egenskaper. Vid detaljundersökning och förvarsutbyggnad görs den slutliga utvärderingen av djupförvarets säkerhet i sin helhet. Därvid anpassas förvarets detaljutformning på lämpligt sätt till förhållandena i berggrunden.

Innan SKB inleder platsundersökningar, på minst två områden, kommer ett undersökningsprogram att presenteras som beskriver hur undersökningarna ska bedrivas och hur resultaten kommer att användas vid utvärdering av platser. Här menas framförallt de geovetenskapliga undersökningarna eftersom dessa kommer att dominera under detta lokaliseringsskede.

Föreliggande rapport presenterar betydelsen av geovetenskaplig information för ett djupförvar. Meningen är att på ett pedagogiskt sätt strukturera hur geovetenskapliga egenskaper och förhållanden på ett eller annat sätt har betydelse för djupförvarets säkerhetsfunktion, för bergprojekteringen eller för den grundläggande geovetenskapliga förståelsen. Rapporten utgör underlag för planering av de geovetenskapliga undersökningar som i steg kommer att utvärdera och precisera djupförvarets lokalisering och utformning. I synnerhet för platsundersökningarnas vidkommande utgör rapporten ett viktigt underlag för den pågående programskrivningen.

Rapportens innehåll bygger huvudsakligen på redan identifierade parameterbehov och vedertagna bedömningar om informationens betydelse för djupförvaret. I vissa fall kan gjorda värderingar vara av mera subjektiv art. I takt med att SKB tar fram ny information inom området kommer även delar av rapportens innehåll att bli föremål för omarbetning eller precisering. Detta begränsar dock inte rapportens betydelse som underlag för planering av geovetenskapliga undersökningar.

SAMMANFATTNING

Detta dokument identifierar och beskriver geovetenskapliga parametrar som är av betydelse att känna till för att kunna genomföra funktions- och säkerhetsanalyser av ett djupförvar för använt kärnbränsle, baserat på den information som kan erhållas från en platsundersökning. Dokumentet diskuterar också databehov för bergprojektering och databehov för beskrivning av övriga miljöaspekter. Denna information utgör tillsammans med en planerad beskrivning av mät-, tolknings- och analysmetoder ett väsentligt underlag för det geovetenskapliga platsundersökningsprogrammet.

Det är också en avsikt att detta dokument ska kunna utnyttjas som underlag för att precisera de acceptanskriterier mot vilka en plats utvärderas. Därvid kontrolleras att de i detta dokument identifierade parametrar omfattar de s.k. lokaliseringsfaktorer som redovisats vid kompletteringen av FUD-Program 92 (SKB, 1994) även om vissa parametrar omformuleras, beskrivs mer detaljerat, eller tillkommer. Dokumentet söker desutom ge en närmare beskrivning av hur olika parametrar inverkar på säkerhetsfunktionen, och hur de faktiskt utvärderas.

Slutligen är ett kompletterande mål att tydliggöra den informationsbehandling som sker med data för att dessa ska kunna utnyttjas vid utvärderingen av en plats lämplighet. Tydliggörandet har dels varit nödvändigt för att komma fram till meningsfulla parametrar men bör dessutom kunna tjäna som (del)underlag för planering av kommande platsutvärdering. En planering av informationsbehandlingen behövs inte minst eftersom denna bidrar med underlag till etappindelning och meningsfulla tidsplaner för det geovetenskapliga undersökningsprogrammet.

Arbetet har i stor utsträckning gått ut på att dokumentera och sammanställa *redan identifierade* parameterbehov, informationskanaler och informationsbehandlingar inom ämnesområdena *geologi, bergmekanik, termiska egenskaper, hydrogeologi, geokemi och transportegenskaper*. Dokumentet söker:

- tydliggöra vilka parametrar som är av central betydelse i modeller för funktions och säkerhetsanalys samt övrig utvärdering och tydliggöra hur dessa parametrar härleds från en geovetenskaplig modellbeskrivning,
- identifiera vilka geovetenskapliga parametrar som behövs för att kunna bygga en modell som kan leverera information enligt ovan,
- diskutera för identifierade parametrar, hur parametern används, vilken betydelse den har, vilken precision som krävs (eller är rimlig att förvänta sig) och vilka platsspecifika mätningar som kan komma att utnyttjas för att bestäma parametern.

Syftet med en geologisk modell är att så verklighetsnära som möjligt (eller nödvändigt) beskriva jordtäcket och bergmassans egenskaper inom ett givet område. Den geologiska modellen utnyttjas i regel inte direkt för säkerhetsvärderingen utan används i första hand som underlag (indata) i de bergmekaniska, hydrogeologiska och geokemiska modellerna. Den geologiska

modellen utgör dessutom basen för den geovetenskapliga förståelsen av en plats. De geologiska parametrarna som behövs för den geologiska modellen kan delas in i topografi, jordartsbeskrivning, litologi och strukturgeologi.

Utvärderingen av den mekaniska stabiliteten innefattar analys av långsiktig mekanisk stabilitet för förvarets tunnlar och känslighet mot storskaliga förändringar i lastsituationen (t ex en nedisning), utvärdering av stabilitet i närområdet, både under drift och på lång sikt, kopplat med analys av lämplig utformning av deponeringsorter och deponeringshål, utvärdering av stabilitet vid dynamisk belastning t ex jordbävning, långsiktig mekanisk påverkan på grundvattenströmningen (främst i närområdet) samt bygganalys. Den bergmekaniska informationen kan delas in i geometri för diskontinuiteter, mekaniska egenskaper för sprickor, mekaniska egenskaper för intakt berg, mekaniska egenskaper för bergmassa, densitet och termiska data, samt randvillkor och stödjande data.

Temperaturen och temperaturfördelningen är fundamentala tillståndparametrar i djupförvaret och inverkar direkt på förvarets layout. Temperaturen påverkar den mekaniska miljön, grundvattenströmningen och den kemiska/biologiska miljön, även om påverkan är relativt måttlig inom de temperaturintervall som normalt får anses råda i djupförvaret. Temperaturparametrar innefattar termiska egenskaper för berget samt temperaturer.

Hydrogeologiska modeller har flera användningsområden inom säkerhetsanalys och aktiviteter som stöder säkerhetsanalys. En hydrogeologisk förståelse behöver också byggas upp för att förklara långsiktiga geokemiska förändringar och kopplade hydrauliska- och bergmekaniska fenomen. Dessa användningsområden är knutna till olika skalor och behovet av indata är något olika för dessa behov. I korthet används modeller (eller kan användas) för hydrogeologisk förståelse, randvillkor för detaljerade modeller, prediktioner av storskaliga förändringar i grundvattenkemi m.m., prediktioner av inflöde under byggtid, och återmättnad efter förslutning, indata till migrationsmodeller, indata (flöde) till närområdesmodeller (närområdesflöden), indata till biosfärsmodeller, samt utvärdering av (andra) ytnära miljökonsekvenser (mark- och miljö). Hydrogeologiska parametrar innefattar geometri, permeabilitetsfördelning m.m. för både deterministiskt och stokastiskt representerade diskontinuiteter, grundvattnets hydrauliska egenskaper, hydrauliska egenskaper för jordlagren, samt randvillkor och stödjande data.

Beskrivningen av vattenkemin på den plats och det djup som är aktuellt för förvaret utgör en viktig del av en säkerhetsanalys. Vattensammansättningen används sedan för att värdera olika processer av betydelse för säkerheten eller som direkta indata för beräkningar, t ex till de beräkningar av löslighet och speciering av radionuklider som brukar vara med i en säkerhetsanalys. Den vattensammansättning som används för att göra bedömningar sådana behöver dock inte vara helt identisk med den grundvattenkemi som uppmäts. En geokemisk modell, som i princip klarar av att beskriva den kemiska sammansättningen av grundvattnet i olika delar av berget och hur denna kemiska sammansättning kommer att utvecklas, behöver upprättas.

Grundvattenkemin har sammanfattningsvis betydelse för bedömning av korrosion av kapseln, bentonitfunktion, bränsleupplösning och lösligheter, radionuklidretention samt geovetenskaplig förståelse. Olika delar av grundvattnets sammansättning har olika betydelse för dessa funktioner.

De transportmodeller som används inom säkerhetsanalysen hämtar till stor del sina data från den geovetenskapliga beskrivningen av hydrogeologi och geokemi. Modellkoncepten är ofta direkt anpassade till ett säkerhetsanalytiskt synsätt där faktiska, men svårkaraktäriserade, mekanismer förenklas i konservativ riktning. Det kan därför diskuteras om nuklidtransportmodeller utgör en del av den geovetenskapliga beskrivningen, eller om modellerna snarare bygger på densamma. Å andra sidan ställer transportmodellering nya krav på platspecifika data som inte automatiskt tillgodoses av den hydrogeologiska eller geokemiska beskrivningen. Databehovet för transportmodelleringen innefattar egenskaper i närområdesskala, egenskaper för strömvägar (t ex darcyflöde och flödesvätt yta), egenskaper längs strömvägar (t ex matrisdiffusivitet, sorption), egenskaper för jordlagren samt stödjande data (som spår försök och grundvattenkemiska analyser).

Slutligen konstateras att det föreliggande dokumentet kan ge en utgångspunkt för:

- en beskrivning av mät-, tolknings- och analysmetoder
- en beskrivning av hur data analyseras i säkerhets- och funktionsanalyser och behov av återkoppling till platsundersökningsprogrammet
- en diskussion om mer preciserade platsvals faktorer
- en diskussion om i vilken logisk ordningsföljd olika mätningar behöver genomföras både med avseende på behov av indata och inverkan på andra mätningar.

Denna information bör tillsammans utgöra ett väsentligt underlag för planeringen av ett geovetenskapligt platsundersökningsprogram. Det bör också poängteras att det föreliggande dokumentet behöver vara "levande" och bör uppdateras till exempel baserat på erfarenheter från SR-97. Detta får dock inte hindra att dokumentet även i föreliggande form utnyttjas för nödvändig planering.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING	1
1.1 Syfte och uppläggning av arbetet	1
1.1.1 Syfte.....	1
1.1.2 Begreppet "parameter"	4
1.1.3 Uppläggning av arbetet	4
1.2 Funktions- och säkerhetsanalys	5
1.2.1 Parametrar vid beräkningar i funktions- och säkerhetsanalyser.....	6
1.2.2 Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer	6
1.3 Parametrar för en geovetenskaplig modellbeskrivning	7
1.3.1 Geovetenskapliga parametrar av betydelse för långsiktigt funktion, radiologisk säkerhet, och geovetenskaplig förståelse	7
1.3.2 Databehov vid bergprojektering.....	10
1.3.3 Övriga miljöaspekter	10
1.3.4 Värdering av parametrar	10
1.4 Mätmetoder.....	11
1.4.1 Koppling mellan mätmetoder och möjliga parametrar och generiska data	11
1.4.2 Val av mätmetod - geovetenskapligt undersökningsprogram	12
2 GEOLOGI	17
2.1 Översikt av parametrar, metoder och användningsområden	17
2.2 Modeller och användningsområden.....	18
2.2.1 Geologisk utvecklingsmodell	19
2.2.2 Jordartsmodell.....	19
2.2.3 Litologisk modell.....	19
2.2.4 Strukturgeologisk modell	19
2.2.5 Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer	22
2.3 Topografi	22
2.4 Jordarter - fördelning	23
2.5 Litologi och bergartsbeskrivning.....	23
2.6 Plastiska strukturer	25
2.7 Rupturella strukturer	25
2.7.1 Nomenklatur.....	26
2.7.2 Regionala och lokala diskontinuiteter	26
2.7.3 Lokala mindre diskontinuiteter	27
2.7.4 Enskilda sprickor	29
2.7.5 Mätmetoder	29
3 BERGMEKANIK - MEKANISK STABILITET	31
3.1 Översikt av parametrar, metoder och användningsområden	31
3.2 Modeller och användningsområden.....	31
3.2.1 Mekanisk stabilitet i förvarsskala och termisk belastning	32
3.2.2 Stabilitet i närområdet, designfrågor.....	34
3.2.3 Bedömning av hydromekaniska kopplingar.....	34
3.2.4 Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer	34
3.3 Diskontinuiteter	35
3.4 Mekaniska egenskaper för sprickor i olika bergmassor.....	37
3.4.1 Deformationsegenskaper	37
3.4.2 Hållfasthet.....	37
3.4.3 Värdering, mätmetoder och krav på precision	37
3.5 Mekaniska egenskaper för intakt berg i olika bergmassor	38
3.5.1 Deformationsegenskaper	38

3.5.2 Hållfasthet.....	38
3.5.3 Värdering, mätmetoder och krav på precision.....	39
3.5.4 Inträngningsindex, slittegenskaper och sprängbarhet.....	39
3.6 Mekaniska egenskaper för olika bergmassor.....	39
3.6.1 Deformationsegenskaper.....	40
3.6.2 Hållfasthet.....	40
3.7 Densitet och termiska egenskaper.....	41
3.8 Randvillkor och stödjande data.....	41
3.8.1 Bergspänningar.....	41
3.8.2 Laster.....	43
3.8.3 Identifierade deformationer och seismisk aktivitet.....	43
4 TERMISKA EGENSKAPER.....	45
4.1 Översikt av parametrar, metoder och användningsområden.....	45
4.2 Modeller och användningsområden.....	45
4.2.1 Modellering av termisk utveckling.....	45
4.2.2 Mekanisk, hydrologisk och kemisk påverkan av temperaturen.....	47
4.2.3 Design och layout.....	47
4.2.4 Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer.....	48
4.3 Parametrar.....	48
4.3.1 Bergets termiska egenskaper.....	48
4.3.2 Temperaturer.....	49
5 HYDROGEOLOGI.....	51
5.1 Översikt av parametrar, mätmetoder och användningsområden.....	51
5.2 Modeller och användningsområden.....	52
5.2.1 Hydrogeologisk förståelse, randvillkor och regionala förändringar.....	52
5.2.2 Inflöde under byggtid och återmättnad.....	52
5.2.3 Indata till migrationsmodeller.....	54
5.2.4 Källtermsberäkningar.....	54
5.2.5 Indata till biosfärmodeller.....	55
5.2.6 Andra ytnära miljökonsekvenser.....	56
5.2.7 Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer.....	56
5.3 Hydrauliska egenskaper hos modellerade diskontinuiteter.....	57
5.3.1 Diskontinuiteter.....	57
5.3.2 Diskontinuiteternas permeabilitetsfördelning.....	58
5.3.3 "Flödesporositet och "magasinskoefficient".....	61
5.4 Hydrauliska egenskaper för bergmassan mellan deterministiskt modellerade diskontinuiteter.....	62
5.4.1 Statistisk beskrivning av diskontinuiteter.....	62
5.4.2 Permeabilitetsfördelning.....	63
5.4.3 Flödesporositet, magasin-koefficient, kompressibilitet.....	65
5.5 Grundvattnets hydrauliska egenskaper.....	65
5.6 Hydrogeologiska data för jordlagren.....	66
5.7 Randvillkor och stödjande data.....	67
5.7.1 Regionala randvillkor, historisk och framtida utveckling.....	67
5.7.2 Tryck- och tryckhöjd.....	68
5.7.3 In- och utströmningsområden.....	70
5.7.4 Storskaliga spår försök.....	70
5.7.5 Grundvattenflöde i borrhål.....	71
6 KEMI.....	73
6.1 Översikt av parametrar, mätmetoder och användningsområden.....	73
6.2 Modeller och användningsområden.....	73

6.2.1	<i>Bedömning av förvarsfunktion</i>	75
6.2.2	<i>Grundvattenkemisk modell</i>	75
6.2.3	<i>Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer</i>	76
6.3	Grundvattenkemi i förvarsområdet	77
6.3.1	<i>Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för kapseln</i>	77
6.3.2	<i>Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för bentoniten</i>	78
6.3.3	<i>Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för bränsleupplösning</i>	79
6.4	Grundvattenkemi längs flödesvägar - radionuklidretention	80
6.5	Vattenkemi för geovetenskaplig förståelse	80
6.6	Kvalitet och krav på upplösning för de grundvattenkemiska data	82
7	RETENTIONSEGENSKAPER - RADIONUKLIDTRANSPORT	83
7.1	Översikt av parametrar, mätmetoder och användningsområden	83
7.2	Modeller och användningsområden	84
7.2.1	<i>Transport i närområdet</i>	84
7.2.2	<i>Transport av radionuklider som frigjorts från förvaret</i>	84
7.2.3	<i>Transport i biosfären</i>	86
7.2.4	<i>Uteslutande av andra transportmekanismer</i>	87
7.2.5	<i>Bedömning om förändringar av grundvattenkemi</i>	87
7.2.6	<i>Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer</i>	87
7.3	Egenskaper i närområdesskala	87
7.4	Egenskaper strömningsvägar	88
7.4.1	<i>Strömvägar, grundvattenflöde, dispersion och porositet</i>	89
7.4.2	<i>Effektiva kontaktytan mellan strömmande vatten och bergmassan</i>	90
7.4.3	<i>Värdering, behov av precision och mätmetoder</i>	90
7.5	Bergmassans retentionsegenskaper längs strömningsvägar	92
7.5.1	<i>Sorption</i>	92
7.5.2	<i>Matrisdiffusivitet, matrisporositet och maximalt penetrationsdjup</i>	92
7.5.3	<i>Värdering, mätmetoder och behov av upplösning</i>	92
7.6	Transportparametrar i jordlagren/recipienter	94
7.7	Stödjande data	94
7.7.1	<i>Geokemisk karakterisering av sprickfyllnad, sidoberg och grundvatten</i>	94
7.7.2	<i>Spårförsök</i>	95
7.7.3	<i>Grundvattenkemi och skattning av kolloider, gas m.m.</i>	96
8	SLUTSATSER	97
9	REFERENSER	99
	APPENDIX A:X	105
Appendix A:1	Geologi	
Appendix A:2	Bergmekanik	
Appendix A:3	Termiska egenskaper	
Appendix A:4	Hydrogeologi	
Appendix A:5	Kemi	
Appendix A:6	Transportegenskaper	

1 INLEDNING

Detta dokument identifierar och beskriver geovetenskapliga parametrar som är av betydelse att känna till för att kunna genomföra funktions- och säkerhetsanalyser av ett djupförvar för använt kärnbränsle, baserat på den information som kan erhållas från en platsundersökning. Dokumentet diskuterar också databehov för bergprojektering och databehov för beskrivning av övriga miljöaspekter. I dokumentet diskuteras värderingen av de olika parametrarna. Dokumentet har tagits fram av en arbetsgrupp, bestående av författarna och olika handläggare på SKB, och utgör ett led i planeringen av ett geovetenskapligt undersökningsprogram vid de platser som kommer att bli föremål för platsundersökningar.

1.1 Syfte och uppläggning av arbetet

1.1.1 Syfte

Målen för arbetet som redovisas i denna rapport kan direkt härledas från SKBs pågående FUD Program (FUD-95, SKB, 1995a). I detta anges att ett *geovetenskapligt platsundersökningsprogram* ska tas fram innan en platsundersökning startar. Detta program ska bl a "ange mål, mätmetoder, utvärderingsmetodik liksom de acceptanskriterier mot vilka platsen utvärderas". Det poängteras att platsutvärdering är ett samlingsbegrepp för en interaktiv process med olika delar, som illustreras i figur 1.1.

I denna rapport:

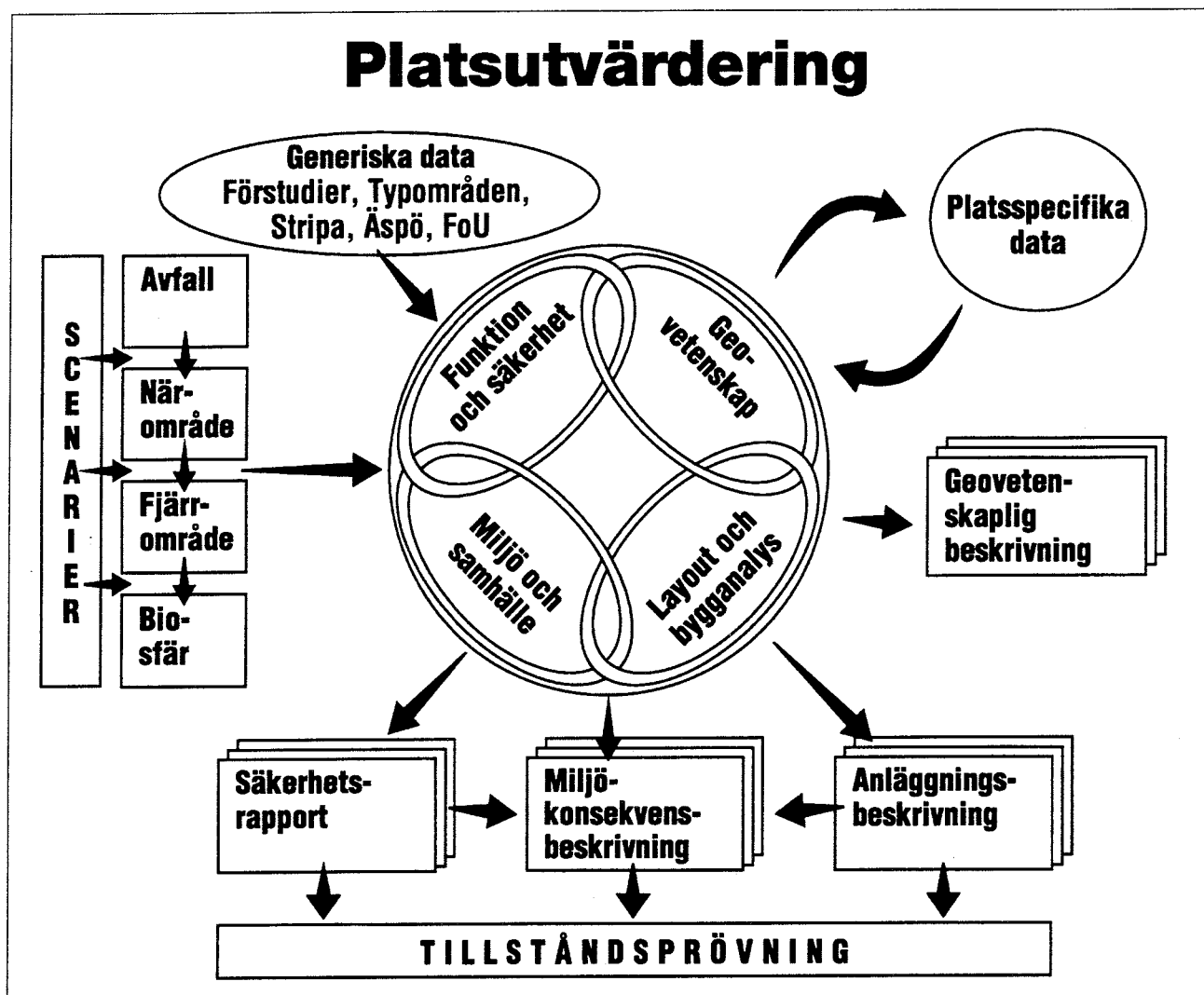
- identifieras, beskrivs och värderas geovetenskapliga "parametrar" (se nästa avsnitt) som är av betydelse att känna till för att kunna genomföra *funktions- och säkerhetsanalyser* av ett djupförvar baserat på den information som kan erhållas från en platsundersökning,
- redovisas och diskuteras databehov för *bergprojektering*,
- redovisas och diskuteras och databehov för beskrivning av *övriga miljöaspekter*,
- redovisas övrigt databehov för analys och generell *förståelse av geovetenskapliga förhållanden*.

Figur 1.2 illustrerar hur denna information tillsammans med en planerad beskrivning av mät-, tolknings- och analysmetoder utgör ett väsentligt underlag för det geovetenskapliga undersökningsprogrammet.

Det är också en avsikt att detta dokument ska kunna utnyttjas som:

- underlag för att precisera de acceptanskriterier mot vilka en plats utvärderas.

Därvid kontrolleras att de i detta dokument identifierade parametrar omfattar de s.k. lokaliseringsfaktorer som redovisats vid kompletteringen av FUD-Program 92 (SKB, 1994) även om vissa parametrar omformuleras, beskrivs mer detaljerat, eller tillkommer.

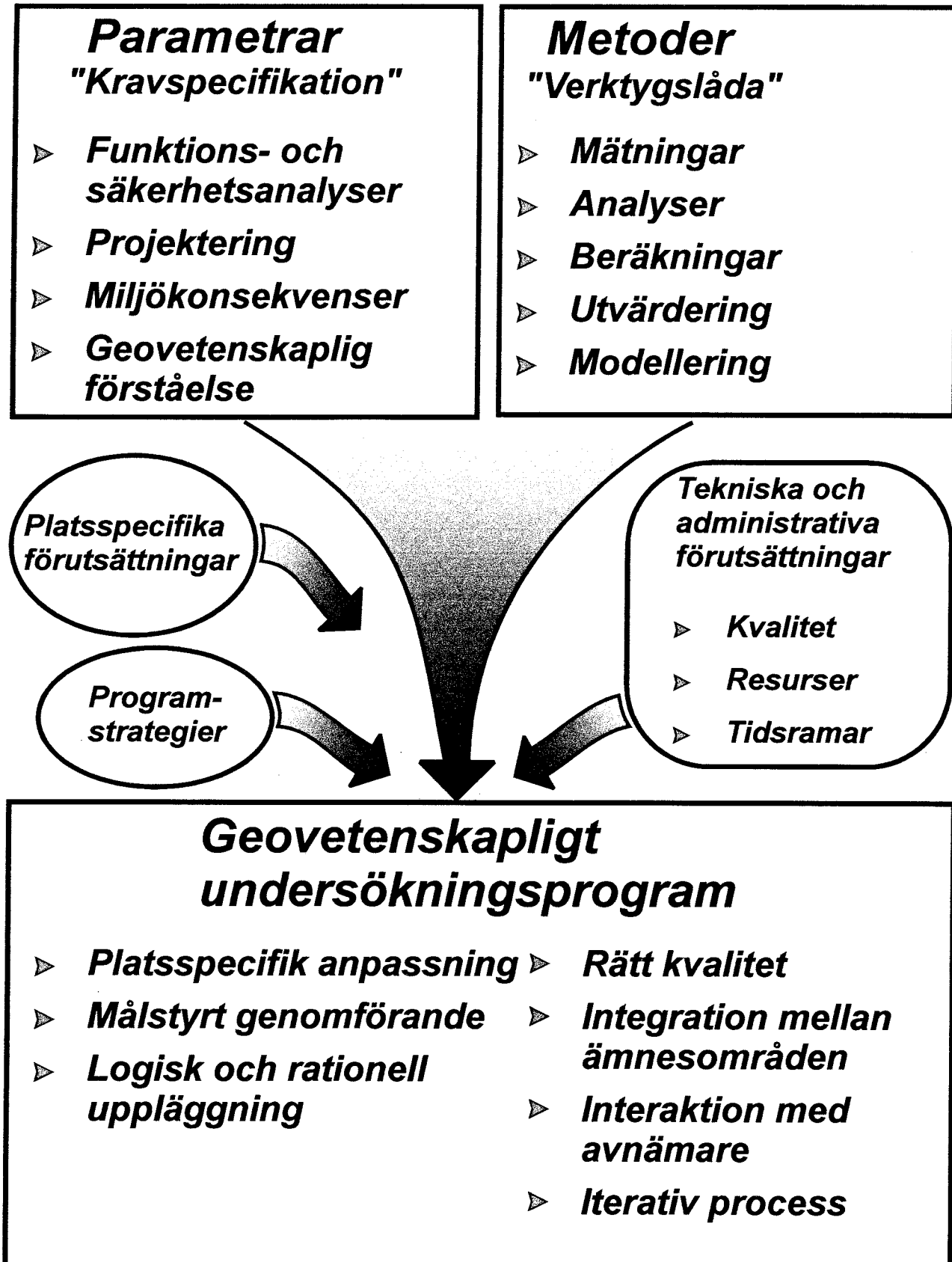


Figur 1-1. Omfattning av en platsutvärdering (från SKB FUD95).

Dokumentet söker dessutom ge:

- en närmare beskrivning av hur olika parametrar inverkar på säkerhetsfunktionen, och hur de utvärderas.

Slutligen är ett kompletterande mål att tydliggöra den informationsbehandling som sker med data för att dessa ska kunna utnyttjas vid utvärderingen av en plats lämplighet. Tydliggörandet har dels varit nödvändigt för att komma fram till meningsfulla parametrar men borde dessutom tjäna som (del)underlag för planering av kommande platsutvärdering. En planering av informationsbehandlingen behövs inte minst eftersom denna ger underlag till etappindelning och meningsfulla tidsplaner även för det geovetenskapliga undersökningsprogrammet.



Figur 1-2. Schematisk beskrivning av det underlag som behöver tas fram för ett geovetenskapligt undersökningsprogram. Denna rapport motsvarar i princip rutan "parametrar".

1.1.2 Begreppet "parameter"

I arbetet har begreppet parameter getts en mycket vid tolkning och kan inte direkt översättas till specifika data för en given konceptuell modell. Inom Äspö-projektet har Olsson et al., (1994) tagit fram en gemensam struktur för hur olika modeller ska redovisas och beskrivas, där en modell kan delas in i *konceptuell model*, *data* och *matematiska verktyg*. Den konceptuella modellen avser den geometriska konfigurationen och beskrivningen av ingående processer, medan data används för kvantifiering av den konceptuella modellen. Den konceptuella modellen anger med andra ord hur modellen är konstruerad och innehåller inga data.

Vid planeringen av ett platsundersökningsprogram infinner sig svårigheten att platsundersökningen bara delvis kan syfta till att direkt ta fram data till givna konceptuella modeller, den syftar även till att identifiera konceptuella modeller. I vissa fall kan även alternativa konceptuella modeller vara tillämpliga och utförda mätningar ska då kunna användas till att bestämma data till de olika konceptuella modellerna. Ett planeringsdokument av detta slag kan inte ensidigt beskriva indatabehov för specifika konceptuella modeller för de fall dessa oklarheter råder. För de fall där det kan antas råda osäkerhet om vilken konceptuell modell som bör användas ges därför begreppet parameter, i detta dokument, en mer generell betydelse så att de fysikaliska/kemiska förhållanden som avses kan beskrivas med olika tänkbara konceptuella ansatser. I regel diskuteras härvid också med vilka olika data parametern beskrivs i olika konceptuella modeller.

1.1.3 Uppläggning av arbetet

För att kunna upprätta och värdera parameterlistorna har arbetsgruppen - av de skäl som framförs nedan - funnit det väsentligt att skilja mellan *utvärderingen* av om plats är lämplig, den information som behövs för att bygga upp en *geovetenskaplig modell* av en plats och de data som kan erhållas från praktiskt tillgängliga *mätmetoder*.

- En *geovetenskaplig modell* av en plats bör vara en så objektiv som möjligt beskrivning av vad man känner till, inklusive osäkerheter, av platsens egenskaper utifrån gjorda mätningar. Ett viktigt inslag i en platsundersökning och framtagandet av en geovetenskaplig modell är att kombinera information från olika mätmetoder, men även från olika ämnesområden, för att ta fram en konsistent bild av hur platsen ser ut. I detta arbete är det inte möjligt att använda förenklingar och konservativa antaganden, utan brist på information får här hanteras som osäkerheter. Med den geovetenskapliga modellen som utgångspunkt görs sedan förenklingar vid utvärderingen av platsens lämplighet enligt ovan. Värderingen av en geovetenskaplig parameter behöver därför ofta ske i olika steg. Parametern är uppenbarligen väsentlig om den direkt påverkar parametrar som används vid säkerhets- och funktionsanalys, men en parameter kan också vara väsentlig om den är en viktig del i uppbyggandet av en geovetenskaplig modell. Den huvudsakliga tyngpunkten i det

föreliggande dokumentet är att närmare *beskriva* och *värdera* de *identifierade* geovetenskapliga parametrarna.

- *Utvärderingen* om en plats lämplighet och i synnerhet modeller för funktions- och säkerhetsanalyser använder endast undantagsvis direkt uppmätta data. I regel används parametrar som erhållits från en geovetenskaplig modell av platsen. Vid utvärderingen görs dessutom förenklingar och konservativa antaganden eftersom utvärderingen görs för att skapa underlag till beslut. En eller ett fåtal kritiska parametrar i säkerhetsanalysen kan därför bygga på sammanvägd information från ett stort antal geovetenskapliga parametrar. Även begrepp som används vid anpassning av förvarets utformning, till exempel "förvarsdiskriminerande diskontinuiteter", utgör sammanvägda tolkningar av den geovetenskapliga modellen. Tolkningarna kan dessutom bygga på resultat från säkerhetsanalysen. I rapporten diskuteras metoder och modeller för utvärdering under rubriken *modeller och användningsområden* för respektive geovetenskapligt ämnesområde.
- Få geovetenskapliga parametrar kan mätas direkt. Detta ger upphov till olika fel, dels mätfel, men framförallt uppskalningsproblem och konceptuella osäkerheter. Relevansen hos olika geovetenskapliga parametrar behöver därför sättas i relation till de tillgängliga mät- och utvärderingsmetoder som finns för att bestämma parametern. För att belysa detta samband kommenterar dokumentet, i vissa fall, mätmetoder i samband med parameterbeskrivningen även om planeringen av mätprogrammet kommer att redovisas i kommande dokument.

Sammanfattningsvis kan alltså konstateras att hur berget ska beskrivas och vilka parameterer som ska användas beror på syftet med beskrivningen. Dessutom är i regel olika personer ansvariga för att utforma förvar, genomföra säkerhetsanalytiska beräkningar och att tolka mätningar från en plats till en geovetenskaplig modell.

Arbetsgruppen har sökt utgå från det informationsbehov som finns redovisat i publicerade dokument om säkerhetsvärdering, främst SR-95, även om annan information också har utnyttjats. Arbetet har därmed i stor utsträckning gått ut på att dokumentera och sammanställa *redan identifierade* parameterbehov, informationskanaler och informationsbehandlingar. En gemensam sammanställning av sådan information verkar dock inte hittills ha genomförts. I det fall redan dokumenterad värdering saknas grundas de i dokumentet redovisade värderingarna på bedömningar av arbetsgruppens medlemmar, på synpunkter från olika experter på SKB och på synpunkter framförda vid en workshop som genomfördes under hösten 1996.

1.2 Funktions- och säkerhetsanalys

Det är egentligen inte möjligt att fullständigt ange vilka parametrar som behövs för en funktions- och en säkerhetsanalys eftersom varje undersökt plats (eller studerat utformningsalternativ) kan ha positiva eller negativa egenskaper som behöver utvärderas speciellt för denna plats (eller utformning). I huvudsak, är det dock möjligt att, åtminstone i generella drag, redovisa vilka parametrar

som faktiskt inverkar på inneslutningsfunktion och radionuklidtransport i säkerhetsanalytiska beräkningar för ett slutförvar av KBS-3 typ lokaliserat på ca 500 m djup i den svenska kristallina berggrunden.

1.2.1 *Parametrar vid beräkningar i funktions- och säkerhetsanalyser*

Under arbetet med SKB-91 togs det fram listor över vilka indata de olika modellerna i analysen använder. Listorna, som är ordnade parameter efter parameter för de ingående modellerna innehåller allmän referens till process data, beskrivning över hur data bestäms genom klassificering till U (uppmätt), E (expert judgement), K (generisk kunskap) och T (tolkad) samt en kvalitativ bedömning av parameterosäkerhet och variabilitet och deras inverkan på barriärfunktionen. I SR-95 redovisas generellt de modeller och utgångspunkter på vilka kommande säkerhetsanalyser avses baseras. Denna information har tillsammans med erfarenheter gjorda i andra program, främst SITE-94 (SKI, 1996) och TVO-92 (Vieno et al., 1992), utgjort underlag för bedömning av vilka parametrar som behöver bestämmas utifrån tolkning av en geovetenskaplig modell.

Det bör observeras att en säkerhetsanalys omfattar mer än kvantitativa beräkningar av utläckage, radionuklidtransport och konsekvensberäkningar. Viktiga platsspecifika egenskaper kan i stället vara sådana som avgör om förutsättningarna för den gjorda kvantitativa analysen är tillämpliga. Ett kompletterande sätt att beskriva de säkerhetsrelevanta egenskaperna hos en plats kan till exempel vara att utvärdera förutsättningarna för inneslutning, retention, utspädning och förutsägbarhet.

Med tanke på att SKBs arbete med säkerhetsanalys har utvecklats, speciellt inom ramen för SR-97 bör den av arbetsgruppen utnyttjade informationen om säkerhetsrelevanta platsanknytna förhållanden kompletteras, till exempel på det sätt som föreslås i det följande.

- Upprätta tabeller för samtliga kvantitativa modeller som tas upp i SR-97 och beskriv hur data till modellerna tas fram (och av vem).
- Värdera behov av stödjande platsspecifika data för att motivera (validera) de konceptuella modeller som används i den kvantitativa analysen.
- Analysera informationsbehov som ligger utanför de s.k. beräkningskejderna, både avseende förutsättningar för gjorda analyser och information som kan behövas för att analysera olika scenarier. Information om detta skulle till exempel kunna erhållas genom utvärdering av RES-matriser.

Föreliggande dokument bör därför, om inte förr, revideras baserat på erfarenheterna från SR-97.

1.2.2 *Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer*

I dokumentet redovisas, under respektive område, de *gynnsamma*, *ogynnsamma* och s.k. *diskriminerande* faktorer som diskuteras i kompletteringen av FUD-program 92 (SKB, 1994). Med diskriminerande faktor avses ett förhållande som kan ge anledning att överge en plats med påbörjad platsundersökning.

Sedan FUD kompletteringen har ingen riktad aktivitet för att ytterligare precisera eller värdera dessa faktorer genomförts. Genomgången i detta dokument visar dock att dessa faktorer kan beskrivas med de parametrar som här presenteras. Parameterlistorna tillsammans med detta dokument skulle därmed kunna användas som utgångspunkt för en mer preciserad diskussion om platsvalsfaktorer. Genomgången visar också att tidigare gjorda bedömningar kan behöva revideras.

Det kan allmänt konstateras att det finns mycket få lätt identifierbara faktorer som enskilt skulle kunna vara diskriminerande. En plats lämplighet avgörs i regel utifrån en samlad analys av säkerhet och byggbarhet och kan därför inte bestämmas förrän en komplett platsundersökning har genomförts och utvärderats. Begreppet diskriminerande faktorer är dock användbart som beslutsunderlag inför och under platsundersökning, även om frånvaro av diskriminerande faktorer i princip inte är någon garanti för att den undersökta platsen är lämplig. Samtidigt bör det göras klar att utvärdering om en plats lämplighet inte kan begränsas till redovisning av diskriminerande faktorer. Begreppet platsvalsfaktorer bör också innefatta en beskrivning av vilka parametrar som behöver mätas på en plats och hur den uppmätta informationen utvärderas. Även för detta syfte borde det föreliggande dokumentet utgöra en lämplig utgångspunkt.

1.3 Parametrar för en geovetenskaplig modellbeskrivning

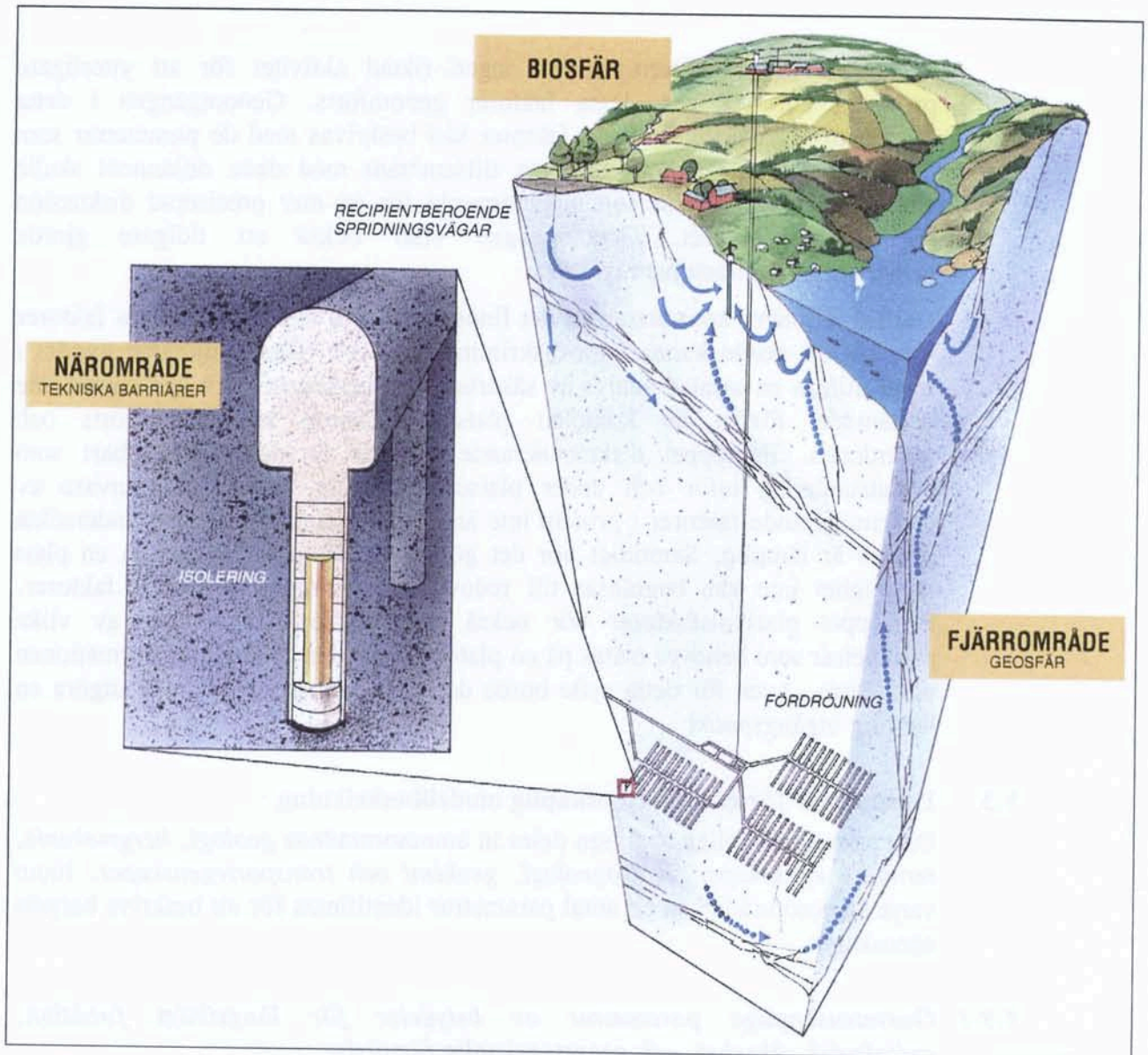
Den geovetenskapliga analysen delas in ämnesområdena *geologi, bergmekanik, termiska egenskaper, hydrogeologi, geokemi och transportegenskaper*. Inom varje ämnesområde kan ett antal parametrar identifieras för att beskriva bergets egenskaper.

1.3.1 Geovetenskapliga parametrar av betydelse för långsiktigt funktion, radiologisk säkerhet, och geovetenskaplig förståelse

Figur 1.3 illustrerar djupförvarets delar och deras viktigaste säkerhetsfunktioner, *isolering, fördröjning* och *recipientförhållanden*. Den geovetenskapliga analysen syftar dels till att ge underlag till parametrar som kan användas i kvantitativa konsekvensberäkningar avseende dessa säkerhetsfunktioner men också dels till att bygga upp en geovetenskaplig förståelse. Det senare är viktigt eftersom en god förståelse förbättrar trovärdigheten hos de data som direkt används i konsekvensberäkningar. Båda dessa syften är väsentliga för att kunna genomföra en platsspecifik säkerhetsanalys.

Beskrivningen av berget inom olika ämnesområden bör vara konsistent. Ett försök har därför gjorts att lägga fast vilka parametrar som bör beskrivas på samma sätt inom de olika ämnesområdena och vilka som fritt kan identifieras inom varje ämnesområde. Framförallt har detta betydelse vid beskrivningen av bergets diskontinuiteter.

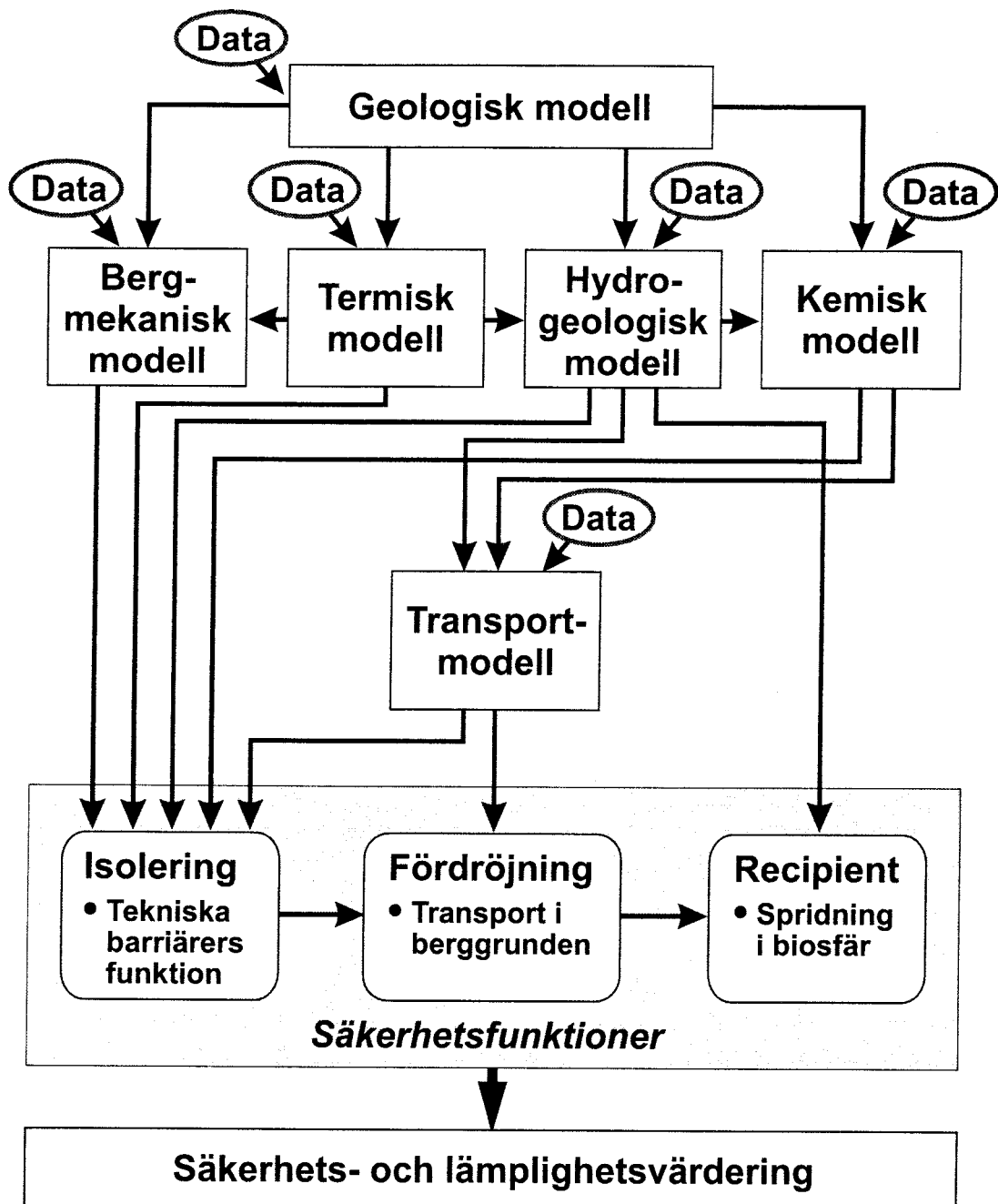
Behovet av olika parametrar och behovet av precision beror på vilka parametervärden i säkerhetsanalysen som behöver bestämmas och motiveras. Data som behövs inom ett visst ämnesområde kan ibland utgöra tolkning av



Figur 1-3. Djupförvarets delar och deras viktigaste säkerhetsfunktioner (från SKB FUD 95).

information från ett annat. Hydrogeologiska och bergmekaniska modeller utnyttjar till exempel strukturgeologisk information, bergets retentionsgenskaper beror både på hydrogeologiska och kemiska förhållanden. Detta illustreras schematiskt i figur 1.4. För att kunna härleda databehov inom varje ämnesområde leder detta till viss upprepning i de sammanfattande tabeller som ingår i dokumentet.

I största möjliga utsträckning bör geovetenskapliga parametrar beskrivas med samma nomenklatur inom olika ämnesområden. Avseende bergets sprickor och zoner finns dock ingen lämplig universell nomenklatur. Almén m. fl. (1996) har dock föreslagit en nomenklatur för sådana strukturer. Detta dokument använder de benämningar som där föreslås. Nomenklaturen redovisas också kapitel 2.



Figur 1-4. Schematisk illustration om hur information överförs mellan olika geovetenskapliga modeller och hur dessa modeller utnyttjas för säkerhets- och lämplighetsvärdering.

1.3.2 Databehov vid bergprojektering

Identifieringen av geovetenskapliga parametrar har även stämts av mot den preliminära sammanställning av databehov som gjorts för bergprojekteringen (Windelhed och Alestam, 1996). Om i princip samma parameter efterfrågas både för bygganalys och säkerhetsvärdering bör mätning och delvis även utvärdering av denna parameter kunna samordnas.

Det identifierade parameterbehovet för bergprojekteringen redovisas under respektive ämnesområde i dokumentet nedan. I regel saknas dock information från Windelhed och Alestam om varför olika parametrar eftersöks - även om detta ofta är relativt uppenbart. Vidare har under arbetet ytterligare parametrar identifierats som borde vara av betydelse för bergprojekteringen.

Det kan konstateras att bergprojekterings informationsbehov till stor del innefattas av behovet av geovetenskaplig information. Det bör därmed finnas stora möjligheter att samordna informationsinhämtande vid platsundersökningen så att både projekteringsbehov och geovetenskapliga behov tillgodoses. Detta förutsätter givetvis god planering. Detta dokument liksom Windelhed och Alestam (1996) bör kunna användas om underlag för sådan planering.

Slutligen bör också noteras att en bygganalys bygger på praktisk erfarenhet av utnyttjande av platsspecifika data och att det främst är SKB själva som bedömer om bygganalysen är tillräckligt omfattande, även om det givetvis måste gå att visa att drift av djupförvaret (och fortsatt utbyggnad) kan genomföras på ett säkert sätt. Det kommer att ställas andra krav på de data som används för att ge parametrar till funktions- och säkerhetsanalys, erfarenhetsåterföring saknas, och kraven kommer inte bara ställas av SKB utan också av granskande myndigheter.

1.3.3 Övriga miljöaspekter

Dokumentet diskuterar översiktligt också databehov för beskrivning av mark- och miljö (övriga miljöaspekter). Behovet av information styrs här framförallt utifrån kommande krav på redovisning av förvarets miljöpåverkan förutom joniserande strålning. Även ur strålskyddssynpunkt kommer påverkan på (den ytnära) miljön att behöva redovisas (SSI, 1995). Relevant information i detta avseende insamlas redan under pågående förstudier och det kan därför finnas anledning att revidera detta dokument bland annat utifrån erfarenheter från förstudier och pågående MKB-samråd.

1.3.4 Värdering av parametrar

Arbetets tyngdpunkt har varit att identifiera parametrar och beskriva hur de används. I dokumentet görs även en värdering av de olika parametrarnas betydelse. Denna värdering återfinns även i översiktlig form i de sammanfattande tabellerna i appendix A. Värderingen delas in i ett antal huvud- och underrubriker för att belysa respektive parameters betydelse med avseende på

- *Långsiktig funktion och radiologisk säkerhet*; uppdelat på isolering, fördröjning och recipient. Isolering uppdelas i sin tur på kapsel, bentonit, berg och intrång. Fördröjning uppdelas på bränsle, kapsel, bentonit, grundvattenflöde i berg och retention i berget (se även figur 1.3).
- *Projektering*; uppdelat på layout, bygganalys och arbetsmiljö.
- *Övriga miljöaspekter.*
- *Geovetenskaplig förståelse.*

Det anges även om betydelsen är väsentlig (V) eller begränsad (B). Betydelsen anges för de funktioner som närmast påverkas av parametern (direkt eller indirekt). Värderingen grundas på expertbedömningar som genomförts på det sätt som redovisas i avsnitt 1.1 ovan. Det bör understrykas att värderingen (V eller B) är subjektiv och att arbetsgruppen har koncentrerat arbetet mot att identifiera och beskriva parametrar snarare än att värdera dem.

Med isolering avses barriärens förmåga att innesluta radionuklider. En sådan förmåga har strikt bara kapseln (och berget mot intrång). Kolumnerna bentonit och berg avser om parametern kan bidra till en förändring av barriärens egenskaper. Med fördröjning avses barriärernas förmåga att fördröja transporten av eventuellt utsläppta radionuklider. Till exempel anger tabellen A:4 att bergets permeabilitetsfördelning har väsentlig inverkan på grundvattenflödets storlek (borde vara uppenbart), samt väsentlig påverkan på retentionen i berget (som ju bland annat direkt beror på flödet). Vidare anges att permeabilitetsfördelningen i begränsad omfattning påverkar kapselns isolering (tillförsel av korrodanter) och i begränsad omfattning kan påverka bentonitens stabilitet genom (genom erosion om flödet är betydande) (se vidare kap 5).

Det bör understrykas att värderingen enligt tabellerna är till för att ge överblick av den information som diskuteras i detta dokument. Det är inte möjligt att beskriva alla väsentliga aspekter av en parameter i tabellform. Till exempel gäller att tabellen inte kan visa att en parameter kan vara mycket viktig att känna till med stor precision i en del av förvarsområdet, men inte i andra. Uppdelningen mellan bergets isolerande funktion och dess fördröjande är inte heller självklar. Skillnaden mellan väsentlig och begränsad är inte heller uppenbar och varierar mellan ämnesområden och de olika fall som kan behöva analyseras i säkerhetsanalysen. För djupare information om olika parametrars betydelse hänvisas till detta dokument och underliggande referenser.

1.4 Mätmetoder

I dokumentet diskuteras översiktligt hur önskade parametrar kan mätas. Detta ska ses som en introduktion till det arbete som behöver ske för att identifiera vilka mätmetoder som skall användas och hur de ska utvärderas.

1.4.1 Koppling mellan mätmetoder och möjliga parametrar och generiska data

Anledningen till att mätfrågor berörs i detta dokument är den starka kopplingen mellan geovetenskaplig modellering och faktiskt möjliga mätmetoder. Det vore meningslöst att ta fram en önskelista med helt orealistiska krav på data (till

exempel en total bestämning av alla sprickor med inneboende egenskaper). En rimlig "kravbild" från geovetenskap behöver därför baseras på en avvägning mellan vad som vore önskvärt och vad som överhuvudtaget är möjligt att åstadkomma. En viktig begränsning är att flera geovetenskapliga parametrar inte kan mätas direkt. De flesta test som görs i fält (t ex. injektionstest, hydraulisk spräckning, spår försök etc.) ger indirekt information om t ex hydraulisk ledningsförmåga, bergspänningar eller retentionsegenskaper. Utvärdering, tolkning och analys av platspecifika mätningar utgör därför en del av den geovetenskapliga analysen.

En annan fråga att diskutera i detta sammanhang är om det överhuvudtaget är meningsfullt att bestämma vissa parametrar plats specifikt antingen för att de är väl kända (till exempel vattnets termiska egenskaper) eller för att osäkerheterna är så stora att man inte kan förvänta sig att dagens mätmetoder tillämpade på en viss plats kommer att ge resultat som signifikant avviker från resultat från andra platser (vilken kan vara fallet för den "flödesväta ytan").

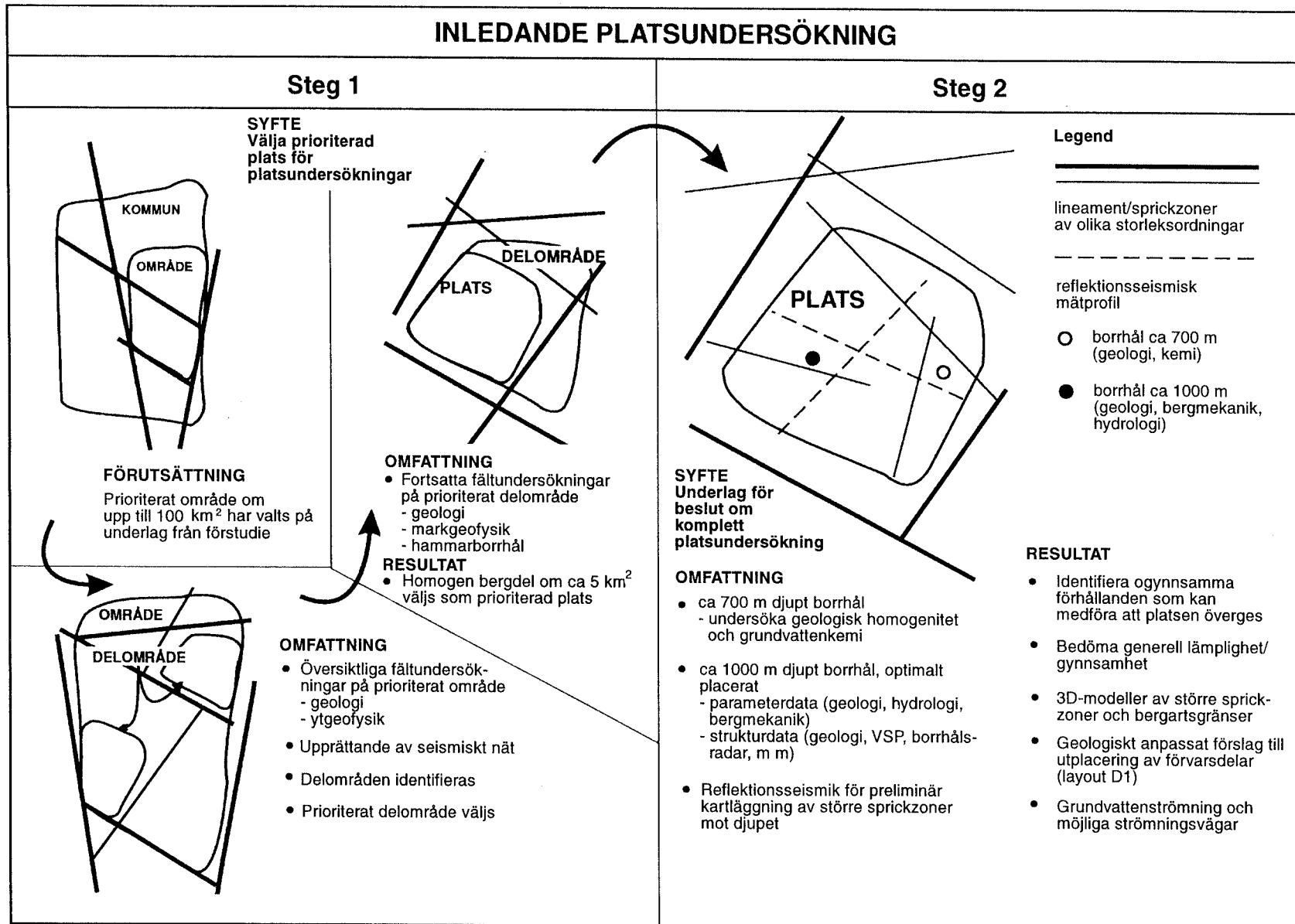
Något oegentligt kallas sådana data ofta för "generiska" eller "icke plats specifika". Det bör göras klart att användandet av "generiska" data inte utgör ett problem så länge de utgör den bästa plats specifika prediktionen av parametern. Att olika platser har samma "generiska" data är bara ett uttryck för att olika platser inte skiljer sig åt med avseende på denna parameter (vilket till exempel uppenbarligen är sant för vattnets egenskaper). Däremot finns det anledning att uppmärksamma kvaliteten i generiska data; är dessa grundade på försvarbart underlag eller är de bara en upprepning av värden som använts vid tidigare modellering? Används generiska data behöver därför följande frågor ställas och besvaras:

- Är använda värden representativa för platsen och finns det behov av mätningar för att konfirmera detta?
- Är osäkerheten för stor för att passa i säkerhetsanalysen?
- Finns potential för förbättringar; antingen genom ett bättre "generiskt" värde eller genom att införa mer plats specifik kunskap?

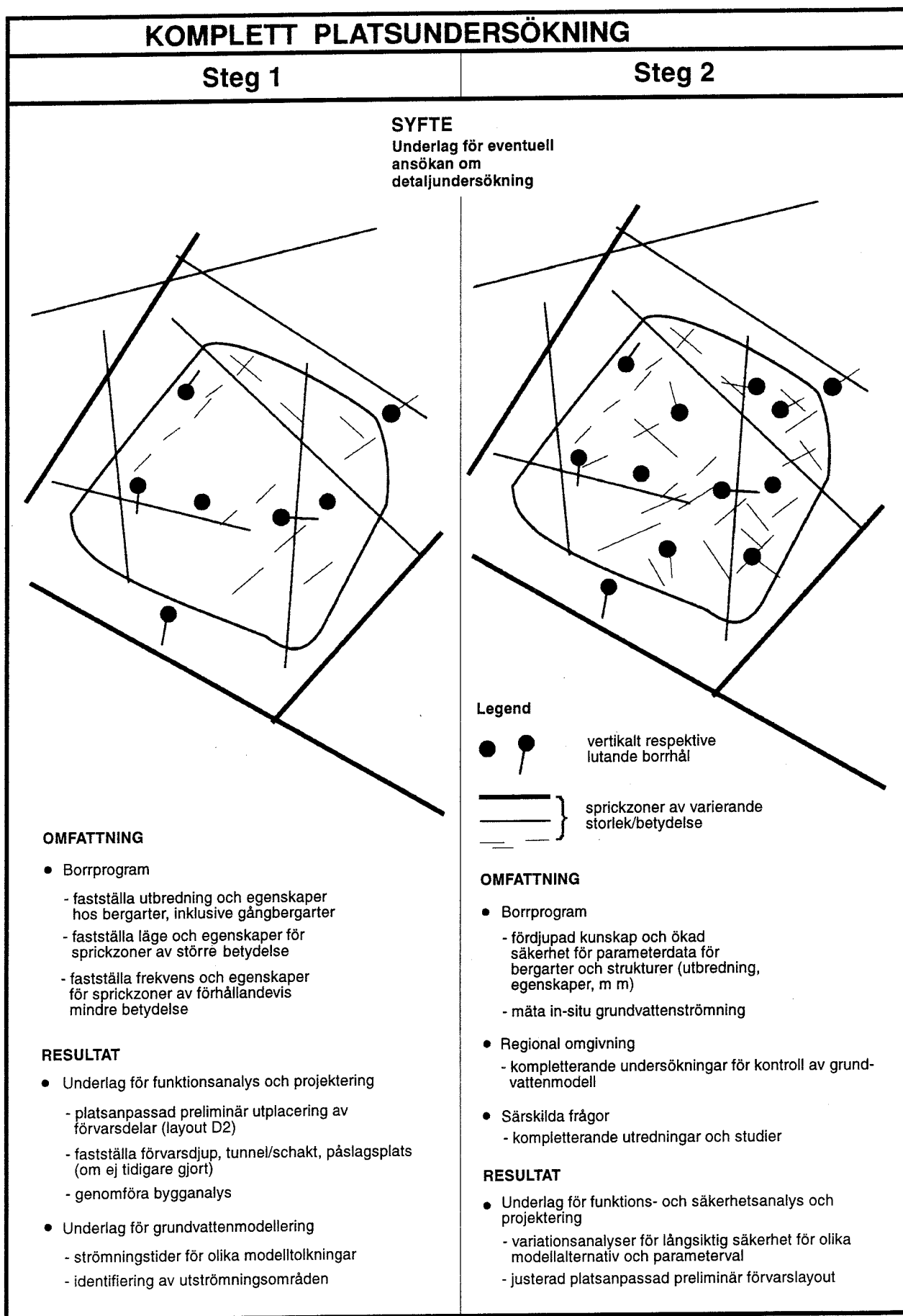
Dessa frågor bör analyseras i senare steg i framtagandet av ett platsundersökningsprogram. I denna pm görs bara en notering när användandet av generiska data kan tänkas komma ifråga.

1.4.2 Val av mätmetod - geovetenskapligt undersökningsprogram

Med tanke på den starka koppling som finns mellan val av mätmetoder och möjliga geovetenskapliga parametrar är det viktigt att fortlöpande stämma av önskemål om parametrar, som det framställs i detta dokument mot faktiska metoder för mätning och utvärdering. Sammanställningar av mätmetoder har redan producerats (se t. ex. Almén et al., 1994) och finns även samlade i en preliminär mätmetodtabell. I FUD-Program 95 (SKB, 1995) redovisas även en idéskiss till omfattningen av en platsundersökning (figur 1.5).



Figur 1-5, a. Idéskiss till omfattning av inledande platsundersökning redovisad i FUD-program 95. Denna skiss kan komma att behöva revideras bland annat med utgångspunkt från den information som redovisas i denna rapport.



Figur 1-5, b. Ideskiss till omfattning av komplett platsundersökning redovisad i FUD-Program 95. Denna skiss kan komma att behöva revideras bland annat med utgångspunkt från den information som redovisas i denna rapport.

Hittills gjorda sammanställningar bör dock kopplas samman med detta dokument och även väga in andra erfarenheterna, t ex från jämförelse mellan förundersökningar och undersökningar från byggfasen av Äspölaboratoriet (se t ex Rhén (ed), 1996). För varje parameter/ämnesområde i parametertabellen behöver man därför belysa:

- vilken mätmetod skall användas
- hur "många" mätningar som behöver göras (t ex antal borrhål, upplösning längs borrhål m.m.)
- hur mätmetoden skall utvärderas och med vilken (o)säkerhet man, med hjälp av en viss metod, faktiskt kan bestämma ämne/parameter
- om föreslag(na) mätmetod påverkas av annan mätning

Ett sådant dokument skulle utgöra ett viktigt steg mot ett faktiskt geovetenskapligt undersökningsprogram.

2 GEOLOGI

2.1 Översikt av parametrar, metoder och användningsområden

Tabell 2.1, sammanfattar vilka data som i första hand är nödvändiga för kunna bygga upp en geologisk modell. Tabellen försöker också visa exempel på vilka mätningar som kan användas för att skatta parametrarna och hur de används. Parametrarna i tabell 2.1 återfinns också i den samlade parametertabellen i Appendix A:1. (Exempel på allmänna referenser till vad som kan utgöra lämpliga geologiska parametrar är Gustafson et al., 1991 eller Bruun et al., 1992).

Tabell 2.1 Översikt av databehov för geologisk beskrivning, exempel på mätmetoder och användningsområden.

Parameter	Metod	Används för
Topografi	Kartor, höjddatabas	Översikt, strukturgeologisk modell, identifikation av strukturer
Jordlagren <i>Jordarter</i> - jordtäckets mäktighet - jordartsfördelning - jordartsbeskrivning - jordmån - bottensediment - indikation neotektonik	Kartering, borming/sondering, geofysik, provtagning, labstudier	Jordartsmodell (Indirekt mark- och miljö, ytlig hydrogeologi, biosfärmodell) bedömning neotektonik
Litologi <i>Litologisk uppbyggnad</i> - bergartsfördelning (rumslig och procentuell) - xenoliter - bergartsgångar - bergartskontakter - ålder - malmpotential-industrimineral <i>Bergartsbeskrivning</i> - mineralogisk sammansättning - kornstorlek - mineralorientering - mikrosprickor - densitet - porositet - susceptibilitet, gammastrålning m.m. - mineralogisk omvandling/ vittring	Kartering, geofysik, borming, lab. studier Provtagning, labstudier, fältstudier, geofysik, loggning av borrhål	Litologisk modell (används indirekt för bergmekanisk, hydrogeologisk och geokemisk förståelse) Litologisk modell (används indirekt för bergmekanisk, hydrogeologisk och geokemisk förståelse)
Strukturgeologi <i>Plastiska strukturer</i> - veck - foliation - skiffriighet - myloniter - ådring - stänglighet - ålder	Geologisk kartering, laboratorieanalyser av borrhålor m.m.	Strukturgeologisk modell
<i>forts nästa sida</i>		

Parameter	Metod	Används för
Strukturgeologi (forts) Rupturella strukturer Regionala och lokala diskontinuiteter - läge - orientering - längdutsträckning - zombredd - rörelser (storlek, riktning ålder) - genetisk typ - inre egenskaper (antal sprickgrupper, spacing, blockstorlek, sprickråhet, sprickfyllnad (sprickmineral), omvandling, vittring)	Geofysik, geologisk, kartering, borming, labtest., interferenstest	Strukturgeologisk modell Förvarsdesign Indata till hydrogeologisk modell och bergmekanisk modell- Sprickmineral m.m. indata till geokemisk modell.
Lokala mindre diskontinuiteter (i första hand data som möjliggör stokastisk beskrivning av parametrar, men där diskreta observationer rapporteras) - läge (spacing) - orientering - längdutsträckning - zombredd - rörelser (storlek, riktning ålder) - genetisk typ - inre egenskaper (antal sprickgrupper, spacing, blockstorlek, sprickråhet, sprickfyllnad (sprickmineral), omvandling, vittring)	Geofysik, geologisk, kartering, borming, labtest., interferenstest	Indata till hydrogeologisk modell och bergmekanisk modell (förvarsdesign) Sprickmineral m.m. indata till geokemisk modell.
Sprickor - data som möjliggör stokastisk beskrivning av - frekvens (olika grupper) - orientering - längdutsträckning - kontaktmönster - sprickvidd - ytkaraktär, råhet - sprickfyllnad (sprickmineral) - omvandling, vittring	Kartering av hållar, borrhävar (tunnlar i senare skeden)	Indata till detaljerad hydrogeologisk modell och detaljerad bergmekanisk modell. Indirekt indata till nuklidtransportmodell. Sprickmineral m.m. indata till geokemisk modell.

2.2 Modeller och användningsområden

Den geologiska informationen utnyttjas till att formulera en *geologisk modell*. Den geologiska modellen är beskrivande och formuleras för att på ett strukturerat och konsistent sätt sammanställa geologisk information. Inom Äspöprojektet finns ett speciellt format fastslaget för hur den geologiska modellen skall beskrivas (Olsson et al., 1994, s 14). Detta format syns direkt tillämpligt på den parameteruppsättning som anges i tabell 2.1.

Syftet med en geologisk modell är att så verklighetsnära som möjligt (eller nödvändigt) beskriva jordtäckets och bergmassans egenskaper inom ett givet område. Den geologiska modellen utnyttjas i regel inte direkt för säkerhetsvärderingen utan används i första hand för som underlag (indata) i de bergmekaniska, hydrogeologiska och geokemiska modellerna (se t ex SR-95 sid 66-73). Den geologiska modellen utgör dessutom basen för den geovetenskapliga förståelsen av en plats.

Ur praktisk synpunkt kan det vara lämpligt att dela upp den geologiska modellen i en *jordartsmodell*, en *litologisk modell* och *strukturgeologisk modell*. Det bör poängteras att dessa modeller hänger ihop, utgör delar av en och samma geologiska modell och att ansträngningar behöver göras för att de olika delarna av den geologiska modellen ska vara konsistenta. Som grund för

förståelsen av dessa modeller och för förståelsen av hur de hänger ihop behövs också en *geologisk utvecklingsmodell*. Uppbyggnaden och användningen av den geologiska modellen illustreras schematiskt i figur 2-1.

2.2.1 Geologisk utvecklingsmodell

Den geologiska utvecklingsmodellen utgör grund för den geovetenkapliga förståelsen av platsen geologi. I utvecklingsmodellen redovisas områdets bildningshistoria och utvecklingshistoria. De ålderbestämningar, t ex med isotopmätningar, som redovisas bland de olika parametrarna i kommande avsnitt utgör här en viktig informationskälla.

2.2.2 Jordartsmodell

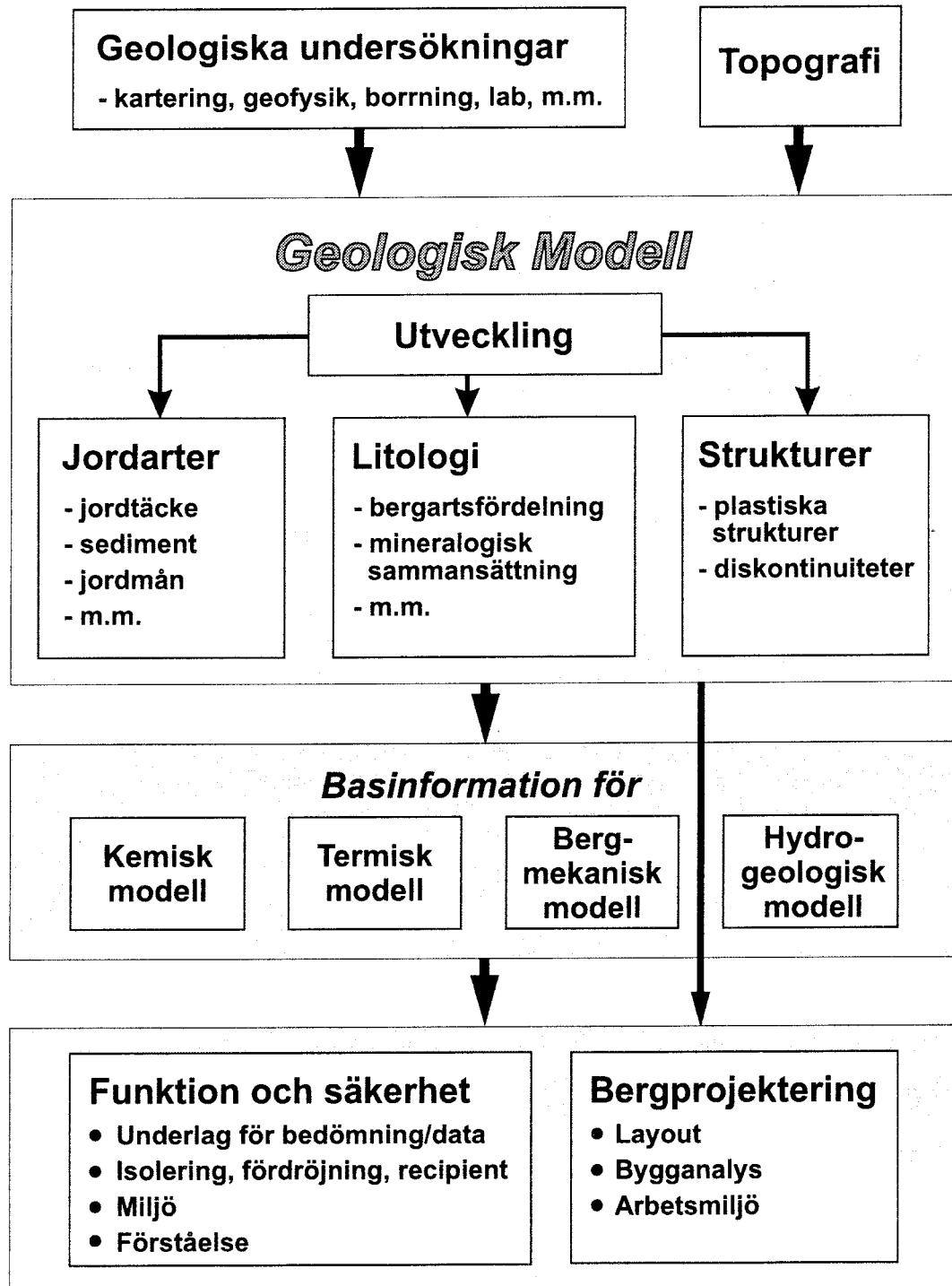
Jordartsmodellen beskriver i första hand fördelning, mäktighet och sammansättning av olika jordarter och sediment. Denna modell är i första hand underlag vid modellering av ytnära miljökonsekvenser och recipientförhållanden (biosfärmodelleringen), vilket diskuteras mer ingående i kapitel 5. Indikationer om t ex neotektoniska rörelser inverkar dock på bedömningen om platsens lämplighet ur långsiktig mekanisk synpunkt.

2.2.3 Litologisk modell

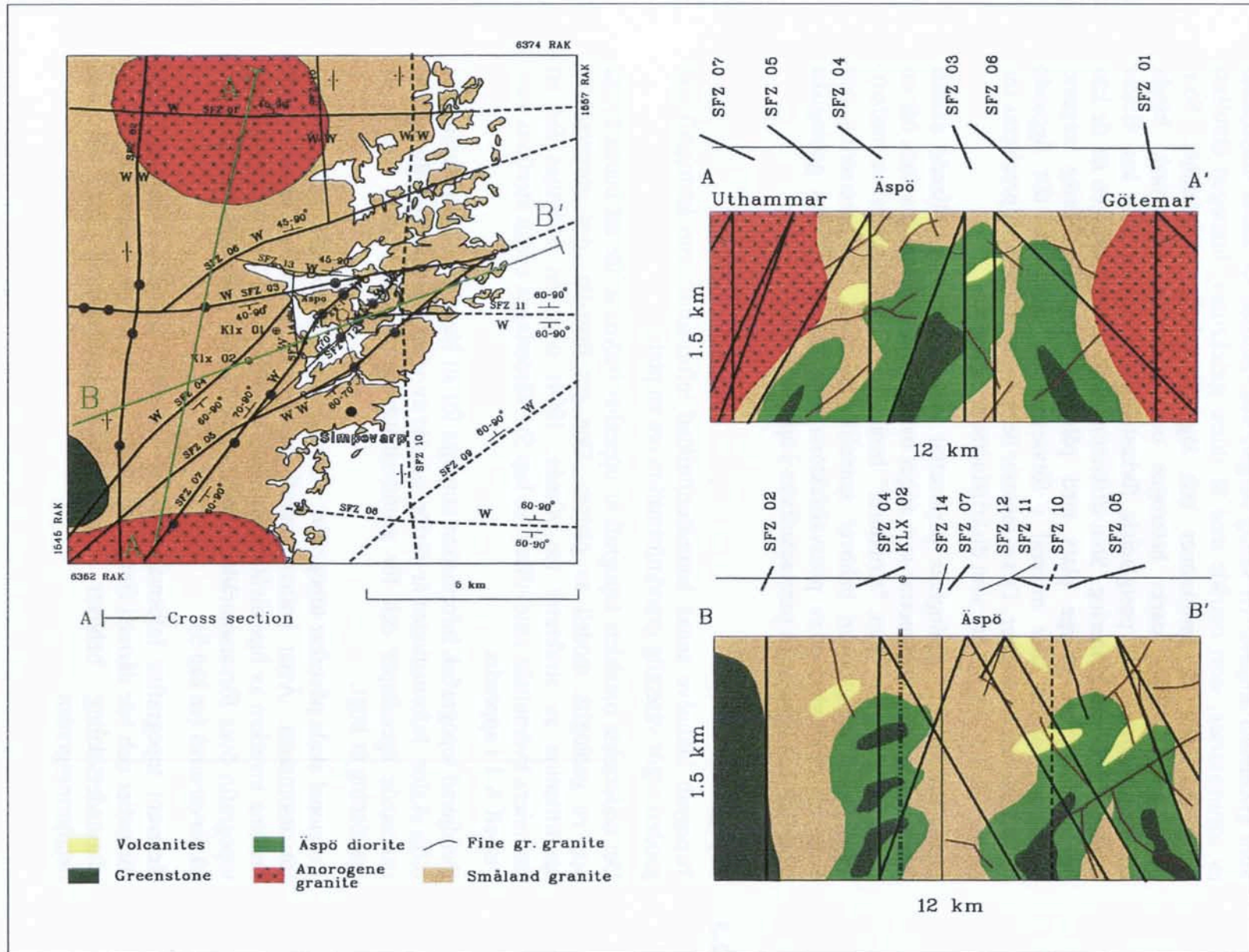
Den litologiska modellen ger en beskrivning av bergmassans litologiska uppbyggnad vad gäller fördelning av olika bergarter såväl rumsligt som procentuellt samt en karaktärisering av de olika bergarterna. Denna modell är främst av betydelse för tolkning av de strukturgeologiska och bergmekaniska modellerna. Litologin har också betydelse för den geokemiska förståelsen av platsen (se kapitel 6). Enligt kompletteringen till FUD-Program 92 (SKB, 1994) är förekomst av malm identifierat som ett olämpligt förhållande och kan också vara diskriminerande i den meningen att det leder till att platsen överges. Figur 2-2 visar exempel på preleminär litologisk modell av Äspöområdet. För vissa tillämpningar behövs dock upplösningen i modellen vara väsentligt större än den som indikeras av figuren.

2.2.4 Strukturgeologisk modell

Den strukturgeologiska modellen beskriver såväl bergmassans plastiska strukturer, t ex. veckning och foliation, som de rupturcella strukturer, t. ex. sprickor och sprickzoner, vilka sammanfattas under beteckningen "diskontinuiteter". Den strukturgeologiska modellen är av direkt betydelse för bergmekaniska och hydrogeologiska modeller samt för byggnadsgeologiska prediktioner (byggnadsgeologisk) och allmän geologisk och hydrogeologisk förståelse. Den strukturgeologiska modellen har även mycket stor betydelse för djupförvarets utformning eftersom de principer som idag används för inplacering av djupförvar i berget i hög grad baseras på inpassing efter de huvudsakliga diskontinuiteterna.



Figur 2-1. Schematisk illustration av uppbyggnad och användning av den geologiska modellen



Figur 2-2. Exempel på litologisk modell i regional skala (från SKB SR 95).

2.2.5 *Gynsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer*

I kompletteringen av FUD-program 92 anges ett antal geologiska faktorer som gynsamma, ogynnsamma respektive diskriminerande:

Som *gynsamma* angavs: en vanlig bergart utan intresse för annat utnyttjande av naturresurser, stort område med få större sprickzoner, homogen lättolkad berggrund samt få sprickzoner och låg till måttlig spricktäthet. Som *ogynnsamma* angavs starkt heterogen och svårtolkad berggrund, kända deformationszoner och postglaciala förkastningar, bergarter som kan tänkas intressanta för prospektering. Som *diskriminerande* i den meningen att de kan ge anledning att överge plats med påbörjad platsundersökning angavs: brytvärda malmer eller mineral i förvarsområdet och flera tätt liggande vattenförande sprickzoner. Dessa faktorer behöver uppenbarligen preciseras för att vara direkt användbara som diskriminerande faktorer.

Identifikationen av geologiska parametrar som redovisas i följande avsnitt innefattar samtliga parametrar som anges ovan. Vissa begrepp ges dock här en mer strikt definition (t ex "strukturer" benämns "diskontinuiteter" se nedan). Värderingen enligt ovan behöver sannolikt revideras. En precisering och eventuell omvärdering av platsvalsfaktorer som baseras på den geologiska modellen kan baseras på parameterlistan i appendix A:1.

2.3 Topografi

Topografi inklusive annan lantmäteriinriktad information som kartografi och geodesi utgör väsentlig grundinformation om en plats.

Det undersökta områdets topografi är uppenbar betydelse för att kunna bygga upp en geologisk modell av platsen. Den ger översikt, den utnyttjas för identifikation av strukturer (se Almén, 1994) och den utnyttjas för att formulera hydrauliska randvillkor (se kap 5). Värderingen nedan återfinns även i tabell A:1 i appendix.

Detaljerad topografisk information utnyttjas för att identifiera diskontinuiteter i olika skalor. Informationen är därför indirekt av väsentlig betydelse för bergets isolerande egenskaper och för grundvattenströmningen i berget. Kravet på upplösning är högt.

I regional skala påverkar topografien, via randvillkor, grundvattenströmningen i förvarsområdet. Även botten-topografi har härvid betydelse för att kunna bedöma inverkan av havsnivåförändringar. I mindre skala har dock den lokala topografien över förvarsområdet mindre betydelse för grundvattenströmningen på förvarsnivå (se kap 5).

Relevant topografisk information finns sannolikt insamlad i samband med förstudier och bör därmed finnas att tillgå i höjddatabasen. I samband med en platsundersökning behöver dock denna kompletteras för att öka detaljeringsgraden.

2.4 Jordarter - fördelning

Information om jordarter används för att formulera jordartsmodell. Denna modell är i första hand underlag vid modellering av ytnära miljökonsekvenser och recipientförhållanden. Värderingen av de olika parametrarna framgår också av tabell A:1.

Jordtäckets mäktighet och jordarternas kornstorlek (som kan härledas från jordartsfördelning och jordartsbeskrivningen) ger indirekt information om storleken och egenskaperna hos de vattenförande lagren. I de fall högre precision behövs i den ytnära grundvattenmodelleringen behöver jordartsinformationen kompletteras med hydraulisk information. För modellering av recipientförhållanden (biosfärsmodellering) och för övrig beskrivning av den ytnära miljön är denna information av begränsad och indirekt betydelse. Förekomst/mäktighet av bottensediment kan ha väsentlig betydelse i modeller för omsättning av radionuklider som släppts ut i miljön (biosfärsmodeller, se kap. 7). Mäktighet och bottensediment påverkar randvillkoren för grundvattenströmningen i berget, men inverkan är av begränsad och indirekt betydelse. Informationen är av direkt och väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen.

Mäktighet och jordartfördelning är också av betydelse för layout vid projektering.

Jordmånsinformationen har begränsad betydelse för beskrivning av recipientförhållanden och den marknära miljön (se vidare kap. 5).

Studier av jordtäcket kan ge indikationer av postglaciala rörelser (neotektonik). Eftersom sådana helst inte bör förekomma i ett förvarsområde är sådana observationer av väsentlig betydelse för att kunna bedöma långsiktig mekanisk stabilitet (isolerande förmåga berg i tabell A:1).

Mätmetoder etc.

En allmän överblick av jordartsfördelningen inom ett område kan oftast erhållas från befintligt kartmaterial. Jordlagren (och bottensediment) kan även undersökas geofysiskt genom seismik. Brunnsdata kan ge kompletterande information om jorddjup. Information om jordartsfördelning och bottensediment kan kompletteras med bormning. För en mer detaljerad jordartsmodell krävs kompletterande fältkartering och bormning (provgropsgrävning). Jordartsbeskrivningen utförs till stor del baserad på data från laboratorieundersökningar av jordprover.

2.5 Litologi och bergartsbeskrivning

För att formulera en litologisk modell krävs information om litologisk uppbyggnad samt beskrivning av bergarter inom denna. Värderingen nedan återfinns i tabell A:1.

Litologisk uppbyggnad

För den litologiska modellen krävs en beskrivning av bergmassan i regional skala främst avseende dominerande bergarter men också eventuella inslag av gångbergarter och xenoliter för bedömning av den litologiska homogeniteten.

Bergarternas egenskaper (bergartsbeskrivningen) har (begränsad) betydelse för den mekaniska stabiliteten och för de geokemiska egenskaperna.

Bergartsfördelningen har väsentlig betydelse för layout och bygganalys (påverkar mekaniska egenskaper), men begränsad betydelse för bergets isolerande funktion (mekaniska egenskaper) liksom dess fördröjande egenskaper (retention).

Bergartsgångar och bergartkontakter påverkar hållfastheten och har därför väsentlig betydelse för layout och bygganalys, men är av mer begränsad betydelse för bergets isolerande förmåga. Bergartsgångar också av väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen, medan bergartskontakterna i sig är av mer begränsad betydelse. Uppskattningar av ålder är av intresse för den geovetenskapliga förståelsen (utvecklingsmodellen).

Malmer och industrimineral i exploaterbar mängd är ogynnsamma förhållanden för platsen och är därmed av väsentlig och betydelse för beöming av intrång, layout och den geovetenskapliga förståelsen. Eventuell förekomst bör därför tidigt fastställas.

Bergartsbeskrivning

Bergarternas mineralogiska sammansättning liksom mineralogisk omvandling/vittring påverkar både den mekaniska stabiliteten och den kemiska miljön. Dessa parametrar är därför av väsentlig betydelse för layout, bygganalys och arbetsmiljö och indirekt av men begränsad betydelse för att bedöma långsiktig stabilitet (isolering berg) och fördröjning).

För den geokemiska (geovetenskapliga) förståelsen, som utgör en grund för trovärdigheten hos den geokemiska modellen (se kapitel 6), behöver man ha ett grepp om vilka mineral som ingår i bergarter och sprickfyllnad. Liksom indikationer av mineralogisk omvandling/vittring. Detta gäller speciellt relativt lösliga mineral (t ex anhydrit), de som på annat sätt är reaktiva (t ex lermineral), eller sådana som skulle kunna avslöja utvecklingen i området (t ex järn (III) mineral). Indirekt har denna information även begränsad betydelse för bergets retentionsegenskaper.

Förekomst av mikrosprickor och därav följande porositet tillgänglig för matrisdiffusion har i teorin stor betydelse för bergets retentionsegenskaper (se kap. 7) men är, med tanke på osäkerheter m.m., i praktiken enbart av indirekt och begränsad betydelse härför. Mikrosprickor påverkar knappast hydrogeologin.

Bergartsbeskrivningen ger indirekt information om bergets hållfasthet även om några absoluta samband inte finns (se kap. 3). Stor betydelse har ofta bergarternas kornstorlek. Finkorniga bergarter t ex finkorniga graniter/aplitter är vanligen spröda och sprickrika. Extremt grovkorniga bergarter t ex

pegmatit och vissa grovkorniga graniter är ofta också bergmekaniskt inhomogena. Mineralogisk omvandling/vittring är också en parameter av betydelse ur hållfasthetssynpunkt. Dessa parametrar är därmed av direkt och väsentlig betydelse för layout och bygganalys, men av mer begränsad betydelse för bergets isolerande förmåga.

Mineralorientering, liksom olika geofysiska parametrar som susceptibilitet och gammastrålning, har mest betydelse för den geovetenskapliga förståelsen.

Mätmetoder och behov av upplösning

Undersökningen av bergets litologiska uppbyggnad omfattar huvudsakligen geologisk kartering och geofysik. Den kompletteras med ett antal kärnborrhål till aktuellt djup, vilka placeras med ledning av ytundersökningarna. Bergartsbeskrivningens parameter bestäms med hjälp av analys av borrhärnor och olika geofysiska loggar i borrhålen.

Även om vissa litologiska parametrar är av väsentlig betydelse är behovet att upplösning begränsat. I regel behövs informationen i relativt stor skala. Detta innebär att informationsbehov för den litologiska modellen i regel inte bör vara styrande för var borrhål placeras. Liksom för andra parametrar, se följande avsnitt, är det dock väsentligt att det finns information om förhållanden där förvaret kommer att placeras så att borrhål inte enbart placeras för att identifiera strukturer.

2.6 Plastiska strukturer

Den strukturgeologiska modellen beskriver bergets strukturella uppbyggnad och bygger därför på information om såväl plastiska som rupturrella strukturer.

De plastiska strukturerna är främst av betydelse för tolkningen av bergmassans deformationshistoria och allmän förståelse av den strukturella uppbyggnaden. Diskontinuiteternas (se nästa avsnitt) anläggning styrs i stor utsträckning av de plastiska strukturerna. Plastiska strukturer av betydelse är framförallt foliation, skiffrihet, veck, stänglighet och myloniter. Ådergnejsbildning och åldersbestämning är också av väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen.

Foliation, skriffrihet och myloniter inverkar på bergets hållfasthet och är därför av indirekt men begränsad betydelse för bergets isolerande förmåga. På motsvarande sätt är de av direkt men väsentlig betydelse i bygganalysen.

Plastiska strukturer undersöks i samband med geologisk fältkartering. Behovet av upplösning styrs av de platsspecifika förhållandena.

2.7 Rupturrella strukturer

De rupturrella strukturerna (diskontinuiteterna) har utvecklats i en spröd bergmassa och omfattar i första hand sprickzoner och sprickor av olika slag. Dessa strukturer har direkt betydelse för hydrogeologi och bergmekanik (se kapitel 3 och 5).

2.7.1 Nomenklatur

För att få enhetlighet använder detta dokument den nomenklatur som föreslås av Almén m.fl. (1996). Begreppet "diskontinuitet" används som en gemensam benämning för alla sprickor och sprickansamlingar (sprickzoner). Med diskontinuitet avses *varje mekaniskt avvikande struktur, t. ex. spricka, skiffrihetsplan eller zon - oftast med huvudsaklig utbredning i två dimensioner - med lägre hållfasthet än omgivningen*. Diskontinuiteter kan med den definitionen omfatta allt från mikrosprickor till regionala svaghetszoner. Det bör också noteras att med denna definition ingår även det mekaniskt omvandlade "sidoberget" i diskontinuiteten".

Diskontinuiteterna indelas efter storlek i regionala diskontinuiteter, lokala diskontinuiteter, lokala mindre diskontinuiteter samt enskilda sprickor enligt tabell 2.2. Tabellen visar även föreslagen ambitionsnivå vid platsundersökningarna, vilket diskuteras nedan. Diskontinuiteternas komplexa uppbyggnad och geometri medför att gränserna mellan grupperna kan vara något flytande och att därför hänsyn kan tas till andra geovetenskapliga parametrar när en viss diskontinuitet klassificeras.

Det bör observeras att indelningen enligt tabell 2.2 inte innebär en värdering av diskontinuiteternas egenskaper eller betydelse. Syftet är att fastlägga en benämning som konsistent kan användas i alla geovetenskapliga modeller. Inom andra geovetenskapliga ämnesområden är det sedan möjligt att identifiera parametrar som beskriver diskontinuitetens egenskaper. Om en viss struktur är väsentlig avgörs därmed inom varje ämnesområde.

För design av slutförvar har det också föreslagits att diskontinuiteterna efter fullständig karaktärisering, dvs efter hydrogeologisk, bergmekanisk och geokemisk analys, kan indelas i olika funktionsklasser D1-D4 (se Almén m. fl., 1996). Vid funktionsklassificering kan, i princip, en större diskontinuitet tillordnas en mindre betydelsefull funktionsklass, t ex om den inte är hydraulisk signifikant, och en mindre diskontinuitet kan tillordnas en mer betydelsefull funktionsklass.

Tabell 2-2. Indelning av diskontinuiteter och ambitionsnivå vid beskrivning vid platsundersökning (efter Almén m.fl., 1996) - måtten är ungefärliga.

Benämning	Längd (m)	Bredd (m)	Beskrivning
Regionala diskontinuiteter	$> 10^4$	$> 10^2$	Deterministiskt
Lokala diskontinuiteter	$10^3 - 10^4$	$5 - 10^2$	Deterministiskt - osäkerheter
Lokala mindre diskontinuiteter	$10^1 - 10^3$	0.1 - 5	Stokastiskt (vissa determin.)
Enskilda Sprickor	< 10	$< < 0.1$	Stokastiskt

2.7.2 Regionala och lokala diskontinuiteter

Med tanke på att de större diskontinuiteterna kan vara betydande för platsens mekaniska och hydrogeologiska egenskaper bör platsundersökningarna syfta till

att lokalisera alla regionala och lokala diskontinuiteter deterministiskt. Risken för att det skulle kunna finnas oupptäckta diskontinuiteter av dessa storlekar behöver också uppskattas.

Stora diskontinuiteter kan påverka hela förvarets placering eller dess layout i enlighet med den föreslagna funktionsklassificeringen, beroende på vilka egenskaper dessa har. Detta innebär att de geometriska beskrivningen, d v s läge, orientering, längd och bredd, direkt är av väsentlig betydelse av layout och bygganalys av förvar. Indirekt är dessa storheter av väsentlig betydelse för att kunna bedöma bergets isolerande förmåga och för att kunna bedöma grundvattenströmningen i platsskala (se kap 5). Det är viktigt att karaktärisera utsträckningen av dessa diskontinuiteter även utanför förvarsområdet. Vid analysen av långtids pump- och spår försök (LPT2) i Äspö konstaterar Gustafson and Ström (1995) att avsaknaden av sådan information ger upphov till tolkningsosäkerheter.

Eftersom kapselns och buffertens isolerande förmåga skulle kunna hotas om deponeringshål placeras inom en regional eller lokal diskontinuitet är de geometriska parametrarna även av väsentlig och indirekt betydelse härför. Kravet på precision i informationen är dock låg, under förutsättning att det kan garanteras att diskontinuiteterna finns på tillräckligt avstånd från deponeringshålen.

Flera parametrar har indirekt betydelse för den mekaniska stabiliteten (bergets isolerande förmåga). Detta gäller information om rörelser (storlek, riktning och ålder) liksom diskontinuiteternas egenskaper för de sprickor som "ingår i" diskontinuiteten. Av de senare är parametrar som antal sprickgrupper, spacing, blockstorlek, sprickråhet, sprickfyllnad/sprickmineral samt omvandling/vittring alla av väsentlig men indirekt betydelse, eftersom de utnyttjas i empiriska formler för bergmassans hållfasthet (se kap 3). Dessa parametrar har därmed även stor betydelse också för bygganalys och layout. Det bör också konstateras att diskontinuitetens egenskaper kan variera både tvärs och i planet.

En del av informationen om de större diskontinuiteternas inre egenskaper är också indirekt av betydelse för bergets retentionsegenskaper eftersom sprickfyllnad och sprickmineral påverkar geokemi och sorptionsegenskaper (se kap 6 och 7). Informationen är dock av begränsad betydelse - eftersom det relativt sett är viktigare att känna till retentionsegenskaperna i den del av berget som ligger närmast förvaret.

Alla parametrar, inklusive genetisk typ är av väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen.

2.7.3 Lokala mindre diskontinuiteter

Lokala mindre diskontinuiteter inverkar, beroende på den begränsade storleken, inte på förvarets placering i stort, men påverkar detaljlayout och bergets utnyttjandegrad för förvaret.. Detta hindrar inte att enskilda sådana kan vara betydande, inte minst för grundvattenströmningen (jfr NE-1 på Äspö, som storleksmässigt ligger mellan lokala och lokala mindre enligt tabell 2.2). Uppenbarligen bör insatser göras för att indentifiera alla förmodat betydande

lokala mindre diskontinuiteter som finns inom det tilltänkta förvarsområdet. Samtidigt måste det stå klart att sannolikheten att hitta diskontinuiteter är en direkt funktion av deras storlek (se t ex Santaló, 1976 eller Andersson et al., 1984). Detta innebär att de lokala mindre diskontinuiteterna inom det tänkta förvarsområdet i första hand behöver beskrivas stokastiskt även om vissa diskontinuiteter identifieras deterministiskt. (Finns deterministisk information ska den naturligtvis utnyttjas).

Beroende på egenskaperna kan de lokala mindre diskontinuiteterna ha väsentlig betydelse för hållfasthet och grundvattenströmningen i berget. Eftersom de dessutom kan förekomma inom förvarsområdet har de stor betydelse för förvarets funktion. Detta innebär att den geometriska beskrivningen av läge, orientering, längd och bredd (som i detta fall delvis blir stokastisk) direkt är av väsentlig betydelse för layout och bygganalys, av väsentlig betydelse för att kunna bedöma bergets isolerande förmåga (se kap 3) och av väsentlig betydelse för att kunna bedöma grundvattenströmningen i platsskala (se kap 5). Precis som för de större diskontinuiteterna är det viktigt att karaktärisera utsträckningen av dessa diskontinuiteter även utanför förvarsområdet, åtminstone så långt ut att deras kontakt med större diskontinuiteter beskrivs (se ovan).

Den geologiska karaktäriseringen av diskontinuiteterna bör innefatta information (stokastiskt och i tillämpliga fall deterministiskt) om rörelser (storlek, riktning, ålder), genetisk typ och egenskaper som antal sprickgrupper, spacing, blockstorlek, sprickråhet, sprickfyllnad/sprickmineral och omvandling/vittring. I det omedelbara förvarsområdet, bör diskontinuiteternas inre, som ju består av enskilda sprickor, beskrivas på samma sätt som enskilda sprickor (se 2.7.4).

Precis som för de större diskontinuiteterna har flera parametrar indirekt betydelse för den mekaniska stabiliteten (bergets isolerande förmåga). Detta gäller information om rörelse liksom diskontinuiteternas egenskaper för de sprickor som "bygger upp" diskontinuiteten. Av de senare är parametrar som antal sprickgrupper, spacing, blockstorlek, sprickråhet, sprickfyllnad, sprickmineral, omvandling, och vittring alla av väsentlig men indirekt betydelse, eftersom de utnyttjas i empiriska formler för bergmassans hållfasthet (se kap 3). Dessa parametrar har därmed även stor betydelse också för bygganalys och layout (se avsnitt 2.8). Information om sprickgrupper, spacing, blockstorlek samt sprickfyllnad- eller motsvarande som kan användas i till exempel diskret nätverksmodellering, har begränsad till väsentlig betydelse för grundvattenströmningen i förvarsområdet (se kap 5) och därmed även för retentionen.

En del av informationen om de lokala mindre diskontinuiteternas inre egenskaper är också indirekt av betydelse för bergets retentionsegenskaper eftersom sprickfyllnad och sprickmineral påverkar geokemi och sorptionsegenskaper (se kap 6 och 7). Informationen är dock av mer väsentlig (än för de större diskontinuiteterna) eftersom transport via grundvattenströmning i mindre diskontinuiteter kommer att representera en betydande del av nuklidtransport från förvaret till biosfären (se t ex SKB-91 eller SKI SITE-94).

Alla parametrar, inklusive genetisk typ är av väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen.

2.7.4 *Enskilda sprickor*

Under platsundersökningsskedet finns det ingen annan möjlighet än att beskriva enskilda sprickor stokastiskt. Det finns olika stokastiska geometriska modeller, vilket översiktligt konstateras i SR-95 och FUD-95. Olika koncept har olika parameteriseringar (se Geier and Dershowitz, 1992, Winberg, 1994, Gylling et al., 1994). Eftersom olika det finns olika diskreta modeller för att parametrisera ett spricknätverk och eftersom det dessutom finns andra modeller (t ex stokastiskt kontinuum som bara använder informationen indirekt) är det olämpligt att i detalj fastslå hur sprickor bör karakteriseras. De bör istället samlas in som möjliggör tolkning med olika stokastiska modeller (se 2.7.5 nedan). Dessutom gäller att tillräckligt med data behöver samlas in för att möjliggöra användning av olika modeller.

Den geologiska karakteriseringen av enskilda sprickor bör innefatta information som dels möjliggör en stokastisk beskrivning av nätverk av sprickor (t ex frekvens, storlek, orientering och kontaktmönster) och dels beskriver sprickornas egenskaper som sprickvidd (avser både apertur och påverkat sidoberg), ytkaraktär, råhet, sprickfyllnad, omvandling/vittring och sprickmineral. Informationen om spricknätverket i förvarsområdet är av väsentlig betydelse för bestämning av mekanisk stabilitet (se kap 3), för den detaljerade grundvattenströmningen (se kap 5) och därmed även för bergets retentionsegenskaper (se kap 7). Informationen är av begränsad betydelse i bygghanalysen. Den huvudsakliga sprickriktningen kan (tillsammans med bergspänningsförhållandena) påverka deponeringstunnlarnas orientering och är därför av begränsad betydelse för förvarslayouten.

Ytkaraktär, råhet, sprickfyllnad, omvandling, vittring/sprickmineral är vidare av väsentlig betydelse för bedömning av den mekaniska stabiliteten i förvarsområdet eftersom dessa parametrar ingår empiriska formler för hållfasthet (se kap 3). Sprickvid och sprickfyllnad är i praktiken enbart av begränsad betydelse för grundvattenströmningen (direkta hydrauliska test är nödvändiga se kap 5). Kemisk karakterisering av sprickfyllnad, sprickmineral och sidoberg är av begränsad betydelse för val av retentionsparametrar, men av väsentlig betydelse för att förstå retentionsmekanismerna i berget (se f ö kap 7).

2.7.5 *Mätmetoder*

Diskontinuiteter lokaliseras (identifieras) med hjälp av geologiska, geofysiska och hydrologiska metoder. Mer exakt läge, orientering och karakterisering sker med hjälp av borrhning och olika loggningsmetoder och tester i borrhålen. Vanligen krävs minst 2 borrhål för varje diskontinuitet (sprickszon). Utifrån angiven ambitionsnivå är det också i princip möjligt att värdera hur många borrhål som behövs för att verkligen hitta alla diskontinuiteter ner till en viss storlek och betydelse. Hydrauliska interferenstester kan också användas för att

bekräfta en diskontinuitet, även om dessa främst bör användas för att bestämma hydrauliska egenskaper.

Vid placering av borrhål behöver det uppmärksammas att dessa inte ensidigt kan placeras för att verifiera de större diskontinuiteterna. Som framgår av beskrivningen ovan är information om mindre diskontinuiteter och sprickor i förvarsområdet, om än stokastisk, i regel av väsentlig betydelse för att kunna göra bedömningar av mekanisk stabilitet, detaljerat grundvattenflöde och retentionsegenskaper. Dessutom bör behovet av att samla in annan information (hydraulisk och geokemisk) också styra borrhålsplaceringen. Ett optimalt utnyttjande av borrhål bör därför vara ett viktigt inslag vid den fortsatta planeringen av platsundersökningsprogrammet.

En stokastisk beskrivning av diskontinuiteter, typ enskilda sprickor, kan skattas från data om spricklängd, sprickfrekvens och orientering som uppmäts från ytundersökningar och borrhål. Skattningarna är behäftade med osäkerheter och beror på den antagna geometriska modellen i den diskreta modellen, på observationsområdets storlek och orientering och på vilken storlek och orientering sprickorna verkligen har (se t ex Dverstorp and Andersson, 1989).

Det finns olika sätt att hantera den bias som uppstår (se t ex Dershowitz et al., 1995). Allmänt kan dock sägas att för att få bra data bör observationsområdet inte vara för litet vilket kräver god blottningsgrad eller avrymning av bergytan i jordtäckta områden (trencher). Det är viktigt att fånga in de långa sprickorna (då finns det en chans att pröva vilken sprickfördelningsmodell som är bäst). Det är också viktigt att inte enbart utnyttja standardiserade samplingsmetoder (t ex "scanline sampling") - med datorsimulering är det möjligt att utnyttja all information om sprickor som insamlats på godtycklig form av observationsområde. Om det skulle vara aktuellt att välja är det sannolikt bättre att ta fram ett stort observationsområde än att satsa på många små.

Även om den strukturgeologiska modellen primärt bör ses som indata till hydrogeologiska och geokemiska modelleringen ska man inte heller bortse från möjligheten att utnyttja hydrogeologisk/kemisk information för att verifiera strukturer.

Spårämnesanalyser bör utföras på prov av sprickfyllnader med tillhörande sidoberg samt från referensprov på friskt, icke omvandlat, berg som omnämns ovan i samband med bestämning av bergets retentionsegenskaper för säkerhetsanalysen. Det är då av största vikt att det finns analyser av motsvarande ämnen i vatten som runnit genom de provtagna sprickorna. Det sambandet måste vara klart för att resultatet skall gå att tolka på ett meningsfullt sätt. För att spåra inflytandet av medfällning så bör man vara speciellt uppmärksam på kalcit-, järn(III)- och mangan(IV)-mineral. Se vidare kap 7.

3 BERGMEKANIK - MEKANISK STABILITET

3.1 Översikt av parametrar, metoder och användningsområden

Tabell 3.1 sammanfattar bergmekaniska parametrar som kan komma att användas vid en bergmekanisk analys. Tabellen försöker också visa exempel på hur parametrarna bestäms och hur de används. Parametrarna i tabell 3.1 återfinns också i den samlade parametertabellen i Appendix A:2.

Tabell 3-1. Översikt bergmekaniska parametrar.

Parameter	Metod	Används för
Diskontinuiteter Geometri för diskontinuiteter och geologiska parametrar	se geologisk modell	För att dela in berget i olika bergmassor i bergmekanisk modell och som indata till bestämningen av bergmassornas mekaniska egenskaper
Mekaniska egenskaper sprickor i olika bergmassor Deformationsegenskaper i normalled Deformationsegenskaper i skjuvled Hållfasthet vid skjuvning (L, C, Sprickråhet, JRC, Sprickväggens tryckhållfasthet, JCS)	Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk", Fält, lab (borrkärnor), "Generisk"	Diskret bergmek. model, indata till deformationsegenskaper för bergmassa
Mekaniska egenskaper intakt berg i olika bergmassor Young's modul (E-modul) Poissons tal (ν) Tryckhållfasthet Draghållfasthet Inträngningsindex, RDI, slitsegenskaper Sprängbarhet	Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk"	Diskret bergmek. model, indata deformationsegenskaper för bergmassa Bedöma borrhärdhet Bedöma sprängbarhet
Mekaniska egenskaper för olika bergmassor Young's modul (E-modul) Poissons tal (ν) Bergklassning (RMR, Q) olika system Dynamisk gånghastighet tryckväg Dynamisk gånghastighet skjuvväg Hållfasthet	Kartering borrhärdhet, "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk" Borrhärdhet Mätning i fält Mätning i fält Kartering borrhärdhet, "Generisk"	Bergmek model Bergmek model Bestämning av deformations- och hållfasthetsegenskaper Modell för dynamisk analys Modell för dynamisk analys Bergmek model
Densitet och termiska egenskaper Densitet Längdutvidgningskoefficient Värmeledningstal Specifik värme	Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk" Lab (borrkärna), "Generisk"	Bergmek model Bergmek. model Bergmek. model Bergmek model
Randvillkor och stödjande data In situ spänningar, magnitud och riktningar Yttre laster Observerade deformationer och seismisk aktivitet	Överbörning, spräckning, "Generisk",... Sceanarioanalays, buffert,.. "Kartering", seismiska observationer	Bedömning stabilitet, (kalibrering) Bergmek model "Validering"

3.2 Modeller och användningsområden

Mekanisk stabilitet utgör en av berggrundens fundamentala säkerhetsfunktioner (se t ex kompletteringen av FUD-Program 1992, SKB, 1994). Mekaniskt stabilitet innebär främst att buffertens och kapselns funktion inte ska förändras av rörelser i berget och rörelser eller nya sprickor inte får väsentligt förändra grundvattenströmingen kring förvaret så att retentionsegenskaperna allvarligt försämras.

Utvärderingen av den mekaniska stabiliteten kan delas i olika *skalor* och i olika *tidsperspektiv* för olika *laster*:

- I förvarsskala analyseras bergets stabilitet som följd av bland annat de termiska förändringarna, för dynamiska laster, liksom för storskaliga förändringar i lastsituationen (t ex en glaciation)
- Den mekaniska stabiliteten i tunnel- och deponeringshållsskala behöver dels värderas vid bygganalys och drift men är också väsentlig för förvarets funktion på lång sikt. Efter förslutning behöver t ex effekten av statisk last, åtemåtnad och av den termiska utvecklingen analyseras liksom inverkan av mer storskaliga förändringar i lastsituationen. Både byggaspekter och den långsiktiga funktionen ger information om hur deponeringsorter och deponeringshål bör utformas.
- Långsiktig mekanisk påverkan på grundvattenströmningen (främst i närområdet).

Figur 3.1 visar principiell uppbyggnad och användning av bergmekanisk modellering.

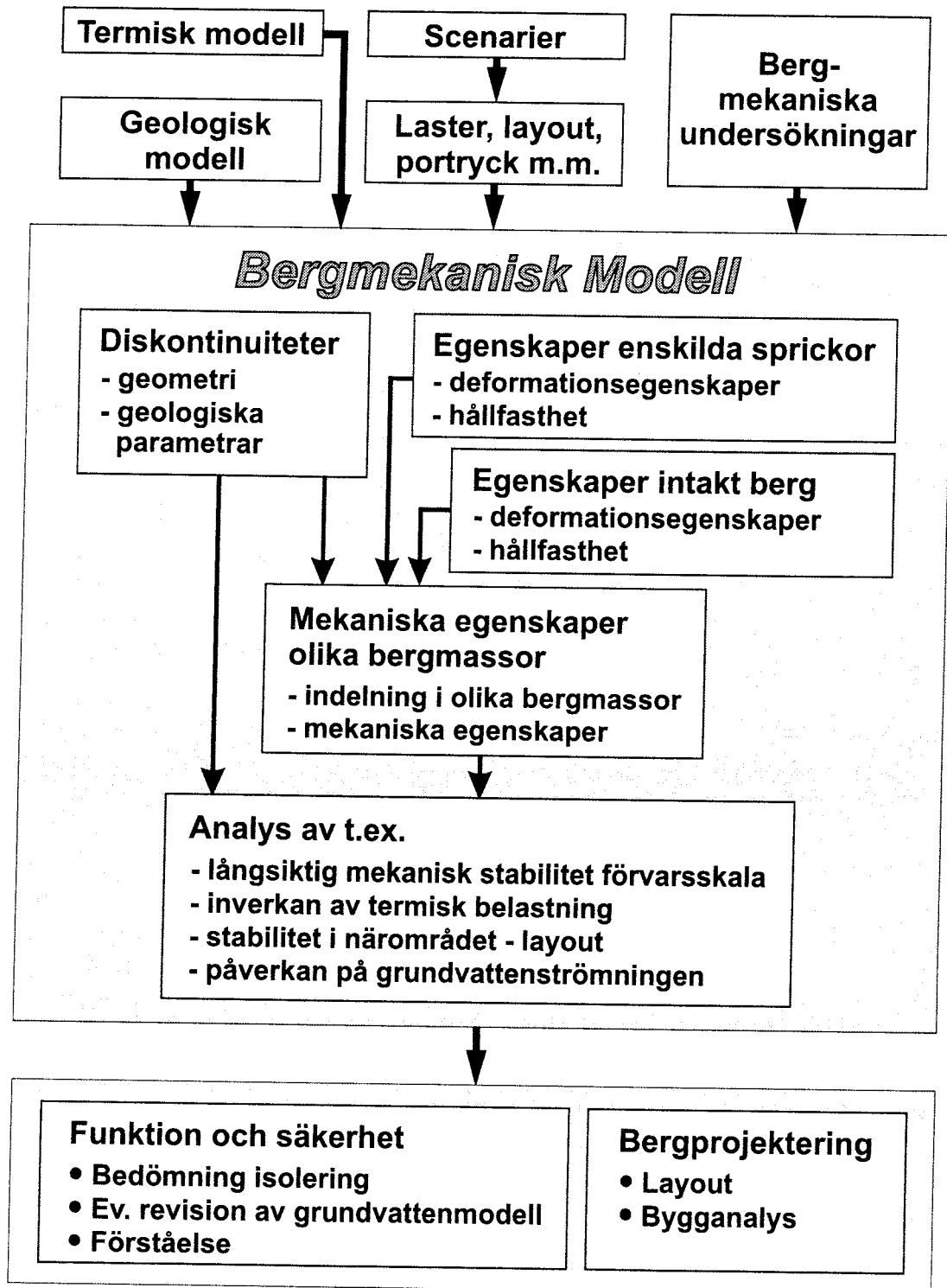
En generell beskrivning av bergmekanisk modellering och frågeställningar kring dessa finns till exempel i Hudson ed. (1993). Leijon (1993) går igenom mekaniska egenskaper för sprickzoner, med speciell tonvikt på frågor av betydelse för djupförvar. Det kan dock konstateras att bergmekaniska frågor hittills haft förhållandevis litet utrymme i publicerade säkerhetsanalyser som SKB 91 eller SR-95. Detta innebär också att det finns begränsad detaljerad erfarenhet över vilka bergmekaniska parametrar som har betydelse för den långsiktiga säkerheten, även om generell kunskap finns om detta.

3.2.1 Mekanisk stabilitet i förvarsskala och termisk belastning

En analys av förvarets långsiktiga mekaniska stabilitet söker besvara om oacceptabla rörelser eller nya diskontinuiteter kan uppstå som ett resultat av förvarets geometri och de olika laster som förvaret kommer att utsättas för. Dessa laster omfattar rådande spänningsförhållanden, de som uppkommer på grund av temperaturförändringar, yttre laster som ett istäcke och dynamisk belastning från t ex jordbävning.

Analysen i förvarsskala behöver inte nödvändigtvis göras med kvantitativa modeller. Identifikation av storskaliga deformationszoner och bestämning av allmänt spänningsläge kan vara tillräckligt. Resonemangen kan i så fall bygga på mer generiska kvantitativa analyser av storskalig inverkan av värme, islaster m.m. Den storskaliga analysen behöver dock kunna ge randvillkor till en bergmekanisk analys i närområdesskala. Kvantitativ analys behöver dock i regel ske för att försäkra sig om att den termiska utvidgningen inte orsakar problem, som till exempel dragspänningar som går ner på för stora djup.

Kvantitativ bergmekanisk analys (se t. ex. Israelsson et al, 1992) kan också göras med beräkningsprogram där spänningar och deformationer beräknas för



Figur 3-1. Schematisk illustration av uppbyggnad och användning av bergmekanisk modellering

givna yttre laster. I en del modeller beskrivs berget som sammansatt av diskreta block avgränsade av diskontinuiteter. I princip kan då olika deformations- och hållfasthetsmodeller tillordnas diskontinuiteterna respektive bergmassan i blocken. Berget kan också beskrivas som ett kontinuum (med en finit elementmodell). I detta fall beskrivs de modellerade diskontinuiteterna och berget med samma modell, som en bergmassa bestående av sprickor och diskontinuiteter, men diskontinuiteterna representeras med andra värden på deformations- och hållfasthetsparametrarna. I regel innehåller dock modeller *både* diskret representerade element och medelvärdesbildad information. Avvägningen mellan dessa möjligheter är skal- och problemberoende, som bland annat diskuteras av Leijon (1993).

3.2.2 Stabilitet i närområdet, designfrågor

Utvärdering av stabilitet i närområdet och lämplig utformning av deponeringsorter och deponeringshål avser funktion både på kort och lång sikt. Ett flertal analyser har gjorts för att bestämma hur stora deformationer av deponeringshål som krävs för att ge skador på kapseln, men fortsatt modellarbete pågår (se t ex Börgesson et al., 1995). Dessa resultat kan tillsammans med de mekaniska analyserna t.ex. användas för att ta fram kriterier för acceptans av deponeringstunnlar och orter, samt ge ledning till lämplig orientering och utformning av desamma (t.ex. bedömning av förstärkningsbehov, och risk för smällbergsproblem), bedömning av utbildandet av en störd zon och till att ge indata till källtermsberäkningar. Detta innebär att frågor om byggbarhet, utformning och säkerhet är starkt kopplade.

Utvärderingen baseras rimligen på kvantitativa beräkningar. De modelleringsverktyg som används motsvarar de som kan användas i större skala, men för att modelleringen ska bli meningsfull behöver diskontinuiteter beskrivas med en högre detaljeringsgrad. Baserat på data från en platsundersökning kan sprickor och deformationsegenskaper enbart beskrivas stokastiskt (motsvarande problem som för grundvattenströmning) och beskrivs därför i regel som en bergmassa (eller i princip med simulering av olika sprickgeometrier). Sprickinformationen i närzonsskala kan kompletteras vid detaljundersökning och förvarsutbyggnad.

3.2.3 Bedömning av hydromekaniska kopplingar

Bergmekaniska förändringar påverkar bergets ledningsförmåga (hydromekanisk påverkan). Modellering av hydro-mekaniska kopplingar är av forskningskaraktär och ingår som ett centralt tema i det s.k. DECOVALEX-projektet (se t ex Jing et al, 1993). Betydelsen av hydromekaniska kopplingar kan man komma att behöva ingå i en säkerhetsredovisning av en plats.

3.2.4 Gynsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer

I kompletteringen av FUD-program 92 anges ett antal bergmekaniska faktorer som gynsamma, ogynnsamma respektive diskriminerande.

Som *gynsamma* faktorer angavs: för svensk berggrund normala bergspänningar och värmeledningsegenskaper, homogen och lättolkad berggrund, tillgång till bergblock med få sprickzoner och låg spricktäthet omgivna av tydliga svaghetszoner, dvs mycket liknande de faktorer som angets under geologi. I efterhand kan det i och för sig ifrågasättas om normala värmeledningsegenskaper verkligen är gynnsamma. Som *ogynnsamma* faktorer angavs anomala bergspänningsförhållanden, anomala hållfasthetsegenskaper, starkt heterogen och svårtolkad berggrund, närhet till kända deformationszoner och postglaciala förkastningar. Som *diskriminerande* faktorer i den meningen att de kan ge anledning att överge plats med påbörjad platsundersökning angavsextrema bergmekaniska egenskaper. Denna faktor behöver uppenbarligen preciseras för att vara direkt användbar, ett viktigt exempel kan dock vara höga bergspänningar i förhållande till intakta bergets hållfasthet.

Identifikationen av bergmekaniska parametrar som redovisas i följande avsnitt innefattar samtliga parametrar som anges ovan. En precisering och eventuell omvärdering av platsvals faktorer som baseras på den bergmekaniska modellen kan m a o baseras på parameterlistan i appendix A:2.

3.3 Diskontinuiteter

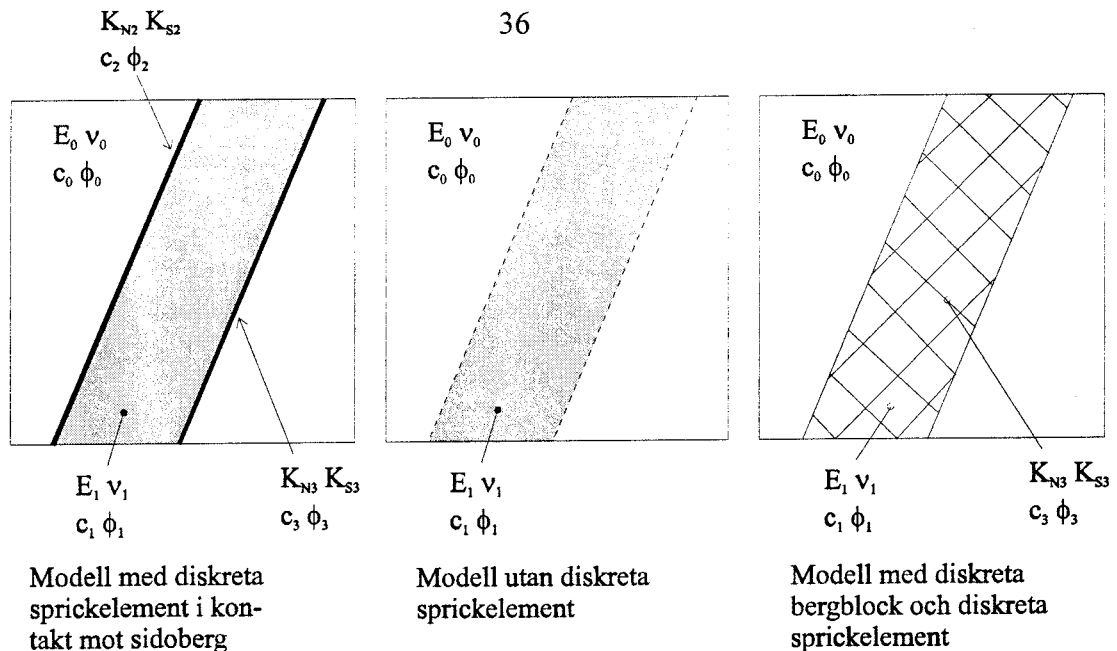
Förekomsten av diskontinuiteter är mycket viktigt vid bergmekanisk modellering. De har uppstått genom mekanisk påverkan och har andra deformationsegenskaper än det intakta berget. Deformationsegenskaperna hos de större diskontinuiteterna beror på deformationsegenskaperna hos det intakta berget, på deformationsegenskaperna hos de sprickor som bygger upp diskontinuiteten och på geometrin hos dessa sprickor. Med *intakt berg* menas i bergmekaniska sammanhang *berg utan synliga sprickor*.

Vid praktisk bergmekanisk modellering av stabilitet i förvarsskala är det bara de större diskontinuiteterna som modelleras explicit, och då i regel som zoner med avvikande deformationsegenskaper. Berget, både i sprickzoner och däremellan, representeras med begreppet *bergmassa* som representerar deformationsegenskaperna för sprickor och intakt berg tillsammans.

Information om diskontinuiteter används för att dela in berget i olika bergmassor i en bergmekanisk modell. Diskontinuiteter som bedöms vara mekaniskt väsentliga beskrivs som bergmassor med olika mekaniska egenskaper. Berget mellan de explicit modellerade diskontinuiteterna beskrivs som en bergmassa med andra mekaniska egenskaper. Som framgår av figur 3-2 kan olika modeller användas för att beskriva bergmassans mekaniska egenskaper i olika diskontinuiteter.

Nödvändiga parametrar är därför geometri för modellerade diskontinuiteter såsom läge, orientering och bredd, deformations- och hållfasthetsegenskaper för bergmassan i diskontinuiteterna och deformations- och hållfasthetsegenskaper för bergmassan mellan de modellerade diskontinuiteterna.

Vid modellering av stabilitet i närområdet kan även enskilda sprickor modelleras. Bergmassan mellan de modellerade sprickorna kan för en detaljmodell utgöras av intakt berg. I detta fall väljs egenskaper som motsvarar det intakta berget. Finns det även sprickor i bergmassan mellan de modellerade



Figur 3-2. Olika modeller för att beskriva bergmassans mekaniska egenskaper i olika diskontinuiteter. För närmare beskrivning av parametrarna i figuren se Leijon, 1993.

sprickorna måste egenskaperna hos bergmassan väljas med hänsyn till dessa sprickors geometri, egenskaper och det intakta bergets egenskaper.

Nödvändiga parametrar är geometri för modellerade sprickor, deformationsegenskaper och hållfasthet hos dessa sprickor och bergmassan egenskaper mellan de modellerade sprickorna.

Värdering, behov av upplösning och mätmetoder

För att identifiera områden på platsen som kommer att vara mekaniskt stabila på lång sikt behöver åtminstone alla regionala och större lokala diskontinuiteter identifieras. Egenskaper för bergmassan hos de modellerade diskontinuiteterna och övrigt berg behöver fastställas. I princip är alla parametrar lika viktiga. För en enskild modell och en speciell analys kan en parameter visa sig ha större betydelse än övriga men detta är svårt att avgöra på förhand innan analysen genomförts. I den sammanfattande tabellen i appendix A:2 anges därför att den geometriska informationen är av väsentlig betydelse för bergets isolerande förmåga och därmed av väsentlig betydelse för bentonitens och kapselns isolerande förmåga, av väsentlig betydelse för grundvattenflödet samt av väsentlig betydelse för layout och bygganalys. (Windelhed och Alestam (1996) anger att det finns behov av att identifiera diskontinuiteter och för dessa göra en bergmekanisk och stabilitetsmässig bedömning).

Geometrisk information om diskontinuiteterna erhålls från den geologiska strukturmodellen. Bergmassans egenskaper kan inte mätas direkt utan uppskattas med olika ansatser från kunskap om och mätning av mekaniska egenskaper för sprickor, mekaniska egenskaper för intakt berg, plus kunskap om sprickgeometri. Följande avsnitt (3.4 - 3.6) beskriver dessa parametrar närmare.

3.4 Mekaniska egenskaper för sprickor i olika bergmassor

Olika bergmassors mekaniska egenskaper bestäms till en stor del av de i respektive bergmassa ingående sprickornas mekaniska egenskaper. Sprickors mekaniska egenskaper är beroende av deras vågighet, ytråhet, omgivande bergs hållfasthet, fyllnadsmaterial och fyllnadsgrad.

Vid den bergmekaniska modelleringen ska, i princip, även hänsyn tas till vattentrycket i sprickorna, eftersom detta påverkar effektivspänningen. I många praktiska fall är inverkan liten i jämförelse med rådande osäkerheter, men effekten bör beaktas vid återmättnad av förvaret och vid de mycket höga vattentryck som kan tänkas uppstå vid glaciation.

3.4.1 *Deformationsegenskaper*

Vid enbart normalbelastning av en spricka trycks den ihop tills den är helt slut. Sambandet mellan normalspänning och normaldeformation brukar tecknas med hjälp av normalstyvhet, K_n , så länge normaldeformationen är mindre än sprickans maximala ihoptryckning. Normalstyvheten är beroende av normalspänningen. Provbekastningar visar att sambandet mellan normalspänning och normaldeformation kan approximeras med en hyperbel.

På samma sätt som i normalled kan de skjuvrörelser som uppkommer i skjuvriktningen före brott, tecknas med hjälp av en skjuvstyvhet, K_s . Skjuvstyvhetens storlek är också spänningsberoende.

3.4.2 *Hållfasthet*

Skjuvhållfastheten mellan två plana ytor kan beskrivas med en basfriktionsvinkel. De naturliga sprickorna är aldrig så plana att sprickornas skjuvhållfasthet bestäms av basfriktionsvinkeln. Generellt ökar sprickråheten hållfastheten. Skjuvhållfastheten för en sågtandad spricka beror på basfriktionsvinkeln mellan två plana ytor (ϕ_b) och vinkeln på sågtanden i under förutsättningen låga normalspänningar när glidning sker längs sågtänderna. Vid höga normaltryck skjuvas klackar av det intakta berget av och hållfastheten är beroende av det intakta bergets hållfasthet.

Barton (1973, 1976), Barton and Chonbey (1977) och Barton and Bandis (1990) har studerat naturliga bergsprickors uppförande föreslagit formler baserade på sprickans råhetskoefficient (JRC) och sprickväggens tryckhållfasthet (JCS). Båda parametrarna är skalberoende och kan bestämmas både i fält och på laboratorium. Bestämningen sker på referenslängden 100 mm.

3.4.3 *Värdering, mätmetoder och krav på precision*

I princip är alla parametrar lika viktiga. För en enskild modell och en speciell analys kan en parameter visa sig ha större betydelse än övriga men detta är svårt att avgöra på förhand innan analysen genomförs. I tabellen i appendix A:2 anges därför att samtliga ovan redovisade parametrar är av väsentlig betydelse för isolering (berg, bentonit och kapsel) och väsentlig betydelse för projekteringen (layout och bygganalyser). Deformationsegenskaper och

hållfasthet har begränsad betydelse för grundvattenflödet eftersom dessa bestämmer betydelsen av hydromekaniska kopplingar.

Sprickans deformations- och hållfasthetsegenskaper kan bestämmas genom provning i en skjuvbox på laboratorium eller i fält. Provningarna utförs på relativt småskaliga prov varför provningsresultatets måste skalas upp till verkliga spricklängder.

För att kunna använda Barton's samband bestäms JRC och JCS genom kartering i fält och på upptagna kärnprover.

Kravet på precision vid bestämning av sprickors deformations- och hållfasthetsegenskaper är beroende på det problem som skall analyseras varför inga generella anvisningar kan ges. För att närmare bestämma kraven måste en känslighetsanalys utföras för det specifika problemet.

3.5 Mekaniska egenskaper för intakt berg i olika bergmassor

Olika bergmassors mekaniska egenskaper bestäms även av det i respektive bergmassa ingående intakta bergets mekaniska egenskaper. (Med intakt berg avses i bergmekaniska sammanhang, som ovan sagts, berg utan synliga sprickor). De centrala bergmekaniska data rör det konstitutiva sambandet mellan spänning och töjning. Eftersom intakt berg är ett sprött material är valet av materialmodell inte givet. Bland annat kan det diskuteras om krypning, brottvillkor och hysteres hanteras riktigt i de modeller som används idag. Denna fråga löses dock inte med ett platsundersökningsprogram - "generisk" information och forskning behövs för att komma vidare om det skulle bedömas nödvändigt.

I regel beskrivs det intakta bergets mekaniska egenskaper med linjär del och en plastisk del som är beroende av materialets hållfasthet.

3.5.1 Deformationsegenskaper

Den linjära delen beskrivs med elasticitetsteorin i form av elasticitetsmodul (Young's modul) och Poissons tal. Båda parametrarna bestäms ur provbelastning av borrhärdor. Elasticitetsmodulen är generellt beroende av den omgivande belastningen ("inspänningen") och bergets "mikrosprickor".

3.5.2 Hållfasthet

Den plastiska delen beskrivs vanligen med en flytfunktion och en flyttag. Flytfunktionen, F , beror på spänningarna och innesluter en volym i spänningsrymden innanför vilken spänningsändringar ger upphov till rent elastiska töjningar. Spänningsändringar utanför denna flytyta ger upphov till plastiska töjningar. Flytpotentialen, Q , beskriver hur de plastiska töjningarna sker.

En allmänt använd modell för den plastiska delen är Mohr-Coulombs modell där flytfunktionen, F , beskrivs med en kohesion, c , och en inre friktionsvinkel, ϕ , och där flytpotentialen, Q , beskrivs med hjälp av en dilatansvinkel, ψ .

För bergmaterial finns speciellt utvecklade materialmodeller t.ex Hoek och Browns brottvillkor (Hoek and Brown , 1980). I brottvillkoret ingår två materialparametrar nämligen det intakta bergets enaxliga tryckhållfasthet, σ_c , och en konstant, m_i , som beror på bergets egenskaper. Den enaxliga tryckhållfastheten, σ_c , skall bestämmas på laboratorieprovning av borrhävar med diametern 50 mm och längden 100 mm, men kan även skattas från σ_{cd} , som är den enaxliga tryckhållfastheten mätt på prov med diametern d mm.

Parametrarna till Mohr-Coulombs och Hoek och Browns brottvillkor bestäms ur treaxliga belastningsförsök till brott utförda vid olika sidotryck på borrhävar.

För att kunna studera hur det intakta berget uppför sig under och efter själva brottet bör försöken utföras i en styv deformationstyrd press. Beteendet efter brott är av betydelse när risken för smällberg skall bedömas.

Det finns inte några entydiga samband mellan bergart och hållfasthet utan variationen är stor. Variationen av hållfastheten för en bergart inom samma bergmassiv är dock mindre.

3.5.3 Värdering, mätmetoder och krav på precision

I princip är alla parametrar lika viktiga. För en enskild modell och en speciell analys kan en parameter visa sig ha större betydelse än övriga men detta är svårt att avgöra på förhand innan analysen genomförs. I tabellen i appendix A:2 anges därför att samtliga ovan redovisade parametrar är av väsentlig betydelse för isolering (berg, bentonit och kapsel) och väsentlig betydelse för projekteringen (layout och bygganalys). Parametrarna är av begränsad betydelse för grundvattenflödet eftersom de bestämmer betydelsen av hydromekaniska kopplingar. Hållfastheten är dock av väsentlig betydelse för grundvattenströmningen eftersom nya flödesvägar skulle kunna uppstå.

Mätmetoder har redan kommenterats ovan. Krav på precision är problemberoende.

3.5.4 Inträngningsindex, slitenskaper och sprängbarhet

I Windelhed och Alestam (1996) anges att inträngningsindex, RDI och slitenskaper, liksom sprängbarhet behövs för bergprojekteringen. Dessa parametrar har givits bedömningen B för layout och V bygganalys i den samlade parameter Tabellen (A:2).

3.6 Mekaniska egenskaper för olika bergmassor

De enskilda sprickornas och de intakta bergblockens egenskaper är grunden för de olika bergmassornas uppförande. Beroende på den geometriska fördelningen av sprickor kommer bergmassan att uppföra sig isotropt eller anisotropt. Ju flera sprickor med olika riktning som genomkorsar bergmassan ju mer isotropt blir uppförandet. För att kunna bestämma bergmassans mekaniska egenskaper behöver man därmed parametrar som beskriver sprickornas geometri och egenskaper. Exempel på sådana parametrar är de som förekommer i de empiriska Q och RMR systemen.

3.6.1 *Deformationsegenskaper*

Bergmassans deformationsmodul är lägre än det intakta bergets. Deformationsmodulen kan erhållas genom att bidragen från sprickorna och bergblocken summeras. Den resulterande modulen blir en funktion av sprickornas och bergblockens egenskaper samt avståndet mellan sprickorna.

En annan väg att uppskatta bergmassans deformationsmodul är att använda empiriska samband baserade på en klassning av bergmassan enligt Q eller RMR-systemet.

Poissons tal för bergmassan uppskattas med ledning av det intakta bergets Poissons tal och sprickgruppernas geometri och egenskaper. Poissons tal för en bergmassa varierar mellan 0.2 och 0.3.

För dynamiska analyser krävs kunskap om bergmassans deformationsegenskaper vid dynamisk belastning. Dessa utvärderas ur gånghastigheten för tryck- respektive skjuvvågor.

Värdering, mätmetoder och krav på precision

Deformationsegenskaperna för en bergmassa är viktiga parametrar i all form av numerisk modellering. I tabellen i appendix A:2 anges därför dessa parametrar är av väsentlig betydelse för isolering (berg, bentonit och kapsel) och av väsentlig betydelse för projekteringen (layout och bygganalys). Parametrarna är av begränsad betydelse för grundvattenflödet eftersom de bestämmer betydelsen av hydromekaniska kopplingar. Bergklassningen (i form av Q eller RMR) är en empirisk parameter, men har i praktiken väsentlig betydelse för bergets isolerande egenskaper. De dynamiska deformationsegenskaperna är av väsentlig betydelse isolering (berg, bentonit, kapsel) men är knappast väsentliga under ett anläggningsskede.

Direkt bestämning av deformationsmodulen i fält är svårt och kostsamt, därför används vanligen de empiriska sambanden som utvecklats för att uppskatta deformationsmodulen baserad på klassning av bergmassan enligt Q eller RMR-systemet.

De dynamiska egenskaperna bestäms ur fältmätningar, seismik, crosshole mätningar etc där gånghastigheten för tryck- respektive skjuvvåg bestäms.

Kravet på precision vid bestämning av bergmassans deformationsegenskaper är beroende på det problem som skall analyseras varför inga generella anvisningar kan ges. För att närmare bestämma kraven måste en känslighetsanalys utföras för det specifika problemet.

3.6.2 *Hållfasthet*

Hållfastheten hos en bergmassa som genomkorsas av tre eller flera sprickgrupper beror för många lastfall till allra största delen på sprickornas egenskaper. Hållfastheten varierar i dessa fall endast i mindre grad med belastningsriktningen.

För att beskriva bergmassans hållfasthet inom ett avgränsat spänningsintervall kan Mohr- Coulombs brottvillkor användas. Det finns olika empiriska samband mellan klassning av bergmassan enligt Q eller RMR-systemet och de ingående parametrarna c och ϕ .

Hoek och Browns brottkriterium har även utvecklats för att beskriva hållfastheten hos en bergmassa (Hoek et al., 1995). De ingående parametrarna är där värdet på konstanten m för bergmassan (m_b), konstanter som beror på bergmassans karaktär (s och a), och den enaxliga tryckhållfastheten hos det intakta berget (σ_c). De ingående parametrarna, m_b , s och a som beskriver bergmassans karaktär kan uppskattas med hjälp av klassning av bergmassan enligt RMR- eller Q-systemet.

Värdering, mätmetoder och krav på precision

Bergmassans hållfasthet är uppenbarligen av väsentlig betydelse för isolering (berg, bentonit och kapsel) och av väsentlig betydelse för projekteringen (layout och bygghanlys). Indirekt är hållfastheten av väsentlig betydelse för grundvattenströmningen eftersom nya flödesvägar skulle kunna uppstå. Värderingen framgår av tabell A:2.

Direkt bestämning av bergmassans hållfasthet i fält är svårt och kostsamt eftersom det krävs att en stor volym belastas. Vanligen används därför de empiriska sambanden som utvecklats för att uppskatta bergmassans hållfasthet baserad på klassning av bergmassan enligt Q eller RMR-systemet

Kravet på precision vid bestämning av bergmassans hållfasthetsegenskaper är beroende på det problem som skall analyseras dvs hur känsligt resultatet av analysen är av en variation i bergmassans hållfasthet. Denna känslighet måste bestämmas genom en känslighetsanalys när analysen genomförs.

3.7 Densitet och termiska egenskaper

Termisk längdutvidgning, värmeledning och specifikt värme m.m. ingår som modelldata vid beräkning av de spänningsförändringar och deformationer som uppkommer p g a värmelast. Vid sådana beräkningar är de ingående parametrarna uppenbarligen av väsentlig betydelse för bergets isolerande förmåga, liksom för layout av förvaret (se tabell A:2 i appendix).

Generiska data kan användas (baseras på tidigare laboratorie mätningar) kompletterat med bestämningar på borrhärdar från den specifika platsen. Parametrarnas värde varierar med bergartens sammansättning framför allt kvarts halten. För vidare diskussion om termiska egenskaper se kap. 4.

3.8 Randvillkor och stödjande data

3.8.1 Bergspänningar

Bergmassan utsätts för spänningar beroende på vikten av överliggande massor och från laster som har tektoniskt ursprung. När ett bergrum eller tunnel tas ut sker lokalt en omlagring av spänningarna och ett lokalt spänningstillstånd

skapas runt öppningen. Kännedom om storleken och riktningen av dessa insitu och inducerade spänningar är en central del i designen av en berganläggning. Bergspänningarna är alltså en viktig ingångsparameter för alla typer av modelleringar av den mekaniska stabiliteten i olika skalor, och för bedömning av den mekaniska långtidsstabiliteten samt vid hydro-mekaniskt kopplade beräkningar.

Det regionala spänningsfältet appliceras som randvillkor för regional bergmekanisk modell. Det är vanligt att beräkningsmodellen orienteras så att endast normalspänningar behöver beaktas längs modellens ränder.

Spänningsfältet är också en viktig stödjande parameter. De bergmekaniska modellerna beräknar spänningsfördelningen i berget t ex kring en öppning. Om spänningsfältet istället vore känt, skulle man direkt kunna avgöra om det fanns risk för ny-sprickbildning eller andra mer dramatiska deformationer. Ett uppmätt spänningsfält kring t ex en öppning skulle också kunna användas för att kontrollera rimligheten i gjorda beräkningar.

Värdering, mätmetoder och behov av precision

Som framgår av diskussionen ovan, och redovisas i tabell A:2, är information om spänningsfördelningen av väsentlig betydelse för isolering (berg, bentonit, kapsel) och projektering (layout och bygganalys).

Data om det regionala spänningsfältet tas från "generisk kunskap". Det finns upprättade bergspänningskartor där huvudriktningarna på in situ spänningsfältet framgår (se t ex Larsson and Tullborg, 1994 samt Ljungren och Persson, 1995). Dessa data måste kompletteras med geologisk information och bergspänningsmätningar på den specifika platsen. Regionala strukturer i bergmassan kan ha roterat in situ spänningsfältet.

Huvudsyftet med bergspänningsmätningarna är att få en allmän bild av bergspänningsförhållandena vad beträffar magnitud och riktning i området, och en uppfattning om förhållandena på blocknivå. Behovet av precision är till stor del beroende på bergmassans hållfasthet och konstruktionens känslighet för variation i in situ spänningsfält framför allt den geometriska utformningen hos öppningen.

Mätning kan utföras med överborring eller hydraulisk spräckning. Mätningen utförs i borrhål. Fördelen med hydraulisk spräckning är att mätningarna kan utföras i redan borrhålen medan bestämning med överborring görs i samband med borrhållningen. Bestämning genom överborring ger emellertid bättre information om orienteringen jämfört med hydraulisk spräckning.

Vid kärnboring kan indikationer på höga bergspänningar i förhållande till bergartens hållfasthet iakttagas i form av sk "core discing". I alla typer av borrhål kan även sk "break-outs" iakttagas vid mycket höga spänningar. Läget av dessa "break-outs" kring borrhålets periferi ger en indikation på spänningsfältets riktning.

Det finns flera osäkerheter vid bestämningen av platsspecifika spänningar, och dessutom varierar spänningsfältet i rummet, även över mycket korta avstånd.

Det kan diskuteras om inte en stor del av variationen är en kombination av mätfel och kvarvarande residualspänningar inne i block. För att tillfredställande uppskatta det lokala spänningsfältet krävs relativt många bestämningar och att dessa behandlas statistiskt. Osäkerheter i spänningar kan dock bedömas vara lägre än osäkerheter vid bestämning av hållfasthet och deformationsegenskaper. Spänningsbestämningar är därför viktiga.

3.8.2 *Laster*

Lasterna används som randvillkor i bergmekaniska beräkningar. Dessa kan delas in i laster från förvaret och laster på bergmassan i stort. De förra (värmeutveckling, uttag av tunnlar, svälltryck m.m.) är väl kända och är inte plats specifika (med designspecifika!!).

Laster på bergmassan i stort är dels det regionala spänningsfältet (se ovan) och dels kommande laster vid framtida scenarier, som glaciation, permafrost, jordbävning m.m. Kunskap om dessa är väsentligen generisk (se t.ex. Boulton and Payne 1993 eller King-Clayton et al., 1995). Regionala skillnader finns, men det finns knappast något som kan/behöver mätas.

Information om förändrade yttre laster är av väsentlig betydelse för isolering (berg, bentonit, kapsel) och av väsentlig betydelse för grundvattenströmningen. Informationen har dock mindre betydelse för projektering under dagens förhållanden.

3.8.3 *Identifierade deformationer och seismisk aktivitet*

Geologisk information kan vara avgörande för bedömning om bergets och förvarets långsiktiga mekaniska stabilitet. Geologisk evidens för deformationszoner och postglaciala förkastningar (eller frånvaro av sådant) utgör viktigt underlag (se t. ex. Stanfors and Ericsson, 1993). I publicerade säkerhetsanalyser (SKB-91, TVO-92) förs även argumentationen att framtida förskjutningar i berget är direkt kopplade till storleken hos idag existerande diskontinuiteter. Sådana resonemang skulle dock behöva utvecklas innan de kan användas som utgångspunkt för kravspecifikation på en platsundersökning. Den geologiska modell som beskrivs i kapitel 2 bör vara en rimlig utgångspunkt för en bergmekanisk bedömning och där redovisade datakrav tar även hänsyn till detta.

Det bedöms dessutom vara förväntat att den seismiska aktiviteten i området registreras. Det kan dock konstateras att denna information egentligen inte behövs för att bedöma säkerheten, eftersom den seismiska aktiviteten i landet generellt är låg.

4 TERMISKA EGENSKAPER

4.1 Översikt av parametrar, metoder och användningsområden

Tabell 4.1 sammanfattar vilka data som i första hand behövs för att kunna beskriva bergets termiska egenskaper. Parametrarna återfinns också i den samlade parameterlistan i Appendix A:3.

Tabell 4-1. Översikt av databehov för att kunna bestämma bergets termiska egenskaper.

Parameter	Metod	Används för
Bergets termiska egenskaper		Design, värmemodellering, bergmekanik
Värmeledningsförmåga- berg	Generisk - prov på borrkärna	
Värmekapacitet - berg	Generisk - prov på borrkärna	
Värmeutvidgning	Generisk - prov på borrkärna	
Temperaturer		Modellering, design
Temperatur i berg och grundvatten	Temperaturmätning i borrhål	Begynnelsedata för modellering
Termiska randvillkor/gradient	Generisk - temperaturmätning	Randvillkor

4.2 Modeller och användningsområden

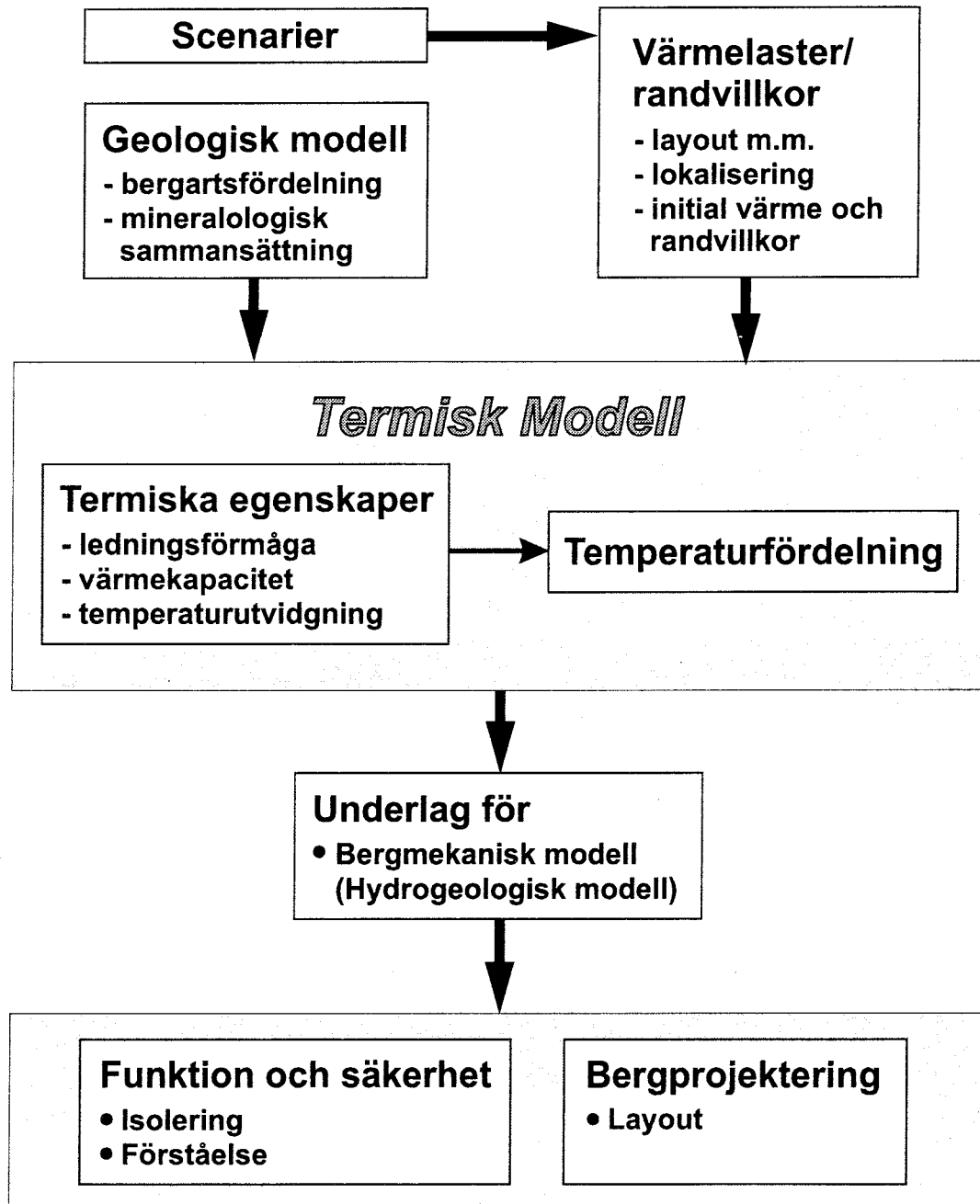
Temperaturen och temperaturfördelningen är fundamentala tillståndparametrar i djupförvaret. Temperaturen påverkar den mekaniska miljön, grundvattenströmningen och den kemiska/biologiska miljön, även om påverkan är relativt måttlig inom de temperaturintervall som normalt får anses råda i djupförvaret. Temperaturförhållanden inverkar direkt på layout och design av förvaret. Figur 4-1 illustrerar schematiskt uppbyggnad och användning av termiska modeller.

4.2.1 Modellering av termisk utveckling

Beräkningen av den termiska utvecklingen beskrivs i avsnitt 10.2 i SR-95. Värme transporteras med värmeledning. Det använda bränslet är värmekälla. Enkla geometrier behandlas analytiskt. Vid mer komplicerade fall utnyttjas numeriska lösningsmetoder (FEM-modellerna ANSYS och SOLVIA).

Förutom via värmeledning kan värme kan också transporteras advektivt med det strömmande grundvattnet. Vid höga porositeter blir advektionen med det strömmande vattnet betydande och kan inte försummas. Ett flertal studier (t ex Thunvik och Braester, 1980) visar dock att värmeledning är den helt dominerande transportmekanismen i sprickigt berg. Porositeten, som ligger mellan 10^{-3} och 10^{-4} , är så låg att värmeinnehållet i grundvattnet kan försummas.

Värmetransporten bestäms av bergmassans ledningsförmåga, densitet och värmekapacitet. Dessa egenskaper varierar i rummet, men variationen i stor



Figur 4-1. Schematisk illustration av uppbyggnad och användning av termiska modeller.

skala är måttlig. Eventuellt skulle dock den rumsliga variationen kunna ge problem i närzonskala.

Tänkbara värmekällor är i princip väl kända. Restvärmets från det använda bränslet beror på det radioaktiva sönderfallet och kan därför beräknas. Värmeproduktionen från individuella kapslar beror på sammansättningen av använt bränsle och mellanlagringstid, d v s vald strategi för inkapsling och hantering av inkapslat bränsle. I princip bör individuella variationer mellan kapslar kunna beräknas eller mätas upp.

Små variationer i klimatet har mycket liten inverkan på temperaturen på stora djup. Under långa perioder av permafrost fryser de övre delarna av berget. Det exakta djupet på permafrosten är svår att skatta men även enkla beräkningar räcker för att visa att den inte når förvarsdjup.

4.2.2 Mekanisk, hydrologisk och kemisk påverkan av temperaturen

Temperaturökningen och efterföljande avsvälningen medför, via den termiska volymsförändringen av berget, relativt betydande spänningsomlagringar i berget i och omkring förvarsområdet. När förvaret väl är utbyggt utgör temperaturlasten den väsentligaste mekaniska påverkan på förvaret fram till och med mer dramatiska klimatdriva händelser som permafrost och glaciation.

Grundvattenrörelserna påverkas av den termiska gradient som uppstår med även av eventuella förändringar i bergets sprickstruktur. Som konstateras i kapitel 5 (hydrogeologi) är dock drivkraften från den termiska densitetsskillnader ofta försumbar i jämförelse med andra drivkrafter (t ex topografi). Betydelsen av den termiska gradienten behöver dock värderas för varje enskilt fall även om komplicerade kopplade grundvattenberäkningar oftast kan undvikas.

Temperaturen ingår som viktig parameter i de flesta kemiska, biologiska och fysikaliska processer och påverkar därmed t ex jämvikter (lösligheter) och kinetik. Den mikrobiologiska aktiviteten är också i högsta grad temperaturberoende. Inverkan av temperaturändringar är relativt måttlig inom de temperaturintervall som normalt anses råda i slutförvaret. Inom ett relativt stort temperaturintervall är det möjligt att konservativt välja lämpliga, inom intervallet temperaturoberoende, kemiska parametrar. Den termiska analysen måste dock visa att temperaturen inte blir alltför hög (t ex högre än 100 C) eller alltför låg. För de extrema temperaturerna kan väsentliga förändringar uppstå som man helst inte vill analysera på grund av bristande kunskaper.

4.2.3 Design och layout

Värmeproduktionen från individuella kapslar beror bland annat på mängd och sammansättningen av använt bränsle samt mellanlagringstid, d v s vald strategi för inkapsling och hantering av inkapslat bränsle, och förvarets temperatur beror på hur tätt kapslar inplaceras i detsamma. I princip är det önskvärt att packa det använda bränslet så tätt som möjligt, utan att olämpligt höga temperaturer uppstår. Förutsättningar för värmetransport i djupförvaret är därför viktiga vid förvarsdesign och layout. I SR-95 konstateras också att "...studier av värmetransporten i och omkring djupförvaret utgör ett viktigt led

i såväl säkerhetsanalyser som utformning och layout och har följaktligen varit en del av utvecklingsarbetet för djupförvaret redan från start...”.

4.2.4 *Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer*

I kompletteringen av FUD-program 92 anges som *gynnsamma* termiska förhållanden en för svensk berggrund normala värmeledningsegenskaper. Det kan dock diskuteras om detta verkligen är gynnsamt och inte bara acceptabelt. *Ogynnsamma* eller *diskriminerande* faktorer anges inte -förutom det som kan täckas in av begreppet ”starkt heterogen och svårtolkad berggrund” - vilket redan tagits upp i geologikapitlet. Liksom för andra förhållanden kan det vara motiverat att utvärdera om det skulle kunna finnas andra ogynnsamma eller diskriminerande faktorer som till exempel många mineralgränser med låg/hög värmeledningsförmåga (skulle kunna ge oönskad sprickbildning), eller potentiella hydrotermala reservoarer (risk för intrång). En precisering och eventuell omvärdering av platsvalsfaktorer kan baseras på parameterlistan i Appendix A:3.

4.3 Parametrar

För att bestämma temperaturfördelning i berget vid olika förhållanden behövs information om värmeledningsförmåga och värmekapacitet för berget samt om nu gällande temperaturer i berg/grundvatten och termisk gradient.

4.3.1 *Bergets termiska egenskaper*

Värmetransporten genom berget sker via värmeledning. Denna bestäms av värmekapacitet och värmeledningsförmåga. Båda dessa parametrar är av väsentlig betydelse för layout liksom för bergets isolerande förmåga (kapsel, bentonit, berg) via termomekaniska effekter. Värmetransporten påverkar direkt förutsättningarna för termiskt driven grundvattenströmning, men eftersom den i regel är underordnad andra drivkrafter blir värmetransporten av begränsad betydelse för grundvattenströmningen. Betydelsen av värmeutvidgningskoefficienten har redan diskuterats i kapitlet om bergmekaniska parametrar (kap. 3).

Det bör vara viktigast att ha en god litologimodell för att kunna göra termiska beräkningar. Värmeledningstal och specifik värmekapacitet kan på ett godtagbart sätt härledas utifrån mineralsammansättning. Fördelningen av olika mineral, framförallt i närområdesskala behöver beaktas. Analyser av betydelsen av mineralgränser inom ett deponeringshål kan behöva utredas i särskilda funktionsstudier.

Vattnets termiska egenskaper (värmeledningsförmåga och specifik värme) liksom hur vattnet påverkas av temperaturförändringar (viskositet och densitet) är väl kända från litteraturen (se t ex Bird et al, 1960) och behöver inte bestämmas plats specifikt. Dessutom gäller att vattnet i regel kan försummas vid beräkning av värmetransport i kristallint berg eftersom porositeten är så låg att endast en mycket liten del av värmeenergin kan lagras i vattnet.

4.3.2 *Temperaturer*

Temperaturfördelningen på djupet uppvisar en betydande regional variation från ca 20 C i söder till ca 8 C i norr. Ursprungstemperaturen har väsentlig betydelse för förvarslayout eftersom denna sätter en av förutsättningarna för vilken kapseltäthet som kan accepteras och behövs som initialvillkor vid modellering av termisk utveckling. Platsspecifikt uppmätta temperaturer kan vara viktiga för att konfirmera antagna parametrar och är viktig för den geovetenskapliga förståelsen. Temperaturen påverkar i begränsad utsträckning grundvattenströmning och kemi och är därför av begränsad betydelse för dessa funktioner.

Temperaturrendvillkoren är väsentliga för den termiska modelleringen och därmed indirekt för de funktioner som redan diskuterats. På djupet bestäms randvillkoren av den geotermiska gradienten. Denna kan även vara viktig för bedömning av risk för intrång i form av geotermiska reservoarer. På ytan bestäms temperaturrendvillkoren av årsmedeltemperaturen, som uppvisar regionala skillnader. I det långa tidsperspektivet uppkommer klimatvariationer där framförallt permafrost skulle kunna få relativt stor inverkan (se t ex King-Clayton et al., 1995) och det blir viktigt att visa att permafrosten inte når förvarsdjup.

5 HYDROGEOLOGI

5.1 Översikt av parametrar, mätmetoder och användningsområden

Tabell 5.1, sammanfattar vilka data som i första hand är nödvändiga för kunna bygga upp de olika hydrogeologiska modeller som behövs. Tabellen försöker också visa exempel på vilka mätningar som kan användas för att skatta parametrarna och hur de används. Parametrarna i tabell 5.1 återfinns också i den samlade parametertabellen i Appendix A:4

Tabell 5-1. Översikt av databehov beskrivning av hydrogeologi, mätmetoder och användningsområden. För närmare förklaringar hänvisas till texten.

Parameter	Metod	Används för
Deterministiskt modellerade diskontinuiteter Geometri - se geologisk modell Permeabilitetsfördelning Porositet	se geologisk modell Hydrauliska test i och mellan borrhål Lab test borrhärna/Spårförsök	Indata till modeller i platsskala Indata till modeller i platsskala Transient modell
Stokastiskt modellerade diskontinuiteter och sprickor samt bergmassa Stokastisk beskrivning av diskontinuiteter Permeabilitetsfördelning Porositet och Magasinskoefficient Bergets kompressibilitet	se geologisk modell Hydrauliska test i och mellan borrhål - Extrapolation Pumptest, extrapolering Generisk/Mätningar borrhärnor	DFN-modeller, SC indirekt i förvarsskala Modelldata Transient Modell THM-modell
Grundvattnets hydrauliska egenskaper Densitet, viskositet och kompressibilitet Salinitet Temperatur	Vattenprov, litteratur, fysikaliska samband Vattenprov Borrhål/Erfarenhet	Modelldata-vissa Modelldata/kalibrering Modelldata-vissa
Jordlagren m.m. Identifikation av recipienter Metrologiska och hydrologiska data Konduktivitet, mäktighet, magasin-koefficienten m.m.	Hydro(geo)logisk kartering Hydro(geo)logisk kartering Pumptest legerföljder m.m.	Grundvattenmodeller för Mark- och miljö, Biosfärmodeller, Tolka randvillkor för grundvattenmodeller i förvarsområdet.
Randvillkor och stödjande data Regionala randvillkor, historisk och framtida utveckling Tryck eller tryckhöjdsfördelning In/utströmningsområden Genombrottskurvor Gv-flöde borrhål	Klimatmodellering,, Topografi, Topografi, Borrhål (se text), storskalig modell Kartering Storskaliga språrförsök Utspädningssond m.m	Paleohydrogeologi, Analys av scenarier, Randvillkor/kalibrering Kalibrering, Recipientmodell Kalibrering Kalibrering

5.2 Modeller och användningsområden

Hydrogeologiska modeller har flera användningsområden inom säkerhetsanalys och aktiviteter som stöder säkerhetsanalys. En hydrogeologisk förståelse behöver också byggas upp för att förklara långsiktig geokemiska förändringar och kopplade hydrauliska- och bergmekaniska fenomen. Dessa användningsområden är i olika skalor och behovet av indata är något olika för dessa behov. I korthet används modeller (eller kan användas) för:

- hydrogeologisk förståelse, randvillkor för detaljerade modeller, prediktioner av storskaliga förändringar i grundvattenkemi m.m.
- prediktioner av inflöde under byggtid, och återmättnad efter förslutning
- indata till migrationsmodeller (se kapitel 7).
- indata (flöde) till närområdesmodeller (närområdesflöden)
- indata till biosfärsmodeller
- utvärdering av (andra) ytnära miljökonsekvenser (mark- och miljö)

De hydrogeologiska analyserna är kopplade villket framgår schematiskt av figur 5-1.

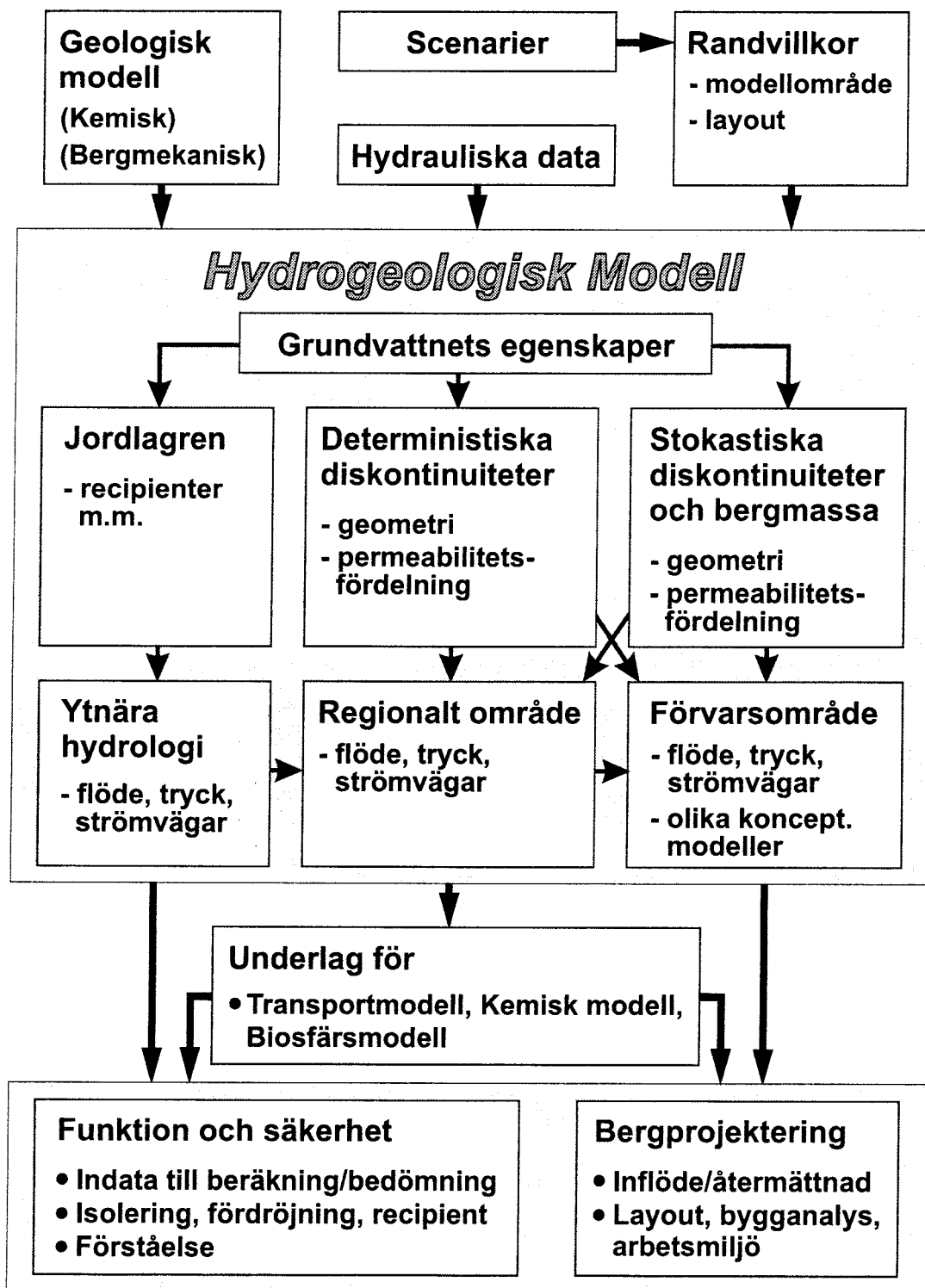
5.2.1 Hydrogeologisk förståelse, randvillkor och regionala förändringar

Modeller för hydrogeologisk förståelse och grundvattenomsättning behöver inte i detalj beskriva flödesmönstret i berget. Det är dock viktigt att bestämma realistiska randvillkor och klara ut det huvudsakliga strömningsmönstret. Sådana modeller kan också användas för att bestämma randvillkor till modellering i mindre skala. Erfarenhet tyder på att storskaligt flöde väl kan beskrivas med porösa medie modeller (t.ex. NAMMU som SKB använder). Regionala strukturer, med avvikande permeabilitet, behöver beaktas även om kravet på precision i kunskap om egenskaper är begränsat jämfört med behoven vid modellering av radionuklidtransport. Om den topografiskt påverkade grundvattengradienten är tillräckligt stor är det möjligt att försumma termisk konvektion (Thunvik and Braester, 1980). Salinitet, densitetseffekter kopplat med föränderliga randvillkor kan dock behöva beaktas (Voss and Andersson, 1993, Follin, 1995).

5.2.2 Inflow under byggtid och återmättnad

Det finns endast få studier (t ex Follin, 1995) som har analyserat grundvattenströmning vid återmättnad efter förslutning. Inflow och grundvattenströmning under bygget av Äspö-tunneln har dock analyserats (se t ex Mészáros, 1996). Sådana studier kan få ökad vikt eftersom de dels har koppling till byggbarhet (hur stora vatteninflöden kan komma ifråga), men även långsiktig säkerhet eftersom förloppet för återmättnad kan avgöra den grundvattenkemiska miljön tiden efter förslutning.

I Follins arbete togs hänsyn till att omättad grundvattenströmning kan uppstå under dräneringsperioden. Det är dock inte klart att det är nödvändigt att ta hänsyn till denna komplikation. I princip påverkar formen av



Figur 5-1. Schematisk illustration av uppbyggnad och användning av hydrogeologiska modeller.

”avsänkningstratten” inflödets storlek. Erfarenheter från Stripa visar dock att större delen av bergmassan trots allt är vattenmättad (Olsson ed, 1992). Både Follin och Mészáros konstaterar också, både från modellresultat och jämförelse med Äspö-data, att det främst är permeabiliteten närmast tunneln, som dessutom är påverkad av olika injekteringsinsatser, som kommer att avgöra inflödet, men randvillkoret i ytan är också av betydelse. För att kunna bedöma återmättnadstiden behöver grundvattenbildningen sannolikt beskrivas någorlunda realistiskt.

I stort överensstämmer sannolikt indatabehoven för inflödesåtermättnadsberäkningar med det samlade indatabehovet för regional grundvattenomsättning och indata till migrationsmodeller. Tillkommande parametrar är permeabilitetsfördelning runt tunneln (som är påverkad av injektering) och grundvattenbildning i förvarsområdet. Parametrar för omättad strömning, behövs sannolikt inte. Ett eventuellt behov av sådana data skulle kunna utredas separat innan specifika krav på platsspecifika data formuleras. I tunnelskala tillkommer behov av data som egentligen endast kan bestämmas vid detaljundersökning/förvarsutbyggnad (störd zon, detaljerade strukturer,...)

5.2.3 *Indata till migrationsmodeller*

När grundvattenmodeller ska användas som indata till migrationsmodeller är det nödvändigt att ta hänsyn till att bergets hydrauliska egenskaper varierar kraftigt i rummet. Detta leder till att det utbildas olika strömvägar för grundvattnet med sinsemellan olika transportegenskaper.

Strömvägarna behöver beskrivas på en tillräckligt detaljerad skalnivå. Det kan också vara nödvändigt att ta hänsyn till korrelationer mellan flöde och övriga transportparametrar (se kap. 7). Som framgår av diskussionen i kapitel 7 finns det ingen specialinriktad studie över hur detaljerad upplösning av strömfältet som behövs, men en rimlig ambitionsnivå bör vara skalan av enskilda deponeringshål. På denna skalnivå är det inte meningsfullt att beskriva heterogeniteten deterministiskt - en stokastisk beskrivning behövs och olika modeller har tagits fram för detta ändamål.

SKB använder (se SR-95) främst den stokastiska kontinuum modellen HYDRASTAR för att beskriva detaljerad grundvattenströmning, men har även tillgång till diskreta nätverksmodeller (FRACMAN) och kanalnätverksmodeller (CHAN3D). Dessa modeller har delvis överlappande indatabehov, även om nomenklaturen kan variera. Andra indatabehov är mer skraddarsydda för respektive modell, och representerar olika ansatser att utnyttja indirekt information för att beskriva strömvägarna. Platsspecifika parametrar för att beskriva den detaljerade grundvattenströmningen kan därmed inte direkt beskrivas i termer av en enskild modells parametrar. Data behöver vara oberoende av modellinsats och skall samtidigt kunna utnyttjas med olika ansatser.

5.2.4 *Källtermsberäkningar*

Grundvattenflödet i närområdesskala ingår som indata i källtermkoder. Databehov för dessa kommenteras vidare i avsnitt 7.

5.2.5 Indata till biosfärmodeller

Hydrogeologiska data, framförallt från jordlagren, utnyttjas som indata i biosfärmodellering. Kvantitativ modellering av biosfärsspridning görs i s k kompartmentmodeller som BIOPATH (se SR-95 11.5). Dessa modeller beräknar spridningen av radionuklider längs olika spridningsvägar fram till dos. För givna förutsättningar kan resultaten av dessa beräkningar i regel presenteras i form av s.k. dosfaktorer (Sv/Bq) som multipliceras med utsläppet från geosfären (i form av Bq/år) för att ge den resulterande dosraten (Sv/år). För hittills gjorda säkerhetsanalyser har nästan uteslutande generiska data, uppskattade från vad som är rimliga spridningsvägar i biosfären, använts för dessa beräkningar. Motivet för detta har varit de stora förändringar som sker i biosfären inom relativt korta tidsperioder. Inom ramen för internationellt samarbete (BIOMOVIS-II, 1996) fortsätter insatser bland annat i denna riktning.

Enligt FUD-Program 95 gäller dock att speciellt för de närmaste följande 1000 åren kan dock platsspecifika databaser och bedömningar av inom vilka ramar biosfären på en given förläggingsplats kan förändra sig, bedömas ge underlag för en någorlunda meningsfull prognos. Sådan modellering behövs om det ska vara möjligt att göra jämförelser mellan förläggingsplatser och studera optimering av strålsskydd (t ex jämföra doser som uppkommer vid drift av slutförvaret med doser som kan uppstå i framtiden). Tidsperspektivet 1000 år för den slags jämförelser finns angivna i förslag till föreskrifter från SSI (SSI, 1995).

Indatabehovet för biosfärmodelleringen kommenteras översiktligt i SR-95. Var, när och i vilken kemisk form utsläppet kommer från geosfären är indata från transportmodelleringen av denna (se kap 7). Dosfaktorer för extern exponering och intag, som inte ska förväxlas med de dosfaktorer som nämnts ovan, beror på biologiska faktorer och strålskyddsfaktorer som inte kan vara platsspecifika. Det platsspecifika indatabehovet för biosfärmodeller gäller därför i mycket stor utsträckning hydrologiska och hydrogeologiska parametrar för de övre jordlagren. I allmänna termer behöver biosfärmodelleringen härvid information om recipienter (vattendrag, sjöar, grundvattenmagasin, djupa brunnar), omsättning i och mellan dessa samt information om förändringar. Därför kommenteras indatabehovet för sådana modeller i detta kapitel - även om rent principiellt biosfärmodellering handlar om transport och därför borde diskuteras i kap 7.

För en platsspecifik biosfärmodellering behövs data om (se SR-95 s 98-100):

- *nuvarande utbredning av recipienter* t ex förutsättningar för brunnar, vattendrag, sjöar, hav, bottensediment
- *omsättning i recipient* t ex brunnsuttag, utspädning, och kontakt med djupa grundvatten, omsättning och fördröjning i respektive recipient, biologisk omsättning och ackumuluation,
- *skattningar av förändringar av recipienter* t ex ändringar i nederbörd, vattenstånd, igenväxning m.m.

Fördröjningen i olika recipientdelar ("compartments") som allmänt beror på kemiska ("sorption") och biologiska processer behöver också beskrivas. Detta görs i regel med s.k. fördelningskoefficienter. Behovet av platsspecifik information om detta diskuteras i kap 7.

I biosfärmodellering ingår dessutom som väsentliga indata antaganden om kritisk grupp (dvs för vilka skall doskonsekvenser beräknas), exponeringsvägar (t ex kost och levnadsvanor för den kritiska gruppen samt data om dosfaktorer för extern exponering och intag. För att belysa skydd av naturen kan det även bli nödvändigt att utvidga analysen till andra arter än människa. Identifiering av nuvarande flora och fauna kan till exempel bli nödvändigt. Insamlande av denna typ av indata torde dock ligga utanför det rent geovetenskapliga platsundersökningsprogrammet.

5.2.6 *Andra ytnära miljökonsekvenser*

Förutom biosfärmodellering enligt ovan är det mycket troligt att en miljökonsekvensbeskrivning av inverkan av ett djupförvar behöver beskriva hur djupförvaret i övrigt inverkar på miljön. Det är inte klarlagt vad som skulle behöva vara en nödvändig ambitionsnivå i ett sådant modellarbete. De nödvändiga insatserna är sannolikt platsspecifika och kan delvis bara bedömas utifrån förstudier och utifrån olika samråd. En rimlig utgångspunkt bör dock vara att göra en traditionell hydrologisk och hydrogeologisk beskrivning av de övre jordlagren.

Grundvattenomsättningen i ytnära akviferer är relativt oberoende av grundvattenomsättningen på djupet. Förhållandena på ytan kan också komma att ändras med tiden. De indata som behövs motvarar indatakrav vid mer traditionell hydrogeologisk karaktärisering. För utvärdering av ytnära miljökonsekvenser (Mark- och miljö) kan traditionella (poröst medium) modeller användas. Denna modellering kan göras oberoende av modelleringen av hydrogeologin i det djupa berget.

Indatabehovet för denna typ av modellering är sannolikt i stor utsträckning identiskt med indatabehovet för biosfärmodelleringen.

5.2.7 *Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer*

I kompletteringen av FUD-program 92 anges ett antal gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer med bäring på hydrogeologi.

Som *gynnsamma* angavs låg grundvattenföring på förvarsnivå och långa flödesvägar till biosfären. Som *ogynnsamma* angavs flera tätt liggande vattenförande sprickzoner med snabba transportvägar upp mot ytan samt starkt heterogen och svårtolkad berggrund. Som *diskriminerande* i den meningen att de kan ge anledning att överge plats med påbörjad platsundersökning angavs: utpräglade utströmningsområden för grundvatten och flera tätt liggande vattenförande sprickzoner.

Urvalet av faktorer behöver diskuteras och faktorerna behöver kvantifieras för att vara användbara. Till exempel kan klart ifrågasättas om

utströmningsområde skulle behöva vara diskriminerande (utom i mycket speciella fall) eftersom detta i princip skulle utesluta alla kustnära områden.

Det kan i vart fall konstateras att ovanstående faktorer kan kvantifieras med de hydrogeologiska parametrar som identifieras i kommande avsnitt. En precisering och eventuell omvärdering av hydrogeologiska platsvalsfaktorer kan m a o baseras på parameterlistan i appendix A:4.

5.3 Hydrauliska egenskaper hos modellerade diskontinuiteter

Grundvattenströmningen sker i bergets sprickor. Eftersom ledningsförmågan i en diskontinuitet påverkas av en lång rad faktorer finns det ingen självklar korrelation mellan hydrauliska egenskaper och diskontinuiteternas storlek. Det är dock rimligt, vilket också sker i praktiskt modellering, att deterministiskt beskriva hydrauliskt signifikanta diskontinuiteter över en viss storleksnivå. Det bör också observeras att även om läget för en diskontinuitet lagts fast deterministiskt kan dess egenskaper fortfarande variera i "planet", vara osäkra eller behöva beskrivas stokastiskt.

5.3.1 Diskontinuiteter

Beskrivning och klassificering av diskontinuiteter har redan diskuterats i avsnittet om geologi (kapitel 2). Sådan strukturgeologisk information är värdefull i en hydraulisk modell under förutsättning att identifierade diskontinuiteter har hydrauliska egenskaper som signifikant skiljer sig från bergmassan i övrigt. Större strukturer läggs in direkt i flödesmodeller, men med tanke på den begränsade korrelationen mellan mätbara diskontinuiteter och flödesdata och med tanke på svårigheten att hitta alla mindre diskontinuiteter är det knappast motiverat (baserat på data från platsundersökning) att explicit inkorporera diskontinuiteter under en viss skalnivå. Under denna skalnivå behöver dock bergets varierande egenskaper hanteras på något sätt antingen som ett medelvärde eller stokastiskt.

Värdering av betydelse, krav på upplösning och mätmetoder

Eftersom diskontinuiteter kan vara viktiga strömningsvägar är information om geometrin för dessa av direkt och väsentlig betydelse för att bedöma bergets isolerande förmåga och för att kunna ta fram en rimlig hydrogeologisk modell både i platsskala och för migrationsmodeller. På motsvarande sätt är diskontinuiteterna väsentliga för den geovetenskapliga förståelsen. Diskontinuiteternas geometri är också väsentliga för layout, bygganalys och arbetsmiljö (arbetarskydd). För att avgöra om diskontinuiteterna också verkligen är väsentliga behöver deras hydrauliska egenskaper bestämmas, detta diskuteras i avsnitt 5.3.2.

Värdering av betydelse av diskontinuiteter för hydrogeologiska tillämpningar har redan diskuterats under rubriken geologi (avsnitt 2.7) och återfinns i tabell A:1. Sammanfattningsvis är följande ambitionsnivå tänkbar:

- identifiera alla hydrauliskt signifikanta regionala diskontinuiteter

- sök identifiera alla hydrauliskt signifikanta större lokala diskontinuiteter men beskriv osäkerheter som möjliggör att alternativa hypoteser om läge och egenskaper tas fram, kravet på precision är högre i närheten av tilltänkt förvarsområde,
- ta fram statistisk information om lokala mindre diskontinuiteter och enskilda sprickor (databehov för detta kommenteras i avsnitt 5.4.1), speciellt i förvarsområdet och beskriv direkt alla diskontinuiteter som bedöms vara viktiga.

Med tanke på de stora åtaganden en sådan ambitionsnivå skulle innebära finns det dock anledning att ytterligare utreda hur stort behovet av information här verkligen är. Gustafson and Ström (1995) poängterar dock behovet av känna till hur diskontinuiteter hänger ihop även utanför det tilltänkta förvarsområdet.

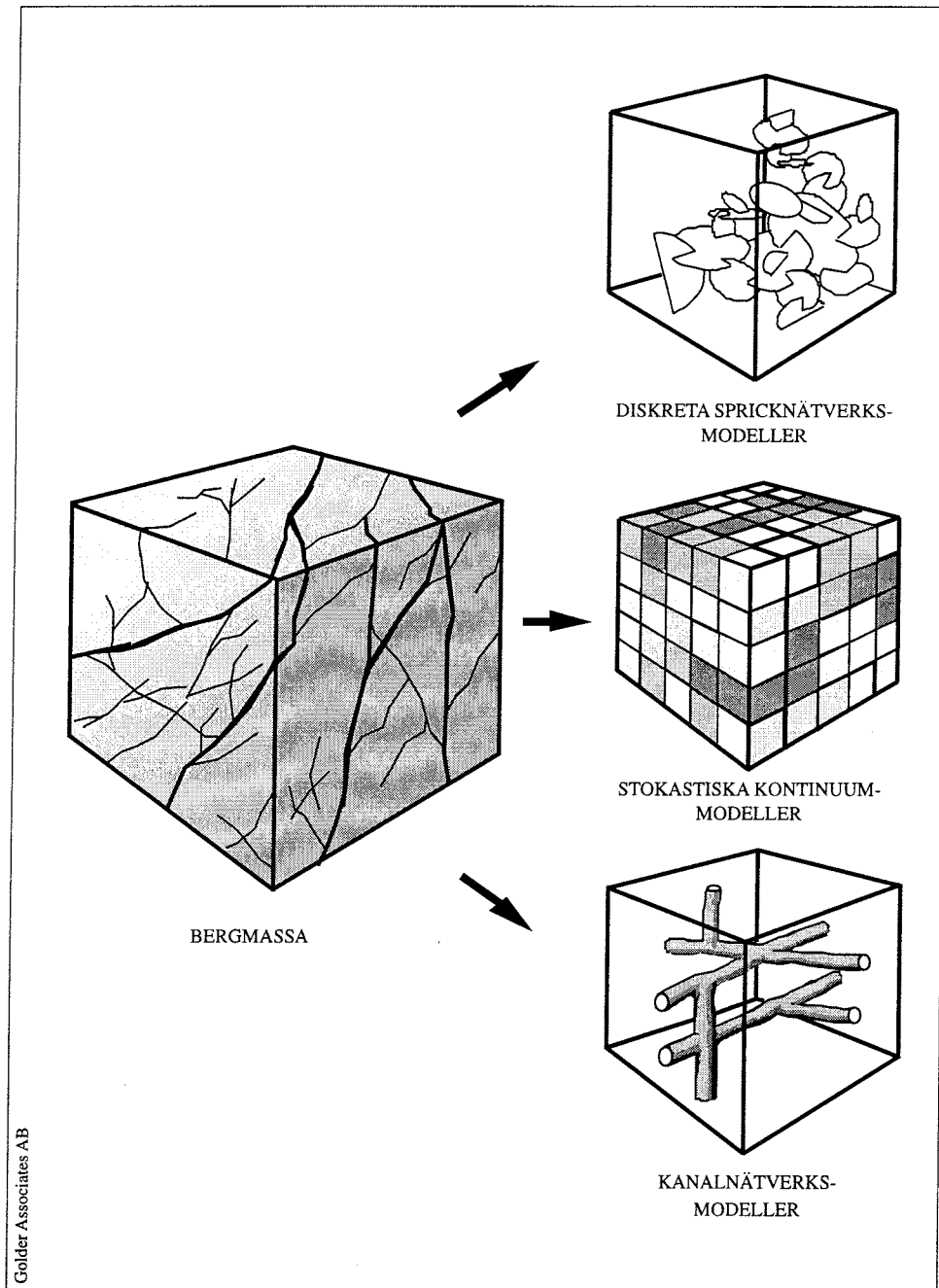
Vid detaljundersökning och förvarsutbyggnad kan det vara möjligt att identifiera, och hydrauliskt karaktärisera, betydligt mindre strukturer i omedelbar närhet till tunnlar och deponeringshål. Valet av deterministisk respektive stokastisk skala kan då komma att förskjutas.

5.3.2 *Diskontinuiternas permeabilitetsfördelning*

I allmänna termer bestäms fördelningen av grundvattenströmningen genom berget (och fördelningen av hydraulisk tryckhöjd om denna kan definieras), av fördelningen av ledningsförmåga och tillämpliga rand och begynnelsevillkor. Ledningsförmågan bestäms av sprickornas egenskaper, men effekten av variationen blir olika beroende på i vilken skala problemet betraktas.

I liten skala varierar sprickornas egenskaper och konnektivitet starkt i rummet, vilket också kan ses från samtliga fältförsök (injektionstester i meter skala) som SKB och andra utfört i kristallint berg (se t ex typområdesundersökningarna, och Vieno et al., 1992). Egenskaperna i större skala beror på hur hög- och lågpermeabla områden i den lilla skalan är konnekterade. Det bör också observeras att den starka, men skalberoende, rumsliga variationen även förekommer inom en definierad diskontinuitet. För att kunna bestämma en lämplig modell för grundvattenströmningen är det därför nödvändigt att utgå från vilken upplösning av strömfältet ("skala") som behövs för den aktuella tillämpningen.

Det finns olika modeller för att beskriva den rumsliga variationen av bergets ledningsförmåga. Grovt kan dessa modeller indelas i *homogent poröst medium*, *stokastiskt kontinuum*, *diskret nätverk* och *kanalnätverk*, vilket också illustreras i figur 5-2. Olika undervarianter förekommer. I kontinuummodellerna representeras ledningsförmågan av en permeabilitetsfördelning (eller fördelning av hydraulisk konduktivitet), men avgörande för den stokastiska kontinuummodellens egenskaper blir vilken autokorrelationsstruktur som gäller för permeabiliteten. I spricknäts och kanalmodellerna anges (stokastiskt) ledningsförmåga (som permeabilitetsfördelning, transmissivitet eller konduktans) för de enskilda sprickorna eller kanalerna men avgörande för de hydrauliska egenskaperna blir hur dessa enskilda sprickor eller kanaler sitter ihop, dvs deras konnektivitet. Det platsspecifika data som behövs för att bestämma autokorrelation respektive konnektivitet är sannolikt mycket



Figur 5-2. Olika konceptuella modeller för att representera den rumsliga variationen av bergets ledningsförmåga (från Geier et al, 1992a).

besläktade. Bestämningarna av dessa modellparametrar tillgår rimligen så att tänkbara platsundersökningsresultat, som injektionstester, interferenstest m.m. tolkas med respektive modell. För planeringen av platsundersökningen ska ambitionen därför vara att genomföra relevanta försök, inte att direkt leverera indataparametrar till respektive modell. Detta senare arbete bör istället ses som en del av modellerings- och tolkningsarbetet. Indatabehov för de olika modellerna diskuteras vidare i avsnitt 5.4.

Behovet av upplösning är mindre för den hydrogeologiska modelleringen i regional- och platsskala, medan behovet av upplösning är stort för modeller som skall användas som indata till migrationsmodeller (se avsnitt 5.2). Det finns inte en etablerad syn på om variabiliteten inom sprickplanet kan beskrivas som ett medelvärde eller som stokastisk variation. För regional modellering är medelvärde, med uppgift om spridning, sannolikt tillfredsställande, men för modeller som ska levera indata till migrationsmodeller kan högre upplösning behövas. Permeabilitetsfältet inom deterministiskt identifierade diskontinuiteter, som ligger i närheten av förvarsområdet, bör i det senare fallet beskrivas stokastiskt (stokastiskt kontinuum, diskret spricknätverk eller kanalnätverk).

Eftersom grundvattnet kan ha olika densitet (och viskositet) bör ledningsförmågan i princip beskrivas som en permeabilitetsfördelning över diskontinuitetens utbredning och mäktighet. I princip är det lämpligare att använda permeabilitet än hydraulisk konduktivitet (som förutsätter konstant densitet och viskositet) eller transmissivitet (som är en medelvärdesbildning till tvådimensionella strukturer). Det finns dock praktiska skäl som talar för att ibland använda begreppen hydraulisk konduktivitet, dvs ledningsförmåga med hänsyn tagit till vattnets viskositet densitet, och transmissivitet (dvs hydraulisk konduktivitet integrerad över ett visst längdintervall), se t ex Bear, (1979). Inverkan av densitets och viskositetsskillnader på ledningsförmågan är relativt begränsad och att introducera permeabilitetsbegreppet kan vara onödigt komplicerat. För diskontinuiteter som väsentligen beskrivs som homogena över sin bredd kan det vara lämpligare att tala om transmissivitet, som är den parameter som faktiskt styr flödet, och dessutom redovisa zombredden för de fall omräkning till hydraulisk konduktivitet önskas. Alla dessa möjligheter innefattas inom de generellare begreppet "permeabilitetsfördelning" som anges i tabell 5.1 och i den sammanfattande tabellen i Appendix A:4.

I praktisk modelltillämpning måste de generella begrepp som diskuteras här preciseras. Olika modellansatser kan (och bör) dock kunna utnyttja samma grunddata. Att detta är möjligt demonstreras av hur olika modellansatser inom Äspö Task Force kunnat appliceras på LPT2 försöket (Gustafson and Ström, 1995). Från dessa arbeten framgår också praktiskt hur de generella begrepp som diskuteras i denna rapport kan omsättas i faktiska modellparametrar för olika modeller.

Värdering av betydelse, upplösning och mätmetoder

Information om diskontinuiteternas permeabilitetsfördelning/konnektivitet beskriver var grundvattnet strömmar i berget och är därmed av direkt och väsentlig betydelse i en hydrogeologisk modell i platsskala och i migrationsmodeller. Informationen är därmed indirekt av väsentlig betydelse för retentionsmodeller av förvarsområdet och direkt av väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen. På motsvarande sätt är permeabilitetsfördelningen av direkt och väsentlig betydelse för bergets isolerande egenskaper samt för layout, byggnalys och arbetsmiljö. Det bör dock noteras att Windelhed och Alestam (1996) anger behov av transmissivitet

för diskontinuiteter, d v s bygganalysen har inte samma behov av rumslig upplösning som modeller som skall användas i migrationsberäkningar. I någon utsträckning påverkar grundvattenströmningen indirekt bentonitens och kapselns integritet ("erosion" av buffert respektive tillförsel av korrodanter) men inverkan är av klart begränsad betydelse. (Värderingen redovisas i tabell A:4).

Ytterligare utredning kan behövas om vilken upplösningen av informationen som behövs utifrån följande utgångspunkter:

- Alla regionala och större lokala diskontinuiteter som identifierats i den geologiska modellen bör i princip undersökas hydrauliskt för att avgöra om dessa diskontinuiteter också behöver tas med i den hydrogeologiska modellen. Detta krav kan dock modifieras. I en känslighetsanalys kan de ej karaktäriserade diskontinuiteter ges olika värden för att undersöka behovet av ytterligare precision för olika applikationer.
- Behovet av upplösning av permeabilitetsfördelningen inom diskontinuiteterna är applikationsberoende. För diskontinuiteter som ligger nära det tänkta förvarsområdet, d v s sådana som ingår i modeller som ska ge flödesvägar till migrationsmodeller behövs lika stor upplösning som i det övriga berget i förvarsområdet (se 5.3.2). Diskontinuiteten representerar här bara ett område med avvikande fördelning av egenskaper. För diskontinuiteter som ligger längre bort är medelvärden sannolikt tillfredsställande.

Beträffande metoder att bestämma fördelning av hydraulisk konduktivitet se 5.4.2.

5.3.3 "Flödesporositet och "magasinskoefficient"

För de fall diskontinuitetens inre beskrivs som ett poröst medium är det möjligt att definiera en porositet för det strömmande vattnet inom diskontinuiteten. Denna flödesporositet påverkar direkt strömningshastigheten för icke sorberande ämnen och behövs för transient modellering av densitetsströmning, indata till transportmodellering och för modellering av återmättnad (se f ö avsnitt 5.4.3). Flödesporositeten ingår också direkt i modeller för transport av lösta ämnen men är av begränsad betydelse för sorberande radionuklider (se kapitel 7). Flödesporositeten är av väsentlig och direkt betydelse för den geovetenskapliga förståelsen eftersom kunskap om denna behövs för att kunna bedöma hastigheten hos förändringar i grundvattenyta eller transporthastighet för t ex salina vatten eller andra geokemiska indikatorer (se t ex Voss and Andersson, 1993). Kravet på upplösning är dock begränsat.

Porositen har mindre betydelse för att bestämma grundvattenflödet, även om kunskap om porositet behövs för transient modellering (t ex tolkning av pumptester). För det senare fallet är det dock lämpligare att direkt söka bestämma den specifika magasin förmågan som delvis beror på porositeten, men framförallt beror på bergets kompressibilitet. Magasinförmågan inom diskontinuiteter är begränsad betydelse för den geovetenskapliga förståelsen liksom för bygganalysen.

5.4 Hydrauliska egenskaper för bergmassan mellan deterministiskt modellerade diskontinuiteter

Om diskontinuiteter behandlas deterministiskt eller stokastiskt är delvis modell- och applikationsberoende. För modeller som ska beskriva flödesvägar i migrationsmodeller behövs relativt hög upplösning och de faktiska platsspecifika mätningar som efterfrågas blir ungefär desamma både för identifierade strukturer och för berget i övrigt. För regional modellering är behovet av upplösning lägre och här kan läget för de identifierade diskontinuiteterna vara väsentligt för placering av borrhål och mätutrustningar i desamma.

Olika modellansatser, se 5.3.2 och figur 5.3 ovan, kan användas för att beskriva grundvattenströmningen i berget mellan deterministiska diskontinuiteter, men både erfarenheter från Äspö Task Force (Gustafson and Ström, 1995) och SKIs SITE-94 visar att resultaten är beroende av samma grunddata - oberoende av hur modellen formulerats. Av dessa referenser framgår hur informationen hanteras praktiskt. Dessa erfarenheter kan därmed användas vid framtagandet av det program för utvärdering av platspecifika data som diskuteras i inledningen till denna rapport.

5.4.1 Statistisk beskrivning av diskontinuiteter

Statistisk information om mindre lokala diskontinuiteter och enskilda sprickor kan användas för att beskriva permeabilitetsfördelningen i den del av berget som inte beskrivs med deterministiska diskontinuiteter. Olika modellansatser används vilket redan diskuterats i avsnitt 5.3.2.

Diskreta nätverksmodeller använder direkt den statistiska informationen (se t ex Geier and Dershowitz, 1992), men indirekt kan informationen också utnyttjas i stokastiskt kontinuum modeller (se Winberg, 1994) och kanalnätverksmodeller (Gylling et al., 1994ab). Sprickinformation kan, t ex, användas för att motivera anisotropisk korrelationsstruktur vid indikatorsimulering med stokastiskt kontinuum modeller (se t ex SKI, 1996 och Tsang et al., 1996).

Värdering, behov av upplösning och mätmetoder

Den mindre skalan bestämmer den detaljerade fördelningen av grundvattnets strömvägar. Kunskap om denna fördelning behövs på en skalnivå som motsvarar enskilda deponeringshål om modellresultaten ska kunna utnyttjas i migrationsmodeller. Den stokastiska beskrivningen av diskontinuiteterna i mindre skala är därmed direkt av väsentlig betydelse för att kunna ställa upp hydrogeologiska modeller i förvarsskala och därmed indirekt av väsentlig betydelse för retentionsmodeller av förvarsområdet. (Värderingen framgår av tabell A:4 i appendix).

Diskreta närverksmodeller kan använda data om spricklängd, sprickfrekvens och orientering som skattas från skärningar i berget. Skattningarna är behäftade med osäkerheter och beror på den antagna geometriska modellen i den diskreta modellen (se vidare kapitel 2).

Man måste komma ihåg att korrelationen mellan observerbar sprickstatistik och hydrauliska och transportegenskaper är begränsad. Jämfört med direkt evidens av fördelningen av hydrauliska strömningsvägar, är den geometriska sprickinformationen av begränsat värde. Det förtjänar också att påpekas att i nuläget används inte information om sprickegenskaper sprickfyllnad, apertur m.m. vid modelleringen. Sprickornas hydrauliska egenskaper skattas i regel direkt från den hydrauliska informationen.

Stokastisk kontinuummodeller och kanalnätverksmodeller behöver över huvudtaget inte använda den geometriska informationen utan kan, i princip, bygga upp sin interna geometriska struktur enbart med ledning av hydrauliska data. Gylling et al., (1994a) utnyttjade till exempel permeabilitetsfördelningen i borrhål för att skatta kanaltäthet och våta ytor.

Sprickvidd och sprickfrekvens behövs (ibland) för närområdesmodellering (se kap 7). Information om detta kan erhållas dels från modellerna enligt ovan, men prediktionerna behöver stämmas av mot direkta mätningar.

5.4.2 Permeabilitetsfördelning

Bergmassan mellan modellerade diskontinuiteter kan fortfarande innehålla betydande flödesvägar, vilket leder till rumslig variation av flödet. Den rumsliga variationen är ingen osäkerhet, men den skapar osäkerhet, dels om vad ledningsförmågan är i ett icke undersökt område och framförallt om hur områden med hög ledningsförmåga "sitter ihop".

Det finns olika ansatser att beskriva ledningsförmågan i bergmassan, som ett poröst medium, som ett stokastiskt kontinuum, ett diskret spricknätverk, eller som ett kanalnätverk (se 5.3.2). Det är därför viktigt att lägga fast att platsspecifik information tas fram som möjliggör tolkning med dessa olika tänkbara modellkoncept, medan specifika parametervärden bestäms för de enskilda modellerna som ett led i den hydrogeologiska utvärderingen. Oavsett modell behövs dock information om "ledningsförmågans" punktvariation och korrelationsstruktur även om kraven på upplösning varierar med modellens tilltänkta användning.

För modeller som ska beskriva den regionala grundvattenströmningen är det sannolikt möjligt att medelvärdesbilda uppmätta "punktkonduktiviteter". Korrelationsstrukturen påverkar visserligen hur denna medelvärdesbildning bör göras, men resultat kan stämmas av med t.ex. storskaliga pumpförsök.

För detaljerade flödesmodeller (att använda för migrations- och närområdesmodellering) kan däremot konduktivitetens korrelationsstruktur bli helt avgörande. På större avstånd blir bergets egenskaper helt olika om lokala områden med hög ledningsförmåga sitter ihop eller är isolerade från varandra. Detta gäller oberoende av valt modellkoncept. Av avgörande betydelse för stokastiska kontinuummodellens egenskaper är vilken korrelationsstruktur som ansats och på motsvarande sätt bestäms spricknätmodellens egenskaper av konnektiviteten av högkonduktiva sprickor (se t ex SKI, 1996).

Värdering, mätmetoder och behov av upplösning

Permeabilitetsfördelning och konnektivitet är direkt av väsentlig betydelse för att kunna ställa upp hydrogeologiska modeller i förvarsskala och därmed indirekt av väsentlig betydelse för retentionsmodeller av förvarsområdet (se appendix A:4). Permeabilitetsfördelningen påverkar dessutom direkt grundvattenströmningen i närområdet. Enligt de källtermsmodeller som idag används (se avsnitt 5.2 ovan) har det lokala grundvattenflödet endast begränsad inverkan på utsläppet. Permeabilitetsfördelningen är av direkt och väsentlig betydelse för layout, bygganalys och arbetsmiljö.

För den regionala modelleringen är kravet på upplösning av ledningsförmågan relativt begränsad. Information från ett antal borrhål, kombinerat med storskaliga pumpförsök är sannolikt tillräckligt.

Kravet på precision i information om ledningsförmågans variation och korrelationsstruktur är störst för modeller som ska ge data till migrations och närområdesberäkningar. I princip behövs här en upplösning i en skala av storleksordningen 10 m (se ovan). Beskrivningen kan, å andra sidan, bara göras stokastiskt på denna skalnivå.

Det är tänkbart att en lämplig ansats är att noggrant karaktärisera en mindre volym i förvarsområdet och sedan använda denna information för att stokastiskt extrapolera egenskaper i de ej undersökta delarna av bergmassan. Denna detaljerade information bör sedan kompletteras med mer utspridda mätningar i hela bergmassan för att ge underlag för extrapolationernas riktighet och för att möjliggöra konditionering. Med tanke på pågående forskning och den utveckling som sker, framförallt inom Äspö-projektet, verkar det dock som angeläget att riktade studier för att ytterligare hantera denna fråga genomförs.

Den rumsliga punktvariationen av den hydrauliska konduktiviteten kan t.ex. mätas med injektionstest i borrhålssektioner. Transient analys av sådana data ger viss information om korrelationsstrukturen (t ex skattningar av flödesdimension), men endast i begränsad omfattning och helt otillräckligt för behoven inom migrationsmodelleringen.

Vad som egentligen behövs är direkta mätningar av hur/om bergets högkonduktiva områden sitter ihop ("konnektivitet") vilket bland andra konstaterats inom SKIs SITE-94 och av Gustafson and Ström (1995). Detta är viktigare än valet mellan stokastisk kontinuumbeskrivning och diskreta nätverk. Sådan information kan eventuellt fås från mellanhålstest eller storskaliga spår-försök. Förslag om att mäta mellan sektioner i samma borrhål verkar intressanta, speciellt om detta skulle innebära att fler mellanhålmätningar kunde genomföras (pga den lägre kostnaden). Måtskalan (10-tals meter) är intressant och relevant.

Flödesloggning (t ex med spinner eller TVO/Posivas differensflödeslogg) ger information om fördelningen av inflödespunkter längs ett pumpat borrhål. Denna och annan information om "hydraulisk sprickfrekvens" kan kombinerat med diskret nätverksmodellering ge indirekt information om konnektiviteten.

Möjligheten till alternativa tolkningar är dock relativt stor och mätmetoderna har begränsad upplösning (Rhén ed, 1995).

Vid tunnelbygge och uttag av deponeringshål kommer bergets ledningsförmåga att lokalt förändras, framförallt som en följd av skador från bergarbetena och i någon mån på grund av förändringar i spänningssituation på grund av bergguttaget. Avgasning och lufttillträde från tunnlar kan också lokalt störa grundvattenströmningen. Forskning om dessa frågeställningar pågår inom framförallt ZEDEX-projektet (Olsson et al., 1996). Förändringar kommer även att fortsätta när kapslar deponerats, framförallt beroende på bentonitens svälltryck, värmebelastningen och framtida klimatförändringar (t ex islast). Behov av parametrar för att bedöma inverkan av dessa förändringar har redan berörts i kapitlet om bergmekanik (kap 3). Preliminärt kan generiska data användas under platsutvärderingsskedet för att göra rimliga bedömningar av dessa effekter.

5.4.3 *Flödesporositet, magasinskoefficient, kompressibilitet*

Flödesporositeten påverkar strömningshastigheten för icke sorberande ämnen. Flödesporositet behövs för transient modellering av densitetsströmning, indata till transportmodellering och för modellering av återmättnad. Kunskap om denna är därför av väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen. Vid tolkningen av spår försök behövs relativt stor precision hos porositetsvärdena, men frågan kan ställas om det finns från spår försöket oberoende porositetsdata att tillgå (se även 7.). Porositet kan skattas från borrhävar, men vid utvärdering av spår försök används i regel porositeten som en kalibreringsparameter (se t ex Gustafson and Ström, 1995).

För säkerhetsanalysen direkta tillämpningar är porositet hos bergmassan av underordnad betydelse. Ett fåtal mätningar, eller till och med erfarenhetsdata är troligen tillräckligt.

”Magasinskoefficient” etc. behövs vid transient utvärdering av pump försök, men saknar betydelse för långtidsegenskaper. Gustafson and Ström, (1995) menar dock att det hade varit värdefullt med oberoende mätningar av magasin skoefficienter för att bättre kunna tolka spår försöket i LPT2. Magasin skoefficienter är med andra ord av betydelse för den geovetenskapliga förståelsen.

Magasin skoefficienten skattas vid pump försök, men oberoende data vore värdefulla (då kan pump försöken användas för att skatta andra data). En underskattning av magasin skoefficient ges av vattnets kompressibilitet och flödesporositeten, men i praktiken avgörs magasin skoefficienten till stor del av bergets kompressibilitet. Geier and Dershowitz (1992) beskriver hur magasin skoefficienten kan representeras vid diskret nätverksmodellering.

Värderingen enligt ovan framgår av appendix A:4.

5.5 Grundvattnets hydrauliska egenskaper

Densitet och viskositet påverkar ledningsförmågan. För rimligt höga permeabiliteter är påverkan lineär (se t ex Bear, 1979). Känner man temperatur och salinitet kan densitet och viskositet bestämmas med hjälp av literaturredata.

Densitetsvariationer pga förvarets värmeutveckling är relativt små. Om den naturliga hydrauliska gradienten är stor kan den termiskt inducerade drivningen försummas (Thunvik and Braester, 1980), men kan behöva beaktas när andra drivkrafter för grundvattenströmningen saknas. De specifikt termiska parametrar som behövs för att beskriva temperaturberoende grundvattenströmning diskuteras i kapitel 4.

Av större intresse är att densitetsskillnader pga salinitet påverkar grundvattenströmningen genom lyftkrafter. För den storskaliga flödesmodelleringen behövs relativt hög precision i bestämningen av salinitetsfördelning och därav följande densitetsskillnader. Gustafson and Ström (1995) noterade till exempel att stora osäkerheter beträffande fördelningen av saltvatten vid Äspö i sin tur medförde osäkerheter om det regionala grundvattenströmingsmönstret, men att dessa osäkerheter hade liten betydelse vid analys av pumpförsök. Vid modellering av densitetseffekter måste, vidare, i regel hänsyn tas till storskalig förändring av randvillkor och vice versa (se Andersson and Voss, 1993).

Temperaturen påverkar densitet och viskositet. Det finns skillnader mellan olika delar i Sverige. Formellt bör en uppmätt temperaturfördelning ses som ett begynnelsevillkor eftersom värme från förvaret m.m. kommer att påverka temperaturen. Temperaturen pga förvaret kan räknas ut och påverkar, i regel, inte grundvattenströmningen signifikant. Enbart för grundvattenströmningen finns m a o knappast anledning att mäta temperaturer. (Se f ö kapitel 4).

Värderingen enligt ovan framgår av tabell A:4.

Mätmetoder

Densitet (salinitet) bör helst mätas för ostörda förhållanden, (vattenprover tagna under borrning). Det är dock inte trivialt att genomföra sådan mätningar. Höga porvattentryck är komplicerande faktorer. Se f ö diskussion om tryckbestämningar nedan.

5.6 Hydrogeologiska data för jordlagren

De hydrogeologiska data för jordlagren används i första hand för behov inom biosfärmodellering och mark och miljö (se 5.2.5 och 5.2.6). För att skatta recipientinformationen och för att i övrigt kunna beskriva den marknära miljön behövs följande platsspecifika hydrologiska och hydrogeologiska information (en del av detta torde dock vara känt redan från förstudierna):

- *Identifikation av nuvarande recipienter* (se ovan). Informationen är naturligtvis av väsentlig betydelse för såväl biosfärmodelleringen som övrig analys av miljöpåverkan från förvaret. Karteringen behöver även omfatta beskrivning av ekosystem, biologisk substrat och växtlighet.

- *Metrologiska och hydrologiska data:* För att kunna skatta grundvattenbildning och vattenomsättning i recipienter behövs information om nederbörd, temperatur, lufttryck, ytavrinning, flöden, havsvattenstånd, sjövattnstånd, evapostranspiration, men även av olika mänskliga aktiviteter som muddring, dräneringsföretag, dikningsföretag, dämningföretag, avverkningsföretag, grundvattenuttag i brunnar och vattenförsörjning. Informationen är av väsentlig betydelse för platsspecifik biosfärmodellering, även om kravet på precision är beränsat med tanke på osäkerheterna på sikt, av väsentlig betydelse för beskrivning av mark och miljö och av begränsad betydelse för grundvattenströmningen i berget eftersom den inverkar på skattningen av grundvattenbildningen. Informationen kan samlas in genom sedvanlig hydrogeologisk kartering.
- *Hydraulisk konduktivitet, magasincoeffcient, mäktighet m.m.* För att kunna skatta grundvattenomsättning i jordlagren och mellan jordlager och vattendrag behövs traditionella data för grundvattenmodellering som hydraulisk konduktivitet och mäktighet för jordlager, magasincoeffcienter och hydraulisk konduktivitet för bottensediment. Informationen är av betydelse för platsspecifik biosfärmodellering och är av väsentlig betydelse för att kunna beskriva övrig miljöpåverkan i biosfären. Kravet på precision varierar. Informationen kan erhållas från jordartssammansättning (se geologi) kombinerat med pumptest.

För biosfärmodelleringen är det också väsentligt att kunna skatta utspädningen i geosfären och i gränsskiktet mellan geosfär och biosfär. Sådana skattningar kan dock göras med ovan beskrivna ytnära information kombinerat med grundvattenmodellering i platsskala. Indatabehovet för det senare har redan diskuterats i tidigare avsnitt i detta kapitel.

5.7 Randvillkor och stödjande data

Hydrauliska data kan i regel inte bestämmas direkt, utan bestäms indirekt via t.ex. tolkning av pumptest eller extrapoleras från antaganden (t ex placering av olika strukturer). Det finns därför behov av data som kan användas för att verifiera/validera gjorda antaganden - utan att dessa data direkt kan sägas mäta en viss egenskap. Vidare behövs randvillkor för modelleringen.

Värderingar av betydelse m.m. för de olika parametrarna som diskuteras nedan redovisas i tabell i appendix A:4.

5.7.1 Regionala randvillkor, historisk och framtida utveckling

I storskaliga grundvattenmodeller formuleras randvillkor i form av specificerat tryck (tryckhöjd) eller flöde (i regel som nollflöde vid antaget impermeabla ränder. Med utgångspunkt från klassisk teori för grundvattenströmning konstateras i FUD Program 95 att "den lokala topografin vid ett förvarsområde med små höjdskillnader har sannolikt mycket litet att göra med flödesförhållandena på själva förvarsnivån. Flödet vid djupförvaret styrs då av regionala gradienter". De regionala randvillkoren är naturligtvis väsentliga för modellresultaten och för den geovetenskapliga förståelsen.

Storskaliga randvillkor uppskattas i regel indirekt från topografisk och geologisk information. Randvillkoren förändras dock vid klimatförändringar som t ex kan leda till havsnivåförändringar, permafrost eller nedisning (se t ex Boulton and Payne, 1993 eller King-Clayton et al., 1995).

Dagens grundvattensituation, med aktuell fördelning av salina vatten är dessutom resultatet av en historisk utveckling. Information om den framtida klimatutvecklingen är generisk i den meningen att den inte direkt påkallar databehov från en platsundersökningen, även om tänkbara klimatförändringar varierar mellan olika platser i Sverige. För att relatera dagens förhållanden med den tidigare utvecklingen kan dock platsspecifik paleohydrogeologisk information (se t ex Wikberg et al, 1995) vara viktig. Detta diskuteras vidare i kapitlet om geokemiska parametrar (avsnitt 6.5).

5.7.2 Tryck- och tryckhöjd

Randvillkor till en hydrogeologimodell ges antingen i form av tryck eller flöde. Tryck, tryckhöjd och gradienter är därmed av väsentlig betydelse för grundvattenflödet, layout, bygganalys, arbetsmiljö, liksom för den geovetenskapliga förståelsen.

Mätningar av tryck och tryckhöjd har två kompletterande syften. De kan användas för:

- att skatta gradienter och randvillkor varvid främst tryck vid ostörda förhållanden behövs
- att kalibrera/validera uppställda modeller varvid det är intressant att relatera tryckförändringar till kända störningar

Uppmätta tryck används främst i storskaliga bergmodeller. Den topografiska informationen ger goda möjligheter att skatta gradienten, men direkt kontroll av att gjorda antaganden är rimliga är värdefullt/nödvändigt.

Tryckbestämningar och randvillkorsättande kompliceras av densitetsvariationer. Den drivande kraften bestäms då av kombinationen av tryckgradient och densitetsgradient. Saliniteten hos de djupa vattnen i Äspö, Laxemar eller andra kustnära områden är definitivt av sådan storleksordning att detta behöver beaktas. En ytterligare komplikation, som direkt sammanhänger med detta, är att de storskaliga systemen inte befinner sig i jämvikt. Även det starkt salina vattnet kan befinna sig i rörelse för att kompensera ytnära tryckförändringar som uppkommer på grund av landhöjning och andra havsnivåförändringar (Voss and Andersson, 1993).

Tryckmätningar kompliceras även av att trycket är känsligt för störningar. Om nya borrhål görs eller avpackade borrhål öppnas kan detta resultera i stora tryckförändringar. Detta kan, i och för sig vara en fördel, om störningen är känd och kan kvantifieras, men innebär i praktiken svårigheter.

Även om det går bra att kalibrera olika modeller mot tryckdata, vilket till exempel demonstrerats inom Äspö Task Force (Gustafson and Ström, 1995) ger en sådan kalibrering stora tolkningsmöjligheter om den mer detaljerade permeabilitetsfördelningen (ingen modellgrupp utnyttjade dock all information).

Möjligheterna att utnyttja tryckdata för att bestämma konnektivitet är mycket begränsade. Gradienten bestäms framförallt av regionala förhållanden och är ungefär likadan över homogena som heterogena partier av berget. Uppmätta tryck (i MPa) och densiteter kan med andra ord användas för kontroll av modellresultat, men kan inte direkt sättas in i modellberäkningar.

Grundvattentrycket varierar över tiden eftersom det, bland annat, påverkas av lufttryck och tidvatteneffekter. Tidvatteneffekten ger en periodiskt fluktuation där den drivande kraften (gravitationen) är känd, men de resulterande trycken påverkas av bergets struktur och kompressibilitet. Det har diskuterats om denna information skulle kunna användas för att få information om bergmassans hydrauliska (och mekaniska) egenskaper. Idag finns dock inga framtagna metoder för detta. Sådana behöver därför utvecklas om de ska kunna tas in i ett platskaraktäriseringsprogram.

För ytnära grundvattenmodeller gäller i stort samma principer som för storskaliga modeller enligt ovan. Möjligheterna att utnyttja mätta tryck för kalibrering är dock större än in i berget eftersom fler mätpunkter kan erhållas till rimlig kostnad.

Mätmetoder

Grundvattentryck kan mätas i avmanchetterade borrhål. Med tanke på tryckets långtidsfluktuationer bör detta moniteras över längre perioder. Mätvärden från ett enskilt tillfälle kan inte användas på ett tillförlitligt sätt. Mätningen bör helst avse tryck (MPa) och inte tryckhöjd eller grundvattenyta. Dessa senare storheter kan beräknas för kända densitetsvariationer. Inverkan av lufttryck och tidvatteneffekter behöver kompenseras. Korta mätsektioner riskerar att bli icke representativa, långa mätsektioner kan innebära kortslutningseffekter.

Den storskaliga randvillkorsförändringen är information av generisk typ, även om den varierar mellan olika platser (littitud, kustnära eller inland). Även information om den storskaliga salinitetsfördelningen hämtas sannolikt främst från redan tillgänglig information (t ex brunnssarkivet). Denna behöver dock kompletteras med mer lokala mätningar.

Tryckrandvillkor för modeller i mindre skala erhålls i första hand som modellresultat från de storskaliga modellerna.

Ingen riktad studie har genomförts som undersöker vad som är rimlig täthet mellan mätpunkter, speciellt om grundvattnets densitet varierar. Simuleringsövningar med Äspö data och grundvattenmodeller framtagna för Äspö skulle eventuellt kunna genomföras med detta syfte. Med hänsyn till hur mätta tryck idag används för att ge randvillkor (eller som stödjande data se nedan) finns det ingen anledning att göra fler borrhål för tryckmätningar än de borrhål som tas upp för övriga hydrauliska test. För en regional modellering är det dock värdefullt med information från borrhål utanför förvarsskalan. Information från Laxemarhålen har, till exempel, visat sig värdefulla för att förstå förhållanden vid Äspö. Om sådana "regionala" borrhål skall vara meningsfulla behöver de dock utföras till stora djup, större än i själva förvarsområdet, eftersom den djupet för den regionala grundvattenströmning

som kan tänkas påverka förvarsområdet i princip ökar med avståndet till förvarsområdet.

5.7.3 *In- och utströmningsområden*

Karaktärisering av in- och utströmningsområden ger i princip viktiga randvillkor för grundvattenmodeller. Informationen utnyttjas i regel indirekt, dvs, randvillkor och ansatta modellegenskaper ska resultera i en strömningsmodell som återskapar in- och utströmningsområden. För bergmodeller gäller dock att ytnära områden inte behöver vara direkt korrelerade med strömningsförhållanden på djupet - osäkerheterna är stora. Till exempel konstaterar Gustafson and Ström (1995) beträffande LPT2 försöken i Äspö att infiltrationraten som rimligen gäller för det djupa grundvattnet där (ca 5 mm/år) starkt kan avvika från årsnederbörd och ytlig grundvattenbildning (ca 150 mm/år).

Om det verkligen går att konstatera att ett visst område är ut- eller inströmningsområde för djupt strömmande grundvatten är detta givetvis användbart. Informationen bör utnyttjas för att kalibrera grundvattenmodellen så att den inte ger resultat som är i konflikt med dessa data. Visar t. ex. strömvägsberäkningar att utläckage från förvaret strömmar ut i en viss sprickzon vore det intressant att göra mätningar av den geokemiska signaturen hos vattnet i sprickzonen som visar att den avbördar djupt grundvatten.

Möjlighet för grundvattenbildning är intressant för grundvattenmodellering under bygg- och driftskede.

Ytnära modeller (Mark- och Miljö) kan eventuellt mer direkt använda in- och utströmningsområden för randvillkorsformulering.

I det längre tidsperspektivet är det storskaliga förändringarna i grundvattenbildning som uppstår t.ex. på grund av permafrost, havsnivåförändringar eller glaciation viktiga att ta hänsyn till. Någon större precision i (yt-fördelning) av dessa förändringar är knappast realistiskt att förvänta sig. Modellering av konsekvenser av sådana storskaliga förändringar görs i första hand i de storskaliga modellerna.

Mätmetoder etc.

En närmare utredning kan behöva göras om vilka data som verkligen behövs och vilken ambitionsnivå som är rimlig. Det verkar dock vara en rimlig utgångspunkt att de ytnära data som samlas in för den ytnära hydrogeoliska beskrivning som behövs för Mark- och miljö är mer än tillräckliga för att bedöma inverkan på tänkt slutförvarsdjup.

5.7.4 *Storskaliga spårförsök*

Storskaliga spårförsök kan ge värdefullt kompletterade information till den rent hydrauliska. Om ett spårämne transporterats mellan två punkter är detta ett ovedersägligt bevis på kontakt. Möjligheterna till alternativa tolkningar och övriga osäkerheter med spårförsök gör dock att informationen inte direkt kan

användas för parameterskattningar. Storskaliga spår försök kan, om genombrott verkligen kan konstateras ge väsentlig, om än indirekt, information om tillförlitligheten hos grundvattenmodeller i platsskala.

5.7.5 Grundvattenflöde i borrhål

Om det vore teknisk möjligt vore det mycket värdefullt att direkt få mätningar av grundvattenflödet i berget. Denna information skulle dels kunna användas för att kalibrera flödesmodeller, men skulle också direkt kunna användas i närområdes- och migrationsmodeller.

Idagsläget verkar det dock som om flödesmätningar (utspädningssond) inte kan användas för detta syfte. Rhén ed (1995) konstaterar till exempel att flödesmätningar i samband med interferenstester liksom flödesmätningar under ostörda förhållanden kan vara intressant, men för- och nackdelar bör analyseras. Principiella problem inkluderar skineffeker, skala och upplösning.

Uppmätta grundvattenflöden kan därför i regel enbart användas för att kontrollera om prediktioner av flöden med gjorda modeller är rimliga. Framförallt bör man ha klart för sig att prediktioner av flöden på den skalnivå som mätningarna genomförs på bara kan göras stokastiskt. Exakt överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade flöden är förmodlingen inte en rimlig ambitionsnivå, däremot kan det vara intressant att återskapa fördelningen av mätta flöden. Goda flödesdata och en grundvattenmodell som återskapar fördelningen av dessa borde vara ett starkt argument för rimligheten i gjorda konnektivitetsantaganden. Med tanke på de principiella fördelerna bör utnyttjandet av flödesmätningar ytterligare analyseras.

6 KEMI

6.1 Översikt av parametrar, mätmetoder och användningsområden

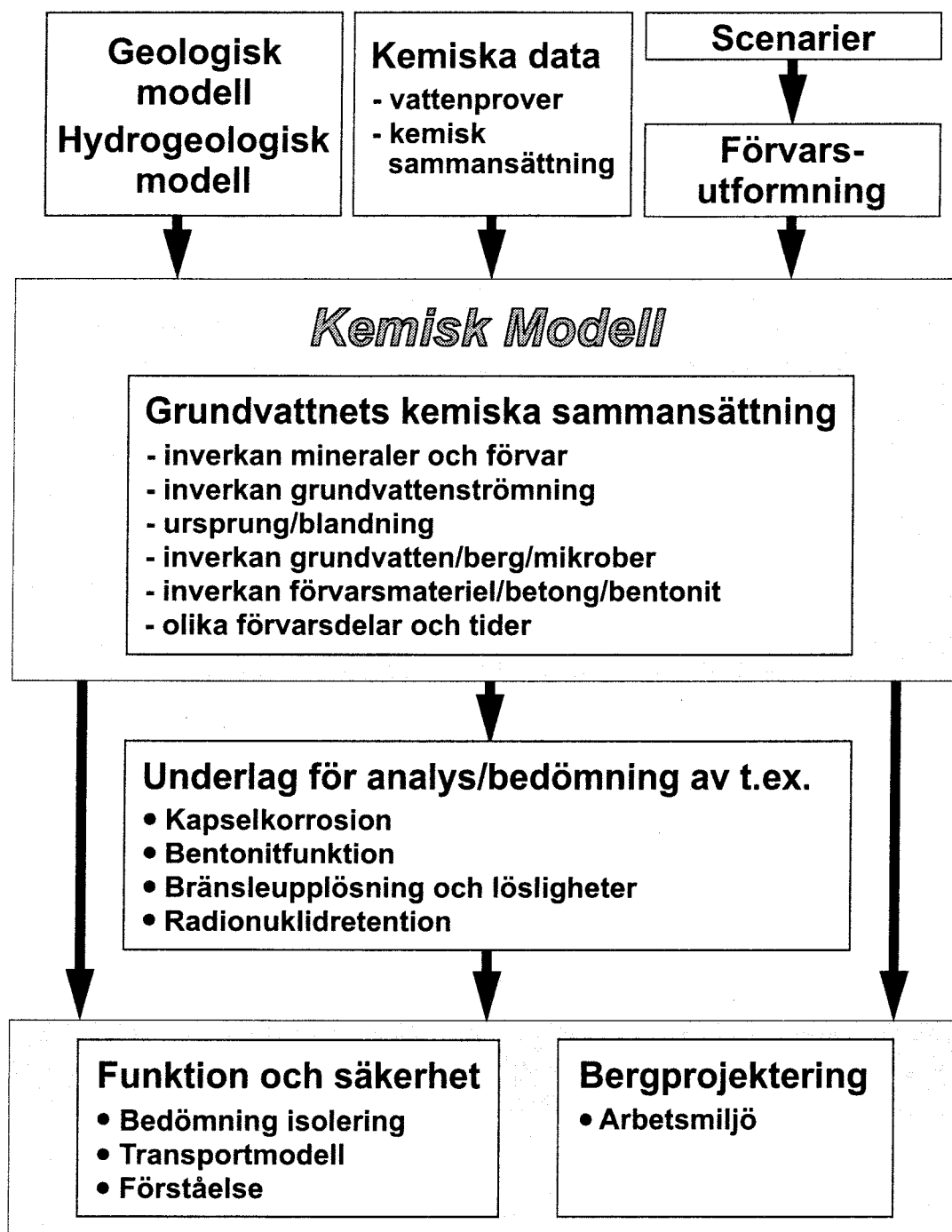
Tabell 6.1 sammanfattar, mycket översiktligt, vilken kemisk information som behövs för att bygga upp en geovetenskaplig förståelse av en plats och för att kunna lämna den information som behövs vid funktions- och säkerhetsanalyser. Parametrarna i tabell 6.1 återfinns, i mer detaljerad form, i den samlade parametertabellen i appendix A:5. De rekommendationer som framförs i detta kapitell bygger på erfarenheter dragna från Stripa-projektet (Andrews et al., 1988), från förundersökningsfasen i Äspö-projektet (Smellie and Laaksoharju, 1992), och på allmänna erfarenheter från Sverige och Finland (Laaksoharju et al, 1993).

Tabell 6-1. Översikt av databehov för geokemisk beskrivning, mätmetoder och användningsområden.

Parameter	Metod	Används för
<i>Grundvattenkemi i förvarsområdet</i> Olika kemiska parametrar - spec nedan	Analys av grundvattenprov Utvärdering	Geokemisk modell Kapselfunktion, bentonitfunktion, bränsleupplösning
<i>Grundvattenkemi längs strömningsvägar</i> Olika kemiska parametrar - spec nedan	Analys av grundvattenprov Utvärdering	Geokemisk modell Utesluta transportmekanismer
<i>Grundvattenkemi i platskala</i> Olika kemiska parametrar - spec nedan	Analys av grundvattenprov Utvärdering	Geokemisk modell/förståelse - Prediktion av långsiktiga förändringar
<i>Mineralogi</i> Olika mineral - se nedan	se geologi (avsnitt 3)	Geokemisk modell/förståelse

6.2 Modeller och användningsområden

En grundvattenkemisk modell utgör ett väsentligt underlag för många analyser. Modellen bygger i stor utsträckning på insamlade vattenprover men behöver också information from geologi och hydrogeologi. Detta illustreras i figur 6-1.



Figur 6-1. Schematisk illustration av uppbyggnad och användning av en grundvattenkemisk modell.

6.2.1 *Bedömning av förvarsfunktion*

Beskrivningen av vattenkemin från den plats och det djup som är aktuellt för förvaret utgör en viktig del av en säkerhetsanalys. Vanligtvis ges informationen i form av en tabell, som även kan innehålla möjliga variationer i sammansättningen. Vattensammansättningen används sedan för att värdera olika processer av betydelse för säkerheten eller som direkta indata för beräkningar, t ex till de beräkningar av löslighet och speciering av radionuklider som brukar vara med i en säkerhetsanalys för högaktivt avfall. Grundvattenkemin har sammanfattningsvis betydelse för bedömning av:

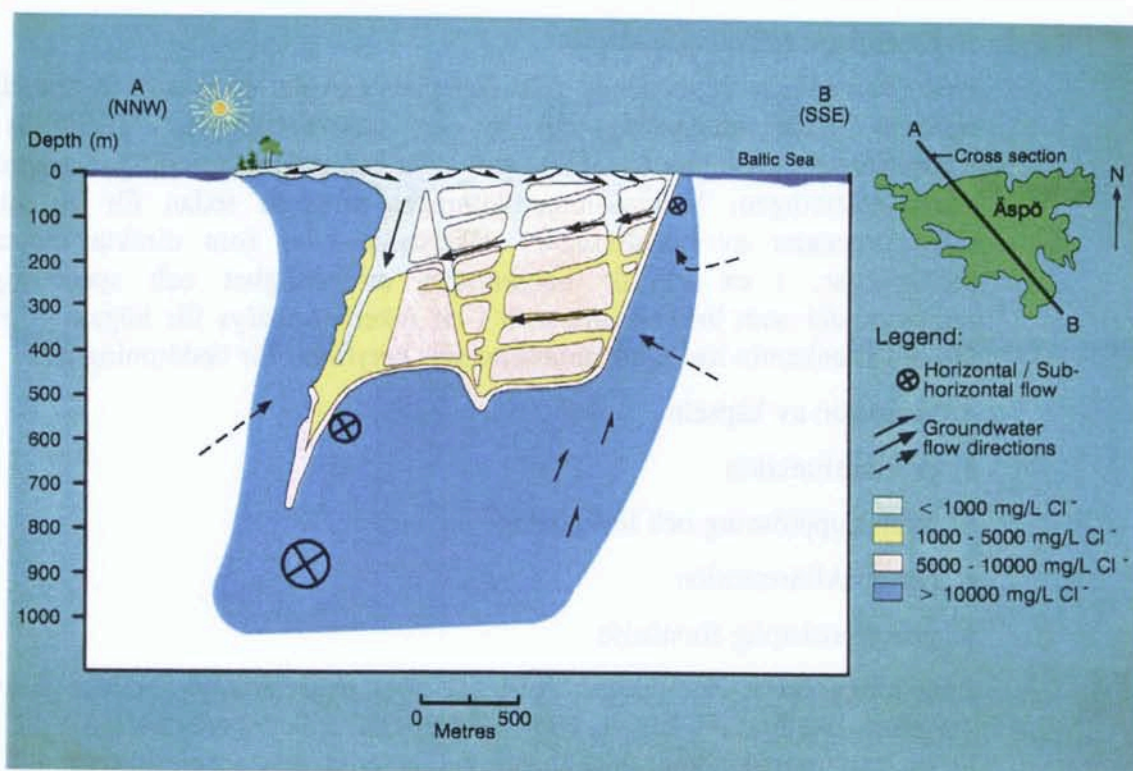
- korrosion av kapseln
- bentonitfunktion
- bränsleupplösning och lösligheter
- radionuklidretention
- geovetenskaplig förståelse

Beräkningar av radionuklidens löslighet görs med termodynamiska jämviktsprogram, exempelvis EQ3/6 eller PHREEQE, vilket beskrivs i SR-95 10-6. Dessa program beräknar lösligheter vid jämvikt och speciering för ett givet system.

Betydelsen av olika vattenkemiska parametrar för säkerhetsanalysen kan variera en hel del och är starkt beroende på vilket scenario som är av vikt och naturligtvis utvecklingen av övrig kunskap på området. Kan man t ex säkert visa att kapseln alltid är hel och förblir hel så förlorar vattnets inverkan på radionuklidkemin all betydelse. Är man däremot extremt pessimistisk beträffande kapslarnas förmåga att isolera avfallet och t ex utgår från att de tidigt brister, långt innan de hinner korrodera, så är det helt oviktigt ifall vattnet innehåller något som kan orsaka korrosion. Det här är rent hypotetiska ytterlighetsexempel men faktum är att säkerhetsanalyser utförda vid olika tider har varit tämligen olika i en del av sina ansatser. Det understryker att man inte alltför snävt kan inrikta sig på analysbehoven som gäller för dagen. Man skall komma ihåg att en och samma plats kommer att bli föremål för många säkerhetsanalyser och det vill till att ha varit en smula förutseende beträffande vattenkemin den dagen man t ex gör en säkerhetsanalys för att få försluta anläggningen efter kanske 40-50 års drift. Inte nog med att behoven kan ha förändrats, det blir dessutom svårt att göra kompletterande mätningar i en anläggning som varit öppen så länge.

6.2.2 *Grundvattenkemisk modell*

Den vattensammansättning som används för att göra bedömningar enligt ovan behöver dock inte vara helt identisk med den grundvattenkemi som uppmätts. En geokemisk modell, (figur 6-2) som i princip klarar av att beskriva den kemiska sammansättningen av grundvattnet i olika delar av berget och hur denna kemi kommer att utvecklas, behöver upprättas (se t ex SR-95, sektion 6.3).



Figur 6-2. Grundvattenkemisk modell för Äspö (från SKB SR 95).

Osäkerheter i mätta data behöver hanteras. Från vattenprover med olika sammansättning kan det vara nödvändigt att välja konservativa värden. I närzonskala kommer dessutom grundvattnets sammansättning att förändras när det kommer i kontakt med bentonit, kapsel, korrosionsprodukter och det använda bränslet.

Storskaliga grundvattenrörelser skulle också på sikt kunna påverka grundvattenkemin i förvarsskala genom att grundvatten av annan kemisk sammansättning transporteras dit. En nyckel till att kunna förutsäga den framtida utvecklingen är därvid förståelse för grundvattnets ursprung (genes). Exempel på processer som behöver värderas är återhämtningen av avsänkningen vid tiden efter förslutning och inverkan av glaciation. Analyser kan dels göras kvalitativt och eventuellt kompletteras med regional hydrogeologisk analys med tidsberoende randvillkor.

En geokemisk modell baseras på en kombination av kvantitativa beräkningar och kvalitativa bedömningar. I SR-95, och i tidigare säkerhetsanalyser, redovisas resultatet av den geokemiska modelleringen i form av referensvatten med osäkerheter. För scenarier som starkt avviker från "normalfallet" kan alternativa vattensammansättningar formuleras.

6.2.3 Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer

I kompletteringen av FUD-program 92 anges ett antal gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer med bäring på vattenkemi.

Som *gynnsamma* angavs: pH 6-9, reducerande förhållanden, rimliga salthalter, rimliga halter av humus- och fulvosyror, d v s "normala" förhållanden i djupa grundvatten. Som *ogynnsamma* angavs: närvaro av syre, extrema pH, extremt låga eller höga salthalter, höga halter av humus- och fulvosyror, höga halter av sulfatreducerande bakterier (bör egentligen vara förutsättningar för hög biologisk aktivitet av sådana bakterier), hög halt organiskt material (TOC), höga halter kväveföreningar, Som *diskriminerande*, i den meningen att de kan medföra att en plats överges i ett platsundersökningsskede, angavs extrem grundvattenkemi exempelvis oxiderande grundvatten.

Identifikationen av geokemiska parametrar som redovisas i följande avsnitt innefattar samtliga parametrar som anges ovan. En precisering av grundvattenkemiska platsvalsfaktorer kan m a o baseras på parameterlistan i appendix A:5.

Av genomgången nedan framgår att det främst är förekomst av syre i grundvattnet som skulle kunna vara ogynnsamt för slutförvarets funktion eftersom detta direkt inverkar på kapselkorrosion och lösligheter av viktiga radionuklider. Normalt går gränsen mellan oxiderande och reducerande vatten inte djupare än 100 m och i de allra flesta fall betydligt grundare än så. Skulle däremot grundvattnet på tänkt försvarsdjup vara oxiderande och innehålla löst syre bör detta leda till att den undersökta platsen överges. Inga av de övriga angivna grundvattenkemiska parametrarna antas ha så stor direkt inverkan att de ensamma skulle kunna vara diskriminerande.

6.3 Grundvattenkemi i försvarsområdet.

6.3.1 Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för kapseln

Kopparkapseln angrips av syre eller av sulfid. Syre kan orsaka sk groppfrätning och är därför besvärligare än sulfid. Syre finns normalt inte på försvarsdjup och platser som har höga halter av syre i vattnet kan och bör man undvika. Närvaro av syre indikeras känsligt vid Eh-mätningarna vilket innebär att normala värden på $Eh < 0$ V är en garanti för frånvaro av syre. Spår av syre räcker för att påverka Eh. Samtidigt mäts halten av Fe^{2+} och HS^- . De reagerar med syre och visar genom sin närvaro att det är syrefritt.

Bentoniten ger också ett visst skydd mot syre, dels genom att det antas att det kemiskt reagerar med löst syre och dels genom att utgöra ett transportmotstånd på vägen till kapseln. Det krävs en minsta mängd syre för att kapseln skall penetreras och vatten har en begränsad förmåga att lösa syre (Henrys lag). Därför innebär även bentonitens förmåga att fördröja angreppet ett väsentligt skydd.

Utöver bentoniten så ger också bergets innehåll av Fe(II)-mineral och sulfider ett skydd mot syre. Till vattnets innehåll av reducerande löst järn(II) och sulfid så kan man även addera de organiska ämnen som via bakterier kan förbruka syre. Det sistnämnda har visat sig vara en betydelsefull process i samband med infiltration av vatten i berget Banwart ed (1995). (The Redox experiment, project summary and performance assessment implications). En begränsad mängd löst organiskt material är således inte till nackdel och kan variera

mellan ca 1 och 10 mg/l i grundvattnet. (Mängden organiskt material i grundvattnet mäts som total mängd organiskt kol i lösning, Dissolved Organic Carbon, DOC). Mot djupet är halterna som lägst.

Sulfid, dvs HS^- är själv en korrodant och halten är därför av intresse att känna till. Halten sulfid i grundvattnet är låg i de fall den förekommer och sällan över 1 mg/l. Sulfat kan av bakterier reduceras till sulfid med hjälp av sådana reduktionsmedel (elektronondonatorer) som löst organiskt material eller de lösta gaserna H_2 och metan. Sulfat finns ofta i grundvattnet och halten kan vara relativt hög. Dessutom finns sulfat i bentonitleran och bentonitens porvatten kan ha högre sulfathalter än grundvattnet. Mängden sulfat är knappast någon begränsning men det är däremot tillgången på organiskt material eller vätgas och metan som måste finnas med som reduktanter (elektronondonatorer). Bakterier måste medverka och deras livsbetingelser är likaså av betydelse. Masstransport kan också utgöra väsentliga begränsningar. Sammanfattningsvis så är det således när det gäller sulfidkorrosion av betydelse att känna till grundvattnets halt av sulfid, sulfat, DOC, vätgas och metan. Dessutom måste man uppskatta förvarets egna bidrag t ex sulfat från bentonit, organiskt material etc, och sist men inte minst uppskatta livsbetingelserna för sulfatreducerande bakterier (tillgång till vatten, närsalter etc).

Djupa grundvatten kan ha en hög halt av klorider. Det är i sig inget alarmerande, men extremt höga halter skulle kunna öka kopparkapselns känslighet för pH. Därför är det väsentligt att mäta halten klorid i grundvattnet och förutse framtida variationer i kloridhalt.

Höga halter av kväveföreningar t ex nitrat, nitrit, ammonium är inte önskvärda eftersom de kan orsaka spänningskorrosion i koppar. Närsalter över huvud taget t ex fosfat, nitrat, ammonium är oönskade eftersom de stimulerar bakteriernas tillväxt.

Tabell 6.2 sammanfattar vilka grundvattenkemiska parametrar som är av betydelse för kapseln. Motiv för bedömningen har lämnats ovan. Informationen återfinns också i kolumnen Isolering/Kapsel i den sammanfattande tabellen i appendix A:5. (Väsentliga=V, Bra att veta=B(egränsad).

Tabell 6-2. Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för kapseln.

Vikt	Parameter
Väsentliga	Eh, Fe^{2+} , HS^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+
Bra att veta	pH, SO_4^{2-} , DOC, lösta gaser dvs H_2 och CH_4 , HPO_4^{2-} , HCO_3^- , bakterier

6.3.2 Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för bentoniten

Alltför låga halter av katjoner som Na^+ , Ca^{2+} och Mg^{2+} är inte så bra för bentonitleran eftersom det kan destabilisera bentonitgelen. Gelen omvandlas då till kolloidala partiklar som kan föras bort med grundvattnet. Man skulle i princip kunna få materialförluster i bufferten på det här viset och dessutom är kolloider aldrig önskvärda eftersom de kan bli bärare för radionuklider. De

tvåvärda katjonerna är viktigast för bentonitgelens stabilitet och halten av t ex kalciumjoner skall helst ligga över 0.1 mM (4 mg/l). Det är ett måttligt krav, som praktiskt taget alltid är uppfyllt. Skulle man ligga klart under så bör man i så fall överväga vad det skulle innebära. Bentoniten själv innehåller en hel del lösta joner så den har en viss förmåga att skydda sig själv under den tid det i så fall skulle krävas för att laka ur bufferten.

Alltför höga halter av lösta salter är inte heller önskvärt även om bentoniten tål en hel del i det här avseendet. Åtminstone bör man undvika vatten med så höga halter att det motsvarar vad som på engelska benäms som en "brine", vilket närmast motsvaras av svenskans "saltlake".

Lermineralet montmorillonit ger bentonitleran dess värdefulla svällande egenskaper. Kaliumjoner kan reagera med montmorillonit som därvid omvandlas till illit varvid bentoniten till stor del förlorar sin egenskap att svälla. Reaktionen kräver relativt hög temperatur och även masstransporten av kalium till bentoniten är en väsentlig begränsning. Ändå är det naturligtvis önskvärt att halten kalium i grundvattnet inte är extremt hög. Halten kalium i grundvattnet ligger i allmänhet under 20 mg/l.

Även Cs^+ , Sr^{2+} och Na^+ är väsentliga. Cs^+ och Sr^{2+} är känsliga för salthalt i porvattnet eftersom de binds genom jonbyte (i huvudsak). Diffusiviteten, som inverkar på fördröjningen i bufferten får därmed ett markant beroende av jonstyrkan i porvattnet.

Tabell 6.3 sammanfattar vilka grundvattenkemiska parametrar som är av betydelse för bentoniten. Motiv för bedömingen har lämnats ovan. Informationen återfinns också i kolumnen isolering/bentonit samt i fördröjning/bentonit i den sammanfattande tabellen i appendix A:5.

Tabell 6-3. Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för bufferten.

Vikt	Parameter
Väsentliga	K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , TDS (Total Dissolved Solids)
Bra att veta	pH, Al^{3+} , SiO_3^{2-}

6.3.3 Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för bränsleupplösning

Bränslets upplösning påverkas av sådana grundvattenparametrar som pH, redoxförhållanden och karbonathalt. Nu kommer bränslet att vara omgivet av flera ton järn (järnkapsel) och bentonit och det bör spela en avgörande roll för kemin i en skadad kapsel. Järnet kan styra redoxförhållandena och bentoniten får stor betydelse för pH och karbonathalt. Likväl så är det önskvärt att vattnet inte innehåller t ex syre eftersom det är svårt att visa på jämvikt överallt i ett heterogent och i någon mån dynamiskt reaktionssystem. Tabell 6.4 sammanfattar vilka grundvattenparametrar som är av betydelse för bränslet. Motiv för bedömingen har lämnats ovan. Informationen återfinns också i kolumnen Fördröjning/Bränsle i den sammanfattande tabellen i appendix A:5. (Väsentliga=V, Bra att veta=begränsad =B).

Tabell 6-4. Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för bränslet.

Vikt	Parameter
Väsentliga	Eh, Fe ²⁺ , HS ⁻ ,
Bra att veta	pH, HCO ₃ ⁻

6.4 Grundvattenkemi längs flödesvägar - radionuklidretention

Bergets retentionsegenskaper bestäms primärt av grundvattenströmningen kopplat med matrisdiffusion som möjliggör sorption av lösta ämnen på bergets mikrosprickor. Kopplingen med grundvattenströmningen och betydelsen av lermineral och porositetsförhållanden diskuteras i nästa avsnitt (kap. 7). Även grundvattenkemin längs strömningsvägarna är av stor betydelse eftersom denna påverkar sorption och möjliga transportmekanismer. Tabell 6.5 sammanfattar vilka grundvattenkemiska parametrar som är av betydelse härför. Motiv för bedömningen lämnas nedan. Informationen återfinns också i kolumnen Fördröjning/Berg/Retention i den sammanfattande tabellen i appendix A:5. (Väsentliga=V, Bra att veta=begränsad=B).

Sorption som påverkas av jonbyte t ex sorption av Sr²⁺ och Cs⁺ på bergets mineral, är direkt beroende på koncentrationen av andra katjoner i vattnet. Löslighet och rörlighet av U, Np och Tc är mycket känsliga för redoxförhållanden. Karbonat bildar komplex med och pH påverkar hydrolysen av flera viktiga aktinider t ex Pu och Am. Humusämnen kan bilda komplex med radionuklidjoner och på så vis förändra deras kemiska egenskaper.

Kolloidala partiklar kan ta upp radionuklider och fungera som bärare. Även gasbubblor och bakterier i princip kan fungera på det viset och därigenom ha betydelse för spridningen av radionuklider från ett förvar. Utfällning av mineral t ex kalcit och oxidhydroxider av järn och mangan, kan binda radionuklider genom medfällning.

Tabell 6-5. Grundvattenkemiska parametrar av betydelse för radionuklidretention.

Vikt	Parameter
Väsentliga	pH, Eh, Fe ²⁺ , HS ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , HA/FA, lösta gaser dvs N ₂ , H ₂ , CO ₂ , CH ₄ , He, Ar samt kolloider och bakterier
Bra att veta	SO ₄ ²⁻ , HPO ₄ ²⁻ , F ⁻ , HS ⁻ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺

6.5 Vattenkemi för geovetenskaplig förståelse

Som regel träffar man på grundvatten med olika sammansättning på en och samma plats. Störst är variationen i sammansättning, koncentrationer och kemiska egenskaper med djupet, men det finns också gott om exempel på variationer horisontellt. Dessa variationer behöver bestämmas av flera skäl:

- det förklarar att vattnet ser ut som det gör på förvarsdjup

- det visar på tänkbara framtida variationer i sammansättning och egenskaper i såväl kort (t ex förändringar pga bygge och drift) som långt (t ex istid) perspektiv
- det ger en möjlighet att kontrollera hydrauliska modeller för platsen
- det skvallrar om den hydrauliska transporten av lösta ämnen (t ex korrodanter och radionuklider) under ostörda förhållanden.

För att få bra resultat behövs relevanta prover tagna i flera borrhål och på olika djup samt en noggrann utvärdering. Multivariatanalys har visat sig vara ett användbart verktyg för att avslöja blandningar av vatten med olika ursprung/sammansättning.

Man bör också ha ett grepp om vilka mineral som finns på platsen. Detta gäller speciellt relativt lösliga mineral (t ex anhydrit), de som på annat sätt är reaktiva (t ex lermineral), eller sådana som skulle kunna avslöja utvecklingen i området (t ex järn(III)mineral). Tabell 6.6 sammanfattar vilka grundvattenkemiska parametrar som är av betydelse. I princip är samtliga av dessa också av väsentlig betydelse, vilket också redovisas i den sammanfattande tabellen i appendix A:5 under rubriken geovetenskaplig förståelse.

Tabell 6-6. Parametrar av betydelse för geokemisk förståelse.

Parametrar
pH, Eh
Huvudkomponenter t ex Na, K, Ca, Mg, HCO ₃ , SO ₄ , Cl
Spårämnen t ex Fe, Mn, U, Th, Ra, Si, Al, Li, Cs, Sr, Ba, HS, I, Br, F, DOC
Lösta gaser t ex N ₂ , H ₂ , CO ₂ , CH ₄ , Ar, He
Stabila Isotoper t ex ¹⁸ O & ² H i H ₂ O, ¹³ C i DIC och DOC, ³⁴ S och ¹⁸ O i SO ₄ och HS, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr, ³ He, ⁴ He
Radioaktiva Isotoper t ex T, ¹⁴ C i DIC och DOC, ²³⁴ U/ ²³⁸ U, ³⁶ Cl
Bakterier
Mineral: Lösliga, reaktiva, sådana som avslöjar utvecklig i området

I sammanställningen av indatabehov för bergprojekteringen (Windelhed och Alestam, 1996) redovisas att information behövs om pH, elektrisk ledningsförmåga, kemisk sammansättning och radon. Kravet på precision beträffande pH, elektrisk ledningsförmåga och kemisk sammansättning motiveras inte och borde inte vara större än att det tillgodoses av motsvarande krav ställda utifrån ett geovetenskapligt/säkerhets perspektiv. Däremot kan halter av U och Rn i grundvattnet kan få stor inverkan på vilka ventilationsåtgärder som behövs för att upprätthålla en acceptabel arbetsmiljö i bergrummen. Kloridinnehållet i grundvattnet kan vara väsentligt för bedömningen av miljökonsekvenser för dränering. Informationen redovisas i den sammanfattande tabellen i appendix A:5.

6.6 Kvalitet och krav på upplösning för de grundvattenkemiska data

Genomgången ovan visar att grundvattnets kemiska sammansättning utgör nödvändig information vid säkerhets- och funktionsanalyser, men också att samma information (t.ex. Eh) är viktig i flera olika sammanhang. Detta framgår också av sammanställningen av de geokemiska parametrarna i appendix A, som är ordnad parameter efter parameter.

Med tanke på de varierande behov av data för olika säkerhetsanalyser i olika sammanhang, som diskuteras inledningsvis, är inte rimligt att begränsa den kemiska provtagningen vid platsundersökningar till de parametrar som bedömts som mest viktiga. Alla listade parametrar bör bestämmas.

Kraven på kvalitet vid provtagning och analys av grundvatten för säkerhetsanalys är höga. Det är helt nödvändigt, eftersom man i regel väljer de extrema värdena för att kunna pröva betydelsen av ett ogynnsamt fall. Ett enstaka felaktigt ytterlighetsvärde kan lätt leda till onödigt konservativa antaganden i SA. Dessutom går det inte alltid att göra om provtagningar av grundvatten i ett senare skede då man hunnit börja med hydrotester eller ännu större ingrepp som påverkat de ursprungliga förhållandena på platsen.

För att få grundvattenkemiska data av tillräckligt hög kvalitet bör därför den grundvattenkemiska provtagningen genomföras före de hydrauliska testerna eller under alla förhållanden samordnas med de hydrauliska mätprogrammet.

Beträffande krav på upplösning (antal provpunkter t ex) diskutera detta av Laaksoharju et al, 1993 och i Smellie ed. (1993).

7 RETENTIONSEGENSKAPER - RADIONUKLIDTRANSPORT

7.1 Översikt av parametrar, mätmetoder och användningsområden

Tabell 7.1, sammanfattar vilka data/parametrar som behövs för att beskriva bergets retentionsegenskaper, d.v.s dess förmåga att fördröja eller hålla kvar radionuklider som lösts upp i grundvattnet. Tabellen försöker också visa exempel på vilka mätningar som kan användas för att skatta parametrarna och hur de används. Parametrarna i tabell 7.1 återfinns också i den samlade parametertabellen i Appendix A :7.

Tabell 7-1. Översikt av databehov för beskrivning av bergets retentionsegenskaper, samt mätmetoder och användningsområden.

Parameter	Metod	Används för
Egenskaper i närområdesskala Grundvattenkemi	se kemidata	Parametrar i källtermsmodell (lösligheter sorption)
Grundvattenomsättning	Från gv-modell	Bedöma stabilitet kapsel, bentonitt (se kap 6), Källtermsmodell (Kapselkorrosion)
Sprickappertur, geometri	Geologisk kartering, hydrogeologisk modell	Källtermsmodell (Kapselkorrosion)
Egenskaper strömningsvägar Strömvägar Grundvattenflöde strömvägar Dispersion (long, trans, Pe) Flödesporositet Våt yta	Partikelspår från hydro-modell Partikelspår från hydro-modell Partikelspår från hydro-modell Spårförsök Spårförsök/hydro-modell Labtest, Diskret sprickmodell, spårförsök	Transportmodell Transportmodell Transportmodell Transportmodell Transportmodell
Egenskaper berg längs strömningsvägar Sorptionsdata (Kd) Matrisdiffusivitet Matrisporositet Max. Penetrationsdjup Densitet bergmatris Grundvattenkemi	Labtest, gv-kemi, (in-situ) Labtest borrhäna Labtest borrhäna Labtest borrhäna Labtest - borrhäna Gv-kemisk modell	Transportmodell Transportmodell Transportmodell Transportmodell Transportmodell Bestämma sorptionsdata
Transportegenskaper för jordlagren/recipienter Vattenomsättning Flödeporositet Sorptionsegenskaper Biologisk aktivitet	Hydr. recipientmodell Jordartsmodell Jordartmodell/labtest	Biosfärsmodeller, mark- och miljö
Stödjande data Genombrottskurvor Kemisk analys sprickfyllnad Kemisk analys sidoberg Grundvattenkemi, kolloider, gas m.m. i gv	Spårförsök Kärnkartering och analys Labtest på borrhäna Gv-kemi - se asnitt 6	Validering/kalibrering Geovetenskaplig förståelse Geovetenskaplig förståelse Utesluta andra transportmekanismer Geovetenskaplig förståelse, prediktioner av förändringar

7.2 Modeller och användningsområden

De transportmodeller som används inom säkerhetsanalysen hämtar till stor del sina data från den geovetenskapliga beskrivningen av hydrogeologi och geokemi. Modellkoncepten är ofta direkt anpassade till ett säkerhetsanalytiskt synsätt där faktiska, men svårkaraktäriserade, mekanismer förenklas i konservativ riktning. Det kan därför diskuteras om nuklidtransportmodeller utgör en del av den geovetenskapliga beskrivningen, eller om modellerna snarare bygger på densamma. Å andra sidan ställer transportmodellering nya krav på platspecifika data som inte automatiskt tillgodoses av den hydrogeologiska eller geokemiska beskrivningen. Detta illustreras i figur 7-1. Det är detta databehov som diskuteras i föreliggande kapitel.

7.2.1 Transport i närområdet

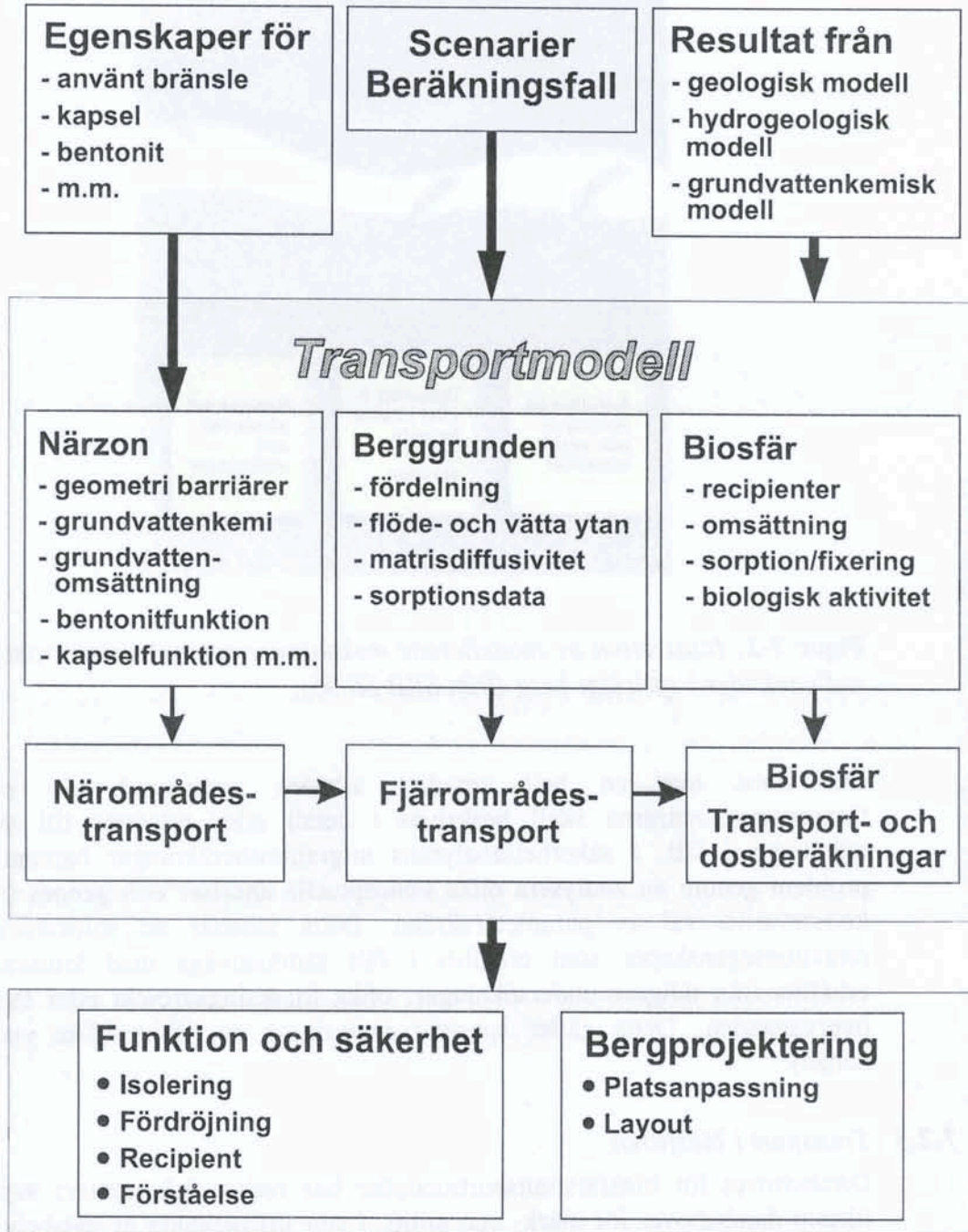
Grundvattenströmningen, bergets retentionsegenskaper och grundvattenkemin i närheten av deponeringshålen påverkar, tillsammans med bränslets, kapslens och bentonitens egenskaper, storleken på utsläppet för de fall en kapsel har gått sönder. På motsvarande sätt kan dessa egenskaper även påverka stabilitet hos kapseln genom att grundvattnet kan vara en källa till korroderanter.

7.2.2 Transport av radionuklider som frigjorts från förvaret

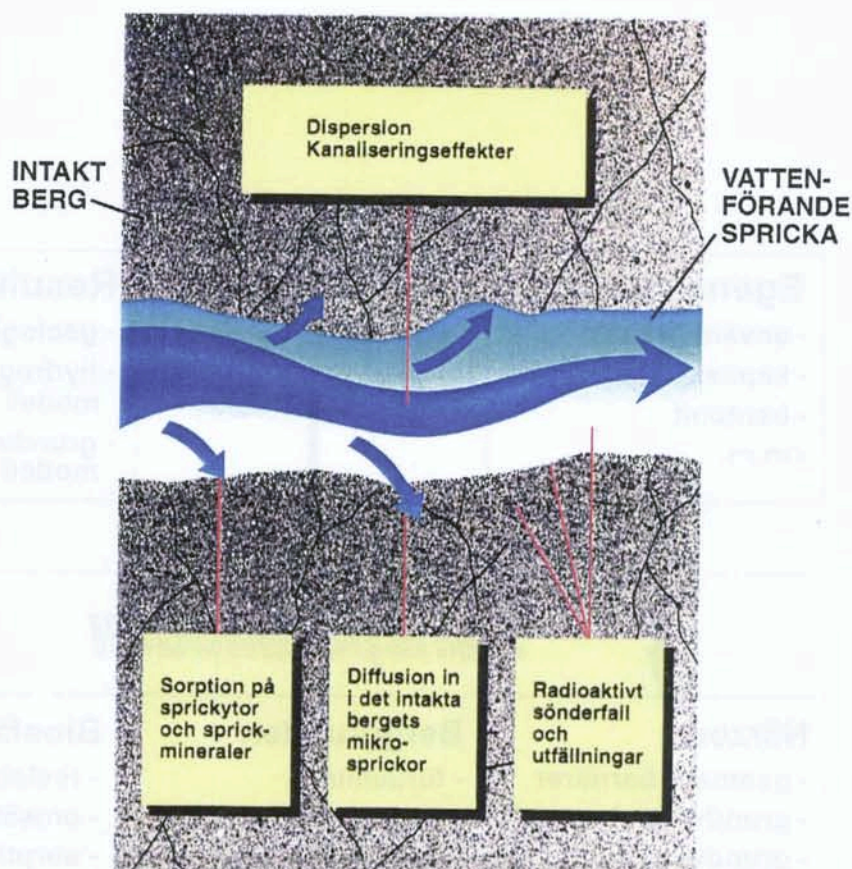
Bergets retentionsegenskaper har framförallt betydelse vid säkerhetsanalysens beräkningar av transport av radionuklider som frigjorts från förvaret. Sådana transportberäkningar utgör en väsentlig del av en säkerhetsanalys. Till exempel ingår transportmodellen "FARF31" (Norman and Kjellbert, 1990) i den s.k. "beräkningskedjan" som illustreras i figur 7-1, men det finns även alternativa modeller. Databehovet för dessa modeller liknar dock varandra.

Det databehov som redovisas i tabell 7.1 motsvarar till stor del de data som behövs för säkerhetsanalysens migrationsmodeller, eller data som behövs, tillsammans med annan information, för att bestämma sådana direkt nödvändiga data. De modellerade transportprocesserna illustreras i figur 7.2.. Det kan i detta sammanhang noteras att begreppet "bergmatrisen" som ofta används i transportmodelleringssammanhang inte direkt motsvaras av ett geologiskt begrepp, men avser det intakta berget med mikrosprickor - dvs sprickor där det inte kan ske strömning.

Kraven på kunskap om data varierar mellan transportparametrarna. Endast vissa retentionsegenskaper har stor inverkan på bergets förmåga att åstadkomma en så stor fördröjning av utsläppta radionuklider att dessa hinner sönderfalla. Av de processer som idag modelleras är det i första hand sorptionen på mikrosprickornas ytor i samband med matrisdiffusionen som har förutsättningar att resultera i tillräckligt stor fördröjning. Storleken på inverkan matrisdiffusionen beror på ett samspel mellan grundvattenflöde, flödesgeometri, bergmatrisens porositet och diffusivitet och grundvattnets geokemiska egenskaper.



Figur 7-1. Schematisk illustration av uppbyggnad och användning av transportmodeller.



Figur 7-2. Illustration av modellerade mekanismer som påverkar transport av radionuklider i sprickigt berg (från SKB SR 95).

Det finns inte en helt entydig, allmänt accepterad syn på hur transportparametrarna skall beskrivas i detalj eller relateras till tänkbara mätningar i fält. I säkerhetsanalysens migrationsberäkningar hanteras detta problem genom att analysera olika konceptuella ansatser och genom (rimligt) konservativa val av parametervärden. Detta innebär att information om retentionsegenskaper som erhållits i fält sammanvägs med kunskap som erhållits från tidigare undersökningar, olika forskningsprojekt eller teoretiska överväganden. Detta gäller speciellt skattningar av "flödesväta ytan" (se nedan).

7.2.3 Transport i biosfären

Databehovet för biosfärtransportmodeller har redan diskuterats i kapitel 5, liksom databehovet för mark- och miljö. I stor utsträckning är databehovet av hydrogeologisk natur. För att kunna bedöma omsättningen i olika delar behöver dock dessa data kompletteras med transportegenskaper för jordlagren. Detta kommenteras i föreliggande kapitel.

7.2.4 *Uteslutande av andra transportmekanismer*

Det finns en övergripande konsensus (NEA, 1996) att migration av de radioaktiva ämnen som frigörs från förvaret i första hand bestäms transportprocesserna advektion, dispersion, matrisdiffusion och sorption. Det skulle dock kunna finnas andra tänkbara mekanismer som transport via kolloider eller transport via gas. Det kan behövas platsspecifika data för att visa att det är möjligt att försumma dessa andra mekanismer. Sådana resonemang, baserade på mätta data, gjordes till exempel, i SKB-91. Platsanknutna data som är viktiga att känna till för att göra sådana bedömningar har redan kommenterats i avsnitt 6.

7.2.5 *Bedömning om förändringar av grundvattenkemi*

Kunskap om migration har också betydelse för att kunna bedöma den långsiktiga grundvattenkemin i förvaret vid olika scenarier vilket redan diskuteras i avsnitt 6. Det kan, till exempel, vara viktigt att känna till om förändringar av grundvattenkemin i mer yt nära grundvatten skulle kunna påverka grundvattenkemin på djupet. Sådana förändringar skulle kunna påverka både inneslutningsfunktion och retentionsfunktioner. I regel kan dock sådana frågor hanteras med kvalitativa informationer och resonemang. Förutom den geokemiska information, som diskuteras i avsnitt 6.5, kan även bergets retentionsegenskaper vara en viktig information vid sådana bedömningar.

7.2.6 *Gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer*

I kompletteringen av FUD-program 92 anges ett antal gynnsamma, ogynnsamma och diskriminerande faktorer med direkt bäring på transportegenskaper. Som *gynnsamma* angavs stort yt/volymförhållande i vattenförande sprickor och stark kemisk sorptionsförmåga längs grundvattnets transportvägar i berget. Som *ogynnsamma* angavs faktorer som redan listats som ogynnsamma under rubrikerna hydrogeologi och geokemi (se kap 5 och 6). Som *diskriminerande* faktorer i den meningen att de kan medföra att en plats överges i ett platsundersökningsskede angavs flera tätt liggande vattenförande sprickzoner med snabba transportvägar upp till ytan.

Identifikationen av transportparametrar som redovisas i följande avsnitt innefattar samtliga parametrar som anges ovan. En precisering av platsvals faktorer kan m a o baseras på parameterlistan i appendix A:6.

7.3 *Egenskaper i närområdesskala*

De grundvattenkemiska egenskaper som påverkar kapselns stabilitet, bränsleupplösning, transport genom bentonit och berget i närområdet har redan kommenterats i kapitel 6. Sammanfattningsvis kan konstateras att grundvattenkemin är av väsentlig betydelse för kapselns stabilitet (isolering), samt av väsentlig betydelse för fördröjning i bränsle, bentonit och berg. Fördröjningen beror framförallt på att grundvattenkemi inverkar på lösligheten för flera viktiga radionuklider.

Beträffande grundvattenflödet betydelse gäller att de flesta källtermiskoder, inklusive Tullgarn/TULL22 (Kjellbert, 1995) och NUCTRAN/COMP23 (Romero et al, 1995) som SKB använder, bygger på en mycket enkel beskrivning av grundvattenströmningen i berget med en planparallel spricka som skär igenom deponeringshålet. De geometriska och hydrogeologiska faktorer som styr utläckaget blir sprickvidden och grundvattenströmningen i sprickan. Känslighetsanalys med källtermiskoder (SKB, 1992, SKI, 1996) visar att utläckaget endast beror på grundvattenflödet i ett begränsat intervall. Dessutom gäller ett en alternativ spridningsväg skulle kunna utgöras av spridning direkt till en tänkt störd zon. Om strömningen i denna är tillräckligt stor blir utläckaget helt oberoende av grundvattenströmningen i det omgivande berget och utläckaget via tunneln dominerar för de flesta grundvattenflöden (Vieno et al., 1992). Frågan kan dock ställas om dessa slutsatser skulle förändras med en mer realistisk (och mindre konservativ) beskrivning av källtermen.

Sammanfattningsvis kan konstateras att grundvattenomsättningen i närområdet är av begränsad betydelse för kapselns stabilitet (tillförsel av korrodanter), men i viktiga flödesintervall ändå är av väsentlig betydelse för fördröjningen i bentonit och närberg. Enligt nuvarande, konservativa, modeller har sprickgeometrin i närberget enbart begränsad betydelse för fördröjning av utläckage, men denna bedömning kan komma att förändras om mer realistiska modeller används (Andersson et al., 1996).

Bedömningarna enligt ovan sammanfattas i tabell A:6 i appendix.

Mätmetoder

De närområdesflöden som behövs för källtermsberäkningar kan beräknas med de hydrogeologimodeller som används för migrationsmodelleringen. Fördelningen av strömningsvägar, liksom korrelationen mellan flöde och andra transportegenskaper, blir dock mindre väsentligt, varför kravet på indata om detta i princip är lägre om modellen enbart skall användas för närområdesapplikationer (se kapitel 5). I ett detaljundersökningsskede kan dock detaljerade mätningar av närbergets egenskaper vara högst motiverade för att på ett lämpligt sätt optimera förvarsutformningen.

7.4 Egenskaper strömningsvägar

Den hastighet varmed lösta ämnen transporteras i sprickigt berg bestäms av förhållandet mellan transporten med det rörliga grundvattnet och den fördröjning som sker via matrisdiffusion kopplat med sorption i bergmatrisen. De egenskaper hos transporten av det rörliga grundvattnet som härvid har betydelse är grundvattnets strömvägar, grundvattenflödet längs dessa strömvägar, dispersionen, flödesporositet och kontaktytan mellan det strömmande grundvattnet och bergmatrisen. Dessa parametrar kan definieras något olika; de är inte oberoende av varandra och de beror på hur de medlevärdesbildats i rummet. Skattning av dessa parametrar kan därför bara göra om korrelationerna beaktas. Detta innebär också att de metoder som lämpar sig för att bestämma parametrarna delvis är desamma.

7.4.1 Strömvägar, grundvattenflöde, dispersion och porositet

Transporten av lösta ämnen genom berget sker längs grundvattnets strömningsvägar. Begreppet strömningsvägar är dock inte väl definierat utan bygger i ensklida applikationer på skattningar från en flödesmodell. I de migrationsmodeller som SKB använder i säkerhetsanalysen beskrivs strömvägar och grundvattenströmning som en fördelning av strömrör där varje strömrör representeras av grundvattenflöde, longitudinell dispersion, porositet och längd. I varje strömrör beskrivs transporten endimensionellt och kan lösas med enkla modeller (t ex FARF31). Med de endimensionella modellerna kan en "strömningstid" därmed beräknas för varje strömrör för ett icke sorberande ämne. Denna strömningstid är inte trivialt kopplad till genombrottstiden för ett sorberande sönderfallande ämne och skall betraktas som en matematisk storhet. Begreppet strömningstid är därmed olämpligt som platsspecifik parameter men kan, vid behov, användas internt i modelleringsarbetet.

På grund av den rumsliga variationen av bergets ledningsförmåga, samt beroende på gällande randvillkor kommer egenskaperna att vara olika för olika strömrör. Det är fördelningen av egenskaper som bestämmer bergets egenskaper. Flera viktiga observationer bör härvid göras.

För det första bör det observeras att egenskaperna inom ett strömrör utgör medelvärden av de varierande förhållandena inom strömröret. Fördelningen av egenskaper mellan strömrör och den dispersivitet som anpassats till ett givet strömrör beror på denna skala.

Dispersionen inom ett strömrör är ett mått på flödesvariationerna inom strömröret. Om strömrörsskalan är liten kommer dock variationen i flöde mellan olika strömrör att vara en betydligt viktigare spridningsmekanism. Känslighetsanalys med migrationsmodeller visar att dispersion inom sådana strömrör är av relativt begränsad betydelse, framförallt om utläckaget från källtermen pågår under lång tid (SKI, 1996). I TVO-92 (Vieno et al., 1992) togs dispersionen överhuvudtaget inte med i transportberäkningarna.

Flödesporositeten bestämmer i princip grundvattnets strömningshastighet (om Darcy-flödet är känt). För sorberande ämnen och för matrisdiffusionen har dock strömningshastigheten underordnad betydelse. Kunskap om porositeten kan dock ha stor betydelse för att kunna tolka spårförsök som genomförs med icke eller svagt sorberande ämnen.

För att få en rimlig upplösning av strömningsfältet får den medelvärdesbildande skalan inte väljas alltför stor. Större skala innebär i princip att variabiliteten mellan strömrör minskar, medan dispersionen behöver öka för att hantera flödesvariationer inom strömröret. Idealt skulle man därför behöva en så stor upplösning som möjligt av strömfältet och sedan vid val av parametrar till säkerhetsanalysen välja lämplig skala. Helt målinriktade studier över vilken upplösning som behövs för meningsfulla migrationsberäkningar har inte genomförts. Behovet av att bestämma lämplig skala överskuggas dessutom av de svårigheter och osäkerheter som finns för att bestämma grundvattenflödet (och våta ytan) i mindre skalor. En tänkbart rimlig medelvärdeskala, som i princip tillämpades vid SKB-91, skulle dock kunna motsvara storleken av ett

enskilt deponeringshål eftersom detta ungefär motsvarar storleken på källtermen.

Den endimensionella strömrörsbeskrivningen innebär en förenkling och tillåter till exempel inte blandning mellan strömrör. Modellen fungerar i princip därmed inte om strömvägarna ändras, t ex som en följd av kommande klimatförändringar. Det är vidare inte helt självklart hur viktningen av parametrar bör vara vid medelvärdesbildning inom enskilda strömrör. Dessa svårigheter kan dock i regel hanteras genom konservativt val av parametervärden i säkerhetsanalysen.

Det förekommer diskussioner om alternativ till beskrivningen av flödesfältet som en fördelning av strömrör (Ström, 1996). I regel innebär dessa alternativ att transportproblemet löses direkt för det strömfält som beräknats med en tredimensionell hydrogeologisk modell. Eftersom det finns olika konceptuella modeller för detta (se kap. 5) leder detta i princip också till alternativa transportmodeller. Behovet av platsspecifika data kan därför inte "skräddarsys" till en enda modell, utan behöver anpassas så att data kan anpassas till samtliga de modeller som avses att utnyttjas.

7.4.2 Effektiva kontaktytan mellan strömmande vatten och bergmassan.

Tillsammans med grundvattenströmningen är den effektiva kontaktytan mellan strömmande vatten och berget den viktigaste parametern för att kunna bestämma betydelsen av matrisdiffusionen. Den våta ytan maximeras av sprickytan i berget (som är relativt lätt att skatta från strukturgeometriska data), men är i praktiken avsevärt mindre - det är endast de sprickytor som har potential att delta i transporten som ger bidrag till ytan. Begränsningar i våta ytan uppstår på grund av heterogenitet i sprickplanet (endast vissa delar av sprickan leder i praktiken vatten) och heterogenitet mellan sprickor (endast vissa sprickor bidrar till strömningen). Det innebär att det finns en korrelation mellan flödesfördelning, porositet och våt yta. Den våta ytan är m a o inte en från flödet helt oberoende parameter vilket innebär att det inte råder fullständig konsensus om hur den bör parameteriseras (se Elert, 1996).

Enskilda värden på den "våta ytan" beror på hur den definierats och hur den medelvärdesbildats i rummet och tiden. Den våta ytan kan, till exempel, avse yta per volym berg eller yta per volym vatten. Dessa är bara trivialt relaterade via porositen för enkla geometrier. Vidare är s.k. våta ytan per volym vatten och flödes hastigheten starkt beroende av den eftersom båda direkt beror av flödesporositeten. Till exempel Moreno and Neretnieks (1993) har dock visat att retentionsegenskaperna för en strömväg väsentligen bestäms av kvoten mellan våt yta per volym berg och darcy hastighet. Denna kvot, som även kan beskrivas som kvoten mellan våt yta per volym vatten och flödes hastigheten är också betydligt mer robust mot olika sätt att medelvärdesbilda de olika parametrarna (SKI, 1996).

7.4.3 Värdering, behov av precision och mätmetoder

Sammanfattningsvis kan det konstateras att den exakta lokaliseringen av strömvägar i berget är av begränsad betydelse för bedömningen av bergets

retentionsegenskaper. Däremot är fördelningen av grundvattenflödet över olika strömvägar liksom den flödesvätta ytan av synnerligen väsentlig betydelse, medan dispersion och flödesporositet längs strömvägarna bara är av begränsad betydelse. Samtliga här nämnda parametrar kan dock vara av väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen eftersom de till exempel påverkar möjligheten att tolka spår försök liksom mer långsiktiga geokemiska förändringar. Bedömningar framgår även av tabell A:6 i appendix.

Av ovanstående resonemang framgår att platsundersökningar ägnade åt att bestämma retensionsegenskaper för strömvägar inte kan inriktas på att bestämma enskilda väl definierade parametrar. Information behöver istället samlas in som möjliggör tolkning av de vidare bergreppen "strömningsvägar" och "våt yta" till parametervärden för olika ansatser och beskrivningar och på en skalnivå som motsvarar storleken på enskilda deponeringshål (se 7.2.1 ovan). Tolkningar av data till värden på fördelning av strömrör, dispersiviteter, porositet och våt yta behöver därvid göras i ett sammanhang och behöver vara inbördes konsistenta. Detta hindrar inte att av tänkbart tillgänglig information för att bestämma dessa storheter en del har mer bäring på "strömningsvägar" och annan mer bäring på "våta ytor".

Den huvudsakliga källan till information om strömningsvägar kommer från partikelbanor från detaljerade hydrogeologimodeller. Databehov för sådana har redan kommenterats (se kap 5). Möjligheten att direkt mäta flödesfördelningen i berget är begränsad (se kap 5).

Den våta ytan kan bestämmas i mikro-skala (labtest på sprickor i borrhäror, se t ex Kristallin I, NAGRA, 1994). I strömrörsskalan sammansätts dock den våta ytan av dessa begränsningar i mikroskala med flödesfördelningen inom strömröret. Det finns olika ansatser att utnyttja information i större skala, t ex extrapolation med diskreta spricknätmodeller (Geier, 1996) eller med kanalnätverksmodeller (Gylling m.fl, 1995). Därvid utnyttjas diskreta sprickdata och uppmätta permeabilitetsfördelningar eller flödesfördelningar.

Det görs också försök att skatta "våta ytan" från anpassning av transportmodeller till genombrottskurvor vid spår försök, och direkta mätningar genom injektering av epoxy följt av uppbygning. Användning av geologiska evidens för matrisdiffusion "rödfärgning" diskuteras också. För vidare diskussion om detta hänvisas till Elert (1996) Ingen av dessa metoder har dock lämnat forsknings eller konceptstadiet, men är potentiellt intressanta om de skulle kunna leda till förbättrade möjligheter att bestämma storleken av matrisdiffusionen.

Det förtjänar att påpekas att med de metoder som idag står till buds kommer såväl variabilitet som osäkerhet om strömvägar kommer vara betydande. Variabiliteten kan inte förändras med mer mätningar, däremot skulle osäkerheterna eventuellt kunna minskas om nya metoder utvecklas. Det är inte klarlagt om den forskning som pågår för närvarande kommer att kunna leda till praktiskt genomförbara platsundersökningsmetoder. Med tanke på att data om "strömningsvägar" och "våta ytor" för närvarande får antas bygga på extrapolation-uppskalning från andra modeller och med tanke på hur avgörande

dessa förhållanden är för retentionen bör dock ansträngningar göras för att förbättra data.

7.5 Bergmassans retentionsegenskaper längs strömningsvägar

Sorption kan förekomma på ytor på mikrosprickor inne i bergmatrisen, dvs kombinerat med matrisdiffusion och på större sprickytor i direkt kontakt med det strömmande. I SKBs migrationsmodeller (FARF31) behandlas främst sorption i matrisen och sorptionen direkt på makrosprickorna försummas. För att kunna bestämma betydelsen av sorptionen i bergmatrisen behövs därför information om sorptionen samt diffusivitet och porositet hos bergmatrisen. De värden som används måste vara representativa för de verkliga strömningsvägarna.

7.5.1 Sorption

I säkerhetsanalysens migrationsmodeller beskrivs sorptionen av radionuklider lösta i grundvattnet med sorptionskoefficienten K_d , som anger fördelningen av radionuklider mellan vattnet och berget. I princip beror K_d -värden både på grundvattenkemi (främst redox) och mineralogi (se avsnitt 6.4). Detta hanteras med att välja konservativa värden för den aktuella grundvattenkemin.

7.5.2 Matrisdiffusivitet, matrisporositet och maximalt penetrationsdjup

Matrisdiffusionen bestäms också av matrisen egenskaper (diffusivitet och porositet). Dessa kan dessutom antas avta ett visst avstånd från sprickan varför modeller i regel också innehåller ett angivet maximalt penetrationsdjup, som är en konservativ uppskattning av hur mycket av bergmatrisen som är tillgängligt för diffusion.

7.5.3 Värdering, mätmetoder och behov av upplösning

Känslighetsanalyser med migrationsmodeller (se t ex, Vieno et al, 1992 eller SKI, 1991) visar att sorptionsdata, matrisdiffusivitet och matrisporositet är väsentliga för bedömningen av bergets retentionsegenskaper. Kravet på precision är dock mycket lägre än för kvoten mellan flöde och vätta ytan (eller ekvivalenta parametrar). Den resulterande retentionen beror i princip bara på kvadratroten av de förra parametrarna. Det maximala penetrationsdjupet är av begränsad betydelse eftersom i de flesta fall även mycket konservativt små värden på penetrationsdjupet anges är dessa i regel ändå så stora att ingen ytterligare effekt skulle nås om större värden ansattes. Bergmassans densitet ingår i sorptionsformlerna men variationen av densiteten mellan olika bergarter är närmast försumbar i detta sammanhang varför informationen enbart är av begränsad betydelse.

Det finns idag generisk data på transportparametrarna, som baseras på resultat från tidigare undersökningar. Utan att förgripa resultaten av de undersökningar som pågår på bl a Äspö så förefaller det dock uppenbart att man *bör mäta platsspecifika data* för sorption, porositet, diffusivitet, inträngningsdjup och flödesvätt yta.

Bedömningarna sammanfattas även i tabell A:6.

Ett uppenbart problem vid karakteriseringen av berget längs strömningsvägar är att strömningsvägarnas exakta läge inte är känt och att dessutom borrhäls-teknik kan avgöra vad som kan ses i sprickor. Variabiliteten i sprickplanet kan vara betydande och behöver egentligen karakteriseras. Det är därför inte uppenbart enkelt att införskaffa "representativa data".

Det traditionella sättet att få sorptiondata är att mäta sorptionskoefficienter, sk Kd-värden för väsentliga radionuklider och representativa mineral. Eftersom sorptionen är av störst betydelse i samband med indiffusion så har man lagt vikt vid att använda bergartsbildande mineral t ex en blandning av plagioklas, biotit kalifältspat och kvarts (krossat berg). Ur ett stort antal mätningar görs ett försiktigt urval av representativa Kd-värden.

Att mäta Kd in-situ med t ex spårförsök eller CHEMLAB är knappast nödvändigt för säkerhetsanalysen annat än för att bekräfta att laboratorievärden är användbara (validering). Däremot är själva provtagningen naturligtvis väsentlig, t ex så kan urspolning av lermineral i samband med borrhäls-teknik helt omintetgöra möjligheten att få representativa prover. Är lermineral mycket vanligare än man tror, så är det kanske synd att missa den kapaciteten för sorption.

Diffusivitet och porositet mäts på utsågade skivor av berget och maximalt diffusionsdjup uppskattas från t ex analogistudier. Det har inte ansetts vara nödvändigt att ta proverna från den plats som åsyftas i den enskilda säkerhetsanalysstudien utan resultaten skall gälla allmänt där förhållandena är likartade i vårt land (granitiskt berg). Mot den bakgrunden skulle man kunna hävda att vi vet tillräckligt redan nu, särskilt med tanke på hur svårt det är att få bra värden på andra väsentliga parametrar som t ex den flödesvägarens yta. Å andra sidan så är det inte otroligt att man faktiskt skulle kunna förbättra underlaget en hel del genom en målinriktad kampanj på en given plats. Utveckling på det här området pågår på Äspö.

Om diffusionsparametrar kunde mätas in-situ skulle man slippa få ifrågasatt huruvida provet har förändrats strukturellt i samband med provtagning (spänningen släpper). Någon sådan teknik som är praktiskt användbar finns inte idag. Därför bör inriktningen vara att ta prover för analys på laboratorium efter att dessförinnan ha visat att tekniken ger ett resultat som är relevant.

Det finns således etablerade metoder för att på laboratoriet mäta Kd, matrisdiffusivitet och matrisporositet. Utvecklingen har emellertid gått framåt, så det är en god idé att se över de möjligheter som finns och välja metoder som är enkla att använda men ändå ger ett tillräckligt bra resultat. Diffusion är ett exempel på detta. Gångse teknik är bra men långsam. Med nyare metoder kan man, om de visar sig hålla måttet, mäta fler prov snabbare.

Att mäta de konstanter som behövs för att beskriva bildning av ytkomplex är utomordentligt svårt. Det gäller att i en vattenlösning mäta kemiska förändringar som är orsakade av koncentrationsändringar på ytor hos ett uppslammat mineral i lösningen. Förändringarna är således små och låga halter av föroreningar stör gärna mätningen genom att t ex "sätta sig på ytorna". Det

finns exempel på att man hållit på ca ett år innan man till sist lyckades bemästra mätningar av en enda nuklid på ett enda enkelt mineral. Då har det varit frågan om noggrant arbete i kontrollerad atmosfär (handskbox) och med extremt rena syntetiskt framställda mineralprov. Dessutom finns det andra och tråkiga exempel på att man till sist misslyckades pga att mineralytan (fältspatmineral) långsamt reagerade i lösningen och därmed omöjliggjorde mätningen.

Ytkomplexering är en utomordentlig metod för att demonstrera förståelsen av sorptionsmekanismerna men den är långtifrån att vara en konkurrent till användningen av Kd-värden. Man skall således inte ersätta Kd-värden med ytkomplexeringskonstanter i säkerhetsanalysen. Det kanske blir möjligt en dag men att utlova något sådant är inte tillrådligt.

NAGRA är i färd med att pröva en metod att dela in bergets sprickor i olika klasser med specifika retentionsegenskaper. SKB är inblandad i den utvecklingen via Äspö. Det är inte omöjligt att det här lyckas. För att det skall fungera så bör i så fall variationen inom en klass inte vara alltför stor. Det vill ju till att spridningen i retentionsparametrarna inom en klass inte vida överstiger skillnaden mellan olika klasser.

7.6 Transportparametrar i jordlagren/recipienter

För biosfärsmodelleringen finns behov att känna till retentionsegenskaper i jordlagren för att kunna beräkna omsättning och fördröjning i olika recipientdelar. Information behövs därvid om vattenomsättning (från hydrologisk eller hydrogeologisk analys se kap 5) flödesporositet, sorptionsegenskaper och om mikrobiologisk aktivitet som ytterligare kan bidra till fördröjning eller ackumulation. Flödesporositeten är av begränsad betydelse för biosfärsmodelleringen, men kan vara vitkig för kortsiktig analys av andra miljökonsekvenser från djupförvaret. Vattenomsättning, sorptionsegenskaper och mikrobiologisk aktivitet som kan bidra till ackumulation är av väsentlig betydelse för både biosfärsmodelleringen och bedömning av mer kortsiktiga "traditionella" miljökonsekvenser. Bedömningarna framgår av tabell A:6 i appendix.

7.7 Stödande data

7.7.1 Geokemisk karakterisering av sprickfyllnad, sidoberg och grundvatten

Det borde finnas ett antal olika åtgärder som kunde sättas in på en vald plats för att bygga under den säkerhetsanalys som sedan genomförs. Ett förslag är att gå igenom och analysera, i såväl vatten som mineral, de spårelement som förekommer och som liknar radionuklider kemiskt t ex U, Th, Ra, Se, Mo, Sn, Rb, Zr, Ni, Sr, Cs, lantanider, eller andra betydelsefulla komponenter från ett förvar t ex Cu. För att detta skall vara meningsfullt krävs det naturligtvis att det verkligen går att analysera ämnet ifråga. Långa tabeller med N D (Not Detected) är ingen hjälpt av. Lyckas däremot mätningarna bra så kan det här användas till att, a) pröva beräkningar av löslighet och b) stödja slutsatser om retentionen av radionuklider i berget (t ex genom sekventiell extraktion).

Det har gjorts en hel del ansträngningar att kunna använda retention genom medfällning för säkerhetsanalysen migrationsberäkningar, men det är inte lätt att åstadkomma. Experimenten t ex medfällning med kalcit, har inte varit särskilt framgångsrika och de modeller som finns är rätt omtvistade. Ytterligare en svårighet består i kunna visa att fällningen inte löses upp i ett senare skede eller förändras med tiden, så att den till slut "stöter ifrån sig" den medfällda radionukliden, t ex när amorf järn(III)hydroxid omvandlas till kristallin götit. Man måste även kunna visa att utfällning verkligen äger rum i något skede av radionuklidtransporten. Det går således inte att utnyttja medfällning idag i samband med säkerhetsanalysens beräkningar av transport av radionuklider i berget. Men för att korrekt tolka observationer av löslighet och sorption av spårämnen så måste man veta om det har bildats fasta lösningar i mineralen. Det kan man bli åstadkomma genom att avslöja förekomsten av övermättnader i vattnet och tecken på utfällning i sprickmineralen.

Möjligheten att utnyttja geokemiska data, t ex "rödfärgning av flödesvägar" som indikation på matrisdiffusion och därmed som ett tänkbart sätt att mäta våta ytan diskuteras, men det finns idag ingen utvecklad metodik för detta (se t ex Elert, 1996).

Värdering, mätmetoder och önskvärt underlag:

Sammanfattningsvis konstateras att geokemisk karakterisering av sprickfyllnad, sidoberg och grundvatten är av väsentlig betydelse för den geovetenskapliga förståelsen - och därmed indirekt för motivering av rimligheten hos valda transportmodeller. Informationen skulle också kunna bli direkt användbar för att tolka viktiga transportegenskaper, som flödesvättan ytan, men eftersom metodik för detta inte finns etablerad bedöms informationen idag vara av begränsad betydelse för detta ändmål. Bedömningarna framgår även av tabell A:6 i appendix. (Se också diskussion i kap 2 och 6).

Spårämnesanalyser bör utföras på proven från de ca 20-30 typer av sprickfyllnader med tillhörande sidoberg samt ca 10-20 referensprov på friskt, icke omvandlat, berg som omnämns ovan i samband med bestämning av bergets retentionsegenskaper för säkerhetsanalysen. Det är då av största vikt att det finns analyser av motsvarande ämnen i vatten som runnit genom de provtagna sprickorna. Det sambandet måste vara klart för att resultatet skall gå att tolka på ett meningsfullt sätt. För att spåra inflytandet av medfällning så bör man vara speciellt uppmärksam på kalcit-, järn(III)- och mangan(IV)-mineral.

7.7.2 Spårförsök

I princip bör spårförsök vara synnerligen viktiga källor till indirekt information om bergets retentions egenskaper. Av detta skäl anger tabell A:6 att genombrottskurvor från spårförsök är väsentliga för (att kunna bestämma) bergets retensegenskaper liksom för den geovetenskapliga förståelsen.

Dessvärre gäller dock att faktiskt utförda spårförsök (Stripa, Äspö, m.m.) bara i begränsad omfattning har kunnat användas för att indirekt skatta viktiga egenskaper hos migrationsmodellerna som flödesfördelning och faktiska våta ytor även om de kunnat användas för att motivera rimligheten hos vald modell och modellparametrar. För att spårförsök skall bli verkligt användbara inom platsundersökningsprogrammet behöver teknik och utvärderingsmetoder för desamma utvecklas.

Det finns goda skäl varför spårförsök hittills utnyttjats endast i begränsad omfattning. Dessa är dels mättekniska men framförallt gäller att spårförsök som verkligen blir känsliga för våta ytan (rimligen) tar lång tid att utföra. Värdet av att utföra spårförsök i en begränsad del av berget, när prediktioner behövs av en stor del av berget kan också ifrågasättas.

Genom mer aktiv design, genom att inte påbörja försök för sent och genom att avdela resurser för utvärdering är det trots allt möjligt att spårförsök skulle kunna utvecklas till ett mer aktivt instrument för platsundersökningar. De erfarenheter som nu samlas inom Äspö-projektet (LPT2, TRUE m.m.) bör därvid sammanställas för att ta fram ett program för spårförsök inom platsundersökningarna.

7.7.3 Grundvattenkemi och skattning av kolloider, gas m.m.

Databehov för detta har redan kommenterats i avsnitt 6.

8 SLUTSATSER

Detta dokument har identifierat och värderat geovetenskapliga parametrar som är av betydelse att känna till för att kunna genomföra funktions- och säkerhetsanalyser av ett djupförvar för använt kärnbränsle, baserat på den information som kan erhållas från en platsundersökning. Dokumentet diskuterar också databehov för bergprojektering och databehov för beskrivning av mark- och miljö. Dokumentet kan därvid ge en utgångspunkt för:

- en beskrivning av mätmetoder, tolknings och analysmetoder
- en beskrivning av hur data analyseras i säkerhets- och funktionsanalyser och behov av återkoppling till platsundersökningsprogrammet
- en diskussion om mer preciserade platsvals faktorer
- en diskussion om i vilken logisk ordningsföljd olika mätningar behöver genomföras både med avseende på behov av indata och inverkan på andra mätningar

Ovanstående information bör tillsammans utgöra ett väsentligt underlag för planeringen av ett geovetenskapligt platsundersökningsprogram. Det bör också poängteras att det föreliggande dokumentet fortlöpande kan behöva revideras, till exempel baserat på erfarenheter från SR-97. Detta får dock inte hindra att dokumentet även i föreliggande form utnyttjas för nödvändig planering.

9 REFERENSER

Almén K.E., Olsson P., Rhén I., Stanfors R., Wikberg P., Äspö Hard Rock Laboratory. Feasibility and usefulness of site investigation methods. Experiences from the pre-investigation phase, SKB TR 94-24, 1994.

Almén K.E., Stanfors R., Svemar C., Nomenklatur och klassificering av geologiska strukturer vid platsundersökningar för SKB:s djupförvar, SKB PRD-96-029, 1996.

Andersson, J. Bear, A.M. Shapiro, A stochastic analysis of fluid flow in fractured rock conditioned by measured information, *Water Resources Research*, 20(1), 79-88, 1984.

Andersson J, Impey M, Robinson P C, Implications Of Rock Structure On The Performance In The Near-Field Of A Nuclear Waste Repository, in *Proceedings Workshop on Computational Methods in Engineering* Pusch and Adey eds, Lund, 1996.

Andrews, J., Fontes, J.-C., Fritz, P. and Nordstrom, K. Hydrochemical assessment of crystalline rock for radioactive waste disposal - The stripa experience. SKB Stripa Project TR 88-05, 1988.

Barton N.R., Review of a new shear strength criterion for rock joints, *Eng. Geol.*, 7, 287-332, 1973.

Barton, N.R., The shear strength of rock and rock joints, *Int. J. R. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 13(10), 1-24, 1976.

Barton, N.R. and Chonbey V., The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock. Mech.* 10 (1-2), 1-54, 1977.

Barton N.R. and Bandis, S.C., Review of predictive capabilities of the JCR-JCS model in engineering practice. In *Rock joints, proc. int. symp. on rock joints*, Loen, Norway, 603-610, 1990.

Bear J., *Hydraulics of groundwater*, McGraw Hill, 1979.

BIOMOVS-II, Published by the BIOMOVS II Steering Committee, Swedish Radiation Protection Institute, 1996.

Bird R.B., Stewart W.,E., Lighthfoot E.N., *Transport Phenomena*, John Wiley & Sons, Inc., 1960.

Bruun Å., Kario L., Lundqvist T., Geologiska miljöer och faktorer, sett ur olika skalor, att beakta vid planering av ett slutförvar för använt kärnbränsle, SKB Djupförvar PR 44-92-010, 1992.

Boulton G.S. and Payne, A, Simulation of the European ice sheet through the last glacial cycle and prediction of future glaciation, SKB TR 93-14, 1993.

Börgesson, L, Johannesson L-E, Sandén, T. and Hernelind J., Modelling of the physical behaviour of water saturated clay barriers. Laboratory tests, material models and finite element application, SKB TR 95-20, 1995.

Dershowitz W., G. Lee, J. Geier, T Foxford, P. LaPointe, A. Thomas, FracMan Interactive Discrete Feature Analysis, Geometric modelling and exploration simulation, User documentation Version 2.5, Golder Associates Inc., Redmon Washington, 1995.

Dverstorp B., J. Andersson, Application of the discrete fracture network concept with field data: Possibilities of model calibration and validation, *Water Resources Research*, 25(3), 540-550, 1989.

Elert M., Retention mechanisms and the flow wetted surface - implications for safety analysis, SKB (i manuskript), 1996.

Follin S., Geohydrogeological simulation of a deep coastal repository, SKB TR 95-33, 1995.

Geier J., Axelsson C-L, Hässler L, Benabderrahmane A. Discrete fracture modelling of the Finnsjön rock mass: Phase 2. SKB TR 92-07, 1992a.

Geier J., and B. Dershowitz, Data requirements for discrete fracture network modelling, SKB PR 44-92-009, (LOK 92-09), 1992b.

Geier J., Discrete-feature modelling of the Äspö site 3, Predictions of hydrogeological parameters for performance assessment (SITE-94), SKI Report 96:7, SKI, 1996.

Gustafson G., M. Liedholm, I. Rhén, R. Stanfors and P. Wikberg, Äspö Hard Rock Laboratory. Predictions prior to excavation and the process of their validation, SKB, TR 91-23, Stockholm, 1991.

Gustafson G. and A. Ström, The Äspö Task Force on Modelling of Groundwater Flow and Transport of Solutes. Evaluation report of Task No 1 the LPT2 large scale field experiment, SKB ICR 95-05, 1995

Gylling B., L. Moreno and I. Neretnieks, Data requirements for the channel network model, SKB (Moreno and Neretnieks), SKB PR 44-94-014, 1994a.

Gylling B., L. Moreno, I. Neretnieks and L. Birgersson, Analysis of LPT2 using the Channel Network model, SKB ICR 94-05, 1994b.

Hoek E. and Brown E.T., *Underground excavations in rock.*, London Institute of Min. Metall., 1980.

Hoek E., Kaiser, D.K. and Bawden W.F., *Support of underground excavations in hard rock*, Balkema Rotterdam, 1995.

Hudson J A (ed), *Comprehensive rock engineering, Vol 1, Fundamentals*, Pergamon Press, 1993.

Jing L., et al, DECOVALEX - Mathematical models of coupled T-H-M processes for nuclear waste repositories. Report of phase I., SKI Technical Report 93:31, Statens kärnkraftinspektion, 1993.

King-Clayton L.M., Chapman N.A., Kautsky F, Svensson N.O. de Marsily G., Ledoux E., 1995, The central scenario for SITE-94. SKI Report SKI 95:42.

Kjellbert N., 1995, Tullgarn - A near field radionuclide migration code. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., AR 91-25, 1995.

Laaksoharju M, Smellie J., Routsalainen P, Snellman M., An approach to quality classification of deep groundwaters in Sweden and Finland, SKB TR 93-27, SKB 1993.

Larsson S-Å, Tullborg E-L, Tectonic regimes in the Baltic shield during the last 1200 Ma - A review, SKB Technical Report TR 94-05, Stockholm, 1994.

Lejon B., Mechanical properties of fracture zones, SKB TR 93-19, SKB 1993.

Ljungren C. och Persson M., Beskrivning av databas om bergspänningasmätningar i Sverige, SKB Projektrapport Djupförvar PR D-95-017, SKB, 1995.

Mészárs F, Simulation of the transient hydraulic effect of the access tunnel at Äpsö, ICR 96-06, SKB, 1996.

Millard A., Durin M, Stietel A., Thoraval A., Vuillod E., Baroudi, H., Plas F., Bougnoux A., Voullie G., Kobayashi A., Hara K., Fujita T., Ohnishi Y., Discrete and continuum approaches to simulate the thermo-hydro-mechanical couplings in a large, fractured rock mass, Int., J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr., Vol 32, No. 5, pp 409-434, 1995.

Moreno L., and Neretnieks, Fluid flow and solute transport in a network of channels, J. of Cont. Hydrol, 14, 163-192, 1993.

NAGRA, Kristallin-I Safety Assessment Report; Nagra Technical Report NTB 93-22, 1994.

NEA , The International INTRAVAL Project: Developing Groundwater Flow and Transport Models for Radioactive Waste Disposal. Final Results. OECD publication, 1996.

Norman S. and Kjellbert N., FARF31 - A far field radionuclide migration code for use with the PROPER package, SKB TR 90-01, 1990.

Olsson O., ed, Site Characterization and Validation - Final Report, SKB Stripa Project TR 92-22, SKB, 1992.

Ollson O., Bäckblom G., Gustafson G., Rhén I. Stanfors R., Wikberg P., The structure of conceptual models with application to the Äspö HRL Project, SKB TR 94-08, 1994.

Olsson O, Emsley S., Corinne B., Falls S, Stenberg L., ZEDEX- A study of the zone of excavation disturbance for blasted and bored tunnels, ICR 96-03, 1996.

Rhén (ed), Granskning av utvärderings och fältundersökningsmetoder vid hydrauliska tester- HYDRIS gruppens sammanfattning, PR D-95-014, 1995.

Rhén (ed), Bäckblom G., Gustafson G., Stanfors R., Wikberg P., Äspö HRL. Geoscientific evaluation 1996/2. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of prediction and observation. Summary report, SKB (i manuskript), 1996.

Romero L., Moreno L., Neretnieks I, Model validity document - NUCTRAN: A computer program to calculate radionuclide transport in the near-field of a repository, SKB AR 95-14, 1995.

Israelsson J., Rosengren L., and Stephansson O., Sensitivity study and rock mass response to glaciation at Finnsjön, central Sweden, SKB TR 92-34, 1992.

Santaló, L.A., 1976. Integral geometry and geometrical probability, Encyclopedia of mathematics and its applications, Addison-Wesley.

Smellie J, Laaksoharju M., The Äspö Hard Rock laboratory: Final evaluation of the hydrogeochemical pre-investigations in relation to existing geologic and hydraulic conditions. SKB TR 92-31, SKB 1992.

SKB, SKB 91 - Final disposal of spent fuel. Importance of the bedrock for safety, SKB TR 92-20, 1992.

SKB, FUD-Program 92 kompletterande redovisning. Kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring. Komplettering till 1992 års program sammanställd med anledning av regeringsbeslut 1993-12-16, SKB, 1994.

SKB FUD-Program 95. Kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk djupförvaring samt forskning, utveckling och demonstration. SKB 1995a.

SKB, SR-95, Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel, SKB 1995b.

SKI SITE-94, Deep Repository Performance Assessment Project, SKI Report 96:36, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm, 1996 (in print).

SSI, Statens strålskyddsintituts skyddskriterier för omhändertagande av använt kärnbränsle, SSI Rapport 95-02, 1995.

Stanfors R and Ericsson L O, Post glacial faulting in the Lansjärv area, northern Sweden. Comments from the expert group on a field visit at the Molberget post-glacial fault area, 1991, SKB TR 93-11, 1993.

Thunvik R., and C. Braester, Hydrothermal conditions around a radioactive waste repository, SKBF/KBS TR 80-19, , 1980.

Tsang Y.W., C.F. Tsang, F.V. Hale and B. Dverstorp, Tracer transport in a stochastic continuum model of fractured media, WRR 32(10), 3077-3092, 1996.

Vieno, T., A. Hautajärvi, L. Koskinen, H. Nordman, TVO-92 safety analysis of spent fuel disposal. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Report YJT-92-33E, 1992.

Voss C., and Andersson J., Regional flow in the Baltic shield during Holocene coastal regression, Ground Water Vol. 31, 6, 989-1006, 1993.

Wikberg P., Ericsson L-O, Rhén I, Wallroth T, Smellie J, SKB framework for regional groundwater modelling including geochemical-hydrogeological model integration and paleohydrogeology, SKB Äspö HRL Progress Report PR 25-95-11, 1995.

Winberg, Data needs for Stochastic Continuum Modelling of flow and solute transport, PR 44-94-002, 1994.

Windelhed K. och Alestam M, Behov av platsspecifika uppgifter för bergprojektering, SKB AR D-96-007, 1996.

APPENDIX A:X**Innehåll**

Appendix A:1	Geologi	3 sidor
Appendix A:2	Bergmekanik	1 sida
Appendix A:3	Termiska egenskaper	1 sida
Appendix A:4	Hydrogeologi	1 sida
Appendix A:5	Kemi	2 sidor
Appendix A:6	Transportegenskaper	1 sida

Angående värdering av parametrars betydelse.

En viss parameters betydelse för djupförvarets funktion värderas i Appendix A:1 - A:6 enligt följande:

- (V) Väsentlig betydelse
- (B) Begränsad betydelse
- (Tom ruta) Ingen betydelse

Det bör noteras att tabellen är en förenklad och schablonmässig presentation av rapportens innehåll.

Värderingen grundar sig huvudsakligen på vedertagna bedömningar om informationens betydelse för ett djupförvar, i några fall på författarnas och konsulterade experters subjektiva bedömningar.

Det finns inget direkt samband mellan en parameters betydelse och med vilken omfattning och noggrannhet den bestäms under en platsundersökning.

Förteckningen av parametrar är till största delen giltig för alla skeden under djupförvarets lokalisering, byggnad och drift. Flera parametrar hanteras dock endast under ett eller ett par av dessa skeden, medan andra parametrar kan bestämmas med ökande noggrannhet allteftersom mer detaljerade undersökningar görs.

Att en parameter värderats med (V) eller (B) i tabellen betyder att det åtminstone i ett av undersökningsskedena är av väsentlig respektive begränsad betydelse för djupförvarets funktion etc att bestämma parametern.

Geovetenskapliga parametrar (sorterade på ämnesområden) och deras betydelse för förvarets säkerhetsfunktion, anläggningsutformning, m m

V= Väsentlig betydelse
B= Begränsad betydelse
(se kommentarsnot om värdering på sid 105)

Appendix A:1

ÄMNESOMRÅDE -parametrar	Påverkan, betydelse	Långsiktig funktion o radiologisk säkerhet							Recipient	Projektering			Övriga miljö- aspekter	Geovet förståelse	Not		
		Isolering				Fördröjning				Layout	Byggnalys	Arbetsmiljö					
		Kapsel	Bentonit	Berg	Intrång	Bränsle	Kapsel	Bentonit								Berg	
																G v flöde	Retention
Strukturgeologi																	
Plastiska strukturer																	
Veck																	
Foliation			B								V				V		
Skiffrighet			B								V				V		
Myloniter			B								V				V		
Ädring															V		
Stänglighet															V		
Ålder															B		
Regionala och lokala diskontinuiteter																	
Läge	V	V	V					V	B		V	V			V		
Orientering			V					V			V	V			V		
Längd			V					V			V	V			V		
Zonbredd			V					V			V	V			V		
Rörelser (storlek, rikt, ålder)			V								V	V			V		
Genetisk Typ															V		
Egenskaper																	
antal sprickgrupper			V								V	V			V		
spacing			V								V	V			V		
blockstorlek			V								V	V			V		
sprickråhet			V								V	V			V		
sprickfyllnad (sprickmineral)			V								V	V			V		
omvandling/vittring			V								V	V			V		
forts nästa sida																	

Geovetenskapliga parametrar (sorterade på ämnesområden) och deras betydelse för förvarets säkerhetsfunktion, anläggningsutformning, m m

V= Väsentlig betydelse
B= Begränsad betydelse
(se kommentarsnot om värdering på sid 105)

Appendix A:1

Påverkan, betydelse ÄMNESOMRADE-parametrar	Långsiktig funktion o radiologisk säkerhet								Projektering			Övriga miljö-aspekter	Geovet förståelse	Not		
	Isolering				Fördröjning				Recipient	Layout	Byggnalys				Arbetsmiljö	
	Kapsel	Bentonit	Berg	Intrång	Bränsle	Kapsel	Bentonit	Berg								
								G v flöde								Retention
Lokala mindre diskontinuiteter (data för stokastisk/deterministisk beskrivning)																
Läge			V					V			V	V			V	
Orientering			V					V			V	V			V	
Längd			V					V			V	V			V	
Zonbredd			V					V			V	V			V	
Rörelser (storlek, rikt, ålder)			V												V	
Genetisk typ															V	
Egenskaper															V	
antal sprickgrupper			V					B	B		V	V			V	
spacing			V					B	B		V	V			V	
blockstorlek			V					B	B		V	V			V	
sprickråhet			V								V	V			V	
sprickfyllnad (sprickmineral)			V					B	B		V	V			V	
omvand/vittring			V					B	B		V	V			V	
Enskilda sprickor (Data för stokastisk beskrivning)																
Frekvens (olika grupper)			V					V	V			V			V	
Orientering			V					V	V		B	B			V	
Längd			V					V	V			B			V	
Kontaktmönster			V					V	V			B			V	
Sprickvidd			V					B	B			V			V	
Ytkaraktär/råhet			V									V			V	
Sprickfyllnad (sprickmineral)			V					B	B			V			V	
Omvandling/vittring			V						B			V			V	

Geovetenskapliga parametrar (sorterade på ämnesområden) och deras betydelse för förvarets säkerhetsfunktion, anläggningsutformning, m m

V= Väsentlig betydelse
B= Begränsad betydelse
(se kommentarsnot om värdering på sid 105)

Appendix A:3

Påverkan, betydelse ÄMNESOMRÅDE -parametrar	Långsiktig funktion o radiologisk säkerhet								Projektering			Övriga miljö-aspekter	Geovet förståelse	Not		
	Isolering				Fördröjning				Recipient	Layout	Byggnalys				Arbetsmiljö	
	Kapsel	Bentonit	Berg	Intrång	Bränsle	Kapsel	Bentonit	Berg								
								G v flöde								Retention
TERMISKA EGENSKAPER																
Bergets egenskaper																
Värmeledningsförmåga - berg	V	V	V					B		V				V		
Värmekapacitet - berg	V	V	V					B		V				V		
Värmeutvidgning	V	V	V							V				V		
Temperaturer																
Temperatur berg och grundvatten	B	B		B	B			B		V				V		
Termiska randvillkor och gradient	B	B		B	B			B						V		

Geovetenskapliga parametrar (sorterade på ämnesområden) och deras betydelse för förvarets säkerhetsfunktion, anläggningsutformning, m m

V= Väsentlig betydelse
B= Begränsad betydelse
(se kommentarsnot om värdering på sid 105)

Appendix A:4

Påverkan, betydelse ÄMNESOMRÅDE -parametrar	Långsiktig funktion o radiologisk säkerhet							Projektering			Övriga miljö-aspekter	Geovet förståelse	Not			
	Isolering				Fördröjning			Recipient	Layout	Byggnalys				Arbetsmiljö		
	Kapsel	Bentonit	Berg	Intrång	Bränsle	Kapsel	Bentonit								Berg	
															G v flöde	Retention
HYDROGEOLOGI																
Deterministiskt modellerade diskontinuiteter																
Geometri - se geologisk modell			V					V	V		V	V	V	V		
Permeabilitetsförd./konnektivitet	B	B	V					V	V		V	V	V	V		
Flödesporositet, Magasinskoef.											B			B		
Stokastiskt modellerade diskontinuiteter och sprickor samt bergmassa																
Statistiska diskontinuiteter - se geo	B	B	B					V	V					B		
Permeabilitetsförd/konnektivitet	B	B	B					V	V		V	V	V	V		
Flödesporositet	B		B						B					V		
Magasinskoef/Kompressibilitet														B		
Grundvattnets egenskaper																
Densitet, viskositet								V						V		
Salinitet								V						B		
Temperatur								B								
Jordlagrens egenskaper																
Identifikation recipienter										V			V	B		
Metrologiska/Hydrologiska data								B		V			V	V		
Konduktivitet, mäktighet, porositet								B		V			V	B		
Randvillkorstödande data																
Grundvattentryck/-tryckhöjd								V			V	V	V	V		
Uppmätt grundvattenflöde								V						V		
Genombrottskruvor								V						V		
In/utströmningsområden								B		V				B		

Geovetenskapliga parametrar (sorterade på ämnesområden) och deras betydelse för förvarets säkerhetsfunktion, anläggningsutformning, m m

V= Väsentlig betydelse
B= Begränsad betydelse
(se kommentarsnot om värdering på sid 105)

Appendix A:6

Påverkan, betydelse ÄMNESOMRÅDE -parametrar	Långsiktig funktion o radiologisk säkerhet							Recipient	Projektering			Övriga miljö-aspekter	Geovet förståelse	Not		
	Isolering				Fördröjning				Layout	Byggnalys	Arbetsmiljö					
	Kapsel	Bentonit	Berg	Intrång	Bränsle	Kapsel	Bentonit								Berg	
															G v flöde	Retention
TRANSPORT-EGENSKAPER																
Närområdesskala																
Grundvattenkemi - se kemidata	V	V			V			V								
Grundvattenomsättning	B							V								
Sprickappertur, geometri	B							B								
Egenskaper strömvägar																
Strömvägar								B	V					V		
Grundvattenflöde strömvägar								V						V		
Dispersion								B						V		
Flödesporositet								B						V		
Flödesvätt yta								V						V		
Intakt berg längs strömväg																
Sorptionsdata (Kd)								V						V		
Matrisdiffusivitet								V						V		
Matrisporositet								V						V		
Max. penetrationsdjup								B						B		
Densitet bergmatris								B						B		
Jordlagren																
Vattenomsättning									V					V		
Flödesporositet									B					B		
Sorptionsegenskaper									V					V		
Biologisk aktivitet									V					V		
Stödande data																
Genombrottskurvor								V						V		
Kemisk analys sprickfyllnad								B						V		
Kemisk analys sidoberg								V						V		
Grundvattenkemi - se kemi								V						V		