

Geovetenskapliga värderingsfaktorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering

Lägesredovisning

Anders Ström, Svensk Kärnbränslehantering AB

Karl-Erik Almén, KEA GEO-konsult AB

Johan Andersson, Golder Grundteknik KB

Lars O Ericsson, Svensk Kärnbränslehantering AB

Christer Svemar, Svensk Kärnbränslehantering AB

November 1998

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00

+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19

+46 8 661 57 19



Geovetenskapliga värderingsfaktorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering

Lägesredovisning

Anders Ström, Svensk Kärnbränslehantering AB

Karl-Erik Almén, KEA GEO-konsult AB

Johan Andersson, Golder Grundteknik KB

Lars O Ericsson, Svensk Kärnbränslehantering AB

Christer Svemar, Svensk Kärnbränslehantering AB

November 1998

Innehåll

Sammanfattning	5
1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Rapportens syfte	11
2 Projekt lokaliseringsfaktorer och kriterier för platsutvärdering	13
2.1 Tidigare erfarenheter	13
2.2 Platsutvärdering	13
2.3 Projekt mål	15
2.4 Förutsättningar	15
2.5 Begrepp och definitioner	16
3 Krav och önskemål på djupförvarets funktion	19
3.1 Inledning	19
3.2 Grundläggande krav på djupförvaret	20
3.2.1 Lagar, förordningar och föreskrifter	20
3.2.2 Grundläggande säkerhetsfunktioner	21
3.2.3 Grundläggande byggtekniska aspekter	22
3.2.4 Övriga allmänna krav	23
3.3 Detaljerade krav och önskemål på djupförvarets funktion	24
3.3.1 Struktur för arbetet – funktionstabeller	24
3.3.2 Erfarenheter	25
3.3.3 Identifierade funktionsanalyser	26
4 Geovetenskapliga parametrar och värderingsfaktorer	27
4.1 Inledning	27
4.2 Geovetenskapliga parametrar	27
4.2.1 Allmänt	27
4.2.2 Exempel - hydrogeologi	28
4.3 Framtagning av geovetenskapliga värderingsfaktorer	30
4.3.1 Inledning	30
4.3.2 Struktur för arbetet – tabeller	30
4.3.3 Erfarenheter	32
4.4 Exempel värderingsfaktorer – kemi	33
4.4.1 Inledning	33
4.4.2 Indikationer på förekomst av löst syre	33
4.4.3 pH	34
4.4.4 Total salthalt och viktiga joner	35
4.4.5 Organiska ämnen	37
4.4.6 Kolloider, humus, fri gas m fl	38
4.4.7 Övriga kemiska parametrar	39
4.4.8 Sammanfattning värderingsfaktorer – kemi	39

5	Lokaliseringsfaktorer – andra erfarenheter	41
5.1	Inledning	41
5.2	Erfarenheter från förstudiearbetet	41
5.3	Erfarenheter från regionala översiktsstudier	43
5.3.1	Bakgrund	43
5.3.2	Lokaliseringsfaktorer och kriterier	43
5.4	Erfarenheter från andra länder	44
5.4.1	Finland	44
5.4.2	Övriga länder	45
6	Planerade insatser	49
6.1	Kriterier för platsutvärdering	49
6.1.1	Lokaliseringskedan och kriterier	49
6.1.2	Planerat arbete för kriterier	50
6.2	Projektets planerade insatser	52
7	Referenser	53
	Bilaga A	55
	Bilaga B	57

Sammanfattning

Allmänt

I SKB:s arbete med att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle är det väsentligt att presentera de faktorer och kriterier som kommer att beaktas vid utvärdering av tänkbara platser för ett djupförvar. Föreliggande rapport syftar till att:

- redovisa det arbete som genomförts för att identifiera de parametrar som behöver bestämmas vid en geovetenskaplig platsundersökning och som utgör grunden för arbetet med geovetenskapliga värderingsfaktorer.
- ge en lägesrapport från det projekt som initierats under 1997 med namn Lokaliseringsfaktorer och kriterier för platsutvärdering. Detta med tonvikt på definitioner, upplägg och struktur för genomförandet av arbetet.
- redovisa geovetenskapliga krav på funktion dels allmänt, dels i detalj i form av ett exempel för ämnesområdet bergmekanik.
- redovisa geovetenskapliga värderingsfaktorer kopplade till olika skeden i lokaliseringsarbetet i form av ett exempel för ämnesområdet grundvattenkemisk sammansättning.
- presentera planer för fortsatt arbete vad gäller kriterier för platsutvärdering vid olika lokaliseringsskeden.

Föreliggande rapport utgör samtidigt den redovisning av lokaliseringsfaktorer som regeringen begärt i samband med beslut 1996-12-19, med anledning av SKB:s FUD-program 95.

Följande huvudmål har satts upp för projekt Lokaliseringsfaktorer och kriterier för platsutvärdering:

- att identifiera och kvantifiera krav och önskemål på förhållanden och egenskaper i berget som är viktiga för långsiktig säkerhet och teknik.
- att identifiera geovetenskapliga värderingsfaktorer och föreslå kriterier som kan användas för att bedöma om krav uppfylls och för att jämföra platser inför platsundersökningar och inför detaljundersökningar.

Projektet utgår främst från de övergripande lokaliseringsfaktorer som redovisades vid kompletteringen av FUD-program 92 /SKB, 1994/ och det arbete som bedrivits för att identifiera de parametrar av betydelse att bestämma vid geovetenskaplig platsundersökning. Projektet pågår och detta är att betrakta som en lägesrapportering eftersom t ex kriterier för platsutvärdering kommer att redovisas senare.

Djupförvarets långsiktiga funktion och säkerhet måste alltid utvärderas med en integrerad säkerhetsanalys. Arbetet med faktorer och kriterier kan aldrig ersätta denna, men kan ge vägledning om utfallet i en sådan analys. Resultatet kan konkretisera hur de mest betydelsefulla geovetenskapliga förhållandena och egenskaperna används vid säkerhetsvärdering, men inkluderar även aspekter relaterade till förvarsutformning, bygg- och miljö-

frågor. Den samlade utvärderingen benämns geovetenskaplig platsutvärdering och har följande huvudsyften:

- att för respektive plats kontrollera om grundläggande säkerhetskrav och andra väsentliga tekniska förutsättningar är uppfyllda,
- tillse att djupförvaret på bästa sätt anpassas till platsens förutsättningar och egenskaper.

Utvärderingen bör också ge underlag för att kunna jämföra olika platser, i första hand med avseende på långsiktig funktion och säkerhet, men även med avseende på övriga värderingsfaktorer relaterade till berggrunden. Den geovetenskapliga utvärderingen av platserna ska ge det platsanknutna underlag om berggrunden som behövs för en ansökan om detaljundersökning och byggande av ett djupförvar.

Krav och önskemål på djupförvarets funktion

I denna lägesrapport har krav och önskemål på bergets funktion i djupförvaret förtydligats. Dessa krav och önskemål är baserade på SKB:s erfarenheter av säkerhets- och bygganalyser. Det nya är här den strukturering som genomförts med en indelning i olika geovetenskapliga ämnesområden samt den formalism som tagits fram för begreppen krav, önskemål och funktion. Detta är en förutsättning för en konsekvent och förhoppningsvis fullständigt presenterad kravbild. Utifrån grundläggande säkerhets- och byggfunktioner har krav på funktion specificerats för ämnesområdena geologi, termiska egenskaper, hydrogeologi, bergmekanik, kemi och transportegenskaper. Vidare har funktionsanalyser identifierats med vars hjälp det går att konkretisera krav på funktion och vilka geovetenskapliga parametrar som därvid är berörda.

Geovetenskapliga värderingsfaktorer

Begreppet lokaliseringsfaktor används i många olika sammanhang när lokalisering av ett djupförvar diskuteras. I förstudierna används övergripande lokaliseringsfaktorer, vilka avgör om ett område är lämpligt för vidare studier. Faktorerna delas in i följande huvudgrupper:

Säkerhet	Lokaliseringsfaktorer av betydelse för djupförvarets långsiktiga säkerhet.
Teknik	Lokaliseringsfaktorer av betydelse för byggnation, funktion och säker drift av djupförvaret och för transportsystemet till djupförvaret.
Mark- och miljö	Lokaliseringsfaktorer av betydelse för markutnyttjande och allmän miljöpåverkan.
Samhällsaspekter	Lokaliseringsfaktorer kopplade till samhällsförutsättningar och samhällspåverkan.

Det kan noteras att i föreliggande arbete används begreppet geovetenskaplig värderingsfaktor. Det är en avgränsning i den bemärkelsen att frågor kring teknik och långsiktig säkerhet är i fokus. De geovetenskapliga värderingsfaktorerna utgör en delmängd av alla de geovetenskapliga parametrar som kan bestämmas vid en platsundersökning.

Krav och önskemål på djupförvaret, och därmed på berget, formuleras i första hand med avseende på funktion och inte direkt för enskilda parametervärden. På motsvarande sätt som för krav och önskemål på bergets funktion, har värderingsfaktorerna ordnats per geovetenskapligt ämnesområde.

En geovetenskaplig parameter som kan mätas eller skattas vid platsundersökningar anses vara en lämplig värderingsfaktor om något av följande villkor är uppfyllt:

- ett direkt krav eller ett väsentligt önskemål har formulerats för parametern, eller
- parametern har förväntat stor inverkan på resultatet av en eller flera viktiga funktionsanalyser.

Utifrån en preliminär lista på tänkbara värderingsfaktorer diskuteras också nivån av kunskap som kan eller bör uppnås efter genomförd förstudie, platsundersökning och detaljundersökning. Det är inte rimligt att utnämna en geovetenskaplig parameter som värderingsfaktor om parametern inte kan mätas eller skattas med tillräcklig noggrannhet.

Kriterier för platsutvärdering

I det fortsatta arbetet kommer även kriterier för platsutvärdering att tas fram. Ett kriterium är en tillämpning av värderingsfaktorer i ett visst skede av lokaliseringsprocessen som underlag till beslut. Kriterierna ska kunna användas för att bedöma om en plats uppfyller eller inte uppfyller ställda krav. När det gäller geovetenskapliga parametrar utgörs kriterier av kännetecknande värden eller värdeområden för uppmätta eller skattade värderingsfaktorer. När det gäller djupförvarets funktion utgörs kriterier av kännetecknade värden eller värdeområden på utfall från funktionsanalyser. Kriterierna kan förändras under lokaliseringsarbetets gång eftersom informationen om platser förändras. Dock förblir krav och önskemål desamma.

Kriterier behöver kopplas till den informationsmängd som finns tillgänglig vid det aktuella lokaliseringsskedet och till den beslutssituation vid vilken de ska användas.

- Inför en platsundersökning är det viktigt att kunna utesluta klart olämpliga platser och dessutom att kunna peka ut platser där prognosen är god för att dessa kommer att visa sig ha lämpliga egenskaper. Kriterier kan i detta skede inte göras alltför skarpa med tanke på den begränsade information som då finns om bergets egenskaper på djupet. Kriterierna ska användas för att välja lämpliga platser för fortsatta undersökningar.
- Efter genomförd platsundersökning ska det med stor säkerhet kunna visas om en plats är lämplig eller olämplig som djupförvarsplats. Vidare kan det vid denna tidpunkt bli meningsfullt med kriterier för att jämföra platser. Även om den samlade utvärderingen av platsernas lämplighet avgörs inom ramen för en samlad säkerhetsanalys och en samlad bygganalys ska de specificerade kriterierna ge god vägledning om vad en sådan samlad analys kommer att resultera i.

Kriterier för värdering av om en plats är lämplig eller olämplig baseras på betydelsen av de olika värderingsfaktorerna och en bedömning av precisionen i aktuell information. Dessa kriterier kan därför bygga på de redan framtagna värderingsfaktorerna.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Regeringens beslut 1996-12-19, med anledning av SKB:s FUD-program 95 /SKB, 1995a/, innebar bland annat att Översiktsstudie 95 /SKB, 1995b/ borde kompletteras

”...genom att på ett mer ingående sätt redovisa de faktorer som bör styra valet av en plats lämplig för ett slutförvar av använt kärnbränsle och långlivat radioaktivt avfall. SKB bör även redovisa konsekvenserna av en kustnära förläggning respektive en inlandsförläggning av förvaret samt konsekvenserna av en förläggning i södra respektive norra Sverige.”

Kompletteringen skulle, enligt beslutet, redovisas senast i samband med nästa forsknings- och utvecklingsprogram, dvs i FUD-program 98. Föreliggande rapport utgör den redovisning av platsvalsfaktorer som regeringen begärt. Frågor kring kust-/inlandsförläggning samt jämförelser mellan norra och södra Sverige redovisas separat /Leijon, 1998/.

I regeringsbeslutet sägs också att berörda kommuner ska ha tillgång till följande information innan lokaliseringsarbetet övergår i platsundersökningar på minst två platser:

- en samlad redovisning av översiktsstudier och förstudier,
- annat bakgrunds- och jämförelsematerial,
- kriterier för utvärdering av platserna, samt
- faktorer som utesluter fortsatta studier på en plats.

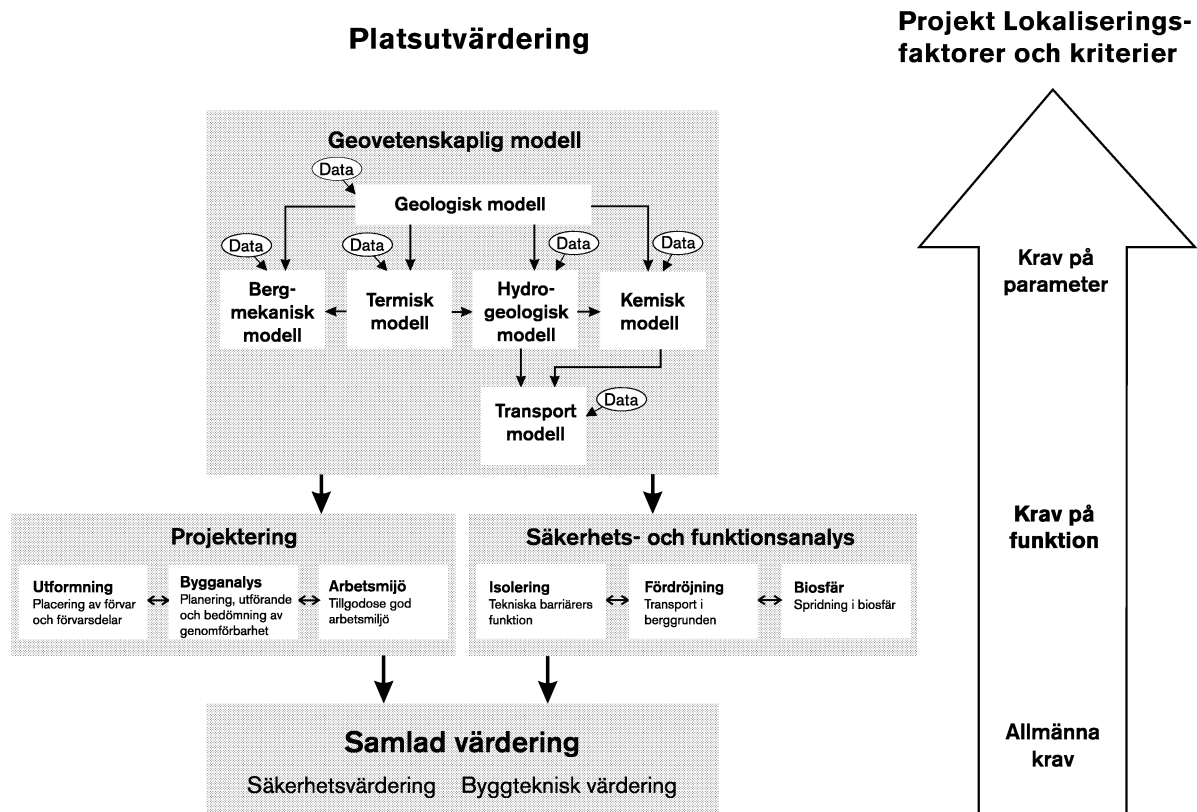
Denna rapport behandlar de två sistnämnda punkterna, även om dessa kommer att belysas ytterligare innan lokaliseringsarbetet övergår i platsundersökningar.

Preciserade faktorer och kriterier utgör ett viktigt underlag för att utvärdera tänkbara platser. Under 1997 initierade SKB därför projektet *Lokaliseringsfaktorer och kriterier för platsutvärdering*. Följande huvudmål har satts upp:

- att identifiera och kvantifiera krav och önskemål på förhållanden och egenskaper i berget utifrån perspektiven långsiktig säkerhet och teknik,
- att identifiera geovetenskapliga värderingsfaktorer och föreslå kriterier som kan användas för att bedöma uppfyllelsen av krav och för att jämföra platser inför platsundersökningar och inför detaljundersökningar.

Kriterier vid platsutvärdering ska främst användas för att kontrollera om grundläggande säkerhetskrav och andra väsentliga tekniska förutsättningar är uppfyllda för en plats. Därutöver kan jämförelse av platser göras utgående från olika värderingsfaktorer. De kriterier som sedan kan sättas för att välja en plats blir av nödvändighet relativt vaga inför platsundersökningarna. I detta skede saknas i de flesta fall platsspecifik information om berggrundsförhållanden på djupet och bedömningar måste göras på ett ofullständigt och osäkert material. Tydligare kriterier kan formuleras för skedet efter platsundersökningar.

Utvärderingen av djupförvarets säkerhet och tekniska funktion baseras bl a på sammanvägning av resultat från säkerhets-, funktions- och bygganalys. Dessa utgår i sin tur från en geovetenskaplig beskrivande modell av förvarsområdet baserad på mätdata och observationer från den aktuella platsen – se figur 1-1. Utifrån allmänna säkerhetskrav kan man ta fram specifika krav på funktion som i sin tur kan brytas ned till kvantitativa eller kvalitativa krav på vissa parametrar för berget. Säkerhetskraven på djupförvaret kan emellertid tillgodoses i olika berg med olika och/eller varierande förhållanden. Förvarets utformning kan med givna säkerhetskrav inom relativt vida gränser anpassas till de på en viss plats rådande förhållandena. Det är därför inte meningsfullt att alltid omsätta generella krav till specifika krav på bergets parametrar. Säkerheten för ett djupförvar på en viss plats måste till slut alltid utvärderas med en integrerad säkerhetsanalys som använder data från just den platsen.



Figur 1-1. Illustration av hur geovetenskapliga modeller utnyttjas för projektering respektive säkerhets- och funktionsanalys. Notera att arbetet med lokaliseringsfaktorer går i ”omvänd” riktning i jämförelse med dessa analyser och värderingar. Utgående från övergripande krav utarbetas krav på funktion vilka i görligaste mån bryts ned på parameternivå.

1.2 Rapportens syfte

Sammanfattningsvis önskar SKB med föreliggande rapport:

- Redovisa det arbete som genomförts för att identifiera de parametrar som behöver bestämmas vid en geovetenskaplig platsundersökning /Andersson m fl 1996/ och som utgör grunden för arbetet med geovetenskapliga värderingsfaktorer.
- Ge en lägesrapport från det projekt som initierats under 1997 med namn Lokaliseringfaktorer och kriterier för platsutvärdering. Detta med tonvikt på definitioner, upplägg och struktur för genomförandet av arbetet.
- Redovisa geovetenskapliga krav på funktion dels allmänt, dels i detalj i form av ett exempel för ämnesområdet bergmekanik.
- Redovisa geovetenskapliga värderingsfaktorer kopplade till olika skeden i lokaliseringarbetet i form av ett exempel för ämnesområdet grundvattenkemisk sammansättning.
- Presentera planer för fortsatt arbete vad gäller kriterier för platsutvärdering vid olika lokaliseringsskeden.

Även om projektet har begränsats till perspektiven långsiktig funktion, säkerhet och byggteknik så diskuteras också övriga faktorer kortfattat i föreliggande rapport, dvs även samhällsaspekter, transportfaktorer samt mark- och miljöfrågor, se kapitel 3.

2 Projekt: Lokaliseringsfaktorer och kriterier för platsutvärdering

2.1 Tidigare erfarenheter

Övergripande lokaliseringsfaktorer har redovisats tidigare av SKB, exempelvis i samband med kompletteringen av FUD-Program 92 /SKB, 1994/. Dessa faktorer accepterades då av regering och myndigheter "...som en lämplig utgångspunkt för det fortsatta arbetet". SKB ansåg samtidigt att det inför platsundersökningarna var nödvändigt att precisera faktorer och kriterier. SKB har i Översiktsstudie 95 /SKB, 1995b/ redovisat förhållanden i nationell skala som ska ge en allmän bakgrund till de grundläggande förutsättningarna för lokalisering av ett djupförvar. Under 1996 genomfördes ett omfattande arbete med att identifiera alla de parametrar som ska bestämmas vid en geovetenskaplig platsundersökning. Arbetet publicerades i en separat rapport /Andersson m fl, 1996/.

Det kan också noteras att begreppet lokaliseringsfaktor används i många olika sammanhang när lokalisering av eventuell miljöstörande verksamhet diskuteras. I detta arbete med inriktning på ett djupförvar för använt kärnbränsle ska en lokaliseringsfaktor ses som en geovetenskaplig värderingsfaktor. Det är en avgränsning i den bemärkelsen att frågor kring teknik och långsiktig säkerhet är i fokus. I denna rapport och i allt fortsatt arbete inom ramen för projektet utnyttjas begreppet geovetenskaplig värderingsfaktor.

2.2 Platsutvärdering

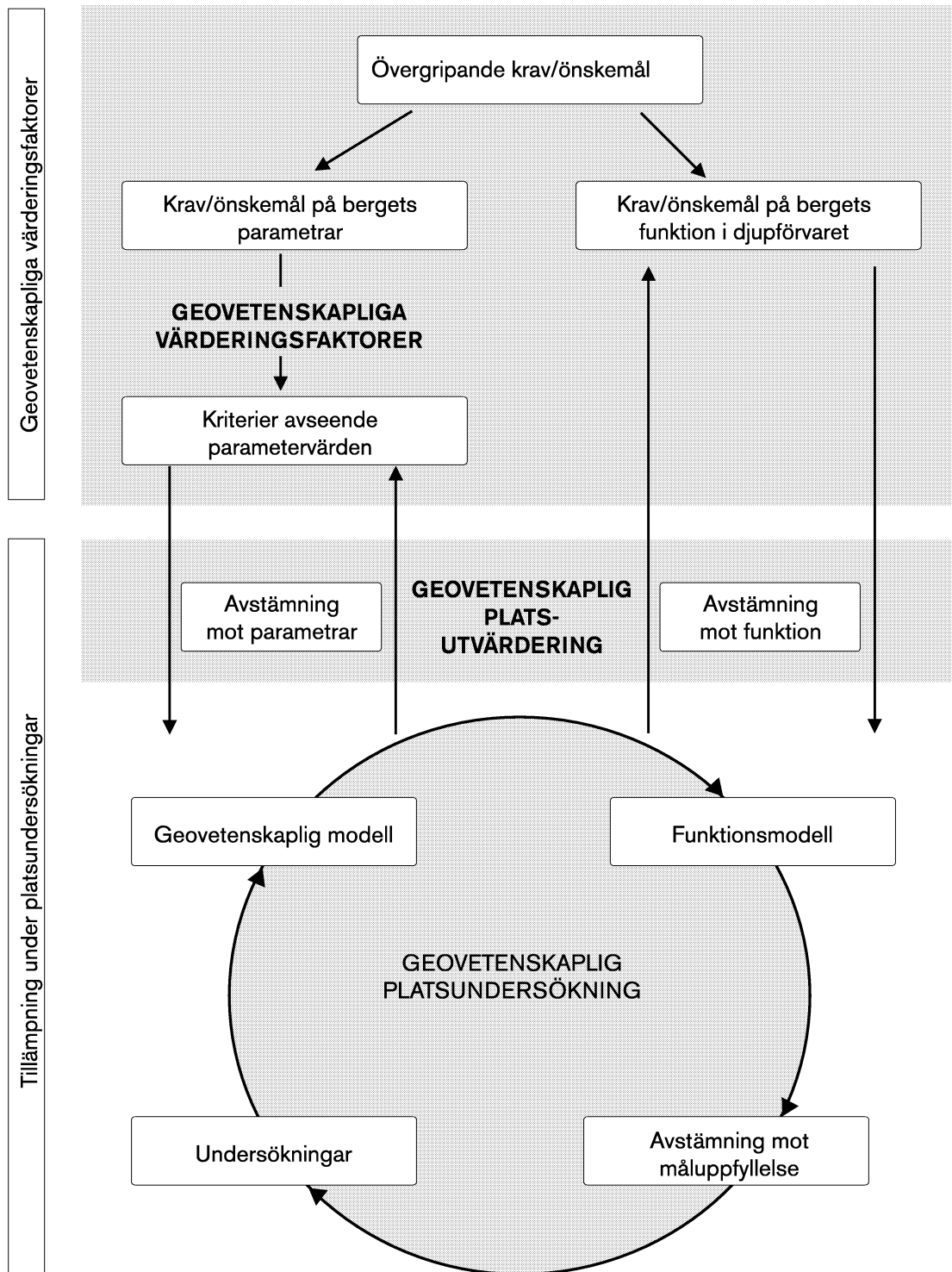
Under skedet platsundersökningar planerar SKB att genomföra geovetenskapliga undersökningar innefattande borrhningar på minst två platser. Resultat från undersökningarna analyseras och platsernas lämplighet för ett djupförvar utvärderas. På detta underlag väljs en av platserna ut för ansökan om detaljundersökning och uppförande av ett djupförvar. Geovetenskaplig platsutvärdering omfattar analyser och utvärdering av geovetenskapliga förutsättningar och förhållanden. Detta sker med avseende på ett djupförvars långsiktiga funktion, dess radiologiska säkerhet, dess anpassning till platsen och berget samt med avseende på byggnation.

Den geovetenskapliga platsutvärderingen har följande huvudsyften:

- att för respektive plats kontrollera om grundläggande säkerhetskrav och andra väsentliga tekniska förutsättningar är uppfyllda,
- tillse att djupförvaret på bästa sätt anpassas till platsens förutsättningar och egenskaper.

Utvärderingen bör också ge underlag för att kunna jämföra olika platser, i första hand med avseende på långsiktig funktion och säkerhet, men även med avseende på övriga värderingsfaktorer relaterade till berggrunden. Figur 2-1 illustrerar hur aktiviteten geovetenskaplig platsutvärdering utnyttjar resultat från projekt Lokaliseringsfaktorer.

Den geovetenskapliga platsutvärderingen kan betraktas som motorn för interaktionen mellan de olika tekniska aktiviteterna i samband med geovetenskapliga undersökningar.



Figur 2-1. Illustration av aktiviteten geoteknisk platsutvärdering. Avstämning med uppställda krav och kriterier sker vid olika tidpunkter under arbetets gång.

2.3 Projekt mål

Projektet Lokaliseringsfaktorer och kriterier för platsutvärdering ska ge resultat som kan användas vid utvärdering av platser. Projektet utgör en viktig del av det arbete med lokalisering och platsval som pågått sen FUD-program 92. Följande huvudmål har satts upp för projektet:

- identifiera och kvantifiera krav och önskemål på förhållanden och egenskaper i berget utifrån perspektiven långsiktig säkerhet och teknik,
- identifiera geovetenskapliga värderingsfaktorer och föreslå kriterier som kan användas för att bedöma uppfyllelsen av krav och för att jämföra platser under olika skeden av lokaliseringsarbetet.

De lokaliseringsskeden som då avses är i första hand:

- inför platsundersökning dvs val av platser för platsundersökning, baserat på information från förstudier samt nationella och regionala översiktsstudier,
- efter platsundersökning dvs val av plats för detaljundersökning och uppförande av djupförvar, baserat på information från genomförda platsundersökningar.

Projektet beskrivs närmare i de följande kapitlen. Slutredovisning sker under 1999.

2.4 Förutsättningar

Följande förutsättningar gäller för projektet:

- De identifierade faktorerna bör principiellt inte skilja sig från de som tillämpas i översikts- och förstudier. Värderingsgrunderna ska vara konsistenta genom alla lokaliserings- och undersökningsskeden.
- Redovisade krav, faktorer och kriterier ersätter inte behovet av att genomföra breda och ingående bygg- och säkerhetsanalyser på aktuella platser.
- Projektet är avgränsat till att ta fram krav, önskemål, faktorer och kriterier. Det finns dock många kopplingar till utvecklingen av ett platsutvärderingsprogram.
- Krav och önskemål avser ett KBS-3 liknande förvar, placerat på cirka 500 m djup i kristallin berggrund i Sverige.
- Projektet avgränsas till bergets och markens egenskaper. Denna avgränsning innebär att t ex frågor om transporter, frågor som rör markanvändning och hushållning med naturresurser, liksom samhällsfaktorer inte behandlas annat än översiktligt. Dessa faktorer hanteras inom andra delar av SKB:s lokaliseringsstudier.
- Krav och önskemål på berget kan i första hand bara anges beträffande bergets funktion vilken normalt utvärderas med funktions-, säkerhets- och bygganalyser. När så är möjligt ska dock dessa krav och önskemål konkretiseras till att gälla krav och önskemål på bergets egenskaper. Krav och önskemål formulerade från de olika perspektiven långsiktig säkerhet respektive teknik ska vara inbördes konsistenta.

- Faktorer och kriterier som kan tillämpas under detaljundersökning och förvarsutbyggnad diskuteras inte i detta projekt. För att kunna formulera krav och önskemål kan det dock bli nödvändigt att diskutera parametrar som bara meningsfullt kan bestämmas vid dessa senare skeden.
- För att kunna bestämma krav och önskemål på bergets egenskaper utifrån perspektivet funktion och säkerhet krävs återkoppling till pågående säkerhetsanalysarbete (SR 97).

2.5 Begrepp och definitioner

Begreppen faktorer och kriterier används ibland med delvis olika betydelser när lokalisering av ett djupförvar diskuteras. För detta projekt görs striktare definitioner av dessa begrepp och några angränsande termer. Avsikten är att tydliggöra projektets mål och beskrivningen av de aktiviteter som genomförs för att nå dessa mål. Definitionerna står inte i konflikt med ordens betydelse i dagligt tal. Följande definitioner används (se även tabell 2-1 och 2-2):

- Med funktion för ett djupförvar avses uppgifter som djupförvaret är ämnat att fullgöra, t ex ha isolerande och fördröjande funktion. Exempel på funktion: kapseln ska isolera avfallet från omgivningen, berget ska fördröja eventuellt utsläpp av radionuklider.
- Med parameter avses en fysikalisk eller kemisk storhet (egenskap och förhållande i berget) av relevans för djupförvaret. En parameter kan anta olika värden. Exempel: orientering av vattenförande strukturer, flödesporositet, pH-värde.
- Krav avser sådana villkor som måste uppfyllas, medan önskemål avser förhållanden som bör uppfyllas. Kan avse såväl funktion som enskilda parametrar. Kraven avser absoluta gränser för vad som inte accepteras på en plats, medan önskemålen är förhandlingsbara. Exempel: kravet på parametern ”grundvatten på förvarsnivå fritt från löst syre” kan fastläggas utifrån den grundläggande säkerhetsfunktionen ”god isolerande förmåga”.
- Med geovetenskapliga värderingsfaktorer avses parametrar (dvs förhållanden och egenskaper) för vilka det finns platsspecifika värden/bedömningsgrunder, och som vid ett eller flera skeden av lokaliseringsarbetet, kan användas för att bedöma i vilken utsträckning krav och önskemål är uppfyllda. Exempel: grundvattnets redoxpotential i samband med platsundersökningar.
- Med kriterier för platsutvärdering avses kännetecknande värden för värderingsfaktorer i ett visst lokaliseringsskede, vilka är avgörande för bedömningen om en plats uppfyller ställda krav och önskemål. Kriterier är föränderliga med hänsyn till kunskap. Ett kriterium är kopplat till handling/beslut. Exempel: uppmätt $E_h < -100$ mV för vattenprov under platsundersökning skulle kunna användas som kriterium för kontroll av kravet att grundvattnet inte ska innehålla löst syre på förvarsdjup.

Kraven och önskemålen avser verkliga förhållanden och de förblir desamma under olika skeden av lokaliseringsarbetet. Det enda som skulle kunna förändra krav och önskemål är om de grundläggande förutsättningarna rubbas, t ex ändrat förvarskoncept eller ny allmän kunskap uppnås. Uppfyllda önskemål leder i allmänhet till lägre kostnader, enklare undersökningar eller enklare konstruktion av förvaret. Samtliga önskemål behöver inte vara uppfyllda för att en plats ska kunna godkännas som ett djupförvar. Ej uppfyllda önskemål kan kompenseras med förändringar i förvarsutformningen så att det övergripande kravet på säkerhet ändå uppfylls.

Distinktionen mellan krav ena sidan och kriterier å den andra är nödvändig eftersom geovetenskapliga undersökningar aldrig ger fullständig kunskap om bergets egenskaper. Vid bedömningen av platsspecifika data behöver man därför värdera precisionen i parameterskattningen mot ställda krav och önskemål. En värderingsfaktor, och därmed även ett kriterium, bygger på något mät- eller skattningsbart. Ett exempel i kapitel 6 (tabell 6-1) belyser dessa skillnaderna mellan krav/önskemål och kriterier ytterligare. Notera återigen att värderingsfaktorer och kriterier är kopplade till olika skeden i lokaliseringsarbetet.

Krav och önskemål på funktion diskuteras utförligt i kapitel 3. Geovetenskapliga parametrar och värderingsfaktorer redovisas i kapitel 4. Kriterier för platsutvärdering behandlas i avsnitt 6.1.

Tabell 2-1 Korta definitioner av använda begrepp

Begrepp	Definition
Funktion	Uppgift som djupförvaret är ämnat att fullgöra, t ex ha isolerande och fördröjande funktion.
Parameter	Fysikalisk eller kemisk storhet (egenskap och förhållande i berget).
Krav	Villkor som måste uppfyllas, avser verkliga förhållanden oberoende av lokaliseringsskede.
Önskemål	Förhållanden som bör uppfyllas oberoende av lokaliseringsskede. Samtliga önskemål behöver dock inte vara uppfyllda.
Geovetenskapliga värderingsfaktorer	Mät- eller skattningsbara platsspecifika parametrar som vid ett visst lokaliseringsskede kan användas för att bedöma uppfyllandet av krav och önskemål.
Kriterier för platsutvärdering	Värden för värderingsfaktorer i ett visst lokaliseringsskede, vilka är avgörande för bedömningen om en plats uppfyller ställda krav och önskemål på främst funktion och säkerhet.

Tabell 2-2 Definitioner av olika begrepp presenterade med en språkvetenskaplig utgångspunkt

Begrepp	Definition
Faktor	Kraft eller omständighet som bidrar till ett visst resultat; (viktig) beståndsdel (av) eller ingrediens (i ngt) (1810): <i>tidsfaktorn</i> ; <i>klimatet är en ~ att räkna med</i> ; <i>många samverkande ~er ledde till olyckan</i> ; av lat. <i>Factor</i> eg. 'görare' till <i>facere</i> 'göra'. Synonymer: Betydelsefull eller viktig omständighet; inverkan; kraft; beståndsdel, element, moment Andra användningsområden: 1) endera av de storheter som ingår i en multiplikation (1745) 2) arbetsledare vid tryckeri el. likn. arbetsplats (1577)
Funktion	Bestämd (tilldelad) uppgift i ett visst sammanhang (1795): <i>samhällsfunktion</i> ; <i>service~</i> ; <i>biblioteket fyller en viktig ~</i> ; av lat. <i>Functio</i> med samma bet., till <i>fungi</i> 'förrätta, fullgöra, förvalta'. Synonym: Roll Andra användningsområden: 1) (i vissa uttryck) det att fungera (1705) 2) en föränderlig storhet som till varje element i en viss mängd ordnar ett annat i en annan mängd (1758)
Krav	Handlingen att kräva eller fordra ngt av ngn; oeftergivligt önskemål (1788) <i>rättvisekrav</i> ; <i>säkerhets~</i> ; <i>ställa ~ på</i> ; <i>uppfylla ~</i> fsv. <i>Kraf</i> av ovisst ursprung, möjl. besl. med <i>kraft</i> . Synonymer: (Berättigad) fordran, anspråk; villkor, förutsättning Andra användningsområden: 1) (muntligt eller skriftligt) framställd begäran att få en penningfordran betald (1526)
Kriterium	(Avgörande) kännemärke eller kännetecken som används för att fastställa (ngts) tillhörighet till (viss) typ av företeelse; indicium; (1795) <i>sanningskriterium</i> ; <i>äktets~</i> . Betydelsen yans med bibetydelse av krav: <i>intagnings~</i> ; <i>etiska kriterier</i> av grek. <i>Kritérion</i> Synonymer: Avgörande kännetecken, kännemärke, indicium; bevis Andra användningsområden: 1) travtävling för unghästar (1892)
Parameter	(I vetenskapligt fackspråk) storhet som betraktas som en konstant men som i olika sammanhang kan anta olika värden (1864) <i>statistiska parametrar</i> Betydelsen yans: allmännare i olika tekniska sammanhang Av grek <i>para</i> 'bredvid' <i>metron</i> 'mått'
Önskemål	(Formulerad eller uttalad) enstaka önskning: <i>verklighetsfrämmande ~</i> ; <i>~et om sextimmarsdag</i> (1979) önske- fsv. <i>oska-</i> , <i>unskabarn</i> 'önskebarn' till <i>önska</i> , fsv. <i>öskia</i> , <i>önskia</i> , gemensamt germ. ord

Källor:

Svenska akademiens ordlista (SAOB), Stockholm 1900ff.
Nationalencyklopediens ordbok (NEO), Göteborg och Höganäs 1995-96.

3 Krav och önskemål på djupförvarets funktion

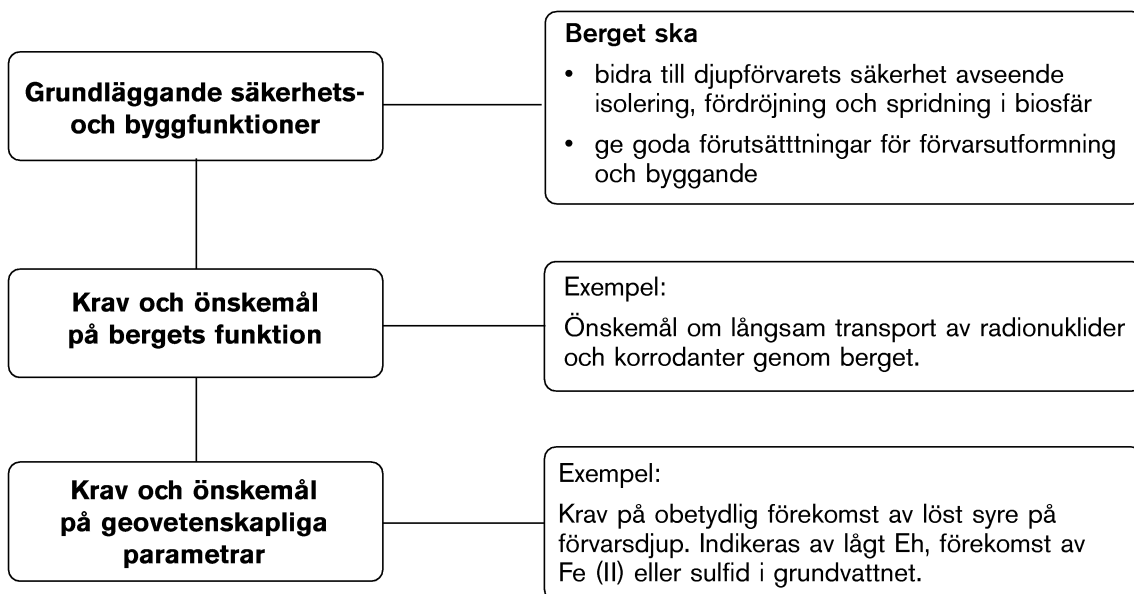
3.1 Inledning

Det kan tyckas önskvärt att formulera krav och önskemål direkt på de geovetenskapliga parametrar som kan mätas eller uppskattas vid en kommande platsundersökning. Vid närmare eftertanke visar det sig dock att de krav och önskemål, som kan ställas på djupförvaret, främst gäller en avsedd funktion. I en analys av funktionen ingår ett flertal geovetenskapliga parametrar och i vissa fall kan kraven på en viss funktion efter utförd analys brytas ned till krav på enskilda parameterar. Det är dock i många fall svårt att genomföra denna nedbrytning och endast ett fåtal geovetenskapliga parametrar kan vara föremål för krav. Det är bland annat av denna anledning som föreliggande rapport och projektet inledningsvis fokuserar på funktionsbegreppet.

Utifrån övergripande säkerhetskrav har SKB i tidigare arbeten, främst i /SKB, 1994/ och i förstudierna, formulerat grundläggande säkerhetsfunktioner beträffande isolering, fördröjning och spridning i biosfär. Arbetet med projektering av djupförvaret utgår på motsvarande sätt från krav och önskemål vad gäller förvarsutformning, bygganalys och arbetsmiljö. Här används följande struktur, vilken också svarar mot arbetsgången i projektet (se även figur 3-1):

Utifrån grundläggande säkerhets- och byggfunktioner (kapitel 3):

- identifiera och detaljera krav och önskemål vad gäller funktion för ämnesområdena geologi, termiska egenskaper, hydrogeologi, bergmekanik, kemi och transportegenskaper,
- identifiera funktionsanalyser, som kan användas för att konkretisera kraven på funktion, och vilka geovetenskapliga parametrar som därvid är berörda.



Figur 3-1. Illustration av den kravhierarki som varit utgångspunkten för genomförandet av arbetet. Krav på (platsen och) berget för att djupförvaret slutligt ska kunna accepteras som säkert för deponering avser verkliga förhållanden oavsett lokaliserings-, byggnads- eller driftskede.

Utifrån krav och önskemål på funktion (kapitel 4):

- identifiera och detaljera krav och önskemål på parametrar för ämnesområdena geologi, termiska egenskaper, hydrogeologi, bergmekanik, kemi och transportegenskaper,
- identifiera vilka parametrar som kan utgöra värderingsfaktorer i ett visst lokaliseringsskede.

3.2 Grundläggande krav på djupförvaret

Det finns grundläggande krav som måste uppfyllas av ett djupförvar. Dessa krav definieras av lagar och föreskrifter från myndigheterna. Därutöver har SKB utvecklat preciserade krav och önskemål på djupförvarets olika delar.

3.2.1 Lagar, förordningar och föreskrifter

Kärntekniklagen och strålskyddslagen

Krav på säkerhet och strålskydd på ett djupförvar utgår från lagen om kärnteknisk verksamhet och strålskyddslagen. Kärntekniklagen stadgar allmänt att kärnteknisk verksamhet ska bedrivas på ett säkert sätt. Strålskyddslagen stadgar allmänt att den som bedriver verksamhet med strålning ska, med hänsyn till verksamhetens art och de förhållanden under vilka den bedrivs, vidta erforderliga åtgärder och försiktighetsmått som behövs för att hindra eller motverka skada på människor, djur och miljö. De av regeringen utfärdade förordningarna till kärntekniklagen och strålskyddslagen innebär en viss detaljering och reglerar SKI:s och SSI:s verksamheter, men är fortfarande mycket allmänt hållna beträffande krav på djupförvarets säkerhet och strålskydd.

Förslag till föreskrifter från SKI och SSI

Utöver de ovannämnda lagarna har SKI respektive SSI rätt att utfärda föreskrifter.

Statens strålskyddsinstitut (SSI) har nyligen utfärdat föreskrifter om slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle /SSI, 1998/. Ur dessa kan några frågor lyftas fram med anledning av arbetet med lokaliseringsfaktorer och kriterier. Det slutgiltiga omhändertagandet av använt kärnbränsle ska vara strålskyddsmässigt optimerat, och utgå från bästa tillgängliga teknik. Slutlig förvaring ska planeras så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst 10^{-6} för den individ som utsätts för den största risken. Dessutom ska ett slutligt omhändertagande genomföras så att biologisk mångfald bevaras och ett hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig inverkan av strålning.

Statens kärnkraftinspektion (SKI) har tagit fram en promemoria /SKI, 1997/ avseende utgångspunkter för föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av använt kärnbränsle m.m. Där framhålls att säkerheten, både på kort och lång sikt, ska baseras på flera tekniska och naturliga barriärfunktioner så att brister, som med rimlig sannolikhet kan uppkomma i en barriärfunktion, inte avsevärt försämrar funktionen hos hela förvaret. Med utgångspunkt från ett huvudscenario bör analysfall som är relevanta för långtidfunktionen formuleras. Dessa fall ska täcka in osäkerheter i såväl yttre händelser som naturlig variation i platsens geologiska, hydrogeologiska, grundvattenkemiska och mekaniska egenskaper och i de tekniska barriärerna. Med utgångspunkt från huvudscenariot kan konstruktionsstyrande fall för barriärsystemets funktion identifieras. Därmed avses fall som blir styrande för krav på barriäregenskaper för att skyddskriterierna ska innehållas.

Huruvida de grundläggande kraven uppfylls för ett djupförvar på en specifik plats prövas i samband med att myndigheterna granskar de säkerhetsanalyser och miljökonsekvensbeskrivningar som SKB kommer att redovisa.

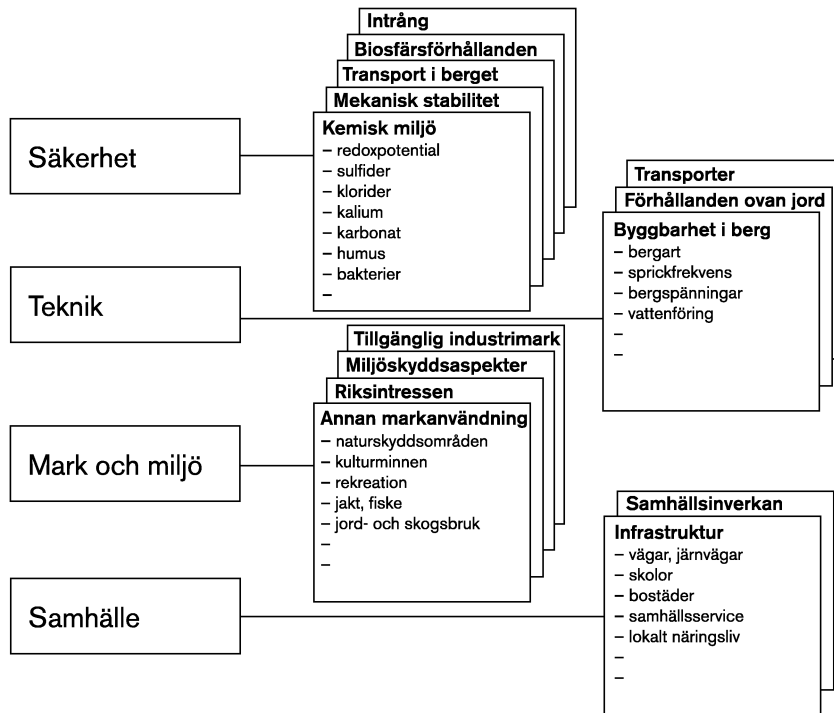
Slutligen kan uppmärksammas att föreskrifter inte direkt ställer krav på funktionen hos olika delar av djupförvarssystemet utan mer allmänt diskuterar krav på systemet som helhet. Konkretiseringen till ett visst system är SKB:s ansvar.

3.2.2 Grundläggande säkerhetsfunktioner

I kompletteringen av FUD-Program 92 /SKB, 1994/ redovisades grundläggande säkerhetsfunktioner på ett djupförvar, allmänt gynnsamma förhållanden samt faktorer som är diskvalificerande för möjligheten att lokalisera och uppföra ett säkert djupförvar. Utifrån de grundläggande säkerhetsfunktionerna och gynnsamma respektive ogynnsamma förhållanden identifierades lokaliseringsfaktorer. Strukturen framgår av figur 3-2. I föreliggande rapport har denna struktur tagits som utgångspunkt för att detaljera krav på djupförvarets funktion.

I föreliggande rapport används följande formuleringar av SKB:s grundläggande säkerhetsfunktioner:

- **Isolering kapsel**
Kapseln ska isolera avfallet från omgivningen.
- **Isolering bentonit**
Bentoniten ska ge bidrag till avfallets isolering, främst genom att skapa gynnsamma betingelser för kapseln.
- **Isolering berg**
Bergets ska bidra till avfallets isolering, främst genom att skapa gynnsamma betingelser för bentonit och kapsel.
- **Intrång**
Avfallet ska vara skyddat mot ofrivilligt intrång.
- **Fördröjning avfall**
Avfallets upplösning, dvs radionuklidens frigörelse, ska ske mycket långsamt.
- **Fördröjning kapsel**
Kapseln ska, om isoleringen inte fungerar, hindra eller fördröja transporten av radionuklider från avfall till bentonit.
- **Fördröjning bentonit**
Bentoniten ska fördröja frigjorda radionuklidens ankomst till berget/geosfären.
- **Fördröjning berg**
Transport av radionuklider (samt även transport av grundvatten med mindre lämplig kemi) ska fördröjas.
- **Spridning biosfär**
Effektiva stråldoser till individer i kritisk grupp ska understiga nivåer angivna i SSI:s föreskrifter. Dessutom ska inverkan av djupförvaret på biologisk mångfald vara liten. Det är ett önskemål att det sker en snabb utspädning till låga halter i biosfären av ämnen från förvaret som eventuellt förs upp mot markytan.



Figur 3-2. Den struktur för diskussion kring grundläggande säkerhetsfunktioner och lokalisering-faktorer som infördes i samband med kompletteringen av FUD-program 92. Krav på funktion (kapitel 3) och värderingsfaktorer (kapitel 4) detaljeras vidare i föreliggande rapport.

Om djupförvarets utformning eller tänkta funktioner enligt ovan förändras på ett avgörande sätt kommer även de mer detaljerade kraven och önskemålen att behöva revideras.

3.2.3 Grundläggande byggtekniska aspekter

Krav och önskemål som ställs utifrån bergprojekteringen blir delvis av något annorlunda karaktär än de direkta säkerhetskraven. Förvarsutformningen görs främst för att uppnå så god funktion och säkerhet som möjligt; kapsel- och tunnelavstånd bestäms av krav på temperatur i och kring förvaret, större diskontinuiteter undviks m m. Vidare kommer även hänsyn att tas till rena bergbyggnadsaspekter som vatteninläckage, bergspänningar och risk för bergutfall.

Den samlade säkerhetsfunktionen, för given förvarsutformning, måste kontrolleras i en säkerhetsanalys. Den givna förvarsutformningen ger även förutsättningarna för bygganalysen, där genomförbarhet, tids- och materialåtgång, arbetsmiljö m m för bergbygget analyseras. Om säkerhets- eller bygganalysen visar på orimliga konsekvenser eller kostnader för vald utformning behöver denna ändras. Bygganalysen, liksom arbetsmiljön, ställer med andra ord inga direkta krav utan anpassning kan i regel ske till rådande förhållanden. Däremot finns ett antal faktorer som påverkar genomförbarhet och ekonomi.

3.2.4 Övriga allmänna krav

Som tidigare noterats är det nu redovisade arbetet begränsat till bergets och markens egenskaper. Denna avgränsning innebär att t ex frågor om transporter, hushållning med naturresurser inklusive olika lagskyddade områden, liksom samhällsfaktorer inte behandlas inom föreliggande projekt. Därför återges i detta avsnitt de grundläggande krav som tidigare ställts upp för dessa övriga perspektiv /SKB, 1994/ för att göra den allmänna kravbilderna för ett djupförvar komplett.

Transportfrågor

Kravet på att transporter ska ske säkert kan uppfyllas med hjälp av anpassad teknik och nödvändiga investeringar. Alla transporter till platsen för djupförvaret ska ske så att aktuella regler och föreskrifter uppfylles. En analys av säkerhet, miljö- och strålskydd vid transporterna ska ingå i miljökonsekvensbeskrivningen. Om nyanläggning av väg eller järnväg krävs, ska en analys av effekterna på miljön ingå i miljökonsekvensbeskrivningen (MKB-dokumentet).

Förhållanden ovan jord

Ovanjordsanläggningarna ska utformas och utrustas så att kraven på säkerhet, arbetarskydd, strålskydd och miljöskydd uppfylls. En analys av ovanjordsanläggningens säkerhet och miljö ska ingå i miljökonsekvensbeskrivningen. De krav som ställs på markens bärighet skiljer sig inte från vad som krävs vid annan byggnadsverksamhet.

Mark och miljö

Platsen för djupförvaret ska ha:

- få konkurrerande intressen för markanvändning,
- goda möjligheter att uppföra och driva anläggningarna med uppfyllande av alla miljöskyddskrav.

Samhällsaspekter

Lokaliseringen av ett djupförvar ska genomföras så att:

- Undersökningsverksamhet i olika etapper, bygge och idrifttagande och drift sker med förankring i en demokratisk beslutsprocess.
- Sociala och samhällsekonomiska konsekvenser beaktas.

Sammanfattning

Krav och önskemål utifrån perspektiven transporter, mark -och miljö, samhällsfaktorer m fl formulerades i /SKB, 1994/. I samband med avslutade eller pågående förstudier har lokaliseringsfaktorer relaterade till dessa krav och önskemål tillämpats. Detta diskuteras vidare i avsnitt 5.2.

Pågående och kommande MKB-samråd berör dessa frågor och kan på sikt bidra till att utveckla eller förtydliga dessa övriga aspekter.

3.3 Detaljerade krav och önskemål på djupförvarets funktion

Målet för den första fasen av Projekt Lokaliseringsfaktorer har bl a varit att förtydliga krav och önskemål på berggrundens funktion där djupförvaret placeras. Dessa krav och önskemål är baserade på SKB:s erfarenheter av säkerhets- och bygganalyser. Det nya är här den strukturering som genomförts med en indelning i olika geovetenskapliga ämnesområden samt det innehåll som givits begreppen krav, önskemål och funktion. Detta är en förutsättning för en konsekvent, och förhoppningsvis, fullständigt presenterad kravbild ur ett funktionsperspektiv.

3.3.1 Struktur för arbetet – funktionstabeller

Krav ur ett funktionsperspektiv har alltså ordnats per geovetenskapligt ämnesområde. Struktureringen har genomförts med hjälp av tabeller indelade i ämnesområdena geologi, termiska egenskaper, hydrogeologi, bergmekanik, kemi och transportegenskaper. Varje ämnesområde ger upphov till en tabell i vilken radindelningen gjorts med hänsyn till de grundläggande säkerhetsfunktionerna.

Vidare är varje tabell indelad i kolumnerna (se tabell 3-1):

- grundläggande säkerhetsfunktion/byggteknisk aspekt,
- specifika förhållanden som påverkar funktion,
- krav på funktion,
- önskemål på funktion,
- funktionsanalys och berörda parametrar, samt
- referens och övriga kommentarer.

Avsikten med dessa kolumner diskuteras i det följande. Exemplet i tabell 3-1 är hämtat från ämnesområdet transportegenskaper samt den grundläggande säkerhetsfunktionen avseende kapselns isolerande funktion. I detta exempel kunde inget krav på funktion formuleras. Önskemålet är allmänt hållet. Funktionsanalyser har identifierats med vars hjälp önskemålet kan preciseras.

Tabell 3-1. Struktur för presentation av krav och önskemål på berget vad gäller djupförvarets funktion som utnyttjas i pågående projekt om lokaliseringsfaktorer.

Grundläggande säkerhetsfunktion	Transportförhållanden som påverkar funktion	Krav på bergets transportfunktion	Önskemål på bergets transportfunktion	Funktionsanalys och berörda parametrar	Referenser och övriga kommentarer
<i>Isolering kapsel</i> Kapseln ska isolera avfallet från omgivningen	Tillförsel av syre och andra korroderanter		Begränsad tillförsel, dvs en långsam tillförsel under lång tid eller hög men kortvarig belastning kan tolereras	<ul style="list-style-type: none"> • Analys av masstransport av korrosionsförlopp (se även tabell för hydrogeologi och kemi) • Modell av lokal grundvattenströmning (se även tabell för hydrogeologi, kemi och sprickapertur i deponeringshål) 	Ahonen m fl, 1994, YJT-94-13. Worgan m fl, 1996, SKI TR 96:46.

Grundläggande säkerhetsfunktion

Grundläggande säkerhetsfunktioner har diskuterats i avsnitt 3.2.

Specifika förhållanden som påverkar funktion

För varje grundläggande säkerhetsfunktion anges de ämnesspecifika förhållanden som har betydelse, dvs kan inverka på funktionen.

Krav på funktion

Ämnesspecifika krav anges där så är möjligt. I princip anges här enbart prohibitiva krav, dvs om kravet inte uppfylls innebär detta att platsen för djupförvaret är olämplig eller att förvarsutformningen måste göras om på ett avgörande sätt. Vidare gäller att säkerhetsfunktionen inte automatiskt är uppfylld även om alla krav tillgodoses. Kraven ska ange gränser för vad som *inte* accepteras, inte för vad som accepteras.

Önskemål på funktion

Ämnesspecifika önskemål anges där så är möjligt. Önskemålen ska ge vägledning om vad som behövs för att en funktions- eller säkerhetsanalys ska resultera i acceptabla förhållanden. Önskemålen kan därmed avse t ex kända värdeområden för acceptabel funktion, men behöver inte precisera gränsen till oacceptabel funktion eftersom en sådan gräns i många fall är relativ, okänd eller kan påverkas genom förvarsutformning.

Som underlag till en lokaliseringsansökan för tillstånd för detaljundersökning och uppförande av djupförvar måste under alla förhållanden en fullständig säkerhetsanalys genomföras. Om väsentliga önskemål uppfylls bör det leda till att djupförvaret har acceptabel säkerhet och att bygganalysen visar på god genomförbarhet.

Funktionsanalyser

I kolumnen funktionsanalyser preciseras vilka funktionsanalyser som kan användas för att analysera funktionen samt vilka parametrar som primärt beaktas vid en sådan analys. Efter genomförda funktionsanalyser kan kraven och önskemålen preciseras ytterligare.

3.3.2 Erfarenheter

Faktainnehållet i tabellerna tas fram i expertgrupper. Representanter för olika discipliner sammanförs och arbetar utifrån här redovisad metodik. Projektet bearbetar därefter innehållet. Återkommande granskning av faktainnehållet är en nödvändighet.

Arbetet med funktionstabellerna pågår. I Bilaga A presenteras den preliminära tabell som tagits fram för ämnesområdet bergmekanik. Från det hittills utförda arbetet kan följande slutsatser noteras:

- Relativt få krav har formulerats, önskemålen är desto fler.
- Önskemålen anger värdeområden som kan preciseras genom funktionsanalyser.
- Det behövs en avstämning mot den pågående säkerhetsanalysen, SR 97. Delar av de funktionsanalyser som beskrivs i tabellerna genomförs inom ramen för SR 97.

3.3.3 Identifierade funktionsanalyser

Vid genomgång av krav och önskemål på funktion identifierades ett antal funktionsanalyser som kan behöva genomföras. Detta för att ytterligare kunna precisera krav och önskemål. Många funktionsanalyser är väl kända sedan tidigare, andra pågår för närvarande inom olika projekt, och vissa funktionsanalyser kan kräva mer omfattande utvecklingsarbete. Härnäst följer en del exempel på den sistnämnda gruppen.

Metodik för funktionsklassificering

Det finns behov av att tydligt beskriva metodiken för karakterisering och funktionsklassificering av geologiska strukturer /Almén m.fl., 1996/. Funktionsklassificeringen kan tänkas byggas upp i olika steg från rent geologiska förhållanden till bergmekaniska, hydrologiska och transportförhållanden.

Hydrogeologiska, bergmekaniska och termiska krav på närberg

- Ett antal krav och önskemål ställs på berget nära deponeringshålen. Inom projekt Prototypförvar vid Äspölaboratoriet studeras till exempel temperaturpåverkan, betydelse av vattenläckage och betydelsen av litologisk inhomogenitet. De olika kraven och önskemålen avser kopplade frågeställningar och kan därför inte formuleras oberoende av varandra.
- För att kunna formulera eventuella hydrogeologiska krav på deponeringshålet behöver en detaljerad modell för den lokala grundvattenströmningen upprättas. Modellen bör kunna hantera vattenströmning före deponering, under deponering och efter förslutning.
- En bergmekanisk analys i närbergsskala skulle exempelvis kunna värdera om krav på bergartsgränser behöver ställas för att undvika temperatursprickor i närområdet.

4 Geovetenskapliga parametrar och värderingsfaktorer

4.1 Inledning

I detta kapitel diskuteras först geovetenskapliga parametrar som kan bestämmas vid platsundersökningar. Därefter redovisas hur krav och önskemål definierats för vissa parametrar och vidare hur geovetenskapliga värderingsfaktorer identifierats i pågående projekt. Metodiken för detta exemplifieras avslutningsvis för ämnesområdet kemi, dvs grundvattenkemisk sammansättning.

Det kan åter noteras att begreppet lokaliseringsfaktor används i många olika sammanhang när lokalisering av eventuell miljöstörande verksamhet diskuteras. I detta arbete med inriktning på ett djupförvar för använt kärnbränsle ska en lokaliseringsfaktor ses som en geovetenskaplig värderingsfaktor. Värderingsfaktorerna utgör en delmängd av alla de geovetenskapliga parametrar som kan bestämmas vid en platsundersökning. De följande avsnitten redovisar hur detta urval kan gå till.

Som diskuterats i föregående kapitel ställs krav och önskemål främst på en avsedd funktion. I en analys av funktionen ingår ett flertal geovetenskapliga parametrar och i vissa fall kan kraven på en viss funktion efter utförd analys brytas ned till krav på enskilda parametrar. Endast ett fåtal geovetenskapliga parametrar kan vara föremål för krav vilket berörs vidare i avsnitt 4.3.2.

4.2 Geovetenskapliga parametrar

4.2.1 Allmänt

SKB har identifierat parametrar av betydelse att bestämma vid geovetenskaplig platsundersökning /Andersson m.fl., 1996/. Dessa är indelade efter de geovetenskapliga ämnesområdena: geologi, bergmekanik, termiska egenskaper, hydrogeologi, grundvattenkemi och transportegenskaper. Denna rapport har även översatts till engelska /Andersson et al, 1998/, där vissa marginella förändringar har införts samt en del kompletterande figurer.

Begreppet parameter har getts en mycket vid tolkning och kan utgöras av mätbara data, tolkad information eller härledda parametrar för en given konceptuell modell. Rapportens parametrar innefattar samtliga lokaliseringsfaktorer som presenterats i /SKB, 1994/.

I arbetet/rapporten:

- identifieras, beskrivs och värderas geovetenskapliga parametrar som är av betydelse att känna till för att kunna genomföra funktions- och säkerhetsanalyser av ett djupförvar och som kan erhållas från en platsundersökning,
- diskuteras hur identifierade parametrar används och vilka platsspecifika mätningar som kan komma att utnyttjas för att bestämma parametern i fråga,
- redovisas och diskuteras databehov för bergprojektering,
- redovisas och diskuteras databehov för beskrivning av övriga miljöaspekter,
- redovisas övrigt databehov för analys och allmän förståelse av geovetenskapliga förhållanden.

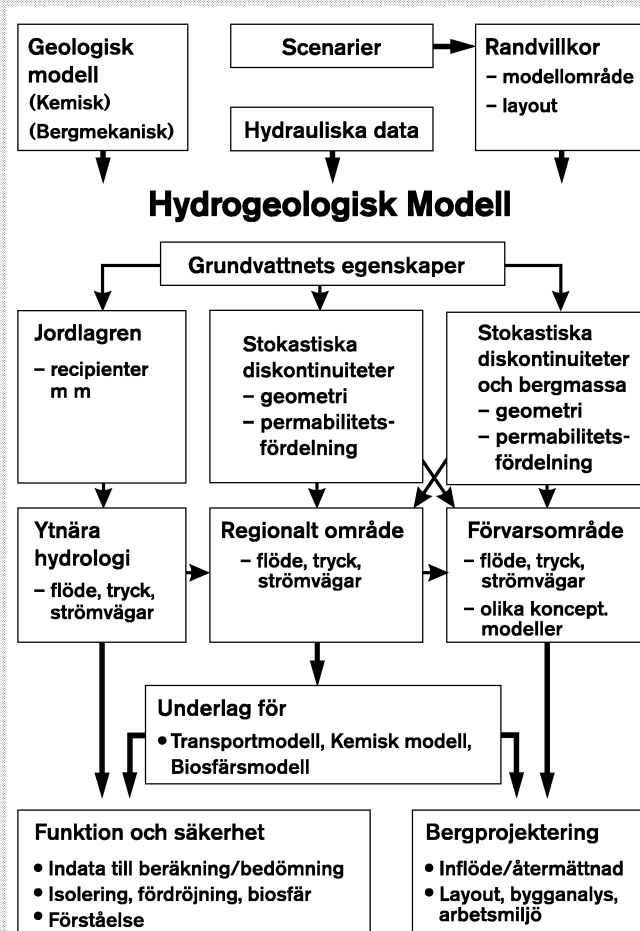
I /Andersson m fl, 1996/ visas hur bergets egenskaper kan beskrivas med olika parametrar. Rapporten utgör en utgångspunkt för att beskriva hur krav på funktion kan leda till krav på berggrunden. I det följande avsnittet har hydrogeologiska parametrar valts ut som ett illustrerande exempel.

4.2.2 Exempel – hydrogeologi

Hydrogeologiska modeller har flera användningsområden inom funktions- och säkerhetsanalys samt inom aktiviteter som stöder dessa. En hydrogeologisk förståelse behöver också byggas upp för att förklara långsiktiga grundvattenkemiska förändringar och kopplade hydrauliska och bergmekaniska effekter. Dessa processer kan betraktas i olika rumsliga skalor och behovet av modellparametrar varierar. I korthet används modellerna för:

- hydrogeologisk förståelse, randvillkor för detaljerade modeller, förutsägelser av storskaliga förändringar i grundvattenkemi,
- förutsägelser av inflöde under byggtid, och återmättnad efter förslutning,
- indata till migrationsmodeller,
- indata till närområdesmodeller,
- indata till biosfärsmodeller,
- utvärdering av ytnära miljökonsekvenser (mark- och miljö).

De hydrogeologiska analyserna är kopplade, vilket framgår schematiskt av figur 4-1.



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

Tabell 4-1, 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.

Tabell 4-1: Hydrogeologiska parametrar indelade i grupper. Översikt av databehov för beskrivning av hydrogeologi, mätmetoder och användningsområden.

Parameter	Mätmetod	Används för
<i>Deterministiskt modellerande diskontinuiteter</i>		
Geometri – se geologisk modell	Se geologisk modell	Indata till modeller i platskala
Permeabilitetsfördelning	Hydrauliska test i och mellan borrhål	Indata till modeller i platskala
Flödesporositet	Lab test borrhärna/Spårförsök	Transient modell
<i>Stokastiskt modellerade diskontinuiteter och sprickor samt bergmassa</i>		
Stokastisk beskrivning av diskontinuiteter	Se geologisk modell	Diskreta modeller (DFN), Stokastiska kontinuummodeller (SC) indirekt i försvarsskala
Permeabilitetsfördelning	Hydrauliska test i och mellan borrhål – Extrapolation	Modelldata
Flödesporositet och Magasinskoefficient	Pumptest, Extrapolation	Transient Modell
Bergets kompressibilitet	Generisk/Mätningar borrhärnor	THM-modell
<i>Grundvattnets hydrauliska egenskaper</i>		
Salinitet	Vattenprov	Modelldata/kalibrering
Temperatur	Borrhål/Erfarenhet	Modelldata
<i>Jordlagren m m</i>		
Identifiering av recipienter	Hydrologisk kartering	Grundvattenmodeller för Mark- och miljö, Biosfärmodeller,
Metrologiska och hydrologiska data	Hydrologisk kartering	Tolka randvillkor för grundvattenmodeller i försvarsområdet
Konduktivitet, mäktighet, porositet m m	Pumptestlegerföljder m m	
<i>Randvillkor och stödande data</i>		
Regionala randvillkor, historisk och framtida utveckling	Klimatmodellering, Topografi	Paleohydrogeologi, Analys av scenarier,
Tryck eller tryckhöjdsfördelning	Topografi, Borrhål, Storskalig modell	Randvillkor/kalibrering
In/utströmningsområden	Kartering	Kalibrering, Recipientmodell
Genombrottskurvor	Storskaliga spårförsök	Kalibrering
Grundvattenflöde – borrhål	Utspädningssond m m	Kalibrering

Enskilda geohydrologiska parametrar definieras närmare i rapporten /Andersson m fl, 1996/. Vidare detaljeras användningsområde samt olika metoder för att bestämma parametern i fråga. På motsvarande sätt redovisas geovetenskapliga parametrar för övriga ämnesområden.

Få geovetenskapliga parametrar mäts direkt utan bestäms ofta genom ett tolkningsförfarande vilket ger upphov till olika fel, dels mätfel, men det finns även 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. De flesta test som görs i fält (t ex injektionstest, hydraulisk spräckning, spår försök) ger indirekt information om t ex hydraulisk ledningsförmåga, bergspänningar eller retentionsegenskaper.

4.3 Framtagning av geovetenskapliga värderingsfaktorer

4.3.1 Inledning

Värderingsfaktorerna utgör en delmängd av alla de geovetenskapliga parametrar som diskuterats i föregående avsnitt. Detta avsnitt redovisar hur urvalet av faktorer kan gå till baserat dels på de funktionstabeller som redovisats i kapitel 3, dels på den metodik som redovisas nedan. En systematisk metod har använts precis som i processen för att ta fram detaljerade krav på bergets funktion i ett djupförvar.

4.3.2 Struktur för arbetet – tabeller

Krav och önskemål på djupförvaret, och därmed på berget, formuleras i första hand med avseende på funktion och inte direkt för enskilda parametervärden, se diskussion i avsnitt 3.1. I funktionstabellerna har de grundläggande säkerhetsfunktionerna avseende isolering, fördröjning och spridning i biosfär tagits som utgångspunkt för att specificera krav och önskemål på funktion per ämnesområde; geologi, termiska egenskaper, hydrogeologi, bergmekanik, kemi och transportegenskaper.

På motsvarande sätt har värderingsfaktorer ordnats per geovetenskapligt ämnesområde. Varje ämnesområde ger upphov till en tabell i vilken radindelningen gjorts med hänsyn till de geovetenskapliga parametrarna enligt /Andersson m fl, 1996/. Vidare är varje tabell indelad i kolumnerna (se tabell 4-2):

- referens till funktion i funktionstabell,
- krav på parameter,
- önskemål på parameter,
- värdeområde i svensk berggrund,
- lämplighet som värderingsfaktor, samt
- nivå av kunskap vid visst lokaliseringsskede.

Exemplet är hämtat från ämnesområdet kemi (grundvattenkemisk sammansättning) samt parametern "Eh" (redoxpotential). För denna parameter kunde tydligt krav formuleras. Den fullständiga, men preliminära, kemitabellen finns återgiven i Bilaga B.

Tabell 4-2. Struktur som används för att identifiera och motivera geovetenskapliga värderingsfaktorer

Geovetenskaplig parameter	Krav på parameter	Önskemål på parameter	Värdeområdet i svensk kristallin berggrund	Lämplig värderingsfaktor – motivering	Nivå av kunskap som kan uppnås vid olika skeden
Eh	Obetydlig förekomst av löst syre på förvarsdjup. (Indikeras av lågt Eh, förekomst av Fe(II) eller sulfid i grundvattnet.	Värdet för Eh är en funktion av pH och [Fe(II)]. För pH runt 7 gäller önskemålet att Eh < -100mV. (Eh blir lägre vid högre pH)	Nära idealiska förhållanden råder på djup under 100 m. För säkerhetsanalysen SR 97 används Eh i intervallet -308 mV – (-202 mV)	JA – eftersom parametern är kopplad till krav och starka önskemål.	<i>Generisk:</i> Se värdeområden. <i>Förstudie:</i> Tillför inget nytt. <i>Platsundersökning:</i> Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. <i>Detaljundersökning:</i> Ingen väsentlig ny kunskap tillkommer.

Den kolumn som refererar till beskrivningen av funktioner och analyser i funktions-tabellen har utelämnats av utrymmesskäl. I denna kolumn ges information om hur den geovetenskapliga parametern i fråga kommer in i olika funktionsanalyser. Kolumnen finns dock med i exemplet i bilaga B.

Avsikten med kolumnerna diskuteras i det följande.

Krav på parameter

I största möjliga utsträckning söks krav som kan ställas direkt på enskilda parametrar. I vissa fall är det möjligt att utifrån ställda krav på funktion direkt ange otillåtet värdeområde för parametern, se tabell 4-2. I regel är det svårt att direkt ange krav på geovetenskapliga parametrar. Det finns flera skäl för detta:

- parametern utgör bara en av flera parametrar som bestämmer en funktion och lämpligt värdeområde beror på värdet av de andra parametrarna,
- parametern kan påverka flera funktioner och det är inte uppenbart att bra värdeområden för en funktion också är bra för andra funktioner,
- parametern påverkar en funktion som ”bara” är ett önskemål enligt funktionstabellen.

Önskemål på parameter

I denna kolumn anges önskemål för parametern i fråga. Se diskussion ovan.

Värdeområde i svensk kristallin berggrund

I de fall det finns allmän kunskap om parametrarnas värde eller värdeområde i svensk kristallin berggrund har detta dokumenterats. Det bereder ingen större svårighet för vissa parametrar, såsom t ex pH. I andra fall kan det vara svårare. Information om förväntat värdeområde är en värdefull hjälp för att senare kunna konkretisera önskemål. Det kan i praktiken även bli så att de flesta önskemålen just utgörs av förväntade värden.

Värdeområden diskuteras för samtliga geovetenskapliga parametrar och inte enbart för de utvalda värderingsfaktorerna, se exempel i bilaga B.

Lämplighet som värderingsfaktor

Huvudsyftet med tabellen som helhet är att systematiskt utröna huruvida de geovetenskapliga parametrarna i något skede under lokaliseringsarbetet kan vara en tänkbar värderingsfaktor. I pågående projekt är en geovetenskaplig parameter en lämplig värderingsfaktor om något av följande villkor är uppfyllt:

- ett direkt krav eller ett väsentligt önskemål har formulerats för parametern, eller
- parametern har förväntat stor inverkan på resultatet av en eller flera viktiga funktionsanalyser.

Parametern ska dessutom kunna uppskattas under förstudier eller platsundersökningar. En kort motivering, som bygger på ovanstående regler, finns med i tabellen för varje parameter, se bilaga B.

Kunskapsnivå vid olika lokaliserings- eller undersökningsskeden

Utifrån listan på tänkbara lokaliseringsfaktorer diskuteras nivån av kunskap som kan eller bör uppnås efter genomförd förstudie, platsundersökning och detaljundersökning. Det är inte rimligt att utnämna en parameter till värderingsfaktor om parametern inte kan skattas.

För att kunna ange om en parameter är en lämplig värderingsfaktor, men framförallt för att kunna ange kriterier, efter ett visst undersökningsskede behövs kunskap om vilken precision som kan förväntas i parameterskattningen. Kunskapen om parametern ökar från förstudie (FS), platsundersökning (PLU) och detaljundersökning (DETU). Däremot varierar betydelsen av de olika undersökningsstegen starkt mellan olika parametrar. Givetvis kan även ambitionsnivån för de olika undersökningsskedena påverka i vilken utsträckning en parameter kan bestämmas.

Det är svårt att kvantifiera den förväntade precisionen. Däremot är det möjligt att kvalitativt diskutera precision, tabell 4-3 visar ett illustrerande exempel. En sådan kvalitativ diskussion är värdefull som underlag till vilka kriterier som kan kopplas till en viss parameter vid ett visst undersökningsskede. Utifrån information av detta slag kan man sedan bedöma när värderingsfaktorn blir tillämplig.

Av parametrarna i tabellen är endast topografi användbar som värderingsfaktor efter FS. Eh och diskontinuiteter (utan sprickor) är användbara efter PLU. Kunskap om enskilda sprickor kan endast användas vid förvarsutformning efter DETU.

4.3.3 Erfarenheter

Tabellerna är framför allt nödvändiga för att erhålla en systematik i arbetet. För en komplett redovisning finns även ett behov av beskrivande texter över värderingsfaktorerna. Sådana texter tas fram för varje ämnesområde. Redovisning för ämnesrådet kemi följer i avsnitt 4.4. I synnerhet för detta ämnesområde kan det påpekas att stor kunskap kommer att finnas efter genomförda platsundersökningar, dessförinnan endast generisk kunskap. Detaljundersökningar ger fler observationspunkter och därmed en mer detaljerad beskrivning men förväntas inte tillföra mycket ny kunskap.

Tabell 4-3. Exempel på hur kunskap om en geovetenskaplig parameter förändras i olika skeden av lokaliseringsarbetet

Geovetenskaplig parameter	Kunskap efter förstudie (FS)	Kunskap efter platsundersökning (PLU)	Kunskap efter detaljundersökning (DETU)
Eh	Generisk	Platsspecifik information från djupa borrhål, som är tillräcklig för att karaktärisera förvarsområdet	Ingen väsentlig ny kunskap, risk för störd provtagning.
Topografi	Full kunskap	Full kunskap	Full kunskap
Läge, storlek riktning för diskontinuiteter	Regionala zoners läge på markytan kan bedömas	Rimlig precision för regionala och lokala diskontinuiteter Stokastisk information om lokala mindre diskontinuiteter Sprickor enbart frekvens – storlek generisk	Hög precision för regionala och lokala diskontinuiteter i förvarsområdet Hygglig för lokala mindre. Stokastisk information för sprickor. Kunskap om diskontinuiteters läge vid tunnlar
Konduktivitetvärde för bergmassa	Generisk för vald geologi	Rumslig fördelning och medelvärden	Direkt kunskap nära tunnlar

4.4 Exempel värderingsfaktorer – kemi

4.4.1 Inledning

I detta avsnitt redovisas resultatet av arbetet för att ta fram värderingsfaktorer för ämnesområdet kemi, varvid avses grundvattenkemisk sammansättning. Texten ska läsas som en beskrivning av de utförliga tabeller som presenteras i Bilaga B. Det kan noteras att denna redovisning är preliminär och tjänstgör framför allt som exempel på hur utnyttjad metodik kan utmynna i systematiskt valda värderingsfaktorer.

De grundvattenkemiska parametrarna har delats in i grupper. Varje parametergrupp motsvarar ett delavsnitt nedan.

4.4.2 Indikationer på förekomst av löst syre

Beskrivning av parametrar och inverkan på olika funktioner

Det finns flera olika kemiska parametrar som kan användas för att se om det finns löst syre i grundvattnet. Närvaro av löst syre i grundvattnet indikeras mycket känsligt vid Eh-mätningar. För välbuffrade system utan förekomst av löst syre, gäller att Eh är en funktion av pH och halten av Fe^{2+} . I andra fall kan Eh vara svårt att bestämma, även om grundvattnet inte innehåller löst syre. För dessa fall blir även andra indikationer på frånvaro av löst syre värdefulla, som förekomst av Fe^{2+} , förekomst av Mn^{2+} eller förekomst av HS^- .

Om det fanns löst syre i grundvattnet skulle detta kunna leda till korrosion av kopparkapseln. Även sulfid i grundvattnet kan angripa kopparkapseln. Syre är dock mycket besvärligare än sulfid eftersom den kan orsaka gropfrätning. Dessutom behövs mycket höga halter av sulfid för att sulfidkorrosion ska ha betydelse. Indikation på att löst syre inte förekommer är därmed väsentligt för att uppfylla den grundläggande säkerhetsfunktionen att kapseln ska vara tät.

Förekomst av syre påverkar också bränsleupplösningen och sorptionsegenskaper i buffert och i berg. Även för dessa funktioner är det fördelaktigt om löst syre inte förekommer.

Krav och önskemål

För kapsels isolering är det ett *krav* att det inte förekommer löst syre på förvarsdjup. För att detta krav ska vara uppfyllt behöver minst någon av indikatorerna låga Eh, förekomst av Fe^{2+} eller förekomst av HS^- vara uppfyllt.

För att betryggande kunna visa att grundvattnet inte innehåller löst syre finns det ett *önskemål* att Eh tydligt ska indikera reducerande förhållanden. Men Eh är en funktion av pH och Fe^{2+} . För pH runt 7 bör därvid Eh understiga -100 mV och vid högre pH bör Eh vara ännu lägre. Grundvattnet på förvarsdjup bör dessutom innehålla Fe^{2+} , men halterna kan vara låga och blir då svåra att mäta. Grundvattnet bör även innehålla Mn^{2+} , men den högre mätgränsen för Mn^{2+} gör att den är mindre användbar än Fe^{2+} . Sulfidhalterna bör ligga i intervallet $0 < [\text{HS}^-] < 10$ mg/l i förvarsområdet. Halter större än noll är bra eftersom de indikerar syrefritt vatten, men mycket höga halter (över 10 mg/l) påverkar kopparkorrosionen.

Om önskemålen ej uppfylls behövs dels ytterligare kontroll av data och dels en fördjupad hydrokemisk bedömning av om det finns risk för syre på förvarsdjup.

Värdeområden

Mätdata från djupa grundvatten i Sverige och Finland visar att ovanstående krav och önskemål i regel alltid är uppfyllda. För Eh finner man i regel gynnsamma förhållanden på djup större än 100 m. Halter av Fe^{2+} ligger i intervallet 5 mg/l–10 mg/l på förvarsdjup. För sulfid ligger halterna inom intervallet 0,1–5 mg/l på förvarsdjup.

Förutsättningar att bestämma parametrar vid olika skeden

Olika översiktsstudier eller förstudier tillför ingen ny kunskap om de ovan nämnda syreindikatorerna jämfört med den allmänna kunskap som redan finns. Den väsentliga platspecifika informationen om parametrarna erhålls i vattenprover från de djupa borrhål som borrar i samband med platsundersökningar. Detaljundersökningar (undersökningar från tunnlar) tillför ingen väsentlig ny kunskap. Vid dessa finns istället en risk för tillfälliga störningar som omöjliggör vidare kemisk analys.

Lämplig värderingsfaktor

Det är uppenbart att Eh, och övriga indikatorer på löst syre, är mycket viktiga värderingsfaktorer eftersom de är kopplade till krav och starka önskemål. Parametrarna kan dessutom framgångsrikt bestämmas vid en platsundersökning.

4.4.3 pH

Beskrivning av parameter och dess inverkan på funktioner

pH-värdet i vatten är ett mått på dess surhet. Grundvattnets pH påverkar i först hand kapselkorrosion (isolering kapsel) och sorption (fördröjning). Inom ett stort pH-inter-

vall påverkas framför allt sorptionen, men mycket låga pH-värden tillsammans med mycket höga TDS (Total Dissolved Solids) påverkar även koppars stabilitet.

Krav och önskemål

Det är ett krav att det ostörda grundvattnet på förvarsdjup ska ligga inom intervallet $4 < \text{pH} < 12$. Inverkan från förvaret, av t ex betong, kan tillåtas gå utanför detta krav om istället pH i bentonit-porvattnet ligger innanför detta pH-intervall. Kravet har främst till syfte att säkerställa kapselns isolerande funktion.

Det är ett önskemål att grundvattnet under nivån 100 m ligger inom intervallet $6 < \text{pH} < 10$. Alla pH-värden inom detta intervall är i princip lika lämpliga. För grundvattnet över 100 m djup finns inga önskemål. Önskemålet grundar sig framförallt på att kunskapsbasen för i säkerhetsanalysen utnyttjade sorptionskonstanter bygger på mätningar inom det önskade pH-intervallet. Om värden ligger utanför intervallet behöver databasen för dessa transportparametrar kompletteras.

Värdeområden

Mätdata från djupa grundvatten i Sverige och Finland visar att under djup av 100 m är i regel $6 < \text{pH} < 10$, men avvikelser förekommer t ex vid Stripa. Ovanför 100 m är det förväntade intervallet större.

Förutsättningar att bestämma parameter vid olika skeden

Olika översiktsstudier eller förstudier tillför ingen ny kunskap om pH jämfört med den generella kunskap som redan finns. Den väsentliga platsspecifika informationen om parametrarna erhålls i vattenprover från de djupa borrhål som borrar i samband med platsundersökningar. Detaljundersökningar tillför ingen väsentlig ny kunskap. Vid dessa finns istället en risk för tillfälliga störningar som omöjliggör vidare kemisk analys.

Lämplig värderingsfaktor

Det är uppenbart att pH är en mycket lämplig värderingsfaktor eftersom den är kopplad till krav och starka önskemål. Parametern kan dessutom framgångsrikt skattas vid en platsundersökning.

4.4.4 Total salthalt och viktiga joner

Beskrivning av parametrar och deras inverkan på funktioner

TDS (Total Dissolved Solids) är en beteckning på total salthalt. TDS påverkar främst kapselns korrosion, bentonitens stabilitet och sorptionsförmågan. En del av de joner som ingår i TDS (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , HPO_4^{2-}) påverkar även var för sig förvarsfunktionen. Krav och önskemål på TDS behöver därför kompletteras med krav och önskemål på dessa olika ingående joner.

Låga halter av Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} kan försämra bentonitgelens stabilitet, och ur den skapa kolloidala partiklar som kan föras bort med grundvattnet. De tvåvärda jonerna är viktigast.

Bentoniten innehåller karbonat. Höga karbonathalter, utöver det som bentoniten bidrar med, kan dock vara en indikation på omfattande biologisk aktivitet och sulfatreduktion till sulfid. Sulfathalterna i sig är knappast begränsande även om mycket höga halter är olämpligt.

Höga halter av kväveföreningar kan orsaka spänningskorrosion i koppar. Dessutom är dessa och andra närsalter, som t ex fosfat, oönskade eftersom de stimulerar bakterietillväxt.

Krav och önskemål

Det är ett krav att TDS <100 g/l i förvarsområdet. Under dessa halter behåller bentoniten sin isolerande förmåga. Noggranna utredningar krävs för att klarlägga om bentoniten klarar högre halter ur denna aspekt. Vid ännu högre halter (omkring 200 g/l) påverkas dessutom kapselkorrosionen så att Cu inte blir termodynamisk stabil för låga pH.

Det är ett önskemål att halten TDS är lägre än 50 g/l. Sorption av främst Cs och Sr påverkas redan vid mer måttliga jonstyrkor. Upp till oceanhalt (dvs 35 g/l) är påverkan dock mindre. Över denna gräns blir det sämre, både ur sorptionssynpunkt och för bentonitens stabilitet, ju högre halten är. Om TDS-halten är högre än önskat värde krävs en noggrann analys av resulterande svällnings- och korrosionsförlopp samt av inverkan på sorptionen.

Ett annat önskemål är att djupet från förvaret ner till grundvatten med för höga TDS-halter överstiger omkring 300 m, se /Follin, 1995/, med tanke på risken för s k "up-coning" och storskaliga grundvattenrörelser. Om grundvatten med höga TDS ligger för nära förvarsområdet krävs noggrann analys av risken för att dessa vatten senare kan nå förvarsområdet.

Förutom önskemålen beträffande TDS finns det önskemål beträffande enskilda joner. För betryggande bentonitstabilitet bör $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] > 4$ mg/l på förvarsdjup. Det är dock ingen fördel med högre värden. Vidare bör halten $[\text{K}^+]$ vara mindre än 400 mg/l.

Höga halter av Cl^- är inget alarmerande i sig, men extremt höga halter ökar kopparkapselns känslighet för pH.

För NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , HPO_4^{2-} gäller att det är önskvärt att halterna understiger 1 mg/l. För HCO_3^- är det önskvärt att halterna ligger inom intervallet 10–1 000 mg/l på förvarsdjup. Ur mätsynpunkt är det optimalt med ca 100 mg/l ty då är systemet välbuffrat vilket förenklar pH-mätningar, men i övrigt är hela intervallet ovan lika lämpligt. Det finns även önskemål om att halten SO_4^{2-} är mindre än 1 500 mg/l.

Värdeområden

Mätdata från djupa grundvatten i Sverige och Finland visar att ner mot 1 000 m djup ligger TDS inom intervallet 0–35 g/l. För större djup förekommer ännu högre halter. Upp mot 100 g/l (s k brine) har uppmätts på 1 700 m djup vid Laxemar. Djupet till grundvatten med höga TDS-halter är i regel större i inlandslägen.

För Ca^{2+} ligger halterna i intervallet 21–1890 mg/l, för Mg^{2+} intervallet 1–110 mg/l, för K^+ intervallet 4–880 mg/l och för SO_4^{2-} intervallet 0–500 mg/l. För HCO_3^- ligger halterna på förvarsdjup normalt inom intervallet ca 50–200 mg/l, men 0–1 200 mg/l har uppmätts.

Förutsättningar att bestämma parametrar vid olika skeden

Olika översiktsstudier eller under förstudier tillför ingen ny kunskap om TDS eller innehåll av väsentliga joner jämfört med den generella kunskap som redan finns. I kustnära områden kan man dock förvänta sig att djupet till grundvatten med höga TDS är mindre än vid inlandslägen. Den väsentliga plats-specifika informationen om parametrarna erhålls i vattenprover från de djupa borrhål som borrar i samband med platsundersökningar. Detaljundersökningar tillför ingen väsentlig ny kunskap. Vid dessa finns istället en risk för tillfälliga störningar som omöjliggör vidare kemisk analys.

Lämplig värderingsfaktor

Halten TDS på förvarsnivå och avståndet till vatten med höga TDS är lämpliga värderingsfaktorer eftersom krav och viktiga önskemål är kopplade till dessa parametrar. Även HCO_3^- bör vara en värderingsfaktor, men är väsentlig bara om extremt höga (över 1 000 mg/l) värden noteras.

4.4.5 Organiska ämnen

Beskrivning av parameter och dess inverkan på funktioner

DOC är en beteckning för "Dissolved Organic Carbon" d.v.s. mängden organiskt material i grundvattnet mätt som total mängd organiskt kol i lösning. Tillgången på organiskt material påverkar t ex den bakteriella omvandlingen av sulfat till sulfid, som i sin tur påverkar kapselkorrosionen.

Krav och önskemål

Det finns ingen grund för krav på DOC eftersom det organiska materialet i sig inte påverkar någon av barriärsfunktionerna.

På förvarsdjup är det är önskvärt med DOC <20 mg/l. Ju lägre DOC, desto bättre. Ytnära bör dock DOC överstiga 10 mg/l för att säkerställa reduktion av löst syre i infiltrerande grundvatten.

Värdeområden

Mätdata från djupa grundvatten i Sverige och Finland visar att på tänkbart förvaringsdjup är DOC i regel mindre än 10 mg/l.

Förutsättningar att bestämma parameter vid olika skeden

Olika översiktsstudier eller förstudier tillför ingen ny kunskap om DOC på förvaringsdjup jämfört med den generella kunskap som redan finns. Den väsentliga plats-specifika informationen om parametrarna erhålls i vattenprover från de djupa borrhål som borraras i samband med platsundersökningar. Detaljundersökningar tillför ingen väsentlig ny kunskap. Vid dessa finns istället en risk för tillfälliga störningar som omöjliggör vidare kemisk analys.

Lämplig värderingsfaktor

DOC är inte en primär värderingsfaktor eftersom önskemålen inte är så betydelsefulla.

4.4.6 Kolloider, humus, fri gas m fl

Beskrivning av parametrar och deras inverkan på funktionen

Förekomst av kolloider, humus, fri gas (som H₂, N₂, CH₄, CO₂, He och Ar) och bakterier påverkar förutsättningarna för radionuklidtransport. Sorberande radionuklider skulle i princip kunna transporteras med vattnet om de fastnade på kolloidala partiklar i grundvattnet. Komplexbildning med humus- och fulvosyror kan sänka sorptionen för en del av radionukliderna. Även gasbubblor och bakterier kan, i princip, fungera på detta sätt.

Krav och önskemål

Inga krav kan ställas på ovanstående parametrar.

Det är önskvärt med låga halter av kolloider (<0.5 mg/l, eftersom det då inte blir nödvändigt att ta hänsyn till dessa effekter vid transportmodellering) och att det inte förekommer fri gas (gasbubblor) på förvaringsnivå.

Värdeområden

Medianhalten av kolloider i grundvattnet är mindre än 0,05 mg/l /Laaksoharju m fl, 1995/.

Förutsättningar att bestämma parameter vid olika skeden

Olika översiktsstudier eller förstudier tillför ingen ny kunskap på förvaringsdjup jämfört med den generella kunskap som redan finns. Den väsentliga platsspecifika informationen om parametrarna erhålls i vattenprover från de djupa borrhål som borraras i samband med platsundersökningar. Detaljundersökningar tillför ingen väsentlig ny kunskap tillkommer. Det finns där, istället, en risk för tillfälliga störningar som omöjliggör vidare kemisk analys.

Lämpliga värderingsfaktorer

Ej lämpligt med mycket höga halter, men inte en diskriminerande faktor.

4.4.7 Övriga kemiska parametrar

Beskrivning av parametrar och deras inverkan på funktionen

Grundvattnets sammansättning utgör nödvändig information för säkerhets- och funktionsanalyser. Därför kan aldrig avgränsning göras till provtagning enbart av de parametrar som bedöms som mest viktiga.

- Även om inverkan av en del parametrar inte har någon direkt betydelse (Al, Li, Cs, Sr, Ba, I, Br, F) är dessa ändå viktiga att känna till eftersom de ingår i kemiska beräkningsmodeller.
- Parametrar som ^{18}O och D (i H_2O), ^{13}C , ^{34}S (i SO_4 och HS) ^{18}O (i SO_4), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ och $\text{U}^{234} / \text{U}^{238}$ är viktiga att känna till för att kunna bedöma grundvattnet historia och utveckling. Avgörande för möjligheten att kunna förutsäga hur grundvattenkemin kommer att utvecklas i framtiden är förståelse för grundvattnets ursprung. För denna åldersdatering används vidare parametrar som T i H_2O och ^{14}C .
- Halten av Ra och Rn påverkar vilka åtgärder som behövs för arbetarskydd under förvarsutbyggnaden.

Krav och önskemål

Det finns ingen grund för krav på någon av de övriga kemiska parametrarna.

I princip vore det önskvärt med att halten av tritium är så pass låg att det indikerar att grundvattnet är fritt från sk "bombtritium". Detta är då en indikation på att inga snabba flödesvägar finns. Vid platsundersökningar är det svårt att få tillförlitliga resultat. Osäkerheten i mätningarna gör tritiumhalten olämplig som värderingsfaktorer /Smellie et al, 1992/.

För arbetsmiljön är det önskvärt med låga halter av Ra och Rn, men lämpliga skyddsåtgärder kan vidtagas för att hantera högre halter på ett bra sätt.

Lämpliga värderingsfaktorer

Ingen av de övriga kemiska parametrarna är lämpliga som värderingsfaktorer.

4.4.8 Sammanfattning värderingsfaktorer – kemi

Föregående avsnitt har redovisat vilka grundvattenkemiska värderingsfaktorer som kan komma i fråga i olika skeden av lokaliseringsarbetet. Den kompletta redovisningen av arbetet återfinns i tabellen i Bilaga B. Notera att grundvattenkemisk sammansättning ger relativt många kvantitativa värden i jämförelse med övriga ämnesområden.

Som framgått används värderingsfaktorer främst för att bedöma huruvida krav och önskemål är uppfyllda. Tabell 4-4 ger en sammanställning av de värderingsfaktorer som preliminärt identifierats för grundvattenkemisk sammansättning. Även motivet återges.

Tabell 4-4. Preliminär lista över värderingsfaktorer för grundvattenkemisk sammansättning

Berörda kemiska parametrar – gruppvis	Identifierade värderingsfaktorer – motiv	Skede när platsspecifik information erhålls
Indikationer på förekomst av löst syre, dvs Eh, [Fe ²⁺] och [HS ⁻]	Mycket viktiga värderingsfaktorer. Koppling finns till krav och starka önskemål.	Platsundersökning (djupa borrhål)
pH	Mycket lämplig värderingsfaktor eftersom den är kopplad till krav och starka önskemål.	Platsundersökning (djupa borrhål)
Total salthalt (TDS) och viktiga joner	Halten TDS på förvarsnivå och avståndet till vatten med höga TDS är lämpliga värderingsfaktorer eftersom både krav och viktiga önskemål är kopplade till dessa parametrar. Även karbonathalten bör vara en värderingsfaktor, men är väsentlig bara om extremt höga värden noteras.	Platsundersökning (djupa borrhål)
Organiska ämnen	Inte en primär värderingsfaktor eftersom önskemålen inte är så betydelsefulla.	–
Kolloider, humus, fri gas	Inte primära värderingsfaktorer.	–
Övriga kemiska parametrar	Ingen av de övriga kemiska parametrarna är lämpliga som värderingsfaktorer.	–

5 Lokaliseringsfaktorer – andra erfarenheter

5.1 Inledning

Det är värdefullt att i detta sammanhang ta upp andra erfarenheter av lokaliseringsfaktorer och av hur dessa används i olika arbeten. Detta kapitel redovisar alltså inte hur pågående projekts resultat utnyttjas. Den direkta tillämpningen ligger utanför projektet men berörs delvis i kapitel 6. I stället redovisas erfarenheter från förstudier samt översiktsstudier och i varje avsnitt definieras begreppet lokaliseringfaktor samtidigt som kopplingen till FUD-program 92, kompletterande redovisning /SKB, 1994/ berörs. Avslutningsvis kommenteras vad andra länder gjort inom området lokaliseringfaktorer och kriterier.

5.2 Erfarenheter från förstudiearbetet

I förstudierna används övergripande lokaliseringfaktorer, vilka avgör om ett område är lämpligt för vidare studier för lokalisering av ett djupförvar. En allmän utgångspunkt i förstudiearbetet är faktorer indelade i följande huvudgrupper (se även figur 3-2):

Säkerhet	Lokaliseringfaktorer av betydelse för djupförvarets långsiktiga radiologiska säkerhet.
Teknik	Lokaliseringfaktorer av betydelse för byggnation, funktion och säker drift av djupförvaret och för transportsystemet till djupförvaret.
Mark- och miljö	Lokaliseringfaktorer av betydelse för markutnyttjande och allmän miljöpåverkan.
Samhällsaspekter	Lokaliseringfaktorer kopplade till samhällsförutsättningar och samhällspåverkan.

Genomförda förstudier visar hur man plockar bort områden som redan i kommunskala bedöms olämpliga eller ointressanta. Vidare visas hur områden intressanta för fortsatta undersökningar väljs ut baserat på information som finns tillgänglig före en platsundersökning. För att exemplifiera angreppssättet i förstudierna diskuteras i första hand förstudien i Malå /SKB, 1996/. Nedan presenteras endast redovisad metodik och faktorer som använts för att värdera de säkerhetsmässiga förutsättningarna för ett djupförvar inom kommunen och för att identifiera områden intressanta för fortsatta undersökningar.

De i förstudien angivna lokaliseringfaktorerna är alltså en tillämpning av vad som redovisades i /SKB, 1994/. Dessutom görs följande konstateranden:

- En del lokaliseringfaktorer har karaktären av absoluta krav som en plats måste uppfylla. Denna typ av grundkrav kan från början anges som utgångspunkter i lokaliseringsarbetet.
- Kvantitativa värden för många enskilda parametrar är meningsfulla först när de kan sättas in i sitt platsspecifika sammanhang.

Inom perspektivet säkerhet beaktas:

- kemisk miljö för kapsel, bentonitlera och bränsle,
- mekanisk stabilitet hos berget,
- förutsättningar för transport av korrodanter och radionuklider i berget,
- risken för framtida intrång, dvs i första hand tänkbart utnyttjande av naturresurser i berggrunden.

Följande förhållanden anges vara gynnsamma:

- stort område med få större sprickzoner, eftersom detta ger större möjlighet att inplacera förvar,
- hög blottningsgrad, enkla homogena berggrundsförhållanden samt regelbundet system av sprickor/sprickzoner, eftersom detta ger bra möjligheter att tidigt få en god förståelse av berggrundsförhållanden av betydelse för förutsättningarna för säkerhet och bergbyggnad.

Inom perspektivet teknik formulerades följande krav:

- marken ska ha en bärighet som tillåter normal byggverksamhet,
- bergegenskaperna ska vara sådana att arbetena kan utföras med betryggande säkerhet och med känd teknik.

För att kunna bedöma om man uppfyller kraven på berget är viktiga faktorer homogenitet, lägen och karaktär på sprickzoner samt belastningar (bergspänningar).

Inom perspektiven mark och miljö gäller önskemålet att

- konflikter med konkurrerande intressen ska minimeras.

I förstudien konstateras att SKB:s samlade värdering är att Malå kommun skulle kunna ge goda förutsättningar för en djupförvarsetablering, även om resultaten från förstudien måste utvärderas mot bakgrund av resultat från andra förstudier samt översiktsstudier i nationell och regional skala innan slutgiltig ställning till lämpligheten kan tas. Förstudien pekar även ut områden som kan vara intressanta för vidare studier och använder därvid följande kriterier (för perspektiven säkerhet och teknik):

- bergarter eller områden med potential för framtida mineralutvinning ska undvikas,
- regionala sprickzoner (som tolkats från lineamenttolkningar) ska undvikas,
- god homogenitet och tolkningsbarhet är fördelaktigt,
- eventuella tecken på onormal grundvattenkemi eller hög vattenföring beaktas, och
- allmänna erfarenheter från bergbyggande i den typ av graniter, som ligger i områden som från säkerhetsmässig synpunkt bedöms ha den bästa potentialen för ett djupförvar, visar generellt på goda förhållanden, även om generellt förhöjda bergspänningsnivåer noterats.

Sammanfattningvis kan sägas att förstudierna visar praktisk tillämpning av SKB:s metodik för platsval och bygger därvid på den metodik som redovisas i FUD-92, kompletterande redovisning /SKB, 1994/. Förstudierna tydliggör vilken informationsmängd som finns tillgänglig inför en platsundersökning.

5.3 Erfarenheter från regionala översiktsstudier

5.3.1 Bakgrund

SKB genomförde 1995 en översiktsstudie i nationell skala av lokaliseringsförutsättningar för ett djupförvar /SKB, 1995b/. För närvarande kompletteras materialet med länsvisa översiktsstudier. Resultatet från tio län kommer att publiceras under 1998. De länsvisa översiktsstudierna kommer i stort att täcka hela landet, utom Gotlands län. Att Gotlands län inte är aktuellt beror på att det saknas urberg ner till de djup som kan bli aktuella för ett djupförvar.

Syftet med de länsvisa översiktsstudierna är att:

- översiktligt bedöma var det kan finnas potentiellt lämpliga respektive olämpliga områden inom respektive län. Resultatet ska användas för att identifiera kommuner som är lämpliga för förstudier,
- ta fram ett underlag som kan användas som ett jämförelseunderlag inför val av områden för platsundersökningar,
- ta fram ett underlag för att sätta in undersökta områden i sitt regionala sammanhang. I de länsvisa översiktsstudierna är den långsiktiga säkerheten den viktigaste frågan. Det innebär i sin tur en fokusering på berggrunden. Förutom de geologiska förhållandena omfattar de länsvisa studierna också översiktliga kartläggningar av natur- och kulturskyddade områden, industriområden, vägar, järnvägar och möjliga hamnar. Potentiellt lämpliga områden som framkommer i förstudier är mindre och mera väldefinierade än de större, mera generaliserade områden, som de geologiska länsöversikterna ger.

5.3.2 Lokaliseringsfaktorer och kriterier

För att bedöma om ett område kan vara intressant för vidare studier har följande geovetenskapliga kriterier tillämpats i de länsvisa översiktsstudierna:

- **Bergarter** – För att en bergart ska vara lämplig för ett djupförvar bör den finnas i stora volymer. Den bör inte innehålla malm eller på annat sätt vara ovanlig. Den bör vara lätt att bygga i. En homogen berggrund ger säkrare prognoser om berggrunds-förhållanden mellan borrhål och underlättar vid beräkningar av termisk och mekanisk påverkan från förvaret, t ex hur värme från förvaret sprider sig i berget. I översiktsstudierna har vissa vulkaniska bergarter och grönsten i många fall bedömts som olämpliga medan gnejs och granit i de flesta fall har betraktats som lämpliga.
- **Jordarter** – Områden med tunna jordlager och med en stor andel berg i dagen är allmänt sett bättre ur lokaliseringssynpunkt än områden med tjocka lager. Skälet är att ett tunt jordtäckte underlättar vid kartläggning av bergarter och deformationszoner. Isälvsavlagringar (exempelvis åsar) är olämpliga eftersom de är betydelsefulla grundvattentillgångar.

- **Deformationszoner** – Vissa delar av berggrunden har deformerats i långa stråk. Deformationen kan ha skett plastiskt eller sprött. I översiktsstudien har större deformationszoner betraktats som olämpliga eftersom de kan leda vatten eller vara svaghetsplan där bergrörelser kan utlösas. Zonerna kan även vara besvärliga ur byggbarhetssynpunkt.
- **Bergets stabilitet** – Sverige ligger i ett geologiskt stabilt område. Studier visar att skalv med de magnituder som har förekommit i Sverige under historisk tid troligen inte påverkar ett djupförvar. I samband med inlandsisens avsmältning för ca 10 000 år sedan förekom dock betydligt kraftigare skalv som troligen skulle ha påverkat ett förvar i skalvets närområde. Det finns delar av Sverige där jordbävningar inträffar oftare än på andra ställen. I översiktsstudierna visas var dessa områden finns. Vidare markeras områden där bergrörelser har förekommit i samband med senaste istiden (postglaciala förkastningsrörelser). Vid förstudier i områden med förhöjd jordskalvs-frekvens eller sena bergrörelser kommer frågan om bergets stabilitet att ges särskild uppmärksamhet.
- **Hydrogeologi** – Om vattenkapaciteten i borrhade brunnar är låg indikerar detta att genomsläppligheten för vatten på förvarsdjup också är låg, vilket är gynnsamt från förvarssynpunkt. Områden där det finns en stor recipient, t ex Östersjön, är också gynnsamma.

Vid den samlade bedömningen har berggrundens sammansättning, malmpotential och förekomst av deformationszoner varit de viktigaste faktorerna. Det finns lämpliga och olämpliga områden i samtliga de län som hittills har studerats. Sammanfattningsvis konstateras att det i samtliga studerade län finns berggrund som är intressant för vidare lokaliseringsstudier.

5.4 Erfarenheter från andra länder

Det finns många motiv för att studera erfarenheter från andra program. SKB kan ta vara på internationella erfarenheter samtidigt som redan genomförda utredningar skulle kunna användas. Nedan följer en inventering av internationella erfarenheter. Inriktningen på inventeringen rör frågan om tekniska kriterier har hanterats och, i förekommande fall, vilka kriterier som etablerats. Andra erfarenheter beträffande själva lokaliseringsprocessen berörs inte eller mycket översiktligt.

5.4.1 Finland

Situationen i Finland är av speciellt intresse för SKB, eftersom det föreslagna metoden för djupförvaring är mycket lik den svenska, berggrundsförhållandena är likartade och eftersom det finska programmet står inför ett antal avgörande val de närmaste åren.

För närvarande undersöks fyra olika kandidatplatser på ett sätt som motsvarar platsundersökning i SKB:s program. En av dessa platser, som ligger i anslutning till kärnkraftverket i Lovisa, har tillförts senare medan de övriga tre platserna har valts ut i en stegvis procedur. I början på 1980-talet valdes fem platser ut för preliminära platsundersökningar. Ett viktigt kriterium för detta platsval var att finna områden med tillräckligt stora bergblock. Bland dessa fem valdes 1992 tre platser ut för mer detaljerade platsundersökningar. Säkerhetsanalysen TVO-92 /Vieno et al, 1992/, som visade att alla

undersökta platser har förutsättningar för ett säkert slutförvar utgjorde ett viktigt underlag för detta val, men formella kriterier för platsutvärdering, annat än krav på säkerhet och strålskydd, användes inte. Valet accepterades av myndigheterna, men dessa konstaterade också att en mer platsspecifik analys behövs inför nästa steg i processen.

Enligt beslut av statsrådet i Finland ska en plats väljas för detaljerade undersökningar under jord år 2000. Detta platsval ska, bland annat, motiveras med en platspecifik säkerhetsanalys. Senast i samband med platsvalet, men eventuellt tidigare närmar sig projektet dessutom den s.k. "principbeslutsfasen" av tillståndshantering, som är det första formella licensieringssteget mot ett djupförvar i Finland.

Innan statsrådet tar principbeslutet måste det i enlighet med kärnenergilagen i Finland, konstatera att inga fakta som indikerar otillräckliga förutsättningar för att bygga slutförvarsanläggningen har framkommit. Slutförvarets säkerhet måste vidare baseras på passiva barriärer som säkerställer varandras funktion, vilket innebär att bortfall av en barriär inte nämnvärt ska försvaga förvarets totala säkerhet och att förändringar i slutförvarsmiljön bara får påverka en barriär medan övriga barriärer bara får påverkas i begränsad utsträckning. De övergripande säkerhets- och strålskyddskriterierna liknar de svenska, men är inte identiska. Detaljerade krav och önskemål på bergets parametrar formuleras inte.

5.4.2 Övriga länder

Inför valet av kandidatplatser för platsundersökning har det i en del länder angivits speciella urvalskriterier i förväg. Platsvalet styrs dock i regel även av andra faktorer än de rent geovetenskapliga. Om geologiska faktorer anges, gäller dessa oftast stabila berggrundsförhållanden och faktorer som tyder på låg grundvattenomsättning. Gemensamt för alla länder är att arbetet inriktas på kristallint berg, lerformationer eller på saltformationer. I länder där dessa geologiska förutsättningar bara gäller i begränsade områden blir därmed typ av geologisk formation ett viktigt urvalskriterium. I länder med mer homogen geologi, som i Sverige, blir denna urvalsfaktor oftast underförstådd.

I princip har det ingenstans presenterats detaljerade kriterier, baserade på geovetenskapliga parametrar, för att utvärdera lämpligheten av en utsedd kandidatplats som undersökts noggrant. Lämpligheten hos sådana platser utvärderas, eller planeras att utvärderas, genom en samlad analys där en säkerhetsanalys ofta har en central betydelse. På förhand angivna kriterier avser allmänna funktioner och inte enskilda parametervärden.

Belgien

Sedan 1974 har arbetet i Belgien varit helt fokuserat på omfattande experimentella studier av en lerformation i Mol där ett underjordiskt laboratorium även har byggts. Fokuseringen på lera är naturlig eftersom Belgien saknar kristallin berggrund eller saltformationer.

Frankrike

1983 avslutades en inventering av möjliga platser för djupförvaring av långlivat avfall i Frankrike. Ett platsval genomfördes på geologiska och tekniska grunder och 1987 påbörjades platsundersökningar på 4 platser men fick snabbt avbrytas. Med stöd av en ny kärnavfallslag pågår sedan 1994 undersökningar på tre platser med syfte att finna loka-

lisering av underjordiska berglaboratorier. Dessa kan dock senare komma att utses som kandidatplatser för ett djupförvar. Urvalet av platserna skedde bara delvis efter tekniska kriterier. Två av platserna är lerformationer och en är en granitformation som dock är täckt av sediment av stor mäktighet. Underlag för beslut om byggande av berglaboratorier har lämnats till regeringen. Något beslut har ännu inte fattats.

Japan

Arbetet med utveckla ett slutförvar för högaktivt kärnavfall i Japan har fokuserat på att utveckla teknik och på att utveckla metoder för att undersöka om en plats är lämplig. Vare sig specifika platser eller specifika geologiska förhållanden har ännu utsetts som lämpliga (eller olämpliga). Det finns idag inga fastlagda principer eller kriterier för att välja eller för att godkänna en plats. Japans atomenergikommission (AEC) har dock presenterat allmänna riktlinjer för hur en plats för ett djupförvar bör identifieras. Man rekommenderar att det stiftas en kärnavfallslag som identifierar vilken organisation som ska utföra slutförvaringen och som anger kriterier för val av plats. AEC:s riktlinjer betonar vidare vikten av att vidmakthålla en öppen och tydlig process som engagerar allmänheten, lokala beslutsfattare och oberoende tekniska granskare. AEC:s rekommendationer förväntas att bli genomförda omkring 2000. Det är troligt att kriterierna kommer att fokusera på barriärsystemets och närområdets förutsättningar att ge god inneslutning, liksom på förutsättningar att kunna förutse framtida seismisk och vulkanisk aktivitet.

Kanada

År 1994 presenterade Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) en omfattande miljökonsekvensbeskrivning med inriktning på de tekniska förutsättningarna att uppföra ett djupförvar för det använda kärnbränsle som produceras i Kanada. Både den federala staten och delstaten Ontario har lagt fast att val av förvarsplats inte ska påbörjas förrän det tekniska konceptet har godkänts. Den granskningspanel som har utvärderat beskrivningen rekommenderade i mars 1998 att val av plats och undersökningar av specifika platser inte heller nu bör påbörjas, utan rekommenderade istället ytterligare åtgärder för att söka allmänhetens stöd för hur programmet för hantering av kärnavfall bör genomföras.

Ryssland

I Ryssland utvärderas för närvarande flera olika koncept för geologisk djupförvaring. Arbetet fokuseras på områden omkring de kärntekniska anläggningarna vid Krasnojarsk och Tjeljabinsk eftersom dessa anläggningar redan har betydande avfallsmängder. Bland annat studeras olika platser i kristallin berggrund och det finns planer att påbörja platsundersökningar och att uppföra ett underjordiskt berglaboratorium. Det förekommer även studier på Kolahalvön, bland annat avseende förutsättningar att placera ett slutförvar i permafrost.

Schweiz

Den geologiska förhållandena i Schweiz gör att endast begränsade områden av landet är riktigt tänkbara för ett slutförvar. Undersökningar har koncentrerats dels till kristallina formationer och dels till lerformationer. Omfattande undersökningar har genomförts och ett berglaboratorium i Grimsel har funnits sedan 1983. Det finns dock inga konkreta kandidatplatser för ett djupförvar för högaktivt avfall. Inom programmet framhärdas även att djupförvarets säkerhet till stor del hänger på dess ingenjörssdelar och att bergets egenskaper inte är avgörande för säkerheten.

Spanien

Arbetet med att lokalisera ett slutförvar för högaktivt kärnavfall påbörjades 1986 och inriktas på kristallint berg, saltformationer och lerformationer. I ett första, regionalt skede, inventerades gynnsamma formationer baserade på geologiska data, hydrogeologiska data, data om jordbävningar samt miljö- och samhällsdata. I en andra fas intensifierades studierna. Sedan 1997 har dock detta arbete avbrutits. Under 1997 utvärderade den spanska senaten uppläggningsen av det fortsatta programmet för kärnavfallshantering och slutförvaring.

Storbritannien

För närvarande pågår inget arbete med att finna ett slutförvar för det högaktiva kärnavfalllet. Arbetet med att lokalisera ett slutförvar för det långlivade medelaktiva kärnavfall som finns i Storbritannien har tidigare fokuserats till områden i anslutning till de kärntekniska anläggningarna i Dounreay och Sellafield. Efter 1991 fortsatte studierna vid Sellafield som enda kandidatplats. Omfattande provningar och platskaraktärisering har genomförts och nästa steg som planerades var att bygga en underjordsanläggning för fortsatta studier. Förslaget accepterades dock inte av myndigheterna och planerna att gå vidare med platsen är för närvarande skrinlagda.

Tjeckien

I Tjeckien har lokaliseringsarbetet pågått under de senaste sju åren. Kriterier för platsval baseras på den geologiska enhetens storlek och mäktighet, homogenitet, avsaknad av tektoniska störningar, avsaknad av användbara mineraler, låg hydraulisk ledningsförmåga och låg seismisk aktivitet. I en inledande fas studerades 27 områden, men undersökningarna har nu fokuserats till 13 områden. Enligt plan ska en plats föreslås utifrån resultaten av dessa studier.

Tyskland

I Tyskland är planen att utveckla ett slutförvar i en saltformation. För närvarande pågår undersökningar vid den nerlagda saltgruvan i Gorleben. Platsen har valts utifrån en generell inventering och eftersom man kände till att den innehåller en tänkbart lämplig saltformation. Arbetet inriktas nu på ett omfattande undersökningsprogram för att fastställa platsens egenskaper och därvid kunna anpassa ett förvar och bedöma platsens lämplighet.

Ungern

I Ungern har bedömningen gjorts att endast få platser i landet har geologiska förutsättningar för ett slutförvar. För närvarande pågår omfattande platsundersökningar i en lerstensformation i Mecsekbergen. Undersökningarna syftar till att bekräfta att området har lämpliga hydrologiska och kemiska egenskaper och att finna en lämplig placering av ett slutförvar. Området har valts, bland annat, på grund av dess förmodat låga genomsläpplighet för vatten och ringa antal förkastningar.

USA

För slutförvaring av det civila kärnavfallet i USA påbörjades ett omfattande platsvalsprogram i början på 1980-talet. Nio olika kandidatplaster identifierades där en stor mängd olika kriterier användes. Utifrån preliminära studier av dessa platser valdes tre platser för mer intensiva studier. Arbetet vid två av platserna avbröts dock 1987 då USAs kongress beslöt att de fortsatta studierna skulle fokuseras på Yucca Mountain, Nevada. Beslutet innebär dock att studierna direkt ska avbrytas om det under det pågående arbetet skulle konstateras att Yucca Mountain är olämpligt. Efter inledande svårigheter att få lokalt tillstånd att undersöka platsen pågår nu omfattande undersökningar. En underjord-sanläggning har även konstruerats. Den slutgiltiga bedömningen om platsens lämplighet görs vid tillståndsprövningen, varvid en samlad säkerhetsanalys kommer att utgöra ett centralt underlag. I dialog med myndigheterna, främst US NRC, identifieras och dokumenteras dock en stor mängd olika frågor som behöver klaras ut inför kommande tillståndsprövningar. Frågorna är både av mer allmän karaktär och mycket specifika för den aktuella platsens förutsättningar.

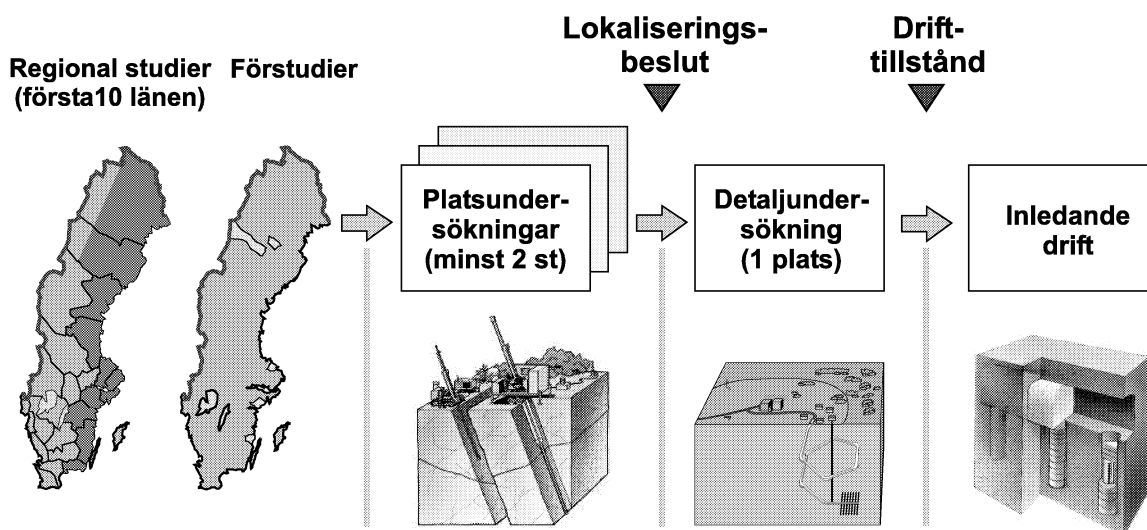
6 Planerade insatser

6.1 Kriterier för platsutvärdering

Under 1998 kommer projektarbetet att utvidgas till att även innefatta kriterier för platsutvärderingen. Kriterierna ska kunna användas för att bedöma om en plats uppfyller eller inte uppfyller ställda krav och i vilken utsträckning önskemål är uppfyllda. När det gäller geovetenskapliga parametrar utgörs kriterier av kännetecknande värden eller värdeområden för skattade värderingsfaktorer. När det gäller djupförvarets funktion utgörs kriterier av kännetecknade värden eller värdeområden på utfall från funktionsanalyser. Kriterierna kan förändras under lokaliseringsarbetets gång eftersom informationen om platser förändras. Krav och önskemål förblir dock desamma.

6.1.1 Lokaliseringsskeden och kriterier

Det har redan betonats att arbetet med geovetenskapliga värderingsfaktorer och kriterier för platsutvärdering förutsätter att resultat från översikts- och förstudierna finns framme och avser inte att detaljera faktorer och kriterier under dessa tidiga lokaliseringsskeden. Istället koncentreras insatserna på skedet inför platsundersökning, dvs baserat på information från förstudier/översiktsstudier, samt inför detaljundersökning, dvs baserat på information från genomförda platsundersökningar. Figur 6-1 avser att förtydliga skeden i lokaliseringsarbetet.



Figur 6-1. Användning av geovetenskapliga värderingsfaktorer och kriterier sker vid olika skeden av lokaliseringen eller undersökningarna för ett djupförvar.

Kriterier behöver kopplas till den informationsmängd som finns tillgänglig vid det aktuella skedet av lokaliseringsarbetet och till den beslutssituation vid vilken de ska användas.

- Inför en platsundersökning är det viktigt att kunna utesluta klart olämpliga platser och dessutom att kunna peka ut platser där prognosen är god att dessa kommer att visa sig ha lämpliga egenskaper. Kriterier kan i detta skede inte göras alltför skarpa med tanke på den begränsade information som då finns om bergets egenskaper på djupet. Kriterierna ska användas för att välja lämpliga platser för fortsatta undersökningar. En utvärdering huruvida alla krav och önskemål är uppfyllda kan bara göras i begränsad omfattning.
- Efter genomförd platsundersökning måste man med stor säkerhet kunna visa om en plats är lämplig eller olämplig som djupförvaringsplats. Vidare kan det vid denna tidpunkt bli meningsfullt med kriterier för att jämföra platser. Även om den samlade utvärderingen av platsernas lämplighet avgörs inom ramen för en samlad säkerhetsanalys och en samlad bygganalys ska de specificerade kriterierna ge god vägledning om vad en sådan samlad analys förväntas resultera i.

Kriterier för utvärdering av om en plats är lämplig eller olämplig baseras på betydelsen av de olika värderingsfaktorerna och en bedömning av precisionen i aktuell information. Dessa kriterier kan därför bygga på de redan framtagna värderingsfaktorerna.

Kriterier för jämförelse av de platser som redan bedömts som lämpliga behöver dessutom bygga på någon form av viktning mellan olika faktorer. Det kan bli aktuellt att studera olika system för viktning inom ramen för en beslutsanalys kopplad till platsutvärderingen. Det är också viktigt att redovisa om vissa parametervärden eller utfall av funktionsanalyser (inom det lämpliga området) är bättre än andra. Kvalitativt bör man även ange om dessa utfall innebär en avsevärd förbättring av funktionen eller om förbättringen bara är av begränsat intresse.

Begreppet kriterier belyses ytterligare i Tabell 6-1 där möjliga kriterier vid olika skeden i processen att nå fram till ett djupförvar anges. Tabellen kan även tjänstgöra för att förtydliga skillnaden mellan olika begrepp, framför allt skillnaden mellan krav och kriterier. Krav avser verkliga förhållanden oberoende av lokaliseringsskede. Kriterier är en tillämpning av värderingsfaktorer i ett visst skede som underlag till beslut. Se även figur 6-1.

Notera avslutningsvis att kriterier i vissa skeden även kan baseras på värderingsfaktorer som inte varit föremål för krav. Det gäller exempelvis önskemål beträffande bergets värmeledningsförmåga. God värmeledningsförmåga är fördelaktigt och denna värderingsfaktor kan därför vara en grund för ett kriterium i tidiga lokaliseringsskeden. Uppfyllt önskemål leder till lägre kostnader genom att förvaret kan göras mindre. Om önskemålet inte är uppfyllt kan dock detta kompenseras med att förvarsutformningen förändras så att det övergripande kravet på säkerhet ändå uppfylls (låg värmeledningsförmåga kompenseras genom större avstånd mellan kapslarna i djupförvaret).

6.1.2 Planerat arbete för kriterier

Arbetet med att ta fram kriterier utgår från de redan identifierade värderingsfaktorerna och inriktas i första hand på att kontrollera av om en plats är lämplig eller olämplig. Även kriterier för jämförelse mellan platser kommer att behandlas. Utgående från bedömd informationsmängd och beslutssituation inför och efter platsundersökningen analyseras de redan identifierade värderingsfaktorerna efter följande schema:

Tabell 6-1. Två exempel på hur kunskap, värderingsfaktorer och kriterier kommer in utgående från ett grundläggande krav. Notera speciellt skillnaden mellan krav och kriterier.

	Översiktsstudier	Förstudier	Platsundersökning	Detaljundersökning	Drift
<i>Krav: Inget löst syre i grundvatten på försvarsnivå</i>					
Kunskap	Generisk	Generisk	Platsspecifik information från djupa borrhål, som är tillräcklig för att karaktärisera försvarsområdet.	Ingen väsentlig ny kunskap, risk för störd provtagning	Ingen väsentlig ny kunskap, risk för störd provtagning
Värderingsfaktorer	Inga faktorer (för att bedöma kravuppfyllelse)	Inga faktorer	Eh, [Fe ²⁺] och [HS ⁻] som indikatorer på förekomst av löst syre	–	–
Exempel på möjliga kriterier	Inga kriterier	Inga kriterier	Minst någon av indikatorerna låga Eh, förekomst av Fe ²⁺ eller förekomst av HS ⁻ ska vara uppfylld. Platsen måste annars överges	–	–
<i>Krav: Förvarstunnlar får ej skäras av lokala diskontinuiteter</i>					
Kunskap	Regionala zoners läge vid markytan kan bedömas	Regionala zoners läge vid markytan kan bedömas	Rimlig precision för regionala och lokala diskontinuiteter Stokastisk information om lokala mindre diskontinuiteter. Sprickor enbart frekvens – storlek generisk	Hög precision för regionala och lokala diskontinuiteter i försvarsområdet. Hygglig för lokala mindre. Stokastisk information om sprickor. Kunskap om diskontinuiteters läge vid tunnlar	Kunskap om samtliga diskontinuiteters läge vid deponeringshål. Annars ingen väsentlig ny kunskap
Värderingsfaktorer	Läge, längd, bredd av regionala diskontinuiteter	Läge, längd, bredd av regionala diskontinuiteter	Läge, längd och bredd av regionala och lokala diskontinuiteter m fl	Läge, längd och bredd av regionala och lokala diskontinuiteter m fl	–
Exempel på möjliga kriterier	Stora områden med homogena berggrundsförhållanden	Förekomst av områden med stora bergblock en förutsättning för att gå vidare	Om försvarsanpassning ej är möjlig måste platsen överges. (Regionala diskontinuiteter sätter gränser för försvarsområdet. Lokala diskontinuiteter får ej skära förvarstunnlar.)	Bekräftelse på läge, längd och bredd av regionala och lokala diskontinuiteter ger direkt kontroll av kravet i detta skede	–

- Kan preciserade och kvantifierade kriterier uttryckligen anges för respektive skede och vad är följderna av om kriteriet inte uppfylls?
- Kan kriterier endast anges i termer av en platsspecifik funktionsanalys eller bygganalys? Vilken analys behöver i så fall göras och vad är följderna av olika utfall av en sådan analys?
- Är det möjligt att ange om vissa utfall, inom det lämpliga området, av parameter-skattningar eller av funktionsanalyser är bättre än andra? Innebär dessa utfall en avsevärd förbättring av funktionen eller är förbättringen av underordnat intresse?

Exempel på ett kvantifierat kriterium kan vara ett intervall eller ett medianvärde med spridningsmått. Exempel på en funktionsanalys kan vara beräkning av grundvattenströmning eller retentionsförmåga. Exempel på följder av att ett kriterium inte blir uppfyllt kan vara att platsen direkt bedöms som olämplig, men skulle också kunna vara att det då finns behov av en funktionsanalys, en sammanvägd säkerhetsanalys, en sammanvägd bygganalys, bättre dataunderlag eller en förändrad förvarsutformning.

Det kan redan nu konstateras att för vissa redan identifierade värderingsfaktorer (till exempel de som avser indikationer på löst syre i grundvattnet) kommer det vara enkelt att ange tydliga kriterier. För andra faktorer kommer kriterierna att behöva bli mer komplexa. Det gäller sannolikt faktorer kopplade till bergets permeabilitet som påverkar olika funktioner på olika sätt. De uppvisar betydande rumslig variabilitet och analys av fältdata innebär ofta ett omfattande modellarbete. Arbetet med att precisera kriterier kommer därför inte att leda fram till preciserade värdeintervall för samtliga värderingsfaktorer. Däremot ska det, för varje faktor, klart framgå hur information om dem tas om hand inom ramen för funktionsanalyser eller inom den samlade säkerhetsanalysen eller bygganalysen. För de fall där preciserade kriterier inte kan anges på parameternivå ska detta motiveras.

6.2 Projektets planerade insatser

Denna lägesrapportering i samband med FUD-program 98 utgör en milstolpe i projektet om värderingsfaktorer och kriterier. Efterföljande milstolpar är:

- Förslag till krav och önskemål på funktioner i djupförvaret och på parametrar färdigställda.
- Informationsverksamhet och remissgranskning utförda internt och externt.
- Framtaget första förslag till kriterier att använda inför och efter platsundersökningar som bygger på formulerade krav och önskemål.
- Slutrapport framtagen omfattande både funktioner för djupförvaret, geovetenskapliga värderingsfaktorer samt kriterier för platsutvärdering.

Efter genomfört projekt utvidgas arbetet till att även innefatta SFL3-5. Den valda förvarsutformningen av SFL3-5 kommer att påverka resultatet av en sådan utvidgning av faktorer och kriterier. Alla förutsättningar ska vara givna innan arbetet går vidare.

7 Referenser

- Almén, K-E, Stanfors R, Svemar C, 1996.** Nomenklatur och klassificering av geologiska strukturer vid platsundersökningar för SKB:s djupförvar, SKB PR D-96-029.
- Andersson J, Almén K-E, Ericsson L O, Fredriksson A, Karlsson F, Stanfors R, Ström, A, 1996.** Parametrar av betydelse att bestämma vid geovetenskaplig platsundersökning, SKB Rapport R-97-03.
- Andersson J, Almén K-E, Ericsson L O, Fredriksson A, Karlsson F, Stanfors R, Ström, A, 1998.** Parameters of importance to determine during geoscientific site investigation, SKB Technical Report TR 98-02.
- Follin S, 1995.** Geohydrological simulation of a deep coastal repository, SKB TR 95-33.
- Laaksoharju M, Degueudre C, Skärman C. 1995.** Studies of colloids and their importance for repository performance assessment. SKB Technical Report TR 95-24.
- Leijon B, 1998.** Nord-Syd/Kust-Inland. Generella skillnader i förutsättningar för lokalisering av djupförvar mellan olika delar av Sverige. SKB Rapport R-98-16.
- SKB, 1994.** FUD-program 92 kompletterande reovisning. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Komplettering till 1992 års program sammanställd med anledning av regeringsbeslut 1993-12-16.
- SKB, 1995a.** FUD-program 95, Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk djupförvaring samt forskning, utveckling och demonstration.
- SKB, 1995b.** Översiktsstudie 95, Lokalisering av djupförvar för använt kärnbränsle.
- SKB, 1996.** Förstudie Malå, Slutrapport. Mars 1996.
- SKI, 1997.** Promemoria avseende utgångspunkter för föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av använt kärnbränsle, SKI PM 97017.
- SSI, 1998.** Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljö vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, SSI FS 1998:1.
- Smellie J, Laaksoharju M, 1992.** The Äspö Hard Rock Laboratory: Final evaluation of the hydrochemical pre-investigations in relation to existing geologic and hydraulic conditions. SKB Technical Report TR 92-31.
- Vieno T, Hautojärvi A, Koskinen L, Nordman H, 1992.** TVO-92 safety analysis of spent nuclear fuel disposal. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Report YJT-92-33E.

Bergmekaniska krav och önskemål på funktion

Grundläggande säkerhetsfunktion samt byggtekniska aspekter	Bergmekaniska förhållanden som påverkar funktion	Krav på bergmekanisk funktion	Önskemål på bergmekanisk funktion	Funktionsanalys och berörda parametrar
Isolering kapsel Kapseln ska isolera avfallet från omgivningen	1) Deformation av deponeringshåll	Deformation får ej innebära att kapseln skadas. Innebär att momentan deformation av kapselhåll < 100 mm. Ackumulerad deformation < 350 mm. (Undvika större diskontinuiteter – respektavstånd.)		1) Bergmekanisk analysmodell i lokalskala (design för deponeringshåll, diskontinuiteter, mekaniska egenskaper för dessa och intakt berg, densitet och termiska egenskaper, spänningsfördelning, kommande laster (bergmekanisk modell i större skala). Seismisk analys.
	2) Litostatiskt tryck	Kapseln klarar inte bergets litostatiska tryck (dvs kryp från berget). Deponeringshålet måste vara en bärande konstruktion som inte kollapsar pga kryp.		2) Bergmekanisk analysmodell i lokalskala (se ovan, krypegenskaper).
Isolering bentonit Bentoniten ska ge bidrag till avfallsets isolering, främst genom att skapa gynnsamma betingelser för kapseln.	1) Deformation av deponeringshåll	Deformation får ej innebära att bentoniten skadas för "normala" scenarier. Kräver sannolikt förkastning dvs storskalig bergmekanisk förändring. Undvika större diskontinuiteter (respektavstånd).		Bergmekanisk analysmodell (se ovan). Speciell analys av risk för förkastningar (bergmekanisk analys i större skala) för olika scenarier.
	2) Sprickbildning/hålrum kan påverka bentonit – erosion	Hålrum ej så stora att bentonitfunktionen försvinner.		Analys av största tillåtna spricka (kombination med hydrologisk analys). Beror också på grundvattenkemi (vid högre salinitet större risk). Krav sannolikt uppfyllt om deformationskrav enligt ovan uppfyllda.
Isolering berg Berg ska bidra till avfallsets isolering, främst genom att skapa gynnsamma betingelser för bentonit och kapsel	1) Se ovan	Krav att bergets deformation inte skadar förslutningsfunktionen enligt ovan.		Se ovanstående.
	2) Ny sprickbildning mellan förvar och diskontinuitet		Bör ej förekomma.	Bergmekanisk analys – kontroll av brottgränser m m.
Fördröjning bentonit Bentoniten ska fördröja frigjorda radionuklidens ankomst till berget/geosfären.	1) Se isolering bentonit	Deformationer av deponeringshålet (momentana och/eller ackumulerade) får inte bli så stora att diffusionsavstånd genom bentoniten blir för litet.		Se Isolering bentonit. Analys av retention för given geometri av deponeringshåll.
Fördröjning berg Transport av radionuklider (samt även transport av grundvatten med mindre lämplig kemi) ska fördröjas.	1) Bildandet av diskontinuitet direkt till förvaret (kapselhåll)		Se Isolering berg.	Se Isolering berg.
	Deformation av bergmassa och diskontinuiteter påverkar hydrauliska ledningsförmågan		Önskemål om "måttliga förändringar" –krav se ovan.	Bergmekanisk analysmodell (se ovan). Tolkning av hydrogeologiska konsekvenser.

Bergmekaniska krav och önskemål på funktion, forts

Grundläggande säkerhetsfunktion samt byggtekniska aspekter	Bergmekaniska förhållanden som påverkar funktion	Krav på bergmekanisk funktion	Önskemål på bergmekanisk funktion	Funktionsanalys och berörda parametrar
<i>Spridning biosfär</i> Effektiva stråldoser till individer i kritisk grupp ska understiga nivåer angivna i SSI:s föreskrifter. Dessutom ska inverkan av djupförvaret på biologisk mångfald vara liten. Det är ett önskemål att det sker en snabb utspädning till låga halter i biosfären av ämnen från förvaret som eventuellt förs upp mot markytan.	1) Recipient förändras vid förkastningar			
<i>Projektering – layout</i> Layout görs för att erhålla så goda retentions- och inneslutningsförhållanden som möjligt	1) Risk för stora deformationer och förkastningar 2) Bergutfall 3) Bergspänningar	Layout styrs så att isoleringskrav enligt ovan tillgodoses. För närvarande utgår detta från respektavstånd från större diskontinuiteter samt främst bergspänningsriktningar. Undvik smällberg och stora överraskningar. Vid tunnelborrning ställs också speciella krav – annars bergutfall	Önskemål om ej för utspridda försvarsområden Minimera mängden bergutfall	Bergmekanisk analys för given layout (se isolering kapsel). Bergmekanisk analys för gjord layout Bergmekanisk analys för gjord layout
<i>Projektering – bygganalys</i> Analys av genomförbarhet	1) Risk för ras m m. (Bedömning av förstärkningsbehov, stilleståndstider m m)	Krav på säker arbetsmiljö (dvs undvika ras, bergutfall m m).	Önskemål om rimliga byggkostnader	Bergmekanisk analys för gjord layout.
<i>Projektering – arbetsmiljö</i> Tillgodose fullgod arbetsmiljö	1) Se ovan	Se ovan		Se ovan

Kemiska Parametrar

Geoveten- skaplig parameter	Referens till funktion i funktionstabell	Krav på parameter	Önskemål på parameter	Värdeområde i svensk kristallin berggrund motivering	Lämplig/tänkbar värderingsfaktor –	Nivå av kunskap som kan/bör uppnås efter FS, PLU och DETU
<i>Grundvatten kemi</i>						
Eh	Isolering, kapsel Fördröjning, bränsle Fördröjning, bentonit Fördröjning, berg	Obetydlig förekomst av löst syre på försvarsdjup. (Indikeras av lågt Eh, Fe(II), eller sulfid i grundvattnet.	Värdet för Eh är en funktion av pH och [Fe(II)]. För pH runt 7 gäller önskemålet Eh < -100 mV. (Eh blir lägre vid högre pH)	Nära idealiska förhållanden råder på djup under 100 m. För säkerhetsanalysen SR 97 används Eh i intervallet -308 mV -202 mV	Ja, eftersom parametern är kopplad till krav och starka önskemål.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget nytt. PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar.
pH	Isolering, kapsel Isolering, bentonit Fördröjning, bränsle Fördröjning, bentonit Fördröjning, berg	För det ostörda grundvattnet på försvarsdjup måste 4 < pH < 12. Påverkan från förvaret (t ex betong) kan tillåtas gå utanför detta krav om bentonit- porvattnet ligger inom krav.	Inom intervallet 6 < pH < 10 på grundvatten under 100 m djup. Ingen preferens inom detta intervall. Över 100 m djup inga önskemål.	Under djup på 100 m är i regel 6 < pH < 10 men avvikelser (t ex Stripa) förekommer. Över 100 m är det förväntade intervallet större. SR 97: 7.0–9.30	Ja, eftersom kopplat till krav och starka önskemål.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget nytt – ingen koppling till ytligt grundvatten. PLU: Vattenprover från borrhål kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar.
TDS	Isolering, kapsel Isolering, bentonit Fördröj, bentonit Recipient	TDS < 100 g/l	TDS < 50 g/l Svällning och sorption (av främst Cs och Sr) påverkas redan vid mer måttliga jonstyrkor. Upp till oceanhalt (dvs 35 g/l) är påverkan dock mindre. Vid högre halter ökar den negativa effekten med halten. Undre gräns, se Ca. Avstånd från djupförvaret till "brine" > 300 m för att undvika s k upconing.	Ner mot 1 000 m djup 0–35 g/l. För större djup ännu högre halter. Upp mot 100 g/l (brine) har uppmätts på 1 700 m djup (Laxemar). Djupet till höga TDS i regel större i inlandslägen. SR 97: 338–11 107 mg/l	Ja, eftersom krav och viktiga önskemål.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget nytt PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar
DOC	Isolering, kapsel Fördröjning, bentonit	Ingen grund för krav	DOC < 20 mg/l på försvarsdjup. Ju lägre ju bättre. Yt nära bör dock DOC > 10 mg/l för att säkerställa reduktion av infiltrerande grundvatten.	På försvarsdjup är DOC i regel mindre än 10 mg/l. (För SR 97 gäller 1.0–5.7 mg/l, Laaksoharju et al., 1997)	Nej, i första hand eftersom önskemålen inte är så betydelsefulla. Bergets retentionsförmåga kan bara delvis försämrats i det ogynn- samma området.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget nytt ytligt grundvatten kan bedömas. PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar.
Na	Isolering, kapsel Isolering, bentonit Fördröjning, bentonit Fördröjning, berg	se TDS	se TDS		Nej, inga specifika krav eller önskemål	

Kemiska Parametrar, forts

Geovetenskaplig parameter	Referens till funktion i funktionstabell	Krav på parameter	Önskemål på parameter	Värdeområde i svensk kristallin berggrund motivering	Lämplig/tänkbar värderingsfaktor –	Nivå av kunskap som kan/bör uppnås efter FS, PLU och DETU
K	Isolering, bentonit Fördröj, bentonit	[K ⁺] < 400 mg/l	Normalt värdeintervall 4–80 mg/l	På förvarsdjup i intervallet 4–880 mg/l. SR 97: 1.9–13 mg/l (13 mg/l för Beberg)	Nej, önskemålet ej tillräckligt viktigt.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar.
Ca	Isolering, bentonit Fördröjning, bentonit Fördröjning, berg	se TDS	[Ca ²⁺]+[Mg] > 4 mg/l på förvarsdjup för att säkerställa att bentoniten gelar stabilt och inte skapar kolloider. Ingen fördel med högre värden. Se TDS	I intervallet 10 mg/l till 10-tals g/l (se TDS). SR 97: 21–1 890 mg/l	Nej, TDS-kraven och önskemålen viktigare.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar
Mg	Isolering, kapsel Isolering, bentonit Fördröjning, bentonit	se TDS	se Ca	se Ca SR 97: 1.1–110 mg/l	Nej, se Ca	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar.
HCO ₃	Isolering, kapsel Fördröjning, bränsle Fördröjning, bentonit Fördröjning, berg		Inom intervallet 10–1 000 mg/l på förvarsdjup. Mycket högre halter indikerar en omfattande mikrobiologisk aktivitet. Ur mätsynpunkt optimalt med ca 100 mg/l ty då är systemet välbuffrat vilket förenklar pH mätningar, men i övrigt är hela intervallet ovan lika lämpligt.	På förvarsdjup normalt ca 50–200 mg/l, men 0–1 200 har uppmätts. SR 97: 10–278 mg/l	Ja, men bara om extremt höga (över 1 000 mg/l) noteras.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar.
SO ₄	Isolering, kapsel Fördröjning, berg	se TDS	[SO ₄] ⁻² < 1 500 mg/l Hög halt i kombination med hög DOC är olämpligt	0–500 mg/l SR 97: 0,1–560 mg/l	Ja, se önskemål.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar
Cl	Isolering, kapsel Fördröjning, berg	se TDS	se TDS		se TDS	

forts nästa sida

Kemiska Parametrar, forts

Geoveten- skaplig parameter	Referens till funktion i funktionstabell	Krav på parameter	Önskemål på parameter	Värdeområde i svensk kristallin berggrund motivering	Lämplig/tänkbar värderingsfaktor –	Nivå av kunskap som kan/bör uppnås efter FS, PLU och DETU
Fe	Isolering, kapsel Fördröjning, bränsle Fördröjning, bentonit Fördröjning, berg		Grundvattnet på försvarsdjup bör innehålla Fe(II) som indikation på att löst syre ej förekommer. Med tanke på mätproblem är högre värden mer tillförlitliga. Vid höga TDS blir dock halten så låg att det blir svårt att mäta.	På försvarsdjup inom intervallet 5 µg/l–1 mg/l De lägre värden gäller vatten med höga TDS. SR 97: 0,05 (Ceberg)–1,80 (Beberg) mg/l	Ej enbart, mensom del av underlag för att bedöma förekomst av löst syre.	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. Mätgräns är dock ca 5 µg/l. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar.
Mn	Fördröjning, berg		Grundvattnet bör innehålla Mn(II). Indikation på syrefritt. Se Fe(II)		Se Fe(II), men högre mätgräns Mn(II) gör att den är mindre intressant.	
HS	Isolering, kapsel Fördröjning, bränsle Fördröjning, bentonit Fördröjning, berg	Ej OK om [HS] = 0 i försvarsområdet om det inte finns andra indikationer på att löst syre inte förekommer	0<[HS]<10 mg/l i försvarsområdet. Halter större än noll indikerar syrefritt, men mycket höga halter (över 10 mg/l) påverkar Cu korrosion.	På försvarsdjup inom intervallet 0,1–5 mg/l. (se SR 97) SR 97: Under mätgräns – 0,15 mg/l	Ja, se krav och önskemål	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget PLU: Vattenprover från borrhål medger kvalificerad skattning. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar
U	Arbetsmiljö		låga halter	Inom intervallet 1 µg/l–150 µg/l. SR 97: 0,17–19,3 µg/l		
Ra	Arbetsmiljö		låga halter			
Si	Isolering, bentonit Fördröjning, bentonit		Normala halter	SR 97: 4,1–5,6 mg/l	Nej,	
Al					Nej	
Li					Nej	
Cs					Nej	
Sr					Nej	
Ba					Nej	
I					Nej	
Br					Nej	
F	Fördröjning, berg				Nej	
¹⁸ O (i H ₂ O)					Nej	
D (i H ₂ O)					Nej	
¹³ C (i DIC)					Nej	

forts nästa sida

Kemiska Parametrar, forts

Geovetenskaplig parameter	Referens till funktion i funktionstabell	Krav på parameter	Önskemål på parameter	Värdeområde i svensk kristallin berggrund motivering	Lämplig/tänkbar värderingsfaktor –	Nivå av kunskap som kan/bör uppnås efter FS, PLU och DETU
¹³ C (i DOC)					Nej	
³⁴ S (i SO ₄)					Nej	
¹⁸ O (i SO ₄)					Nej	
³⁴ S (i HS)					Nej	
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr					Nej	
T		Nej	TU<1 på förvarsdjup. Högre värden kan vara indikation på snabba flödesvägar ("bombtritium")	1997 har regnvatten ca 20 TU. Mellan 0,4–100 TU har uppmätts på tänkbara förvarsdjup. Höga värden dock sannolikt beroende på förorenade prov. SR 97: 3–8 TU	I princip ja, men mätningarna är osäkra varför T i praktiken inte blir lämplig som lokaliseringsfaktor	Generisk: se värdeområden. FS: tillför inget PLU: Vattenprover från borrhål men svårt att mäta med risk för kontamination som leder till högre uppmätta värden än faktiska. DETU: ingen väsentlig ny kunskap tillkommer, risk för (tillfälliga) störningar
¹⁴ C (i DiC)					Se tritium	
¹⁴ C (i DOC)					Se tritium	
U ²³⁴ /U ²³⁸				1–10	Nej	
HA/FA	Fördröjning, berg	se DOC	se DOC			
NO ₃	Isolering, kapsel Fördröjning, berg		< 1 mg/l			
NO ₂	Isolering, kapsel Fördröjning, berg		< 1 mg/l			
NH ₄	Isolering, kapsel Fördröjning, berg		< 1 mg/l			
HPO ₄	Isolering, kapsel Fördröjning, berg		< 1 mg/l			
N ₂	Isolering, kapsel Fördröjning, berg		ej fri gasform på förvarsdjup			
H ₂	Isolering, kapsel		se N ₂			
CH ₄	Isolering, kapsel Fördröjning, berg		se N ₂			
CO ₂	Isolering, kapsel		se N ₂			
Ar	Fördröjning, berg					
He	Fördröjning, berg					

forts nästa sida

Kemiska Parametrar, forts

Geoveten- skaplig parameter	Referens till funktion i funktionstabell	Krav på parameter	Önskemål på parameter	Värdeområde i svensk kristallin berggrund motivering	Lämplig/tänkbar värderingsfaktor –	Nivå av kunskap som kan/bör uppnås efter FS, PLU och DETU
Rn	Arbetsmiljö		låga halter			
Bakterier	Isolering, kapsel Födröjning, berg					
Kolloider	Födröjning, berg					
O ₂						
He-4						
Spårmetaller övriga						