

**R-02-44**

# **Övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret i KBS-3-systemet**

Svensk Kärnbränslehantering AB

Oktober 2002

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co  
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00  
+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19  
+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-02-44

# **Övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret i KBS-3-systemet**

Svensk Kärnbränslehantering AB

Oktober 2002

# Förord

Detta dokument är en första version av övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret i KBS-3-systemet. Arbetet med dokumentet påbörjades under 2001. Fram till dess fanns konstruktionsunderlag i flera olika dokument och arbetet med att utforma djupförvaret bestod huvudsakligen av forskning och utveckling. Huvudsyftet med rapporten har varit att, inför det arbete med projektering och konstruktion som inleddes parallellt med platsundersökningarna, sammanställa befintligt konstruktionsunderlag i ett dokument.

Målsättningen har varit var att ge en fullständig kravbild på en övergripande nivå. Tanken är att projektören/konstruktören ska kunna använda dokumentet för att kontrollera att samtliga övergripande krav övervägts i det fortsatta projekterings/konstruktionsarbetet. Myndigheter ska även kunna använda dokumentet för att följa hur SKB tänkt omsätta lagens krav i en faktiskt utformning av djupförvaret.

Rapporten bygger huvudsakligen på material som officiellt granskats av myndigheterna – FUD-program, säkerhetsanalysen SR 97 samt program för platsundersökningar. Många av SKB:s experter har vid möten, genom granskning och informella diskussioner bidragit till rapporten. Arbetet med att sammanställa och strukturera informationen har dock till allra största delen genomförts av projektledaren. Den genomgripande grundliga granskning konstruktionsförutsättningarna kräver planeras ske först då projektörer och konstruktörer börjar använda rapporten som ett underlag för sitt arbete.

Det har redan nu kunnat konstateras att informationen är svårtillgänglig i rapportform. Ett första steg med att utveckla och granska konstruktionsförutsättningarna är därför att under 2003 överföra de övergripande konstruktionsförutsättningarna i databasform. Databasen kommer successivt att uppdateras.



Lena Morén  
Projektledare  
Avdelningen för Säkerhet och Teknik

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	11
<b>2</b>	<b>Använt kärnbränsle</b>	25
<b>3</b>	<b>Styrande regelverk</b>	31
<b>4</b>	<b>Övriga övergripande förutsättningar och krav</b>	41
<b>5</b>	<b>Djupförvaret</b>	45
<b>6</b>	<b>Kapsel</b>	51
<b>7</b>	<b>Buffert</b>	75
<b>8</b>	<b>Återfyllning</b>	103
<b>9</b>	<b>Berganläggningen</b>	127
<b>10</b>	<b>Deponeringstunnlar och deponeringshål</b>	163
<b>11</b>	<b>Övriga bergrum samt undersökningsborrhål</b>	181
<b>12</b>	<b>Pluggar i deponeringstunnlar</b>	193

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	11
1.1	Bakgrund och syfte	11
1.2	Definitioner och metod	11
1.3	Förutsättningar och avgränsningar	14
1.4	Detaljerat konstruktions- och projekteringsunderlag	18
1.4.1	Kapsel	21
1.4.2	Buffert och återfyllning	22
1.4.3	Berganläggning	23
<b>2</b>	<b>Använt kärnbränsle</b>	25
2.1	Påverkan på utformningen av djupförvaret	25
2.1.1	Konstruktionsbestämmande parametrar	26
2.1.2	Djupförvaret	26
2.1.3	Kapsel	27
2.2	Dimensionerande processer i bränslet	28
2.2.1	Strålrelaterade processer	28
2.2.2	Termiska processer	29
2.2.3	Mekaniska processer	30
2.2.4	Kemiska processer	30

<b>3</b>	<b>Styrande regelverk</b>	31
3.1	Svensk lagstiftning	32
3.1.1	Säkerhet och strålskydd	32
3.1.2	Miljö	34
3.1.3	Byggande och drift	34
3.2	Internationella överenskommelser	36
3.3	Sammantällning av lagar och internationella överenskommelser	37
<b>4</b>	<b>Övriga övergripande förutsättningar och krav</b>	41
4.1	Ägarnas önskemål	41
4.2	Kopplingar till övriga anläggningar i KBS-3-systemet	42
4.3	Sammanställning av övriga övergripande förutsättningar och krav	43
<b>5</b>	<b>Djupförvaret</b>	45
5.1	Funktionskrav	45
5.1.1	Säkerhet och strålskydd	46
5.1.2	Miljö	47
5.1.3	Byggande och drift	47
5.1.4	Internationella överenskommelser	47
5.1.5	Övriga förutsättningar och krav	47
5.2	Samband mellan funktionskrav på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav	48
<b>6</b>	<b>Kapsel</b>	51
6.1	Funktionskrav	51
6.1.1	Säkerhet och strålskydd	52
6.1.2	Miljö	52
6.1.3	Byggande och drift	52
6.1.4	Internationella överenskommelser	52
6.1.5	Övriga förutsättningar och krav	53
6.2	Påverkan på övriga delar i djupförvaret	53
6.2.1	Konstruktionsbestämmande parametrar	54
6.2.2	Buffert	54
6.2.3	Återfyllning	54
6.2.4	Deponeringstunnlar och deponeringshål	54
6.2.5	Övriga bergrum samt undersökningsborrhål	54
6.2.6	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	55
6.3	Dimensionerande situationer vid hantering och drift	55
6.3.1	Normala förhållanden	56
6.3.2	Avikelser från det normala	56
6.3.3	Hantering och drift	57
6.4	Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret	58
6.4.1	Strårelaterade processer	58
6.4.2	Termiska processer	58
6.4.3	Hydrauliska processer	59
6.4.4	Mekaniska processer	59
6.4.5	Kemiska processer	60
6.5	Dimensioneringsförutsättningar	62
6.5.1	Utformning	62
6.5.2	Utförande	65
6.6	Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung	66

<b>7</b>	<b>Buffert</b>	75
7.1	Funktionskrav	75
7.1.1	Säkerhet och strålskydd	76
7.1.2	Miljö	76
7.1.3	Byggande och drift	76
7.1.4	Internationella överenskommelser	77
7.1.5	Övriga förutsättningar och krav	77
7.2	Påverkan på övriga delar i djupförvaret	77
7.2.1	Konstruktionsbestämmande parametrar	78
7.2.2	Kapsel	78
7.2.3	Deponeringstunnlar och deponeringshål	78
7.2.4	Återfyllning	78
7.2.5	Övriga bergtrum samt undersökningsborrhål	78
7.2.6	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	79
7.3	Dimensionerande situationer vid hantering och drift	79
7.3.1	Normala förhållanden	80
7.3.2	Missöden och andra avvikelser från det normala	80
7.3.3	Hantering och drift	80
7.4	Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret	82
7.4.1	Strålningsrelaterade processer	82
7.4.2	Termiska processer	83
7.4.3	Hydrauliska processer	83
7.4.4	Mekaniska processer	84
7.4.5	Kemiska processer	85
7.4.6	Radionuklidtransport	88
7.5	Dimensioneringsförutsättningar	89
7.5.1	Utformning	89
7.5.2	Utförande	92
7.6	Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung	92
<b>8</b>	<b>Återfyllning</b>	103
8.1	Funktionskrav	103
8.1.1	Säkerhet och strålskydd	104
8.1.2	Miljö	104
8.1.3	Byggande och drift	104
8.1.4	Internationella överenskommelser	104
8.1.5	Övriga förutsättningar och krav	104
8.2	Påverkan på övriga delar i djupförvaret	105
8.2.1	Konstruktionsbestämmande parametrar	105
8.2.2	Kapsel	105
8.2.3	Buffert	106
8.2.4	Deponeringstunnlar och deponeringshål	106
8.2.5	Övriga bergtrum samt undersökningsborrhål	106
8.2.6	Pluggar i deponeringstunnlar	106
8.2.7	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	106
8.3	Dimensionerande situationer under byggande och drift	107
8.3.1	Normala förhållanden	107
8.3.2	Missöden och andra avvikelser från det normala	108
8.3.3	Hantering och drift	108
8.4	Dimensionerande processer efter förvaret förslutits	109
8.4.1	Strålrelaterade processer	109
8.4.2	Termiska processer	110
8.4.3	Hydrauliska processer	110

8.4.4	Mekaniska processer	111
8.4.5	Kemiska processer	112
8.4.6	Radionuklidtransport	114
8.5	Dimensioneringsförutsättningar	115
8.5.1	Utformning	115
8.5.2	Utförande	117
8.6	Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung	118
<b>9</b>	<b>Berganläggningen</b>	127
9.1	Funktionskrav	127
9.1.1	Säkerhet och strålskydd	128
9.1.2	Miljö	129
9.1.3	Byggande och drift	129
9.1.4	Internationella överenskommelser	129
9.1.5	Övriga förutsättningar och krav	129
9.2	Koppling till förvarsplatsen samt kring- och serviceanläggningar	130
9.2.1	Förvarsplatsen	131
9.2.2	Utrustning för byggande och drift samt kring- och serviceanläggningar ovan jord	133
9.3	Dimensionerande situationer vid byggande och drift	133
9.3.1	Normala förhållanden	134
9.3.2	Missöden och avvikelser från det planerade	135
9.3.3	Bygge och drift av berganläggningen	135
9.4	Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret	136
9.4.1	Strålrelaterade processer	137
9.4.2	Termiska processer	137
9.4.3	Hydrauliska processer	137
9.4.4	Mekaniska processer	138
9.4.5	Kemiska processer	140
9.4.6	Radionuklidtransport	143
9.5	Dimensioneringsförutsättningar	144
9.5.1	Utformning	144
9.5.2	Utförande	148
9.6	Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung	148
<b>10</b>	<b>Deponeringstunnlar och deponeringshål</b>	163
10.1	Funktionskrav	163
10.1.1	Säkerhet och strålskydd	164
10.1.2	Miljö	164
10.1.3	Byggande och drift	164
10.1.4	Internationella överenskommelser	164
10.1.5	Övriga förutsättningar och krav	164
10.2	Påverkan på övriga delar i djupförvaret	164
10.2.1	Konstruktionsbestämmande parametrar	165
10.2.2	Kapsel	165
10.2.3	Buffert	165
10.2.4	Återfyllning	166
10.2.5	Övriga bergrum samt undersökningsborrhål	166
10.2.6	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	166
10.3	Dimensionerande situationer under byggande och drift	167
10.3.1	Normala förhållanden	167
10.3.2	Missöden och avvikelser från det normala	168

10.3.3	Bygge och drift av deponeringstunnlar och deponeringshål	168
10.4	Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret	169
10.4.1	Termiska processer	170
10.4.2	Hydrauliska processer	170
10.4.3	Mekaniska processer	170
10.4.4	Kemiska processer	171
10.4.5	Radionuklidtransport	171
10.5	Dimensioneringsförutsättningar	172
10.5.1	Utformning	172
10.5.2	Utförande	174
10.6	Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung	175
<b>11</b>	<b>Övriga bergrum samt undersökningsborrhål</b>	<b>181</b>
11.1	Funktionskrav	181
11.1.1	Säkerhet och strålskydd	182
11.1.2	Miljö	182
11.1.3	Byggande och drift	182
11.1.4	Internationella överenskommelser	182
11.1.5	Övriga förutsättningar och krav	182
11.2	Påverkan på övriga delar i djupförvaret	182
11.2.1	Konstruktionsbestämmande parametrar	183
11.2.2	Kapsel	183
11.2.3	Buffert	183
11.2.4	Återfyllning	183
11.2.5	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	183
11.3	Dimensionerande situationer under byggande och drift	184
11.3.1	Normala förhållanden	184
11.3.2	Missöden och avvikelser från det normala	185
11.3.3	Bygge och drift av övriga bergrum samt undersökningsborrhål	185
11.4	Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret	186
11.5	Dimensioneringsförutsättningar	186
11.5.1	Utformning	186
11.5.2	Utförande	188
11.6	Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung	188
<b>12</b>	<b>Pluggar i deponeringstunnlar</b>	<b>193</b>
12.1	Funktionskrav	193
12.2	Påverkan på övriga delar i djupförvaret	193
12.2.1	Konstruktionsbestämnade parametrar	193
12.2.2	Återfyllning	193
12.2.3	Deponeringstunnlar	193
12.3	Dimensionerande situationer under byggande och drift	194
12.3.1	Normala förhållanden	194
12.3.2	Bygge och drift	194
12.4	Dimensionerande processer efter förvaret förslutits	194
12.5	Dimensioneringsförutsättningar	194
12.5.1	Utformning	194
12.5.2	Utförande	194
12.6	Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung	194
	<b>Referenser</b>	<b>197</b>



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund och syfte

SKB:s huvudlinje för omhändertagande av använt kärnbränsle är deponering i den svenska berggrunden enligt KBS-3-metoden. Metoden beskrevs först i rapporten Kärnbränslecykelns slutsteg, Använt kärnbränsle – KBS-3 /SKBF/KBS, 1983/. Sedan KBS-3-rapporten presenterades har forskning kring metodens säkerhet bedrivits, och program för lokalisering, utveckling och demonstration tagits fram /SKB FUD-program, SKB 1986, 1989, 1992, 1994, 1995, 1998a, 2001a/.

KBS-3-systemet omfattar utrustning och anläggningar för transporter av använt kärnbränsle samt inkapslat använt kärnbränsle, mellanlager, kapsel-fabrik, inkapslingsanläggning och djupförvar. *Konstruktionsförutsättningarna* i detta dokument avser djupförvaret i KBS-3-systemet och har sammanställas inför arbetet med att konstruera, utforma och slutligen bygga förvaret. Med konstruktionsförutsättningar avses krav och förhållanden som styr utformningen av djupförvaret och dess delar. Avsikten med dokumentet är att:

- På ett övergripande plan sammanställa befintligt konstruktionsunderlag i ett dokument.
- Redovisa de lagar som ställer krav på utformningen av djupförvaret.
- Visa hur lagkraven har brutits ned till funktionskrav och dimensioneringsförutsättningar för djupförvaret och dess delar.
- Redovisa hur förvarsplatsens egenskaper påverkar utformningen av berganläggningen, samt hur utformningen av djupförvarets olika delar påverkar varandra.
- Redovisa sambandet mellan analyser av djupförvarets funktion och säkerhet och dess utformning.
- Fungera som ett övergripande underlag för att ta fram detaljerade konstruktions- och projekteringsunderlag för djupförvaret och dess delar.

Forskning, utveckling och demonstration, platsundersökningar och genomförande av säkerhetsanalyser ger nya kunskaper som kan komma att påverka konstruktionsförutsättningarna. Redovisningen i detta dokument är en första version av övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret. Konstruktionsförutsättningarna kommer att läggas in i en databas, där också framtida ändringar och tillägg kommer att göras.

## 1.2 Definitioner och metod

### *Definitioner*

De begrepp som introduceras i rapporten och deras definitioner är sammanställda i tabell 1-1.

**Tabell 1-1. Begrepp och deras definitioner.**

Begrepp	Definition
Lagkrav	Krav baserade på text ur: – svensk lag eller därtill kopplade förordningar och föreskrifter, – internationella överenskommelser som Sverige undertecknat.
Ägarkrav	Krav på teknisk genomförbarhet, säkerhet och effektivitet samt andra övergripande krav som påverkar utformningen av djupförvaret men som inte är lagkrav.
Funktionskrav	Krav som uttrycker önskad funktion, förmåga, utformning, egenskap eller kvalitet.
Konstruktionsbestämmande parametrar	Egenskap hos djupförvaret eller någon av dess delar som påverkar utformningen av utrustning kring- och serviceanläggningar och/eller andra delar i djupförvaret.
Dimensionerande situationer	Situationer, händelser eller processer som inträffar, eller kan inträffa, under byggande och drift och som påverkar utformningen av djupförvarets olika delar.
Dimensionerande processer	Processer som inträffar, eller kan inträffa, efter djupförvaret förslutits och som påverkar utformningen av djupförvarets olika delar.
Dimensioneringsförutsättning Utformning	Uttrycker statiska belastningar, deformationer och rörelser, temperaturer, halter av korrosiva ämnen m m som påverkar utformningen av respektive del i djupförvaret.
Dimensioneringsförutsättning Utförande	Förutsättning relaterad till hur projektering, hantering, tillverkning/byggande eller kontroll genomförs.

## Metod

Rapporten inleds med en beskrivning av det använda kärnbränslet och egenskaper hos det som påverkar utformningen av djupförvaret. Därefter följer en sammanställning av lagar, förordningar och internationella överenskommelser med krav som påverkar utformning och byggande av djupförvaret, ur dem formuleras *lagkrav*. I ett separat kapitel redovisas övriga krav som t ex krav på teknisk genomförbarhet och effektiv hantering och uttrycks som *ägarkrav*.

För att kunna ligga till grund för konstruktion, tillverkning och byggande måste *lagkrav* och *ägarkrav* omsättas till mer precisa förutsättningar för utformning och dimensionering. I vissa fall kan precisa förutsättningar uttryckas direkt från lagkrav och/eller ägarkrav, men i de flesta fall omsätts de successivt via *funktionskrav* och/eller övergripande *dimensioneringsförutsättningar för utformning* och *utförande* till precisa, ofta kvantitativa och verifierbara, krav. På så sätt uppstår en hierarki av allt mer detaljerade krav och förutsättningar som härletts ur varandra. Mer detaljerade krav/förutsättningar måste alltid kunna kopplas till ett krav eller en förutsättning från någon av de högre nivåerna, i annat fall är det överflödigt. På motsvarande sätt måste varje krav från en hög nivå följas upp av mer detaljerade krav/förutsättningar, i annat fall påverkar de inte utformningen av djupförvaret. Kraven har delats in i;

- Säkerhet och strålskydd
- Miljö
- Byggande och drift
- Internationella överenskommelser
- Övriga förutsättningar och krav

Övriga förutsättningar och krav utgörs i denna version av övergripande konstruktionsförutsättningar av *ägarkrav*. I kommande versioner kan andra typer av övergripande krav tillkomma t ex krav från berörda kommuner.

De *lagkrav* och *ägarkrav* som anges i detta dokument är sådana som bedöms påverka utformningen av djupförvaret eller någon av dess delar. De flesta lag- och ägarkraven omsätts till *funktionskrav* på djupförvaret eller någon av dess delar. Ett funktionskrav på djupförvaret följs alltid upp av ett mer detaljerat funktionskrav på någon av djupförvarets delar. De funktionskrav på djupförvaret och dess delar som redovisas i denna rapport utgörs till största delen av funktionskrav redovisade i FUD-program 98 och FUD-program 2001 /SKB, 1998b, 2001a/.

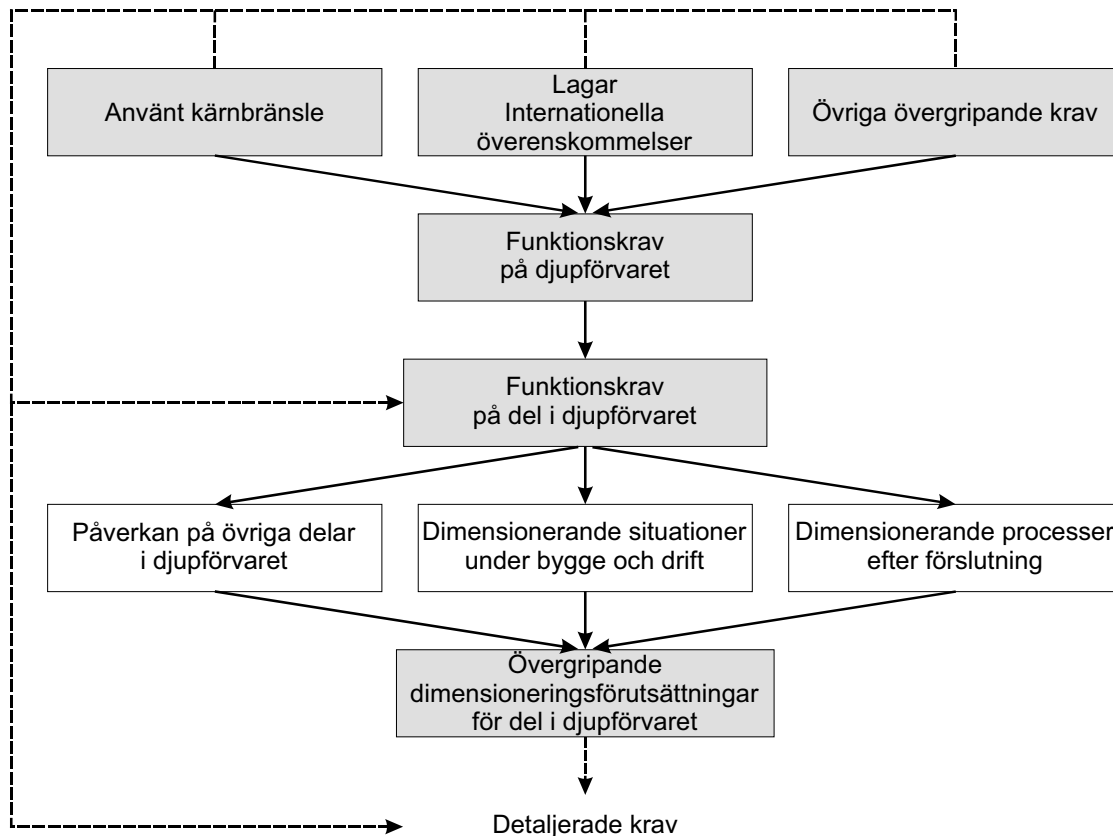
Utformningen av en viss del i djupförvaret kan påverka utformningen av andra delar. Vidare påverkar utformningen av djupförvaret och dess delar konstruktionsförutsättningarna för kring- och serviceanläggningar samt utrustning som används under byggande och drift. De egenskaper hos djupförvarets delar som påverkar utformningen av andra delar, kring- serviceanläggningar m m benämns *konstruktionsbestämmande parametrar*. Hur parametrarna påverkar utformningen redovisas för varje förvarsdel. För berganläggningen redovisas påverkan på utformningen av kring- och serviceanläggningar.

Djupförvaret och dess delar ska tillsammans kunna uppfylla alla ställda krav. KBS-3-förvaret är utformat baserat på det primära kravet att det ska isolera det använda kärnbränslet från människa och miljö. Om isoleringen av någon anledning skulle brytas ska förvaret i andra hand ha en fördröjande funktion. Dessa krav, liksom övriga funktionskrav, ska kunna uppfyllas givet de olika påfrestningar djupförvaret och dess delar kan tänkas utsättas för under byggande och drift samt efter förslutning.

Påfrestningar relaterade till situationer, händelser och processer som inträffar under byggande och drift och som påverkar utformningen har benämnts *dimensionerande situationer*. De processer som kan påverka förvarets långsiktiga funktion och säkerhet sammanställs inför varje säkerhetsanalys. Processer som påverkar utformningen av djupförvaret och dess delar har benämnts *dimensionerande processer*. Dimensionerande situationer och processer anges för varje del i djupförvaret. Baserat på de funktionskrav som formulerats utifrån lagtexter och ägarnas önskemål, och en genomgång av de påfrestningar som uppträder i samband med de olika dimensionerande situationerna och processerna anges *övergripande dimensioneringsförutsättningar*.

Dimensioneringsförutsättningarna för utformning uttrycker statiska belastningar, deformationer och rörelser, temperaturer, halter av korrosiva ämnen m m som påverkar utformningen av respektive del i djupförvaret. Dimensioneringsförutsättningarna för utförande uttrycker krav på hantering, tillverkning/byggande och kontroll.

De övergripande konstruktionsförutsättningarna utgörs således av; det använda bränslets egenskaper, lagar, föreskrifter och internationella överenskommelser, funktionskrav på djupförvaret och dess delar samt övergripande dimensioneringsförutsättningar för utformning och utförande. Strukturen för konstruktionsförutsättningarna och identifieringen av dimensioneringsförutsättningar illustreras i figur 1-1.

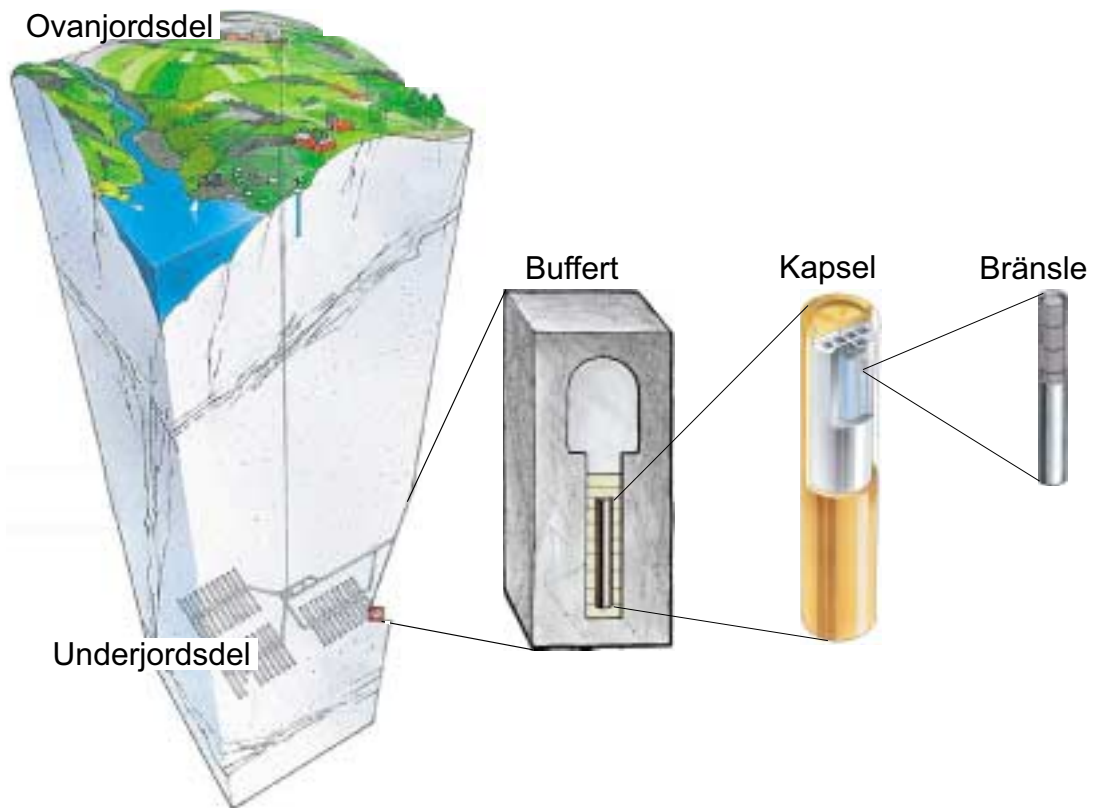


*Figur 1-1. Struktur för redovisningen av konstruktionsförutsättningar för djupförvaret och dess delar. Gråmarkerade fält utgör konstruktionsförutsättningar.*

### 1.3 Förutsättningar och avgränsningar

Utgångspunkten för konstruktionsförutsättningarna är samhällets krav på säkerhet och skydd av människor och miljö såsom de uttrycks i svensk lagstiftning med förordningar och internationella överenskommelser. Det använda bränslets egenskaper, teknisk genomförbarhet och ägarnas önskemål är andra faktorer som påverkar konstruktionsförutsättningarna. Konstruktionsförutsättningarna utgår från att geologisk deponering i kristallin berggrund enligt KBS-3-metoden på en övergripande nivå uppfyller de krav lagen ställer på en strategi och metod för slutförvaring av använt kärnbränsle.

Konstruktionsförutsättningarna avser ett djupförvar utformat enligt KBS-3-metoden. Det använda bränslet mellanlagras och kapslas in i täta kapslar innan det transporteras till djupförvaret. Kapslarna deponeras vertikalt i deponeringshål på 400–700 meters djup i berggrunden och omges av en buffert, se figur 1-2.



*Figur 1-2. KBS-3-förvar för använt kärnbränsle.*

KBS-3-metoden omfattar även varianter med horisontell deponering (KBS-3H). Konstruktionsförutsättningarna påverkas av om deponeringen är vertikal eller horisontell och detta dokument omfattar enbart vertikal deponering (KBS-3V).

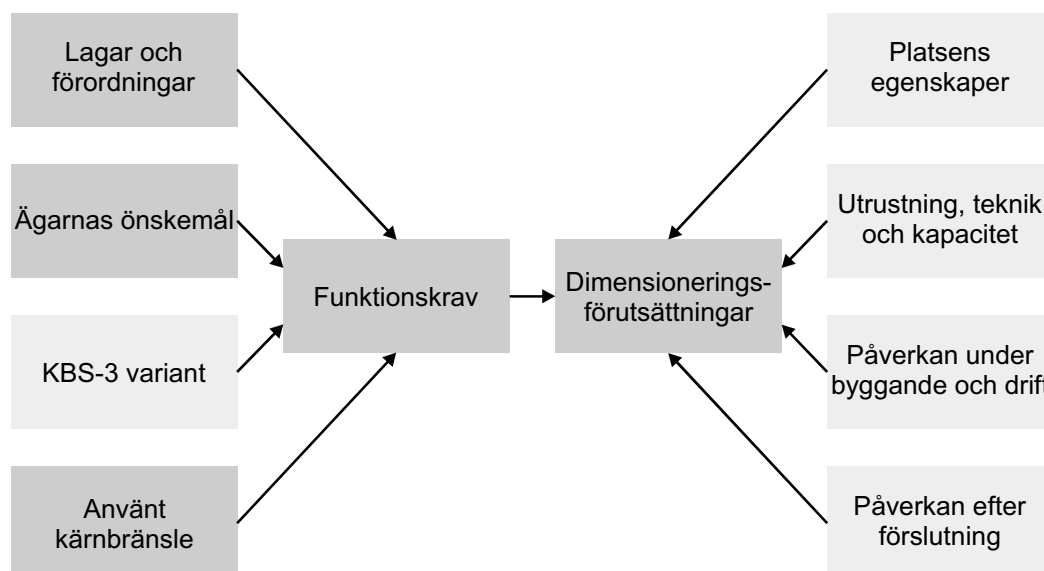
Konstruktionsförutsättningarna utgår från att kapseln består av en lastbärande insats av järn eller stål och en yttre korrosionsbeständig kopparkapsel. Bufferten består av lera som innehåller svällande smektitmineral. Deponeringshålen borrar från golvet av deponeringstunnlar som utgår från en central större tunnel. Då deponeringen i en deponeringstunnel är klar, återfylls den och dess mynning pluggas. I djupförvaret ingår även olika typer av bergrum avsedda för transport, ventilation, elförsörjning och övrig service. Bergrummen återfylls och stängs allt eftersom deponeringen är klar.

Konstruktionsförutsättningarna fokuserar på krav relaterade till den långsiktiga säkerheten efter förslutning. Krav relaterade till byggande och drift beaktas på en övergripande nivå. Konstruktionsförutsättningarna omfattar:

- Kapsel
- Buffert
- Återfyllning
- Berganläggning med;
  - deponeringstunnlar och deponeringshål
  - övriga bergrum samt undersökningsborrhål (ramp, tunnlar, schakt, hallar, bergsilo och borrhål)
  - pluggar i deponeringstunnlar

Konstruktionsförutsättningar för service- och kringanläggningar ovan jord samt utrustning som krävs vid byggande och drift under jord ingår inte i detta dokument.

Sambandet mellan konstruktionsförutsättningarna och de faktorer som påverkar dem redovisas i figur 1-3 och kommenteras i anslutning till figuren. Konstruktionsförutsättningarna bygger på dagens kunskap och de kan komma att ändras om ny information tillkommer. Tanken är dock att de övergripande konstruktionsförutsättningar som redovisas i detta dokument så långt möjligt ska vara oberoende av teknikutveckling samt information från plats- och detaljundersökningar. Den utveckling, demonstration och test av teknik för tillverkning, hantering och kontroll som sker bl a i kapsel- och Äspölaboratoriet förväntas leda till att de övergripande konstruktionsförutsättningar som redovisas här kan detaljeras och kvantifieras. Även insamling och tolkning av data från plats- och detaljundersökningar innebär att allt mer detaljerade dimensioneringsförutsättningar successivt kan tas fram. Dessa successivt mer detaljerade förutsättningar redovisas i andra dokument.



**Figur 1-3.** Konstruktionsförutsättningar (mörkt grått) och faktorer (ljus grått) som påverkar dem.

## **Lagar och förordningar**

Gällande lagar och förordningar, samt internationella avtal som Sverige undertecknat och ratificerat måste följas. Denna redovisning grundar sig på de lagar, förordningar m m som gällde i juni 2002.

## **Ägarnas önskemål**

Med ägarnas önskemål avses krav på tillförlitlighet, effektivitet och flexibilitet som påverkar utformningen av djupförvaret.

## **KBS-3-variant**

Krav på berganläggningens utformning, buffert och återfyllning påverkas av vald variant av KBS-3-metoden. Denna redovisning utgår från KBS-3-vertikal (KBS-3V).

## **Använt kärnbränsle**

Förvaret ska kunna ta emot det använda bränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet. Denna redovisning utgår från Plan 2001 med 40 års drift av reaktorerna /SKB, 2001b/.

## **Platsens egenskaper**

Utformningen av djupförvarets berganläggning bestäms utifrån konstruktionsförutsättningarna och förhållandena på den aktuella platsen. Vid platsundersökningar sammanställs data om de parametrar som påverkar anläggningens säkerhet, byggbarhet och miljöpåverkan. I de övergripande konstruktionsförutsättningarna (detta dokument) identifieras de parametrar som påverkar utformningen av berganläggningen och kopplingen mellan dem och utformningen av berganläggningen redovisas. Konstruktionsförutsättningarna utgår från "Parametrar av betydelse att bestämma vid geovetenskaplig platsundersökning" /Andersson m fl, 1997/ "Vilka krav ställer djupförvaret på berget?" /Andersson m fl, 2000/, "Platsundersökningar. Undersökningsmetoder och generellt genomförandeprogram" /SKB, 2001c/ samt "Variabler i olika ekosystem, tänkbara att beskriva vid platsundersökning för ett djupförvar" /Lindborg och Kautsky, 2000/. Den detaljerade anpassningen av anläggningen till faktiskt registrerad information om en aktuell plats redovisas i andra dokument.

## **Utrustning, teknik och kapacitet**

Utformningen av berganläggningen påverkas av vald teknik för byggande och drift samt av dimensionerna på den utrustning som de olika utrymmena är avsedda för. Utformningen av tillträdet till förvaret samt transporttunnlar påverkas även av önskad transportkapacitet. Här identifieras endast de funktioner de olika berggrummen ska rymma, kvantifieringar av dimensioner etc redovisas på annan plats. Redovisningen utgår från "Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden" /SKB, 2000/ samt "Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E" /SKB, 2001d, 2002a,b/.

## **Påfrestningar under byggande och drift**

Under byggande och drift kommer djupförvaret och dess delar att utsättas för olika påfrestningar t ex i samband med hantering och lagring. De situationer som kan påverka utformningen identifieras. Krav som är relaterade till byggande, tillverkning hantering och drift av anläggningen men inte påverkar utformningen av djupförvaret ingår ej.

## **Påfrestningar efter förslutning**

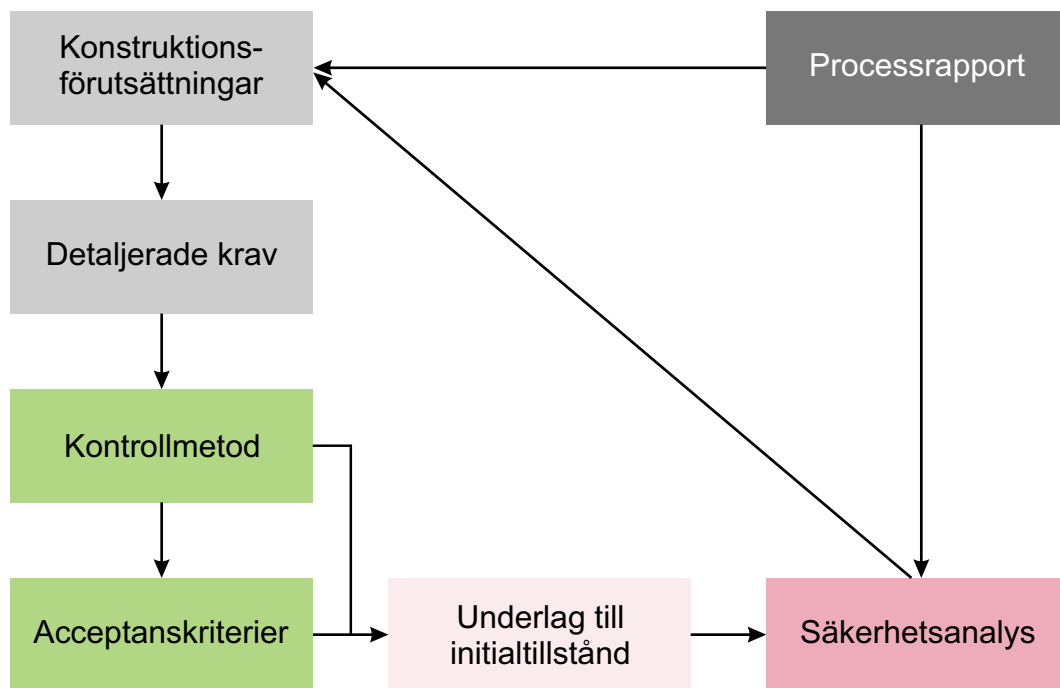
Krav på långsiktig säkerhet efter förslutning utgör grunden för utformningen av djupförvaret och dess delar. Dessa krav gäller för djupförvaret som helhet. Om – och hur väl – djupförvaret uppfyller kraven utreds i säkerhetsanalyser. Varje säkerhetsanalys utgår från en bestämd utformning av djupförvaret. Vidare baseras säkerhetsanalysen på en beskrivning av förvarsplatsen. Kunskapen om de processer som kan tänkas påverka djupförvarets säkerhet sammanställs inför varje säkerhetsanalys. Baserat på denna sammanställning beskrivs sedan förvarets utveckling i en uppsättning scenarier. Djupförvaret ska uppfylla kraven givet dessa scenarier. Säkerhetsanalysen, och fördjupad kunskap om de processer som påverkar förvarets utveckling i tiden, ger underlag för att härleda konstruktionsförutsättningar för djupförvaret och dess delar, t ex genom att kvantifiera de påfrestningar förvaret utsätts för i de olika scenarierna. Sammanställningen av konstruktionsförutsättningar i denna rapport utgår vad gäller den långsiktiga säkerheten från ”SR 97” /SKB, 1999a/ och den sammanställning av kunskapsläget som ingår som en underlagsrapport till säkerhetsanalysen ”Processrapporten” /SKB, 1999b/.

## **1.4 Detaljerat konstruktions- och projekteringsunderlag**

I detta dokument sammanställs övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret, de ger allmänna riktlinjer för följande konstruktionsarbete. Konstruktionsförutsättningarna i detta dokument behöver bearbetas vidare för att nå fram till det detaljerade underlag som krävs för att inleda tillverkning och byggande. Konstruktionsarbetet sker i flera steg där belastningar, dimensioner m m successivt kvantifieras. I samband med att underlag för att inleda tillverkning och byggande finns kan även acceptanskriterier och metoder för acceptansprövning fastställas.

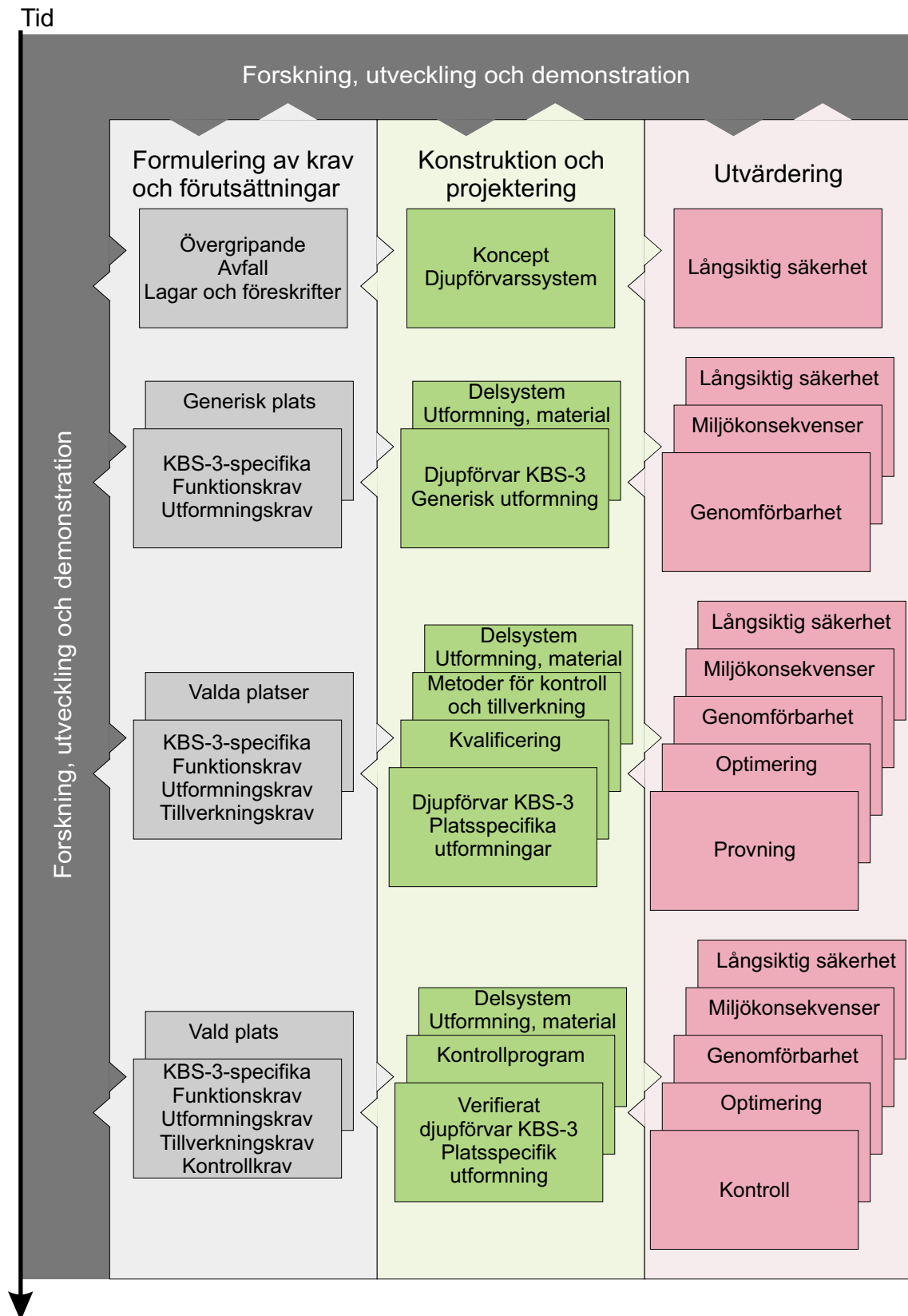
Utgångspunkten för de övergripande konstruktionsförutsättningarna (detta dokument) är djupförvarets primära syfte och funktion, att hålla använt kärnbränsle isolerat från människa och miljö under lång tid. Kraven på långsiktig säkerhet är ställda på djupförvaret som helhet och gäller ett förslutet förvar. Huruvida kraven är uppfyllda utreds i säkerhetsanalyser. Det finns inga möjligheter att genom mätningar eller tester avgöra om kraven uppfylls. Däremot kan säkerhetsanalyser ge underlag för formulering av precisa krav som kan kontrolleras t ex krav på materialsammansättning, dimensioner m m. En principiell bild av sambandet mellan övergripande konstruktionsförutsättningar, detaljerat konstruktionsunderlag och säkerhetsanalys redovisas i figur 1-4. Utformningen av djupförvaret och dess delar styrs även av krav relaterade till byggande och drift.





**Figur 1-4.** Samband mellan övergripande konstruktionsförutsättningar (detta dokument), detaljerat konstruktionsunderlag, dvs detaljerade krav, kontrollmetoder och acceptanskriterier, och säkerhetsanalys.

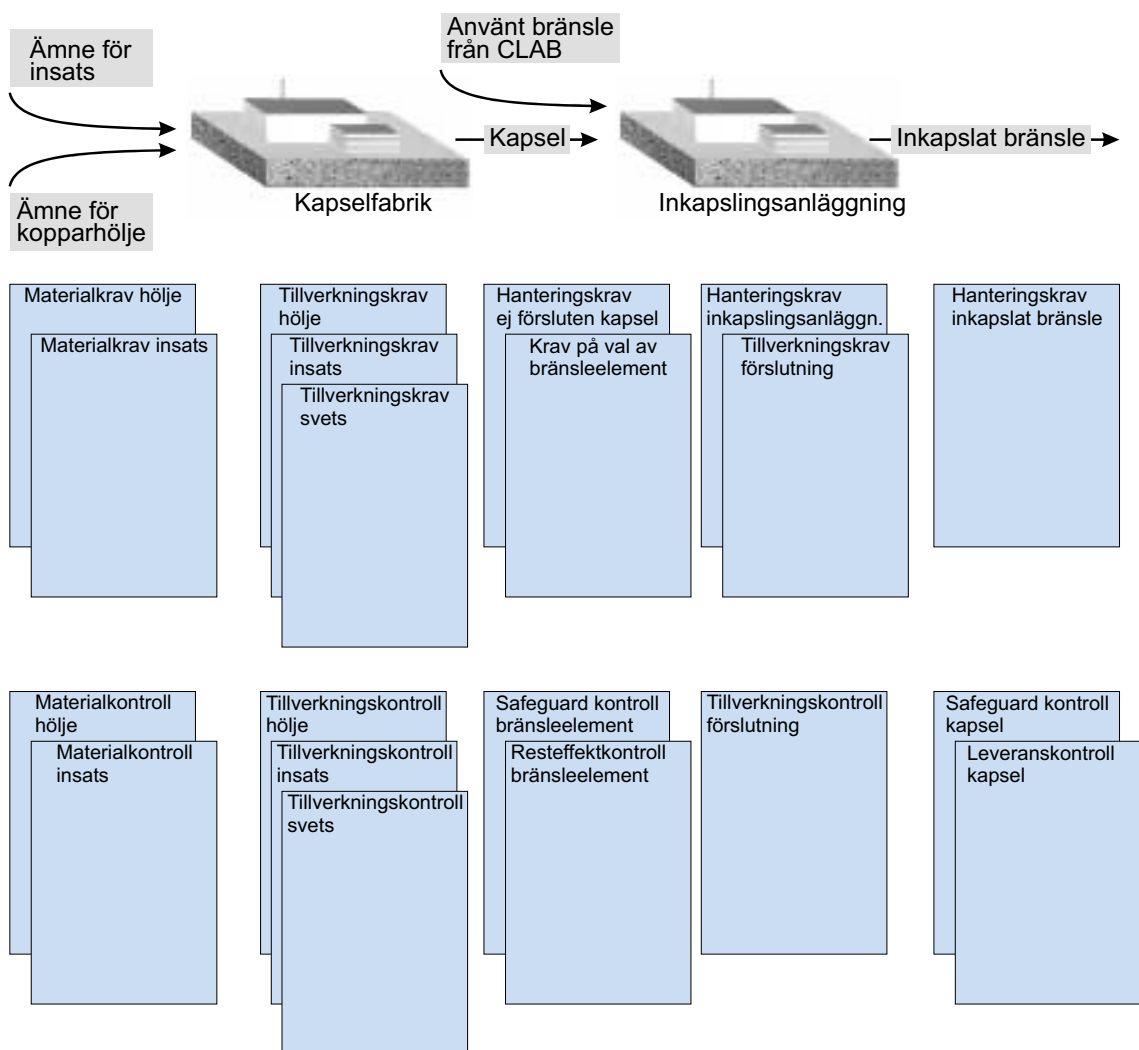
Arbetsgången i den stegvisa utformningen och konstruktionen av djupförvaret och dess delar, samt olika typer av dokument och analyser som ingår i de olika stegen illustreras översiktligt i figur 1-5. Det stegvisa arbetet stöds av resultat från forskning, utveckling och demonstration. De olika aktiviteterna formulering av förutsättningar och krav, konstruktion och projektering, utvärdering samt forskning och utveckling pågår parallellt och integrerat, dvs resultat från respektive aktivitet påverkar arbetet inom de andra aktiviteterna. Innehåll och benämningar, liksom tillvägagångssätt att ta fram dokumenten och genomföra analyser skiljer sig mellan de olika förvarsdelarna. I det följande ges en överblick över det konstruktionsunderlag som krävs för de olika delarna i djupförvaret.



Figur 1-5. Stegvis utformning och utvärdering av djupförvaret och dess delar.

## 1.4.1 Kapsel

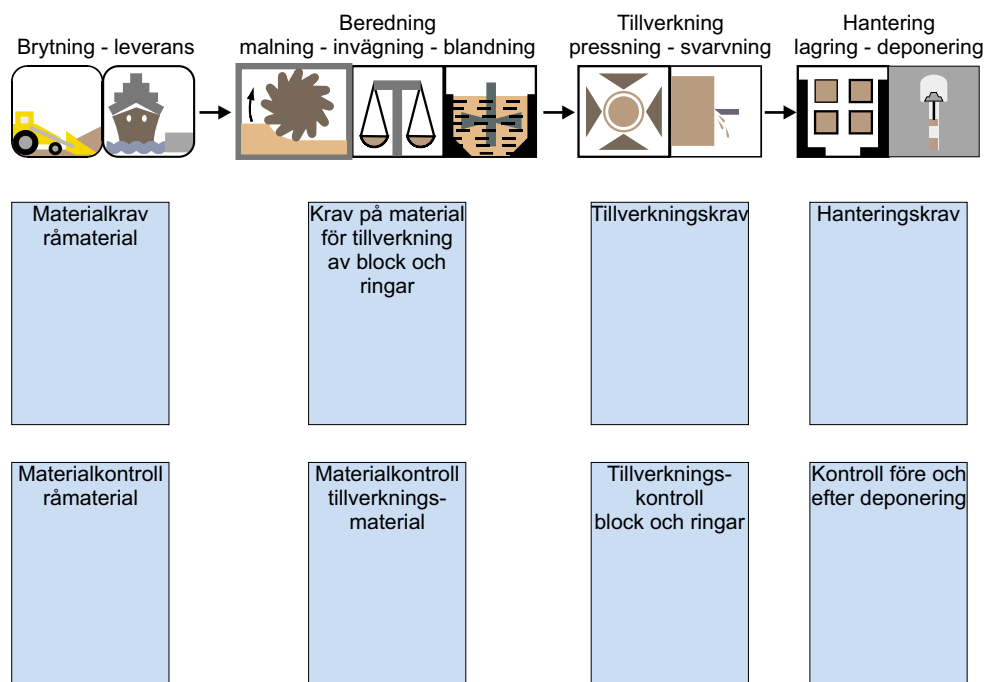
Arbetet med att ta fram detaljerade, kvantitativa krav på kapseln sker med utgångspunkt från de lagar, internationella överenskommelser, funktionskrav samt dimensioneringsförutsättningar som redovisas i de övergripande konstruktionsförutsättningarna, dvs detta dokument, och uppdateringar av det. Krav på material, dimensioner, tillverkning, förslutning och hantering specificeras och kvantifieras med utgångspunkt från resultat av forskning, utveckling och demonstration. Parallellt med detta utvecklingsarbete tas ett kvalitetssäkringssystem fram. Inom ramen för det ställs krav på hur de specificerade kvantitativa kraven ska uppfyllas och redovisas. Kvalitetssäkringssystemet omfattar bl a rutiner och kvalitetsplaner samt krav på testmetoder och till dem hörande acceptanskriterier. De metoder som ska användas för tillverkning, förslutning och kontroll *kvalificeras*. Kvalificering innebär en verifiering av att specificerade krav kan uppfyllas. En sammanställning av krav på tillverkning och kontroll av kapseln redovisas i figur 1-6.



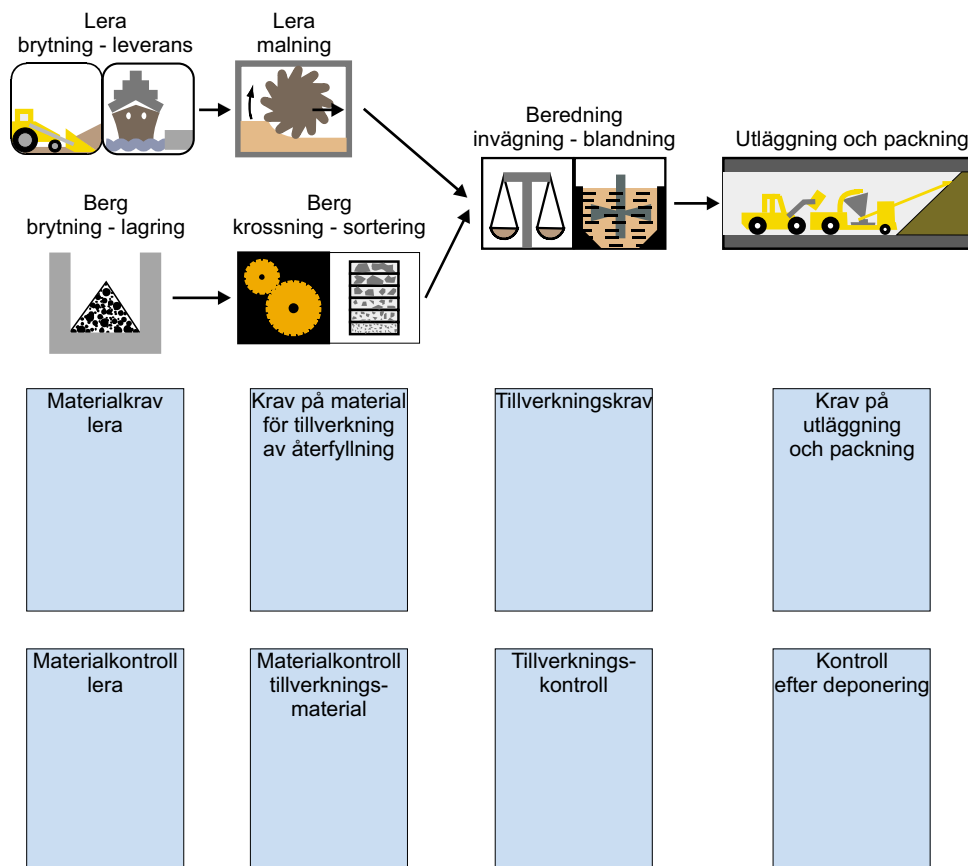
Figur 1-6. Översikt över kravdokumentation för tillverkning och kontroll av kapseln.

## 1.4.2 Buffert och återfyllning

Arbetet med att ta fram detaljerade, kvantitativa krav på buffert och återfyllning sker på motsvarande sätt som för kapseln. Det vill säga utgångspunkten är de funktionskrav samt dimensioneringsförutsättningar som redovisas i detta dokument, och uppdateringar av det. Baserat på det och med utgångspunkt från resultat av forskning, utveckling och demonstration specificeras och kvantifieras krav på material, dimensioner, tillverkning, hantering och lagring. Parallellt med detta utvecklingsarbete tas ett kvalitetssäkringssystem fram. Inom ramen för det ställs krav på hur de specificerade kvantitativa kraven ska uppfyllas och redovisas. Kvalitetssäkringssystemet omfattar bl a rutiner och kvalitetsplaner samt krav på testmetoder och till dem hörande acceptanskriterier. De metoder som ska användas för tillverkning och kontroll *kvalificeras*. Kvalificering innebär en verifiering av att specificerade krav kan uppfyllas. Sammanställningar av krav på tillverkning och kontroll av buffert och återfyllning redovisas i figur 1-7 och figur 1-8.



Figur 1-7. Översikt över kravdokumentation för tillverkning och kontroll av bufferten.



Figur 1-8. Översikt över kravdokumentation för tillverkning och kontroll av återfyllningen.

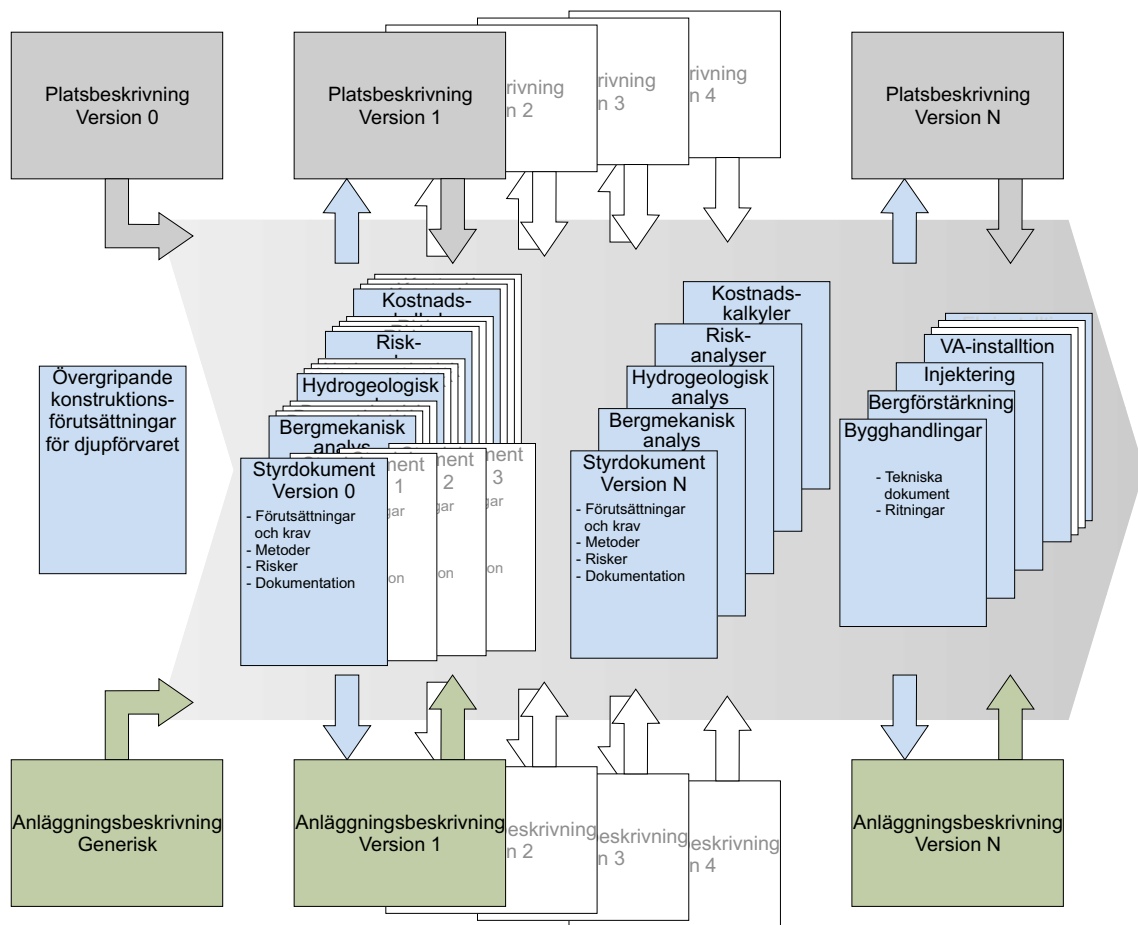
### 1.4.3 Berganläggning

För att djupförvaret ska uppfylla ställda krav ställer anläggningen krav på berget den ska byggas i. Vad gäller den långsiktiga säkerheten består arbetet med att utforma berganläggningen till stora delar av att placera in, bygga och driva anläggningen så att den endast leder till begränsad påverkan på berget. Samtidigt måste berganläggningen vara säker och medföra accepterbar miljöpåverkan under byggande och drift, samt uppfylla ägarnas önskemål.

För att utforma berganläggningen behövs förutom de övergripande konstruktionsförutsättningar som redovisas i detta dokument en *platsbeskrivning* samt en *anläggningsbeskrivning*. I anläggningsbeskrivningen redovisas anläggningens principiella utformning samt de aktiviteter, installationer m m som dess olika delar ska rymma under bygg- och driftskedet.

De övergripande konstruktionsförutsättningarna omsätts successivt, via stegvis framtagna *styrdokument* och underliggande *projekteringsanvisningar*, till *bygghandlingar*. Styrdokument och underliggande projekteringsanvisningar innehåller krav och instruktioner om hur de analyser som krävs ska genomföras. Bygghandlingar inkluderar konkreta tekniska kravspecifikationer för utformning och utförande. I den stegvisa projekteringen redovisas också metoder för analys och beräkningar, risker och kostnader, kontrollmetoder och acceptanskriterier samt krav på hur arbetet ska dokumenteras och granskas. Även dessa redovisningar utvecklas och detaljeras successivt.

Vid platsundersökningar undersöks berget på den tänkta försvarsplatsen från ytan. Undersökningar av berget fortsätter sedan under hela bygg- och drifttiden. Baserat på resultat från platsundersökningar, utredningar och kontroller anpassas successivt berganläggningen till berget så att krav och önskemål kan uppfyllas. Parallellt utvecklas beskrivningar av system och aktiviteter som förekommer under bygg- och driftskedena som även de bidrar till dimensioneringsförutsättningar, t ex alltmer detaljerade utrymmeskrav. Samlade redovisningar av hela anläggningen och de aktiviteter den rymmer presenteras i anläggningsbeskrivningar. Den första anläggningsbeskrivningen innehåller en generell beskrivning av anläggningen, den sista beskriver den slutgiltiga utformningen av anläggningen, däremellan finns de beskrivningar som krävs inför varje nytt steg i projektering och utbyggnad. Projekterings dokument och stegvisa genomförande illustreras i figur 1-9.

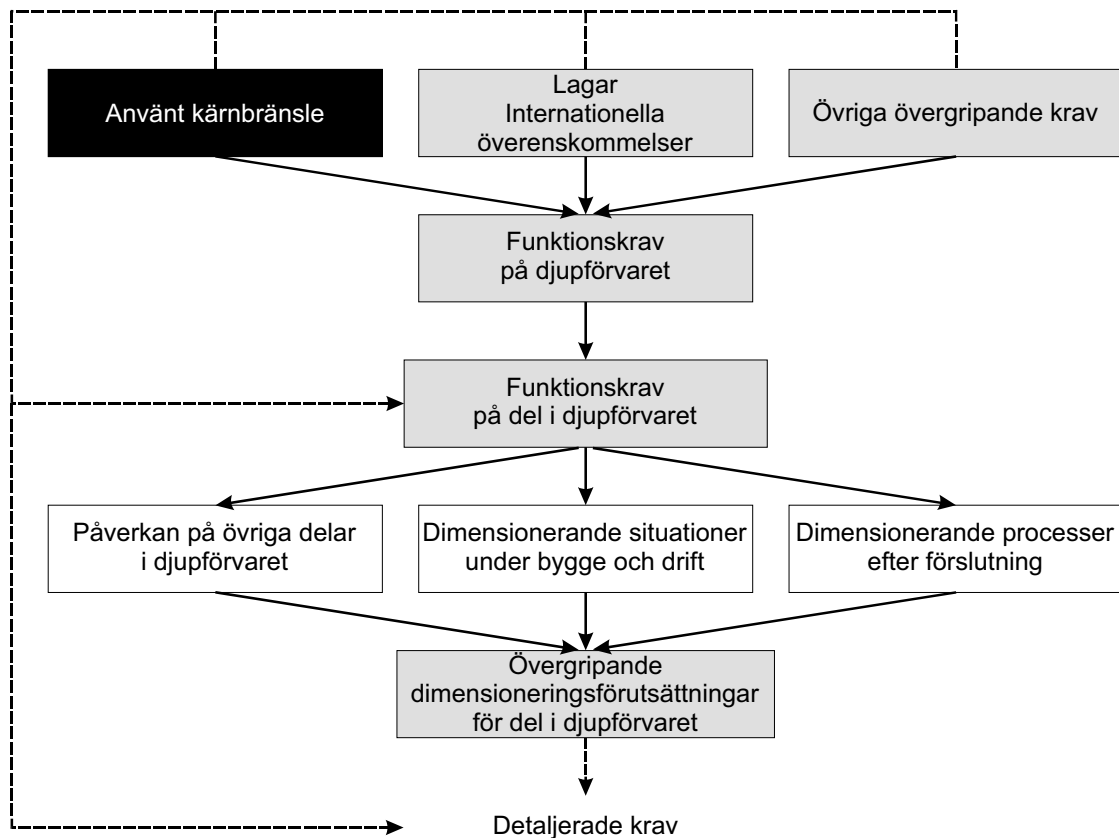


Figur 1-9. Översikt över dokument för stegvis projektering av berganläggningen.

## 2 Använt kärnbränsle

Kärnbränsle är ett keramiskt material. Kännetecknade för keramiska material är att de är hårda och spröda, samt att de tål höga temperaturer och svåra kemiska miljöer. Före driften i reaktorn är bränslets radioaktivitet låg. Under drift bildas radioaktiva ämnen genom kärnklyvning (fissionsprodukter) samt neutroninfångning i tunga atomkärnor (aktinider) och konstruktionsmaterial (aktiveringsprodukter). Då bränslet tas ur drift är det högaktivt och innehåller en mängd radiotoxiska ämnen. Det använda bränslets egenskaper och innehåll av radioaktiva ämnen är utgångspunkten för utformningen av djupförvaret och andra anläggningar m m där det använda bränslet hanteras.

### 2.1 Påverkan på utformningen av djupförvaret



*Figur 2-1. Bränslets egenskaper är en utgångspunkt för utformningen av djupförvaret.*

Djupförvaret ska kunna ta emot det använda bränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet. Det använda kärnbränslet kommer från kärnkraftverken som är av typen kokvattenreaktorer (BWR, Boiling Water Reactor) och tryckvattenreaktorer (PWR, Pressure Water Reactor). Till största delen utgörs det av använt uranbränsle. En mindre mängd (ca 200 ton) använt uranbränsle har upparbetats. Högaktivt upparbetningsavfall och plutonium har delvis bytts mot vad gäller aktivitetsinnehåll motsvarande mängd tyskt använt MOX-bränsle. Vidare finns för närvarande en mängd plutonium som planeras användas för tillverkning av bränsle (ca 80–90 element) för kokvattenreaktor. Dessutom ska djupförvaret kunna ta emot använt bränsle från reaktorn i Ågesta samt Studsvik-anläggningen. SKB:s driftscenario baseras på 40 års drift för samtliga reaktorer utom för Barsebäck 1 som ställts av 1999 /SKB, 2001b/. Mot bakgrund av detta utgörs det använda bränslet av:

- 6 900 (6 884) ton, 37 850 element BWR bränsle
- 2 100 (2 066) ton, 4 460 element PWR bränsle
- 23 ton MOX-bränsle med tyskt ursprung från BWR- och PWR-reaktorer
- 20 ton bränsle från Ågestareaktorn
- 2,4 ton bränslerester från Studsvik

Kok- och tryckvattenreaktorbränslet består av kutsar av urandioxid, eller en blandning av plutonium- och uranoxid (MOX). Bränslekutsarna är inneslutna i kapslingsrör som satts samman till bränsleelement. Ågestabränslet består också av urandioxid, men till skillnad från tryck- och kokvattenreaktorbränslet har uranet inte anrikats. Bränsleresterna från Studsvik består av uranbränsle som delats i mindre enheter för undersöknings- och forskningsändamål. Bränsleresterna har kapslats in i stålbehållare.

### **2.1.1 Konstruktionsbestämmande parametrar**

Parametrar hos det använda bränslet som påverkar utformningen av djupförvaret och dess delar är:

- Utbränningsgrad
- Lagringstid
- Dimensioner

### **2.1.2 Djupförvaret**

Utbränningsgraden är utgångspunkten för att beräkna radionuklidinventariet /Andesson, 1999/. Utifrån utbränningsgrad och lagringstid beräknas bränsleelementens resteffekt /SKB, 1999c; Håkansson, 1999/. Resteffekten utgör indata till temperaturberäkningar som primärt påverkar utformningen av kapseln, och baserat på effekten i varje kapsel utformningen av övriga delar av djupförvaret. Även bränsleelementens dimensioner påverkar utformningen av kapseln och därmed dimensioner hos övriga delar i djupförvaret.

Bränsleelementens dimensioner och mängden bränsle i varje kapsel avgör storleken på kapseln. Kapselns längd bestäms av hanterings- och tillverkningsskäl av längden hos de längsta bränsleelement som ska hanteras. För varje elementlängd kan kapselns diameter och därmed antalet element som ryms i kapseln varieras. För en bestämd längd varierar kapselns volym med diametern i kvadrat, medan kapselytan varierar linjärt med diametern. Utformningen av djupförvaret styrs av en högsta tillåten temperatur på kapselytan.



Temperaturen på kapselytan beror av bränslets resteffekt och antalet bränsleelement i kapseln. Resteffekten beror av utbränningsgraden och tiden bränslet mellanlagras. Temperaturen på kapselytan påverkas också av kapselns och buffertens termiska egenskaper och dimensioner, av avståndet mellan deponerade kapslar samt av bergets och återfyllningens termiska egenskaper. Utifrån en given utbränningsgrad och givna termiska egenskaper hos kapsel, buffert, återfyllning och berg kan antalet bränsleelement per kapsel optimeras med hänsyn till mellanlagringstid och avstånd mellan deponerade kapslar. Sådana beräkningar har genomförts av /Pettersson, 1997/ och är bakgrunden till att antalet bränsleelement i referenskapseln fastställts till 12 BWR respektive 4 PWR element.

### 2.1.3 Kapsel

Egenskaper hos använt BWR och PWR bränsle som påverkar utformningen av kapseln är sammanställda i tabell 2-1 /Pettersson, 1997; Werme, 1998/. Övrigt bränsle packas så att det går att kapsla in i referenskapseln. Egenskaper hos övrigt bränsle som påverkar inkapslingen av det är sammanställda i tabell 2-2 /Ohlsson, 2002/.

**Tabell 2-1. Egenskaper hos BWR- och PWR-bränsle som påverkar utformningen av kapseln.**

Egenskap:	Bränsletyp:	
	BWR	PWR
Total längd	4 380 mm	4 248 mm
Max inducerad längdtillväxt	20 mm	–
Termisk längdtillväxt	7 mm	–
Tvärsnittsarea	140x140 mm	214x214 mm
Anrikning	3,6 % Uran-235 4,2 % Uran-235*	4,2 % Uran-235
Utbränning	max 55 MWd/kg Uran medel 38/42 MWd/kg Uran	max 60 MWd/kg Uran medel 42/44 MWd/kg Uran
Lagringstid	Ca 30 år	Ca 30 år
Resteffekt efter 30 år	100–150 W/element	300–450 W/element

\* Med tillsats av Gd som dämpar neutroner.

**Tabell 2-2. Egenskaper hos övrigt bränsle som påverkar inkapslingen.**

Egenskap:	Bränsletyp:			
	MOX-BWR	MOX-PWR	Ågesta	Studsвик
Total längd	3 855 m 1 880 m 1 996 m	3 175 m	3 750 m 3 751 m	?
Tvärsnittsarea	113,5x113,5 mm 96,6x96,6 mm 122x122 mm	200,3x200,3 mm	114,8x114,8 mm ?	?
Anrikning	–	–	Ingen	?
Utbränning	?	?	?	?
Lagringstid	?	?	?	?
Resteffekt	?	?	?	?

Insatsens invändiga längd bestäms av det längsta förekommande BWR-elementet med box. Bränsleelementens tvärsnitt påverkar insatsens diameter. Bränsleelementen utsätts för strålningsinducerad längdtillväxt och termisk förlängning, vidare kan elementen vara något böjda då de tas ut ur reaktorn. Utbränningsgraden och lagringstiden påverkar resteffekt och innehåll av radionuklider och därmed temperatur och strålning i kapseln och på kapselytan. Nuklidinventariet påverkar sannolikheten att kriticitet uppstår.

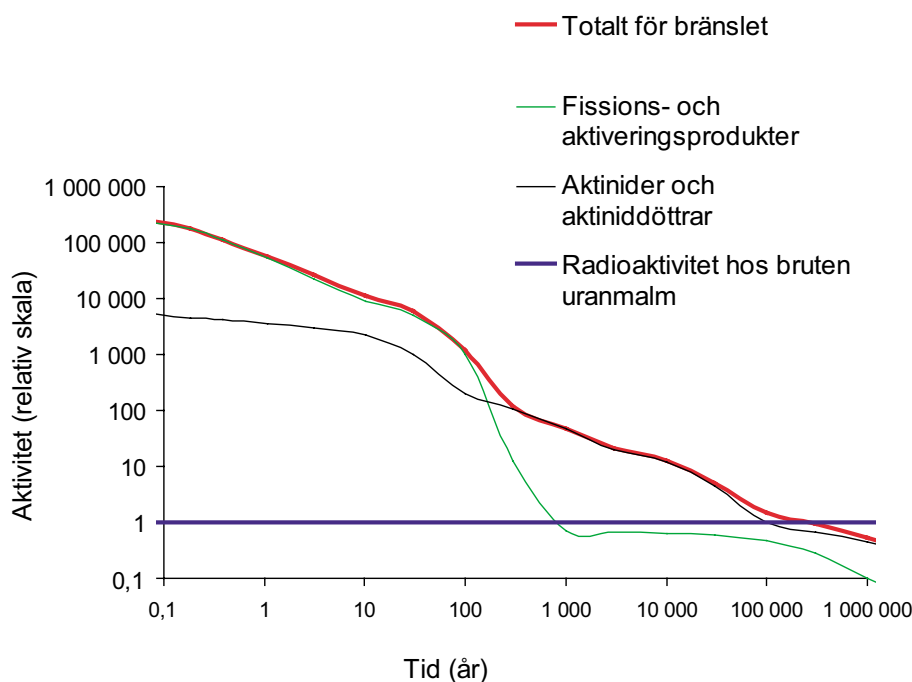
## 2.2 Dimensionerande processer i bränslet

Nedan redovisas processer i bränslet som påverkar utformningen av djupförvaret. Redovisningen av processer utgår från den sammanställning som gjordes i samband med säkerhetsanalysen SR 97 /SKB, 1999b/. I den sammanställningen redovisas processerna under rubriken bränsle/hålrum i kapsel, här redovisas processer i kapselns hålrum i kapitel 6 om kapseln. För fullständighetens skull har samtliga processer tagits med.

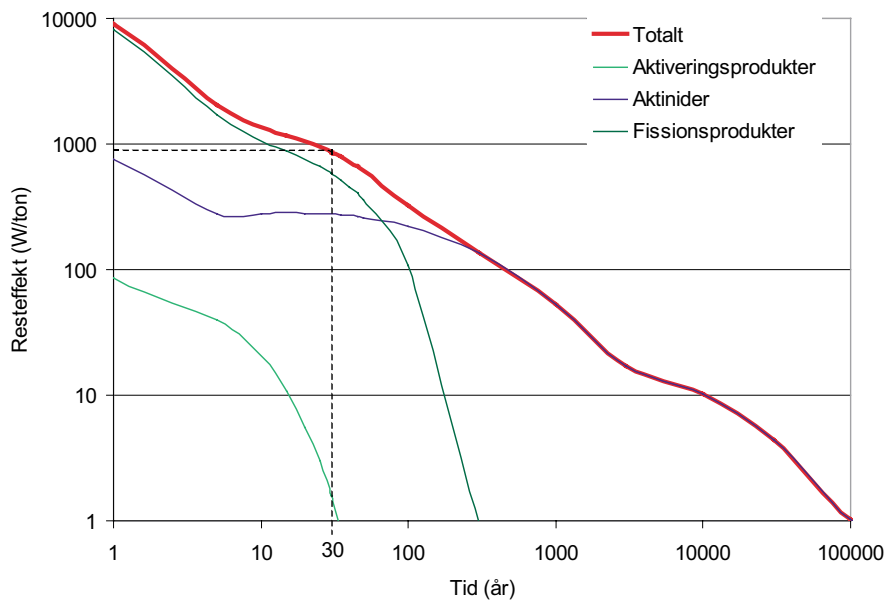
### 2.2.1 Strårelaterade processer

#### *Radioaktivt sönderfall*

Radionuklider i bränslet omvandlas genom radioaktivt sönderfall. Vid sönderfallen alstras radioaktiv strålning. Processen avgör hur bränslets farlighet förändras med tiden, och utgör därmed en riktlinje för den tidsperiod djupförvaret ska visas fungera, se figur 2-2. Energin som frigörs omvandlas till största delen till värme, och processen utgör grunden för termiska beräkningar.



**Figur 2-2.** Radioaktivitet, relativt aktiviteten för motsvarande mängd uranmineral, för ett ton typiskt svenskt kärnbränsle (typ SVEA 64 med utbränningsgrad 38 MWdygn/kg U). Aktiviteten domineras av fissionsprodukter de inledande drygt 100 åren, därefter av aktinider. Då bränslet är ca 100 000 år gammalt är dess aktivitet jämförbar med aktiviteten hos den mängd uranmalm som brutits för att tillverka bränslet /ur Hedín, 1997/.



**Figur 2-3.** Resteffektens avklingning som funktion av tiden för referensbränslet (typ SVEA 64 med utbränningsgrad 38 MWdygn/kg U).

### Stråldämpning/värmealstring

Strålningsenergin från det radioaktiva sönderfallet överförs till materialen i bränsleelementen och dämpas. Huvuddelen av energin omvandlas till termisk energi, värmealstring. Effekten som utvecklas benämns *resteffekt*. Resteffektens avklingning visas i figur 2-3. Processen påverkar önskad tid för mellanlagring och utformningen av djupförvaret.

### Inducerad fission – kriticitet

Neutroner från radioaktiva sönderfall kan orsaka kärnklyvning, vid kärnklyvningen frigörs nya neutroner. Under speciella förhållanden kan processen bli självunderhållande. Systemet sägs då vara *kritiskt*, och stora mängder energi kan frigöras. Kriticitet kan uppstå om neutronerna är effektiva, dvs har låg energi, och det finns tillräckligt mycket klyvbara nuklider, främst uran-235 och plutonium-239. Processen påverkar utformningen av kapseln.

## 2.2.2 Termiska processer

### Värmetransport

Värme transporteras i bränslet genom ledning och strålning. Temperaturen i bränslet påverkas av alla värmeöverföringar mellan olika komponenter i bränslets omgivning. I ett kort tidsperspektiv påverkar värmeöverföringsegenskaperna hos omgivande komponenter, och deras förändring i tiden, bränslets temperatur. I ett långt tidsperspektiv i djupförvaret styrs temperaturutvecklingen i bränslet av bränslets effektutveckling. Processen påverkar utformningen av djupförvaret.

### **2.2.3 Mekaniska processer**

#### ***Termisk expansion/kapslingsbrott***

Temperaturförändringar, mekanisk påfrestning och försprödning under driften i reaktorn kan leda till brott på kapslingsrören. Skadorna är övervägande lokala och leder till att bränslet är inneslutet i läckande kapslingsrör. Skadade kapslingsrör kan antas behålla sin ursprungliga geometri och utgöra ett fysiskt skydd för bränslet. Processen tas upp i säkerhetsanalyser men påverkar inte utformningen av djupförvaret.

### **2.2.4 Kemiska processer**

#### ***Metallkorrosion***

Kapslingsrören utsätts för korrosionsangrepp. För inkapslat bränsle i djupförvaret är processen endast relevant om kopparkapseln är skadad och vatten tränger in i kapseln.

#### ***Bränsleupplösning***

Om bränslet kommer i kontakt med vatten kan radionuklider lösas från bränslet. Djupförvaret utformas för att förhindra detta och om det inträffar för att fördröja transport av radionuklider till ytan.

#### ***Lösning av gapinventarium***

En del av radionukliderna finns på bränslets yta i mellanrummet mellan kutsarna och kapslingsrören. De förväntas vara mer lättillgängliga för lösning om vatten kommer in i kapslingsrören. Djupförvaret utformas för att förhindra detta och om det inträffar för att fördröja transport av radionuklider till ytan.

#### ***Speciering av radionuklider, kolloidbildning***

Om vatten finns i kapseln kan radionuklider som frigjorts från/frilagts i bränslematrisen och andra metalldelar lösas och därmed bli tillgängliga för transport eller falla ut som otillgängliga fasta faser. Fördelningen mellan lösta och fasta faser bestäms av ämnens lösligheter. Alternativt kan radionuklider frigöras i form av kolloider eller som pseudo-kolloider. Processen har betydelse för utformningen av bufferten, eftersom bergets förmåga att fördröja kolloidtransport är begränsad.

#### ***Heliumproduktion***

$\alpha$ -partiklar (heliumkärnor) från  $\alpha$ -sönderfall i bränslet bildar helium vilket leder till tryckuppbyggnad i bränslestavarnas kapslingsrör. Tryckuppbyggnaden i kapslingsrören kan leda till rörbrott (se vidare avsnitt 6.4.5).

### 3 Styrande regelverk

Djupförvaret ska uppfylla de krav som ställs i gällande lagstiftning. *Lagar* stiftas av riksdagen. I en lag kan regeringen eller den myndighet regeringen bestämmer ges rätt – bemyndigas – att specificera vad som krävs för att uppfylla lagen, att medge undantag från lagen samt att bestämma hur efterlevnad av lagen ska kontrolleras. Sådana förtydliganden och tillägg anges av regeringen i *förordningar*. I en förordning kan regeringen också bestämma att en myndighet genom att utfärda *föreskrifter* får ange sådana förtydliganden och tillägg. Lagar, förordningar och föreskrifter måste följas. Till föreskrifterna kan myndigheterna ge ut *allmänna råd* som anger hur föreskrifternas krav kan uppfyllas. De allmänna råden är inte bindande utan enbart rekommendationer.

Sverige har särskilda lagar och myndigheter som reglerar och kontrollerar kärnteknisk verksamhet och hantering av radioaktivt material. Lagarna är Lagen om kärnteknisk verksamhet /SFS 1984:3/ och Strålskyddslagen /SFS 1988:220/. SKI är den myndighet som ger ut föreskrifter och kontrollerar kärnteknisk verksamhet. Den myndighet som ger ut föreskrifter inom strålskyddsområdet, och godkänner användning och hantering av radioaktivt material är SSI.

Utöver den svenska lagstiftningen finns internationella överenskommelser som Sverige förbundit sig att följa. Inom området kärnteknik och strålskydd är det FN organet IAEA (International Atomic Energy Agency) som hanterar upprättandet av internationella överenskommelser. IAEA publicerar även dokument som benämns Safety Standards. De är inte bindande för medlemsstaterna, men kan tillämpas i lagstiftningen. Internationella överenskommelser är bindande när ett förutbestämt antal länder undertecknat och ratificerat dem. I Sverige är ett avtal ratificerat – stadfäst – när det godkänts av riksdagen.

Utöver kärnteknik- och strålskyddslagen finns krav som påverkar konstruktionsförutsättningarna för ett djupförvar i Miljöbalken /SFS 1998:808/. Även Plan- och bygglagen (PBL) /SFS 1987:10/ som innehåller bestämmelser om planläggning av mark och vatten och byggande kan innehålla krav som kan påverka konstruktionsförutsättningarna. Dessutom ska djupförvaret i bygg- och driftskedet uppfylla lagstiftningens krav på bygg- och anläggningsverksamhet, industriell verksamhet och arbetarskydd.

Svensk lagstiftning samt relevanta internationella överenskommelser har inventerats, och de krav som påverkar konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret sammanfattas nedan. Kraven är hämtade ur texten i lagar, förordningar, föreskrifter och internationella överenskommelser, men återges inte ordagrant utan har ändrats för att få en mer lättläslig text. Hänsyn har även tagits till myndigheternas allmänna råd om tillämpningen.

## 3.1 Svensk lagstiftning

### 3.1.1 Säkerhet och strålskydd

De säkerhetskrav som ställs på ett djupförvar är härledda ur lagen om kärnteknisk verksamhet och föreskrifter med allmänna råd kopplade till dem /SFS 1984:3; SKIFS 1998:1; SKIFS 2002:1/. Strålskyddskraven är hämtade ur strålskyddslagen samt föreskrifter med allmänna råd kopplade till dem /SFS 1988:220; SSI FS 1998:1/.

Lag SS 1: **Flerfaldiga barriärer**

Säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer som är så utformade att genombrott av en barriär endast leder till begränsade omgivningskonsekvenser /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §; SKIFS 2002:1 3, 7 §/.

Lag SS 2: **Ej övervakning och underhåll**

En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 2 §/.

Lag SS 3: **Återtag**

Inverkan på slutförvarets säkerhet av åtgärder som införts för att underlätta återtag eller övervakning samt för att förhindra intrång ska redovisas /SKIFS 2002:1 8 §; SSI FS 1998:1 8 §/.

Lag SS 4: **Identifiera händelser som kan påverka barriärer**

Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets barriärer ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.

Lag SS 5: **Acceptabel tålighet hos barriärer**

Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden som kan påverka barriärerna skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.

Lag SS 6: **Identifiera händelser som kan påverka skyddsåtgärder**

Händelser som kan påverka åtgärder eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.

Lag SS 7: **Acceptabel tålighet hos skyddsåtgärder**

Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.

Lag SS 8: **Förebygga störningar**

Störningar och haverier ska i största möjliga utsträckning förebyggas /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §/.

Lag SS 9: **Robust system**

Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.

Lag SS 10: **Beprövad teknik**

I första hand ska beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar användas för utformning av ett system för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.

- Lag SS 11: **Utprovning av ny teknik**  
Om beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar inte är möjliga eller rimliga, ska en utprovning och utvärdering ske för att verifiera att funktion och beteende hos ingående system och komponenter är inom de antaganden som görs i säkerhetsanalysen /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.
- Lag SS 12: **Rapportera och åtgärda brister**  
Om brister i barriärer upptäcks ska de anmälas till SKI, utredas och åtgärdas /SKIFS 1998:1 2 kap 2 §; SKIFS 2002:1 4 §/.
- Lag SS 13: **Strålskydd under drift**  
Djupförvaret ska förses med tekniska anordningar, mätutrustning m m som krävs för att upprätthålla ett gott strålskydd /SFS 1988:220 6 §/.
- Lag SS 14: **Alltid acceptabla stråldoser**  
Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet, dels i framtiden /SSI FS 1998:1 3 §/.
- Lag SS 15: **Optimering av strålskydd**  
Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske dvs stråldoser till människor begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhällsliga faktorer /SSI FS 1998:1 4 §/.
- Lag SS 16: **Bästa möjliga teknik**  
Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska hänsyn tas till bästa möjliga teknik, dvs den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön som inte medför orimliga kostnader ska vidtas /SSI FS 1998:1 4 §/.
- Lag SS 17: **Acceptabel risk**  
Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst  $10^{-6}$  för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken /SSI FS 1998:1 5 §/.
- Lag SS 18: **Biologisk mångfald**  
Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska göras så att biologisk mångfald och hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning /SSI FS 1998:1 6 §/.
- Lag SS 19: **Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning**  
För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön /SSI FS 1998:1 11 §/.
- Lag SS 20: **Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år**  
För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären /SSI FS 1998:1 12 §/.

### 3.1.2 Miljö

Följande miljökrav har härletts ur miljöbalken /SFS 1998:808/:

- Lag M 1: **Hållbar utveckling**  
En hållbar utveckling ska främjas som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.
- Lag M 2: **Människa och miljö skyddas**  
Människors hälsa och miljön ska skyddas mot föroreningar och annan påverkan /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.
- Lag M 3: **Skydda värdefulla miljöer och biologisk mångfald**  
Värdefulla natur- och kulturmiljöer ska skyddas och den biologiska mångfalden bevaras /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.
- Lag M 4: **Begränsa ingrepp i fysisk miljö**  
Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt ska användas så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas /SFS 1998:808 1 kap 1 §, 2 kap 4 §, 3 kap, 4 kap/.
- Lag M 5: **Hushåll med råvaror och energi**  
Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi ska främjas så att ett kretslopp uppnås /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.

### 3.1.3 Byggande och drift

#### **Byggande**

Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m m (BVL) /SFS 1994:847/ gäller tekniska egenskapskrav på byggnadsverk och byggprodukter. Till lagen hör en förordning (BVF) /SFS 1994:1215/ med samma titel som lagen. Förordningen innehåller en del föreskrifter, vidare ges Boverket i uppdrag att meddela föreskrifter inom en rad områden. Boverket har givit ut byggregler (BBR) och konstruktionsregler (BKR) som innehåller föreskrifter och allmänna råd som gäller byggnader. Till exempel finns konstruktionsregler för geokonstruktioner /Boverket, 1998/. Dessutom har Boverket givit ut en serie handböcker som innehåller råd och anvisningar för hur ställda krav kan uppfyllas. Handböcker finns för bl a betong- och stålkonstruktioner /BBK 94 och BSK 99/.

Byggnadsverk omfattar byggnader och andra anläggningar. Boverkets föreskrifter innehåller många detaljerade krav och gäller enbart byggnader. Om djupförvaret kan anses vara ett byggnadsverk eller en byggnad framgår inte entydigt av lagstiftningen. SKB betraktar berganläggningen som ett byggnadsverk och ansluter sig till BVL. Kraven i föreskrifterna är i första hand tillämpbara under bygg- och driftskedet. De redovisas i anslutning till de delar av djupförvaret där de är tillämpbara. På ett övergripande plan kan kraven i lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m m (BVL) med förordning (BVF) sammanfattas i följande punkter:



Lag BD 1: **Utformning med hänsyn till säkerhet och miljö**

Byggnadsverk ska uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav vad gäller bärförmåga och stadga, brandsäkerhet, hälsa och miljö, olycksrisk och hushållning med energi och andra resurser /SFS 1994:847 2, 4 §; SFS 1994:1215 3, 4 §/.

Lag BD 2: **Utformning med hänsyn till säkerhet**

Byggnadsverk ska vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att de inte medför risk för brukarnas eller grannarnas hygien eller hälsa /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.

Lag BD 3: **Säker drift och underhåll**

Hantering av avfall, buller, förekomst och utsläpp av farliga ämnen och farlig strålning ska beaktas så risken för brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/

Lag BD 4: **Beakta olyckor**

Brand och andra olyckor ska beaktas så att risken brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.

### **Arbetsmiljö och driftsäkerhet**

Krav på en fysiskt, psykiskt och socialt acceptabel arbetsmiljö ställs i Arbetsmiljölagen /SFS 1977:1160/ och Arbetsmiljöförordningen /SFS 1977:1160/. Arbetsmiljöverket ger i sin författningssamling (AFS) ut detaljerade föreskrifter. De utarbetas i samarbete med arbetsmarknadens parter. Arbetsmiljöverket övervakar också att arbetsmiljö- och arbetstidslagstiftningar efterlevs. Det övergripande målet är att minska riskerna för ohälsa och olycksfall i arbetslivet och att förbättra arbetsmiljön ur ett helhetsperspektiv.

Verksamheten i djupförvaret under byggande och drift liknar den i gruvor. Arbetarskyddsstyrelsen ger specifika krav på bergarbeten /AFS 1997:3/ samt sprängarbeten /AFS 1994:17/. Det finns vidare ett antal föreskrifter som gäller arbetsmiljön i svenska gruvor, de är också aktuella för djupförvaret. Krav som kan påverka konstruktionsförutsättningarna gäller bl a brandskydd och olycksförebyggande åtgärder. De gäller under bygg- och driftskedet och kan påverka konstruktionsförutsättningarna för djupförvarets berganläggning.

Krav på olycks- och skadeförebyggande åtgärder ställs också i Räddningstjänstlagen /SFS 1986:1102/ med förordning /SFS 1986:1107/ och föreskrifter /SRVFS/.

Andra lagar som kan påverka konstruktionsförutsättningarna och som är tillämplbara i bygg- och driftskedet är Lag om transport av farligt gods /SFS 1982:821/, Lag om brandfarliga och explosiva varor /SFS 1988:868/ samt Ellag /SFS 1997:857/.

Innebörden i de många detaljerade kraven kan sammanfattas som följer:

Lag BD 5: **Säkerhet för de som vistas i anläggningen**

Trivsel, hälsa och säkerhet för anställda och andra som utför arbete vid, eller besöker, anläggningen och ska beaktas vid utformningen.

## 3.2 Internationella överenskommelser

Sverige har ratificerat (stadfäst, bekräftat) den så kallade IAEA:s avfallskonvention /IAEA, 1997/. Konventionen trädde i kraft 18 juni 2001 när 25 länder, varav 15 hade kärnkraftreaktorer, ratificerat, accepterat eller godkänt konventionen.

Krav ur IAEA:s avfallskonvention som kan påverka konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret är:

Lag I 1: **Ej bördor på kommande generationer**

Vid omhändertagande av radioaktivt avfall ska man sträva efter att inte lägga otillbörliga bördor på kommande generationer /IAEA, 1997, Kap 2, Paragraf 4/.

Kravet har ett etiskt perspektiv och har diskuterats i flera fora /SKN, 1988; OECD/NEA, 1995; KASAM, 1998; Miljödepartementet, 1998, 1999/. Man menar att nu levande människor inte ska lämna över bördor på kommande generationer, å andra sidan ska nuvarande generation inte begränsa handlingsfriheten för kommande generationer. Kärntekniklagen med föreskrifter slår fast att ett slutförvar för radioaktivt avfall inte får kräva övervakning och underhåll för att upprätthålla säkerheten samt att påverkan på säkerheten av åtgärder som vidtagits för att underlätta återtag måste redovisas. SKB tolkar detta som att den långsiktiga säkerheten ska prioriteras men ett återtag vara möjligt att genomföra (se vidare avsnitt 4.1).

Icke spridningsavtalet upprättades av IAEA 1968 för att förhindra att kärnämne används för vapentillverkning och för att kontrollera att det inte gör det /IAEA, 1968; UN, 1968/. Kontroll av kärnämne brukar benämnas *safeguards*. Kärntekniklagen /SFS 1984:3/ slår fast att Sverige ska uppfylla förpliktelserna i icke spridningsavtalet. I en lag /SFS 2000:140/ fastslås att Internationella atomenergiorganet (IAEA) har rätt att inspektera svenska anläggningar i syfte att genomföra safeguards-kontroll. Det innebär att:

Lag I 2: **Fredlig användning av kärnenergi**

Kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi får inte användas för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III/.

Lag I 3: **Kontroll av kärnämne**

Det ska kontrolleras och verifieras att kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi inte används för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III; IAEA:s stadgar, Paragraf XII/.

### 3.3 Sammantällning av lagar och internationella överenskommelser

Tabell 3-1. Lagar och internationella överenskommelser som reglerar utformningen av djupförvaret.

Lag, internationell överenskommelse	Lagkrav på djupförvaret*
<b>Säkerhet och strålskydd</b> Lagen om kärnteknisk verksamhet med föreskrifter	<b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b> Säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer som är så utformade att genombrott av en barriär endast leder till begränsade omgivningskonsekvenser /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §; SKIFS 2002:1 3, 7 §/.
	<b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b> En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 2 §/.
	<b>Lag SS 3: Återtag</b> Inverkan på slutförvarets säkerhet av åtgärder som införts för att underlätta återtag eller övervakning samt för att förhindra intrång ska redovisas /SKIFS 2002:1 8 §; SSI FS 1998:1 8 §/.
	<b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b> Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets barriärer ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.
	<b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden som kan påverka barriärerna skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.
	<b>Lag SS 6: Identifiera händelser som kan påverka skyddsåtgärder</b> Händelser som kan påverka åtgärder eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.
	<b>Lag SS 7: Acceptabel tålighet hos skyddsåtgärder</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om dessa händelser eller förhållanden skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.
	<b>Lag SS 8: Förebygga störningar</b> Störningar och haverier ska i största möjliga utsträckning förebyggas /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §/.
	<b>Lag SS 9: Robust system</b> Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.
	<b>Lag SS 10: Beprövad teknik</b> I första hand ska beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar användas för utformning av ett system för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.
	<b>Lag SS 11: Utprovning av ny teknik</b> Om beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar inte är möjliga eller rimliga, ska en utprovning och utvärdering ske för att verifiera att funktion och beteende hos ingående system och komponenter är inom de antaganden som görs i säkerhetsanalysen /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.
	<b>Lag SS 12: Rapportera och åtgärda brister</b> Om brister i barriärer upptäcks ska de anmälas till SKI, utredas och åtgärdas /SKIFS 1998:1 2 kap 2 §; SKIFS 2002:1 4 §/.

Lag, internationell överenskommelse	Lagkrav på djupförvaret*
<b>Säkerhet och strålskydd</b> Strålskyddslagen med föreskrifter	<p><b>Lag SS 13: Strålskydd under drift</b>            Djupförvaret ska förses med tekniska anordningar, mätutrustning m m som krävs för att upprätthålla ett gott strålskydd /SFS 1988:220 6 §/.</p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b>            Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet, dels i framtiden /SSI FS 1998:1 3 §/.</p> <p><b>Lag SS 15: Optimering av strålskydd</b>            Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske dvs stråldoser till människor begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhälleliga faktorer /SSI FS 1998:1 4 §/.</p> <p><b>Lag SS 16: Bästa möjliga teknik</b>            Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska hänsyn tas till bästa möjliga teknik, dvs den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön som inte medför orimliga kostnader ska vidtas /SSI FS 1998:1 4 §/.</p> <p><b>Lag SS 17: Acceptabel risk</b>            Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst <math>10^{-6}</math> för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken /SSI FS 1998:1 5 §/.</p> <p><b>Lag SS 18: Biologisk mångfald</b>            Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska göras så att biologisk mångfald och hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning /SSI FS 1998:1 6 §/.</p> <p><b>Lag SS 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b>            För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön /SSI FS 1998:1 11 §/.</p> <p><b>Lag SS 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b>            För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären /SSI FS 1998:1 12 §/.</p>
<b>Miljö</b> Miljöbalken	<p><b>Lag M 1: Hållbar utveckling</b>            En hållbar utveckling ska främjas som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 2: Människa och miljö skyddas</b>            Människors hälsa och miljön ska skyddas mot föroreningar och annan påverkan /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 3: Skydda värdefulla miljöer och biologisk mångfald</b>            Värdefulla natur- och kulturmiljöer ska skyddas och den biologiska mångfalden bevaras /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 4: Begränsa ingrepp i fysisk miljö</b>            Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt ska användas så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas /SFS 1998:808 1 kap 1 §, 2 kap 4 §, 3 kap, 4 kap/.</p> <p><b>Lag M 5: Hushåll med råvaror och energi</b>            Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi ska främjas så att ett kretslopp uppnås /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p>

Lag, internationell överenskommelse	Lagkrav på djupförvaret*
<p><b>Byggnadsverk</b></p> <p>Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk med förordning</p> <p>Arbetsmiljölagen, arbetsmiljöförordningen</p>	<p><b>Lag BD 1: Utformning med hänsyn till säkerhet och miljö</b></p> <p>Byggnadsverk ska uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav vad gäller bärförmåga och stadga, brandsäkerhet, hälsa och miljö, olycksrisk och hushållning med energi och andra resurser /SFS 1994:847 2, 4 §; SFS 1994:1215 3, 4 §/.</p>
<p>Räddningstjänstlagen</p> <p>Lag om transport av farligt gods</p> <p>Lag om brandfarliga och explosiva varor</p>	<p><b>Lag BD 2: Utformning med hänsyn till säkerhet</b></p> <p>Byggnadsverk ska vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att de inte medför risk för brukarnas eller grannarnas hygien eller hälsa /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p>
<p>Ellag</p>	<p><b>Lag BD 3: Säker drift och underhåll</b></p> <p>Hantering av avfall, buller, förekomst och utsläpp av farliga ämnen och farlig strålning ska beaktas så risken för brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/</p>
	<p><b>Lag BD 4: Beakta olyckor</b></p> <p>Brand och andra olyckor ska beaktas så att risken brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p>
	<p><b>Lag BD 5: Säkerhet för de som vistas i anläggningen</b></p> <p>Trivsel, hälsa och säkerhet för anställda och andra som utför arbete vid, eller besöker, anläggningen och ska beaktas vid utformningen.</p>
<p><b>Internationella överenskommelser</b></p> <p>IAEA:s avfallskonvention</p>	<p><b>Lag I 1: Ej bördor på kommande generationer</b></p> <p>Vid omhändertagande av radioaktivt avfall ska man sträva efter att inte lägga otillbörliga bördor på kommande generationer /IAEA, 1997, Kap 2, Paragraf 4/.</p>
<p>Icke spridningsavtalet</p>	<p><b>Lag I 2: Fredlig användning av kärnenergi</b></p> <p>Kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi får inte användas för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III/.</p>
	<p><b>Lag I 3: Kontroll av kärnämne</b></p> <p>Det ska kontrolleras och verifieras att kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi inte används för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III; IAEA:s stadgar, Paragraf XII/.</p>

\* Kraven utgår från lagar föreskrifter och internationella överenskommelser men är inte ordagranna kopior av lagtexten.

De flesta av lagkraven i tabell 3-1 har följts upp av funktionskrav på djupförvaret eller någon av dess delar. I tabell 3-2 redovisas lagkrav som inte följts upp av något funktionskrav men som ändå bör övervägas i det fortsatta arbetet med att utforma och bygga djupförvaret eftersom de för närvarande bedöms kunna ge upphov till mer detaljerade krav i ett senare skede.

**Tabell 3-2. Lagkrav som ej följts upp av funktionskrav på djupförvaret eller någon av dess delar.**

Lag, internationell överenskommelse samt övriga krav och önskemål	Lag- och ägarkrav
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Lagen om kärnteknisk verksamhet med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 10: Beprövad teknik</b> I första hand ska beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar användas för utformning av ett system för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 11: Utprovning av ny teknik</b> Om beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar inte är möjliga eller rimliga, ska en utprovning och utvärdering ske för att verifiera att funktion och beteende hos ingående system och komponenter är inom de antaganden som görs i säkerhetsanalysen /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 12: Rapportera och åtgärda brister</b> Om brister i barriärer upptäcks ska de anmälas till SKI, utredas och åtgärdas /SKIFS 1998:1 2 kap 2 §; SKIFS 2002:1 4 §/.</p>
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Strålskyddslagen med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 15: Optimering av strålskydd</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske dvs stråldoser till människor begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhällsliga faktorer /SSI FS 1998:1 4 §/.</p> <p><b>Lag SS 16: Bästa möjliga teknik</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska hänsyn tas till bästa möjliga teknik, dvs den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön som inte medför orimliga kostnader ska vidtas /SSI FS 1998:1 4 §/.</p>

## 4 Övriga övergripande förutsättningar och krav

### 4.1 Ägarnas önskemål

Djupförvaret ska utformas så att det använda bränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet kan hanteras och deponeras på ett säkert och effektivt sätt. Förutom säkerhets- och miljökrav ska möjligheterna att bedriva en kostnadseffektiv och flexibel verksamhet med få störningar och möjligheter att anpassa lösningar till nya krav och förutsättningar övervägas vid utformningen av djupförvaret. Lokalisering, utbyggnad och drift ska genomföras stegvis och utvärderas inför varje nytt steg /SKB, 1994/. Då deponeringen avslutats och djupförvaret förslutits och godkänts anser SKB att företagets ansvar /SFS 1984:3 10 §/ att slutförvara använt kärnbränsle uppfyllts. Mot bakgrund av det gäller följande:

- Ö krav 1: **Rymma allt svenskt använt kärnbränsle**  
Djupförvaret ska kunna ta emot det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet även med hänsyn till att kärnkraftverkens drifttid kan komma att förlängas.
- Ö krav 2: **Förlängd drifttid**  
Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att byggnads- och/eller driftperioden kan komma att bli längre än den för närvarande planerade.
- Ö krav 3: **Övergång till horisontell deponering**  
Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att övergång från vertikal till horisontell deponering kan bli aktuell.
- Ö krav 4: **Samlokalisering**  
Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att samlokalisering med förvaret för låg- och medelaktivt, långlivat avfall kan bli aktuell.
- Ö krav 5: **Ny teknik**  
Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att idag känd men oprövad alternativ teknik kan komma att användas.
- Ö krav 6: **Effektiv verksamhet**  
Djupförvaret ska utformas, byggas och drivas på ett säkert och effektivt sätt.
- Ö krav 7: **Stegvis genomförande**  
Utbyggnad av djupförvaret och deponering ska ske stegvis med möjlighet att återta deponerade kapslar.
- Ö krav 8: **Begränsad drifttid**  
Djupförvaret ska byggas, och deponering äga rum under en begränsad tidsperiod.
- Ö krav 9: **Djupförvaret ska förslutas**  
När deponeringen slutförts ska djupförvaret förslutas.

## 4.2 Kopplingar till övriga anläggningar i KBS-3-systemet

### *Mellanlager – CLAB*

Värmeutvecklingen i bränslet påverkar utformningen av djupförvaret. Värmeutvecklingen, som påverkas av bränslets utbränningsgrad, avtar med tiden och efter 30 år har resteffekten i det använda bränslet sjunkit med ca 90 procent i jämförelse med när bränslet tas ut ur reaktorn. Beräkningen av antal bränsleelement per kapsel utgår från att bränslet mellanlagrats i ca 30 år innan det kapslas in och deponeras. Mot bakgrund av driften av kärnkraftverken, bränslets utbränningsgrad, kapslarnas storlek samt den önskade mellanlagringstiden och lagringskapaciteten i mellanlagret kan den önskade deponeringstakten i djupförvaret fastställas. Med utgångspunkt från dagens planering /SKB, 2001b/ innebär det:

#### Ö krav 10: **En kapsel om dagen**

Konstruktion, byggande och drift av anläggningarna i systemet ska genomföras så att en kapsel per arbetsdag kan deponeras i djupförvaret.

### *Inkapslingsanläggning*

Kapselns dimension och vikt samt resteffekten ställer krav på den utrustning som krävs för att hantera kapseln i inkapslingsanläggningen. Kapseln utformas med hänsyn till påfrestningar som förekommer vid normal hantering och i djupförvaret efter förslutning. I samband med brand och andra missöden kan påfrestningar som skadar kapseln förekomma. Kapselns dimension och material påverkar de extremlastningar den kan tillåtas utsättas för vid missöden eller avvikelser från det normala, vilket i sin tur ställer krav på utformning av inkapslingsanläggningen.

### *Transportsystem*

Utformningen av transportsystemet påverkas av kapselns storlek, resteffekten (strålning och temperatur på kapselytan), inkapslingsanläggningens och djupförvarets läge och hur tillträdet till förvarsdjup utformas. Transportbehållare utformas med hänsyn till påfrestningar vid normal drift samt påfrestningar som kan uppstå i samband med missöden eller avvikelser från det normala.



## 4.3 Sammanställning av övriga övergripande förutsättningar och krav

Tabell 4-1. Övriga övergripande förutsättningar och krav som påverkar utformningen av djupförvaret.

Övergripande förutsättning och krav	Krav på djupförvaret
Ägarnas önskemål	<p><b>Ö krav 1: Rymma allt svenskt använt kärnbränsle</b> Djupförvaret ska kunna ta emot det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet även med hänsyn till att kärnkraftverkens drifttid kan komma att förlängas.</p> <p><b>Ö krav 2: Förlängd drifttid</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att byggnads- och/eller driftperioden kan komma att bli längre än den för närvarande planerade.</p> <p><b>Ö krav 3: Övergång till horisontell deponering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att övergång från vertikal till horisontell deponering kan bli aktuell.</p> <p><b>Ö krav 4: Samlokalisering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att samlokalisering med förvaret för låg- och medelaktivt, långlivat avfall kan bli aktuell.</p> <p><b>Ö krav 5: Ny teknik</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att idag känd men oprövad alternativ teknik kan komma att användas.</p> <p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b> Djupförvaret ska utformas, byggas och drivas på ett säkert och effektivt sätt.</p> <p><b>Ö krav 7: Stegvis genomförande</b> Utbyggnad av djupförvaret och deponering ska ske stegvis med möjlighet att återta deponerade kapslar.</p> <p><b>Ö krav 8: Begränsad drifttid</b> Djupförvaret ska byggas, och deponering äga rum under en begränsad tidsperiod.</p> <p><b>Ö krav 9: Djupförvaret ska förslutas</b> När deponeringen slutförts ska djupförvaret förslutas.</p>
Koppling till övriga anläggningar i KBS-3-systemet	<p><b>Ö krav 10: En kapsel om dagen</b> Konstruktion, byggande och drift av anläggningarna i systemet ska genomföras så att en kapsel per arbetsdag kan deponeras i djupförvaret.</p>

## 5 Djupförvaret

Djupförvaret är avsett för slutlig förvaring av det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet. Djupförvaret har två säkerhetsfunktioner;

- att *isolera* det använda kärnbränslet, samt
- att *fördröja* transport av radionuklider.

Den främsta säkerhetsfunktionen är att isolera det använda kärnbränslet. Kapseln svarar för den direkta isoleringen. Bufferten och berget bidrar till isoleringen genom att ge förhållanden där kapselns isolering kan upprätthållas under mycket lång tid.

Om isoleringen skulle brytas har djupförvaret till uppgift att fördröja radionuklidtransport, så att nukliderna då de slutligen når biosfären inte ger upphov till skada på människa och miljö. Kapseln, bufferten och berget samverkar för att upprätthålla denna funktion. Även bränslets och radionuklidernas egenskaper bidrar till fördröjningen.

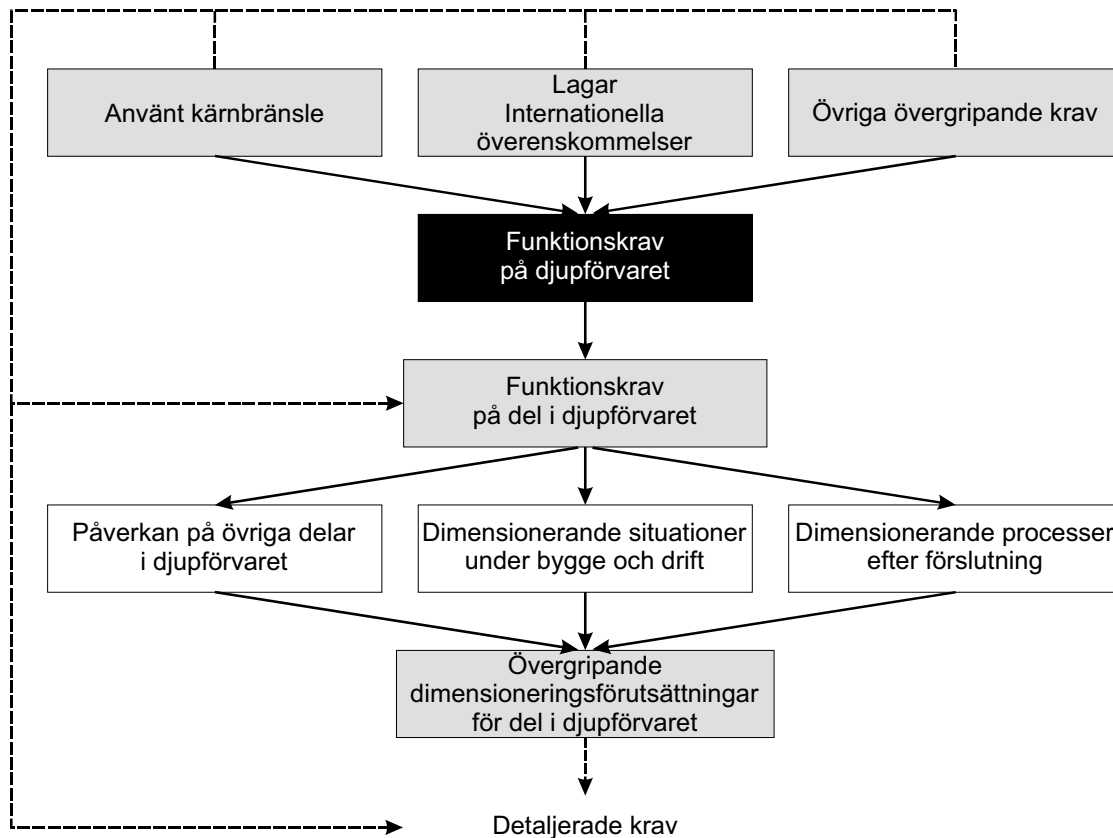
Djupförvaret består av:

- Det använda kärnbränslet
- Kapsel
- Buffert
- Återfyllning
- Berganläggning med;
  - deponeringstunnlar och deponeringshål
  - övriga bergrum och undersökningsborrhål (ramp, tunnlar, schakt, hallar, bergsilo samt borrhål)
  - pluggar i deponeringstunnlar

Konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret är sammanställda i avsnitt 5.2.

### 5.1 Funktionskrav

De krav som ställs på ett slutförvar för använt kärnbränsle i lagar, förordningar, föreskrifter och internationella överenskommelser är sammanställda i kapitel 3 Styrande regelverk. Baserat på dem och de ägarkrav som sammanställts i kapitel 4 Övriga övergripande förutsättningar och krav har funktionskrav på djupförvaret formuleras. Det är det första steget i arbetet med att ange allt mer detaljerade konstruktionsförutsättningar för djupförvaret och dess delar (se figur 5-1). Kraven redovisas nedan och är sammanställda i avsnitt 5.2, där även deras koppling till lagar m m redovisas.



*Figur 5-1. Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret.*

### 5.1.1 Säkerhet och strålskydd

Med hänsyn till säkerhet och strålskydd gäller följande funktionskrav för djupförvaret /SKB, 1998a, 2001a/:

Djup SS 1: **Isolera**

Djupförvaret ska i första hand isolera det radioaktiva avfallet från biosfären.

Djup SS 2: **Fördröja**

Om isoleringen skulle brytas har djupförvaret till uppgift att fördröja radionuklidtransport, så att nukliderna då de slutligen når biosfären inte ger upphov till skada.

Djup SS 3: **Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner**

Säkerheten ska baseras på flera säkerhetsfunktioner som ska upprätthållas av ett system av passiva barriärer.

Djup SS 4: **Samverkande barriärer**

En barriär i djupförvaret får inte äventyra de övriga barriärernas säkerhetsfunktioner.

Djup SS 5: **Strålskydd nu och i framtiden**

Djupförvaret ska skydda människa och miljö från skadlig verkan av strålning både nu och i framtiden.

- Djup SS 6: **Enskilda brister ej äventyra säkerhet**  
Brister i enskilda barriärer får inte påtagligt försämra djupförvarets säkerhet.
- Djup SS 7: **Långtidsstabila barriärer**  
Barriärernas långsiktiga utveckling ska vara möjlig att utvärdera.
- Djup SS 8: **Bygga med hänsyn till långsiktig säkerhet**  
Bygga och drift av djupförvarsanläggningen får endast ge begränsad påverkan på djupförvarets säkerhetsfunktioner.
- Djup SS 9: **Strålskydd vid drift**  
Stråldoser som kan uppstå i samband med drift av djupförvaret ska begränsas så långt möjligt.

### 5.1.2 Miljö

Specifikationen av miljökrav utgår från Miljöbalken, baserat på den har följande kravspecifikation gjorts:

- Djup M 1: **Begränsad inverkan på miljön**  
Djupförvaret ska utformas så att det ger ett gott strålskydd och så att det både nu och i framtiden innebär ett så litet ingrepp i miljön som möjligt.
- Djup M 2: **Minimera konsumtion av råvaror och energi**  
Konsumtionen av material, råvaror och energi ska vara så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.

### 5.1.3 Byggande och drift

Lagstiftningen inom plan-, bygg- och arbetsmiljöområdet syftar till att begränsa störningar och annan miljöpåverkan samt olycksrisker. Kraven är i första hand relaterade till byggande och drift av berganläggningen, inga krav som gäller djupförvaret som helhet har identifierats.

### 5.1.4 Internationella överenskommelser

Mot bakgrund av IAEA:s icke spridnings avtal ställs följande krav på djupförvaret:

- Djup I 1: **Förhindra olovlig befattning med kärnämne**  
Djupförvaret ska förhindra olovlig befattning med kärnämne.
- Djup I 2: **Kontrollera klyvbart material**  
Det ska vara möjligt att kontrollera och verifiera att det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet deponeras i djupförvaret.

### 5.1.5 Övriga förutsättningar och krav

Baserat på resonemang runt kravet på att inte lägga otillbörliga bördor på kommande generationer har följande krav på djupförvaret formulerats:

- Djup Ö 1: **Återtag**  
Det ska vara möjligt att återta deponerade kapslar men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra djupförvarets barriärer och deras säkerhetsfunktioner.

## 5.2 Samband mellan funktionskrav på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav

I detta avsnitt redovisas i tabellform (tabell 5-1) sambandet mellan funktionskraven på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav. Med lagkrav avses de krav i lagar, föreskrifter och internationella överenskommelser som redovisats i kapitel 3 Styrande regelverk. Ägarkrav avser krav redovisade i kapitel 4 Övriga övergripande förutsättningar och krav.

**Tabell 5-1. Samband mellan funktionskrav på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav.**

Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav på djupförvaret
<p><b>Djup SS 1: Isolera</b> Djupförvaret ska i första hand isolera det radioaktiva avfallet från biosfären.</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b> Säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer som är så utformade att genombrott av en barriär endast leder till begränsade omgivningskonsekvenser /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §; SKIFS 2002:1 3, 7 §/.</p>
<p><b>Djup SS 2: Fördröja</b> Om isoleringen skulle brytas har djupförvaret till uppgift att fördröja radionuklidtransport, så att nukliderna då de slutligen når biosfären inte ger upphov till skada.</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p>
<p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b> Säkerheten ska baseras på flera säkerhetsfunktioner som ska upprätthållas av ett system av passiva barriärer.</p>	<p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b> En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b> Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.</p>
<p><b>Djup SS 4: Samverkande barriärer</b> En barriär i djupförvaret får inte äventyra de övriga barriärernas säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Djup SS 5: Strålskydd nu och i framtiden</b> Djupförvaret ska skydda människa och miljö från skadlig verkan av strålning både nu och i framtiden.</p>	<p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet, dels i framtiden /SSI FS 1998:1 3 §/.</p> <p><b>Lag SS 17: Acceptabel risk</b> Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst <math>10^{-6}</math> för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken /SSI FS 1998:1 5 §/.</p>
<p><b>Djup SS 6: Enskilda brister ej äventyra säkerhet</b> Brister i enskilda barriärer får inte påtagligt försämra djupförvarets säkerhet.</p>	<p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b> Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets barriärer ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden som kan påverka barriärerna skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>

Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav på djupförvaret
<p><b>Djup SS 7: Långtidsstabla barriärer</b> Barriärernas långsiktiga utveckling ska vara möjlig att utvärdera.</p>	<p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b></p> <p><b>Lag SS 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b> För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön /SSI FS 1998:1 11 §/.</p> <p><b>Lag SS 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b> För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären /SSI FS 1998:1 12 §/.</p>
<p><b>Djup SS 8: Bygga med hänsyn till långsiktig säkerhet</b> Bygga och drift av djupförvarsanläggningen får endast ge begränsad påverkan på djupförvarets säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b></p>
<p><b>Djup SS 9: Strålskydd vid drift</b> Stråldoser som kan uppstå i samband med drift av djupförvaret ska begränsas så långt möjligt.</p>	<p><b>Lag SS 6: Identifiera händelser som kan påverka skyddsåtgärder</b> Händelser som kan påverka åtgärder eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 7: Acceptabel tålighet hos skyddsåtgärder</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 8: Förebygga störningar</b> Störningar och haverier ska i största möjliga utsträckning förebyggas /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag SS 13: Strålskydd under drift</b> Djupförvaret ska förses med tekniska anordningar, mätutrustning m m som krävs för att upprätthålla ett gott strålskydd /SFS 1988:220 6 §/.</p>
<p><b>Djup M 1: Begränsad inverkan på miljön</b> Djupförvaret ska utformas så att det ger ett gott strålskydd och så att det både nu och i framtiden innebär ett så litet ingrepp i miljön som möjligt.</p>	<p><b>Lag M 1: Hållbar utveckling</b> En hållbar utveckling ska främjas som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 2: Människa och miljö skyddas</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas mot föroreningar och annan påverkan /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 3: Skydda värdefulla miljöer och biologisk mångfald</b> Värdefulla natur- och kulturmiljöer ska skyddas och den biologiska mångfalden bevaras /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 4: Begränsa ingrepp i fysisk miljö</b> Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt ska användas så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas /SFS 1998:808 1 kap 1 §, 2 kap 4 §, 3 kap, 4 kap/.</p> <p><b>Lag SS 18: Biologisk mångfald</b> Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska göras så att biologisk mångfald och hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning /SSI FS 1998:1 6 §/.</p>

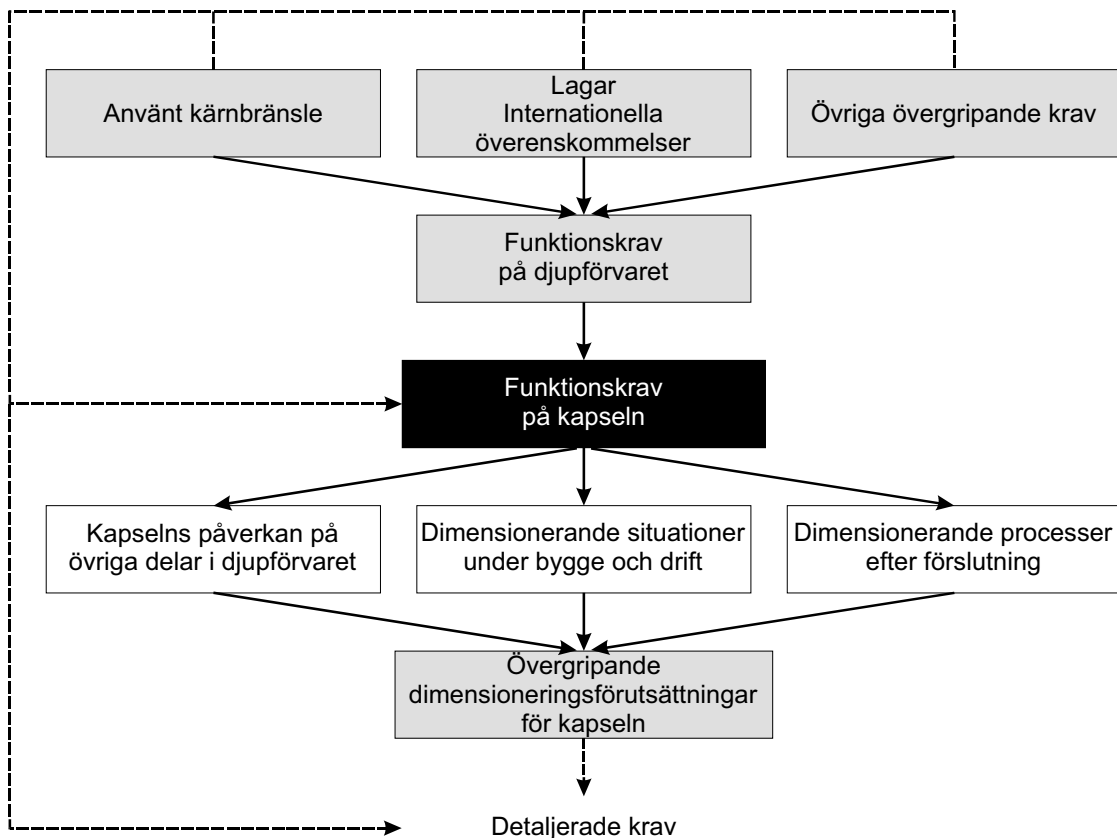
Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav på djupförvaret
<p><b>Djup M 2: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b>            Konsumtionen av material, råvaror och energi ska vara så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.</p>	<p><b>Lag M 1: Hållbar utveckling</b></p> <p><b>Lag M 5: Hushåll med råvaror och energi</b>            Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi ska främjas så att ett kretslopp uppnås /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag ss 18: Biologisk mångfald</b></p>
<p><b>Djup I 1: Förhindra olovlig befattning med kärnämne</b>            Djupförvaret ska förhindra olovlig befattning med kärnämne.</p>	<p><b>Lag I 2: Fredlig användning av kärnenergi</b>            Kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi får inte användas för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III/.</p>
<p><b>Djup I 2: Kontrollera klyvbart material</b>            Det ska vara möjligt att kontrollera och verifiera att det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet deponeras i djupförvaret.</p>	<p><b>Lag I 3: Kontroll av kärnämne</b>            Det ska kontrolleras och verifieras att kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi inte används för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III; IAEA:s stadgar, Paragraf XII/.</p>
<p><b>Djup Ö 1: Återtag</b>            Det ska vara möjligt att återta deponerade kapslar men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra djupförvarets barriärer och deras säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 3: Återtag</b>            Inverkan på slutförvarets säkerhet av åtgärder som införs för att underlätta återtag eller övervakning samt för att förhindra intrång ska redovisas /SKIFS 2002:1 8 §; SSI FS 1998:1 8 §/.</p> <p><b>Lag I 1: Ej bördor på kommande generationer</b>            Vid omhändertagande av radioaktivt avfall ska man sträva efter att inte lägga otillbörliga bördor på kommande generationer /IAEA, 1997, Kap 2, Paragraf 4/.</p> <p><b>Ö krav 7: Stegvis genomförande</b>            Utbyggnad av djupförvaret och deponering ska ske stegvis med möjlighet att återta deponerade kapslar.</p>

## 6 Kapsel

Kapseln svarar för den direkta isoleringen av det använda kärnbränslet. Så länge kapseln är intakt förhindras all spridning av radioaktivitet till omgivningen. Konstruktionsförutsättningarna gäller en kapsel som består av en yttre kopparkapsel och en insats av järn eller stål. Konstruktionsförutsättningarna för kapseln är sammanställda i avsnitt 6.6.

### 6.1 Funktionskrav

Funktionskraven har formulerats utifrån de lagkrav och ägarkrav som anges i kapitel 3 och 4, de krav som i avsnitt 5.1 ställts på djupförvaret samt det använda bränslets egenskaper (se figur 6-1). Funktionskraven är sammanställda i avsnitt 6.6, där även deras koppling till funktionskrav på djupförvaret och lagar m m redovisas.



**Figur 6-1.** Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret. Färgade fält utgör konstruktionsförutsättningar, vita utgör bakgrund till konstruktionsförutsättningar.



### 6.1.1 Säkerhet och strålskydd

Med hänsyn till säkerhet och strålskydd gäller följande funktionskrav för kapseln /SKB, 1998a, 2001a/:

- Kpsl SS 1: **Innesluta bränslet**  
Kapseln ska innesluta det använda kärnbränslet och förhindra spridning av radioaktivitet till omgivningen.
- Kpsl SS 2: **Tät vid deponering**  
Kapseln ska vara tät vid deponeringen.
- Kpsl SS 3: **Kemiskt beständig**  
Kapseln ska vara beständig i den kemiska miljö som förväntas i djupförvaret.
- Kpsl SS 4: **Mekaniskt beständig**  
Kapseln ska motstå de mekaniska belastningar som förväntas i djupförvaret.
- Kpsl SS 5: **Begränsa värme och stråldos**  
För att undvika negativ inverkan på barriärerna ska kapseln begränsa värme och stråldos till närområdet.
- Kpsl SS 6: **Liten inverkan på övriga barriärer**  
Kapseln ska ha försumbar termisk, kemisk och mekanisk inverkan på övriga barriärers och bränslets bidrag till isolering och fördröjning.

### 6.1.2 Miljö

Med hänsyn till miljöbalken gäller för kapseln:

- Kpsl M1: **Minimera konsumtion av råvaror och energi**  
Kapseln ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.

### 6.1.3 Byggande och drift

Med hänsyn till lagstiftningen inom plan-, bygg- och arbetsmiljöområdet gäller för kapseln:

- Kpsl BD 1: **Säker hantering**  
Kapseln ska kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.

### 6.1.4 Internationella överenskommelser

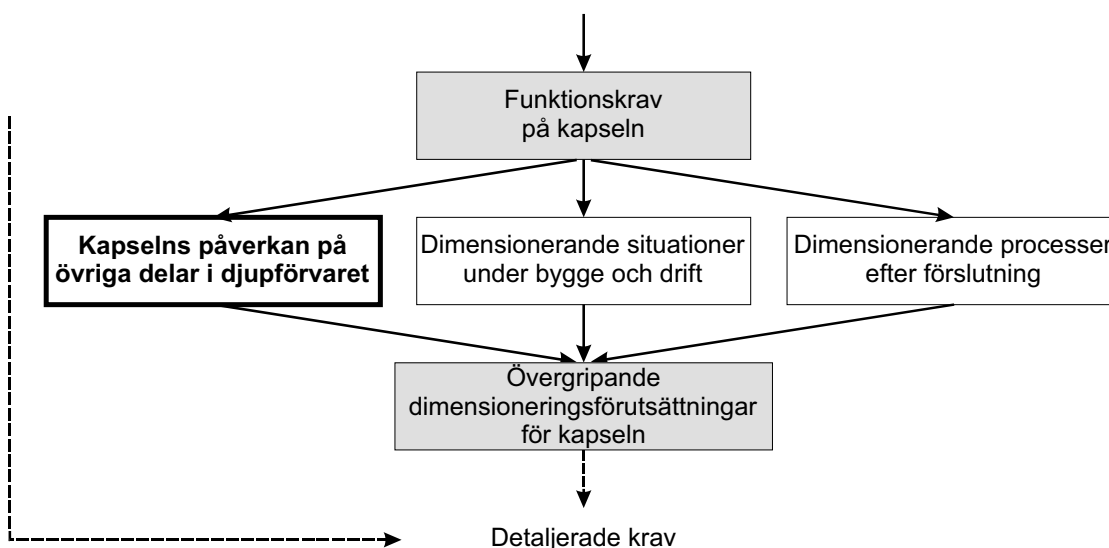
- Kpsl I 1: **Kapsla in allt använt kärnbränsle**  
Det ska vara möjligt att kontrollera och verifiera att allt använt kärnbränsle från det svenska kärnkraftsprogrammet har kapslats in.

### 6.1.5 Övriga förutsättningar och krav

- Kpsl Ö 1: **Anpassas till det svenska kärnkraftsprogrammet**  
Kapseln ska rymma de olika typer av använt kärnbränsle som beskrivs i kapitel 2 Använt kärnbränsle.
- Kpsl Ö 2: **Tillförlitlig och effektiv tillverkning**  
Kapseln ska kunna serietillverkas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.
- Kpsl Ö 3: **Tillförlitlig och effektiv förslutning**  
Kapseln ska kunna förslutas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.
- Kpsl Ö 4: **Återta kapsel**  
Kapseln ska utformas så att den kan återtas, men detaljer som införs för att underlätta återtag får inte försämra kapselns barriärsfunktioner.

### 6.2 Påverkan på övriga delar i djupförvaret

Utformningen av kapseln är kopplad till och beror av utformningen av andra delar i djupförvaret. I detta avsnitt redovisas hur kapseln påverkar övriga delar. Hur övriga delar påverkar kapseln redovisas under motsvarande rubrik i kapitlen om respektive del. Syftet är att få en överblick över hur förändringar av kapseln påverkar utformningen av övriga delar och vice versa. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 6.5.



Figur 6-2. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för kapseln.

### **6.2.1 Konstruktionsbestämmande parametrar**

Kapseln påverkar utformningen av andra delar i djupförvaret genom parametrarna:

- Antal bränsleelement
- Dimension
- Material
- Resteffekt – dvs den sammanlagda resteffekten hos bränslet i kapseln

### **6.2.2 Buffert**

Kapselns dimension bestämmer innerdiametern på bufferten. Antal bränsleelement, kapselns dimension och material bestämmer dess vikt och det tryck kapseln utövar mot bufferten. Kapselns material och dimension påverkar storleken på de mekaniska och kemiska påfrestningar bufferten kan tillåtas utsätta kapseln för. Resteffekten påverkar bufferten och vattnet i den genom strålning och värme. Resteffekten är ingångsvillkor för beräkningar av värmetransport och temperatur i bufferten.

### **6.2.3 Återfyllning**

Kapselns material och dimension påverkar de kemiska påfrestningar kapseln kan tillåtas utsättas för och därmed val av material för återfyllning.

### **6.2.4 Deponeringstunnlar och deponeringshål**

Deponeringstunnlar och deponeringshål ska ha tillräckliga dimensioner för att kapseln ska gå att deponera.

Kapselns material och dimension påverkar storleken på de mekaniska och kemiska påfrestningar kapseln kan tillåtas utsättas för och därmed hur deponeringstunnlar och deponeringshål bör placeras in i berget och vilka konstruktioner (tätningar, förstärkningar, installationer m m) som kan tillåtas i dem.

Resteffekten är utgångspunkt för beräkningar av värmetransport och temperaturer i förvarsberget.

### **6.2.5 Övriga bergrum samt undersökningsborrhål**

Kapselns material och dimension påverkar de kemiska påfrestningar kapseln kan tillåtas utsättas för och därmed hur övriga bergrum, dvs ramp, tunnlar och schakt samt hallar och bergsilo, bör placeras in i berget och vilka konstruktioner (tätningar, förstärkningar, golv m m) som kan tillåtas i dem.

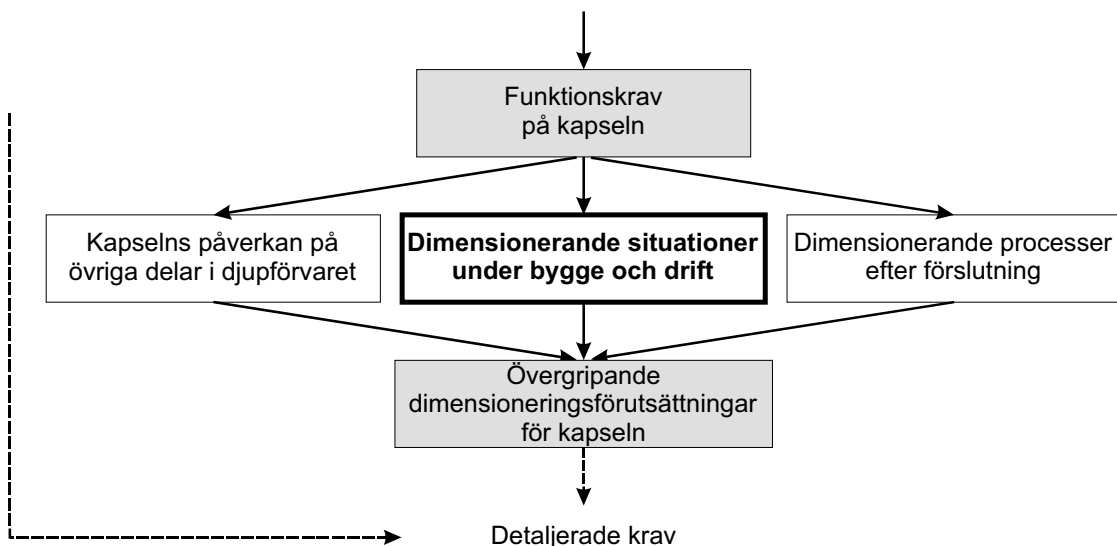
## 6.2.6 Utrustning samt kring- och serviceanläggningar

Kapselns dimension och vikt samt resteffekten ställer krav på den utrustning som krävs för att hantera kapseln. Kapseln utformas med hänsyn till påfrestningar som förekommer vid normal hantering och i djupförvaret efter förslutning. I samband med brand och andra missöden kan påfrestningar som skadar kapseln förekomma. Kapselns dimension och material påverkar de extremlastningar den kan tillåtas utsättas för vid missöden eller avvikelser från det normala, vilket i sin tur ställer krav på utformning av utrustning och kring- och serviceanläggningar.

## 6.3 Dimensionerande situationer vid hantering och drift

I detta avsnitt redovisas situationer som uppträder vid hantering och drift som påverkar utformningen av kapseln. Redovisningen utgår från den beskrivning av hantering och drift som ges i ”Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden /SKB, 2000/. De dimensionerande situationerna kan vara relaterade till normala förhållanden eller till avvikelser från det normala. Kapseln dimensioneras ej för de extrema påfrestningar som kan uppstå i samband med missöden under drifttiden. Istället utformas utrustning för att hantera förslutna kapslar och utrymmen där kapslar lagras och hanteras med hänsyn till tänkbara missöden. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 6.5.

Som en bakgrund till de identifierade situationerna ges en kort beskrivning av hantering och drift i avsnitt 6.3.3. De dimensionerande situationerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar.



Figur 6-3 Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för kapseln.

### 6.3.1 Normala förhållanden

- **Tillverkning**  
Tillverkningsmetod och tillverkningsprocess påverkar kopparkapselns och insatsens egenskaper.
- **Val av bränsleelement**  
Bränsleelementens utbränningsgrad och den tid de lagrats påverkar sannolikheten för att kriticitet ska uppstå i kapseln, den sammanlagda resteffekten i kapseln samt strålning och effekt från kapselytan.
- **Förslutning**  
Förslutningsmetod och förslutningsprocess påverkar förslutningens egenskaper.
- **Kontroll**  
Kontrollmetoder och kontrollprocess påverkar sannolikheten att icke godkända kapslar deponeras.
- **Hantering**  
Insats, kopparkapsel, den tomma kapseln och de förslutna kapslarna med använt kärnbränsle utsätts för mekanisk påfrestning vid lyft, transporter och lagring.
- **Arbetarskydd**  
Strålning från bränslet som tränger igenom kapseln utsätter personer i kapselns närhet för dosbelastning.
- **Uppvärmning och förångning av grundvatten**  
Då använt bränsle placeras i kapseln kommer den att värmas. Om kraftig förångning av grundvatten sker innan förvaret vattenmättats kan anrikningar av utfällda ämnen bildas på kapselytan. Dessa kan i samband med vattenmättnad ge en kemiskt aggressiv miljö i kapselns närhet.
- **Svälltryck från buffert**  
Kapseln utsätts för mekanisk påfrestning från det svälltryck som uppstår då bufferten vattenmättas samt från det vattentryck som råder på förvarsdjupet.
- **Korrosion av försluten kapsel**  
Kopparkapseln utsätts för korrosionsangrepp innan förvaret försluts;
  - i luft före deponering vid lagring och i djupförvaret före vattenmättnad
  - i vatten under buffertens vattenmättnadsfas.

### 6.3.2 Avikelser från det normala

- **Ojämnt svälltryck**  
Utvecklingen av svälltrycket i bufferten leder till ojämn belastning av kapseln.
- **Avvikande deponering**  
Kapseln utsätts för ojämn last antingen på grund av att den deponerats snett eller på grund av avvikelser i deponeringshålet.

### 6.3.3 Hantering och drift

#### ***Normala förhållanden***

Kopparkapseln tillverkas i en fabrik dit prefabricerade ämnen för kapselns komponenter levereras. Insatsen placeras i kopparkapseln och förses med lock varpå kapseln transporteras till inkapslingsanläggningen. Till inkapslingsanläggningen transporteras också det använda bränslet. En kombination bränsleelement med lämplig utbränningsgrad och lagringstid väljs för varje kapsel. Innan bränslet placeras i kapslarna torkas det. Bränsle placeras i kapseln varpå insatsen förses med ett tätt lock. Därefter kontrolleras insatsens täthet och fogytan för locksvetsen innan kapseln förs över till en arbetsstation där kopparlocket svetsas fast. Förslutningen kontrolleras varpå kapslarna transporteras till djupförvaret. Vid djupförvaret tas de emot och lagras i en ovanjordsanläggning innan de deponeras. Då deponeringen i en deponeringstunnel är klar försluts tunneln. Grundvatten rör sig in mot deponeringsområdet och bufferten vattenmätas. Under buffertens vattenmättnadsfas står kapseln i kontakt med fuktig luft som utsätts för gammastrålning /SKB, 1999b/.

#### ***Missöden och avvikelser från det normala***

Vid missöden under transport och hantering kan insats och kopparkapsel utsättas för extrem påfrestning. Skulle insats eller kopparkapsel skadas på ett sätt som äventyrar funktionen i djupförvaret kasseras de och används inte för inkapsling av använt kärnbränsle.

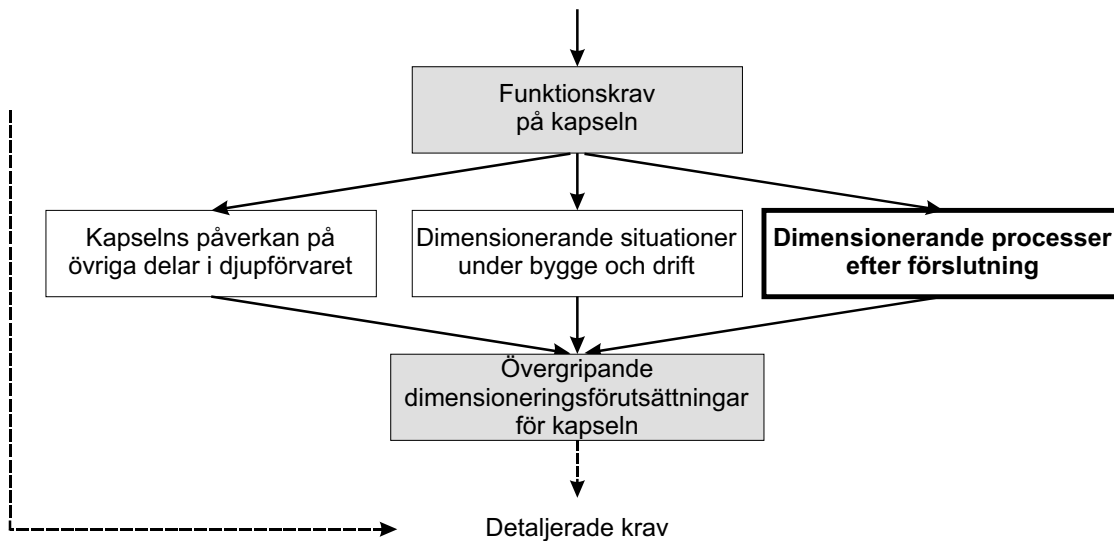
Förslutna kapslar kan tappas i samband med lyft. Brand kan uppstå i inkapslingsanläggningen, i lagerlokaler eller i djupförvaret. Missöden kan inträffa i samband med transporter. Kapseln dimensioneras inte för att motstå belastningar som kan uppstå i samband med mindre sannolika missöden som kan förekomma under drifttiden. Istället utformas utrustning för att hantera förslutna kapslar och utrymmen där kapslar lagras och hanteras med hänsyn till kapselns utformning. Sannolikheten för missöden ska hållas låg och det använda bränslet ska efter ett missöde kunna hanteras, kapslas in och deponeras på ett godkänt sätt.

Bränslet ska torkas innan det kapslas in, om bränslet inte torkats ordentligt och vatten finns kvar i den förslutna kapseln innebär det risk för korrosion inne i kapseln.

I normala fall förväntas en relativt jämn tryckuppbyggnad i bufferten i samband med att den vattenmätas. Ojämnt vattenflöde till deponeringshålet skulle i vissa fall kunna ge en sådan ojämn tryckuppbyggnad i bufferten att det leder till snedbelastning av kapseln. Snedbelastningen uppstår under vattenmättnadsfasen då kapseln inte utsätts för vattentryck /Werme, 1998/.

Normalt utsätts kapseln för en jämn tryckbelastning efter bufferten vattenmättats och kapseln utsätts för fullt vattentryck. Om kapseln är snedplacerad i deponeringshålet eller deponeringshålet är ovalt, snett eller har ojämna väggar kan en tryckojämnhets finnas efter vattenmättnad /Werme, 1998/.

## 6.4 Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret



Figur 6-4. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för kapseln.

I detta avsnitt redovisas processer som uppträder efter förslutning av förvaret och som påverkar utformningen av kapseln. Redovisningen utgår från sammanställningen av processer, ”Processer i förvarets utveckling” /SKB, 1999b/, som gjordes inför säkerhetsanalysen SR 97 /SKB, 1999a/. Endast några av de redovisade processerna påverkar utformningen av kapseln. För fullständighetens skull redovisas ändå samtliga processer. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 6.5.

Processbeskrivningarna sammanfattas i avsnitt 6.4.1–6.4.5. De dimensionerande processerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar. Syftet är att redovisa vilka processer som styr utformningen, samt att visa hur kunskapen om förvarets långsiktiga utveckling och säkerhet tas tillvara i utformningen av kapseln.

### 6.4.1 Strårelaterade processer

#### **Stråldämpning/värmealstring**

En del av strålningen från det radioaktiva sönderfallen i bränslet kommer att tränga ut till kapseln. Den radioaktiva strålningen kommer att dämpas av kapselmaterialet och ge upphov till värmealstring. En del  $\gamma$ - och neutronstrålning tränger igenom kapseln. Processen påverkar utformningen av kapseln.

### 6.4.2 Termiska processer

#### **Värmetransport**

Alstrad värme transporteras genom ledning och strålning i, och mellan, bränsle, gjutjärnsinsats och kopparkapsel. Processen påverkar utformningen av kapseln.

### 6.4.3 Hydrauliska processer

#### ***Vatten- och gastransport i kapselns hålrum***

Vatten kan tränga in i en otät kapsel, vattnet orsakar korrosion samt eventuellt frigörelse och transport av radionuklider från bränslet och ut från kapseln. Dessa processer utreds i säkerhetsanalyser. Processerna är inte dimensionerande utan kapseln dimensioneras för att vara, och förbli, tät under mycket lång tid.

### 6.4.4 Mekaniska processer

#### ***Deformation av gjutjärnsinsats***

Då kapseln belastas mekaniskt byggs spänningar upp och kapselmaterialet deformeras, vid extrema belastningar kommer gjutjärnsinsatsen att kollapsa. I det förslutna djupförvaret utsätts kapseln för:

- svälltryck från bufferten,
- vattentryck på förvarsdjup, dvs summan av vattentryck motsvarande deponeringsdjupet och eventuellt havsdjup eller islast,
- belastningar orsakade av deformation av deponeringshålet (se berganläggning avsnitt 9.4.4 Mekaniska processer, Rörelser längs befintliga sprickor, Sprickbildning samt Tidsberoende deformationer) som via bufferten förs över till kapseln

En inlandsis kan ge upphov till rörelser i berget samt orsaka höga vattentryck i förvaret.

Vid jordskalv sker berg rörelser som momentana förskjutningar längs befintliga sprickor samt sprickbildning.

Insatsen ska utformas för att motstå dessa belastningar.

#### ***Deformation av kopparkapsel från yttre övertryck***

Då kapseln utsätts för yttre tryck deformeras den in mot gjutjärnsinsatsen, antingen plastiskt eller genom kryp. Det medför att kopparkapseln utsätts för mekaniska påfrestningar och storleken på gapet mellan kopparkapsel och gjutjärnsinsats förändras. Beräkningar av spänningar och töjningar i kopparkapseln, samt förändringar av gapet har genomförts /SKB, 1999b; Werme, 1998; Cakmak, 1994; Börgesson, 1992/. Processen är icke dimensionerande.

#### ***Termisk expansion***

Termisk utvidgning/sammandragning ger upphov till töjningar i gjutjärnsinsatsen och kopparkapseln. Längdutvidgningen har beräknats för de högsta temperaturer som beräknas uppkomma. Töjningarna är försumbara ur hållfasthetssynpunkt och processen är icke dimensionerande /SKB, 1999b/.

#### ***Deformation från inre korrosionsprodukter***

Vatten kan tränga in i en otät kapsel, vattnet orsakar korrosion, i första hand av gjutjärnsinsatsen, och ger upphov till uppbyggnad av korrosionsprodukter. Korrosionsprodukterna kan ge upphov till mekaniska påkänningar i kapseln. Dessa processer utreds i säkerhetsanalyser. Processerna är inte dimensionerande utan kapseln dimensioneras för att vara, och förbli, tät under mycket lång tid.



## **6.4.5 Kemiska processer**

### ***Restgasradiolys/syrabildning***

Genom radiolys kan luft och vatten i en intakt kapsel sönderdelas. Produkterna kan sedan genom reaktioner med vatten/vattenånga omvandlas till korrosiva gaser som salpetersyra och salpetersyrlighet. Bildningen av salpetersyra beror av tillgänglig mängd vatten och luft samt dosraten. Bildade mängder har beräknats /Marsh, 1990; Henshaw m fl, 1990; Henshaw, 1994/. Salpetersyran kan bidra till korrosion, se spänningskorrosion av gjutjärnsinsatsen.

### ***Vattenradiolys***

Vatten i kapseln utsätts för gammastrålning och sönderdelas i reducerande och oxiderande beståndsdelar. Processen är endast relevant för en otät kapsel. Den är inte dimensionerande, eftersom kapseln dimensioneras för att förbli tät under lång tid.

### ***Speciering av järnkorrosionsprodukter***

Vatten i kapseln orsakar korrosion av gjutjärnsinsatsen. Om löst syre finns i vattnet reagerar det med gjutjärnet, resultatet blir att reducerande förhållanden kommer att råda i kapselns hålrum. Processen är endast relevant för en otät kapsel, och är icke dimensionerande.

### ***Heliumproduktion***

$\alpha$ -partiklar (heliumkärnor) från  $\alpha$ -sönderfall i bränslet bildar helium vilket leder till tryckuppbyggnad i bränslestavarnas kapslingsrör (se även avsnitt 2.2.4). Om kapslingsrören är otäta fås en tryckuppbyggnad i kapselns hålrum. Tryckökningen är även i ett långt tidsperspektiv försumbar /SKB, 1999b/, och processen är inte dimensionerande.

### ***Korrosion gjutjärnsinsats***

Vatten kan trots att bränslet torkas föras in i kapseln med bränslet. I den förslutna kapseln orsakar vattnet korrosion av insatsen. Korrosionen har beräknats under antagande att den mängd vatten (50 g) som kan rymmas i en bränslepinne förts in i kapseln. Beräkningarna visar att processen kan försummas /Werme, 1998; SKB, 1999b/.

Korrosion av gjutjärnsinsatsen är av central betydelse för en otät kapsel, och behandlas i säkerhetsanalysen. Eftersom kapseln dimensioneras för att förbli tät är processen inte dimensionerande.

### ***Galvanisk korrosion***

Om grundvatten kommer in i kapseln förekommer galvanisk korrosion av gjutjärnsinsatsen. Det kan endast inträffa om kopparkapseln skadats så att vatteninträngning är möjlig. Processen behandlas i säkerhetsanalyser men är inte dimensionerande eftersom kopparkapseln dimensioneras för att förbli tät under lång tid.

### **Spänningskorrosion gjutjärnsinsats**

Spänningskorrosion kan uppstå vid en kombination av statiska dragpåkänningar och speciell kemisk miljö. I kapseln skulle salpetersyra bildad genom radiolys kunna leda till spänningskorrosion om den kondenserar på områden med dragspänningar på gjutjärnsinsatsen /Werme, 1998/. Med hänsyn till förhållandena i kapseln /Reed och van Konynenburg, 1991a,b/ och dragpåkänningarna i kapseln /Ekberg, 1995/ bedöms risken för skador på grund av spänningskorrosion vara mycket liten /Werme, 1998; SKB 1999a/. Processen är inte dimensionerande.

### **Strålpåverkan**

Neutronstrålning kan påverka kapselmaterialets mekaniska egenskaper. Materialets egenskaper förändras så att hållfastheten ökar medan duktiliteten sjunker. Effekterna är väl kända, deras betydelse har beräknats och visats vara försumbara. Processen är icke dimensionerande. /SKB, 1999b; Werme, 1998; Guinan, 2001/.

### **Korrosion kopparkapsel**

Då förvaret förslutits och bufferten är vattenmättad förekommer under en kortare period syre på förvarsdjup, detta syre kan orsaka korrosion av kopparkapseln. Under denna period förväntas temperaturen i förvaret vara förhöjd. Det leder till ökad korrosionshastighet. Det är dock av underordnad betydelse eftersom diffusionen av reaktanter är styrande för korrosionshastigheten, och denna påverkas i betydligt mindre grad av temperaturen.

Då syret förbrukats och reducerande förhållanden råder orsakas kopparkorrosion av lösta sulfider. Halterna löst sulfid bestäms av lösligheten av sulfidmineraler i berget och bufferten. Förväntad grundvattensammansättning redovisas i tabell 9-3.

Bakteriell korrosion kan förekomma då bakterier reducerar sulfat till sulfid. Om bakterier finns på eller nära kopparkapselns yta kan korrosionen styras av transporten av sulfat till bakterierna vilket kan ge förhöjd korrosion eftersom transporten av sulfat är betydligt snabbare än transporten av sulfid. Sulfatreducerande bakterier kan dock inte överleva i kompakterad bentonit /Pedersen m fl, 1995; Motamedi m fl, 1996/. En förutsättning för processen är således att bufferten satts ur funktion. Processen tas upp i säkerhetsanalyser. Den är inte dimensionerande eftersom bufferten dimensioneras för ett behålla sin funktion under lång tid.

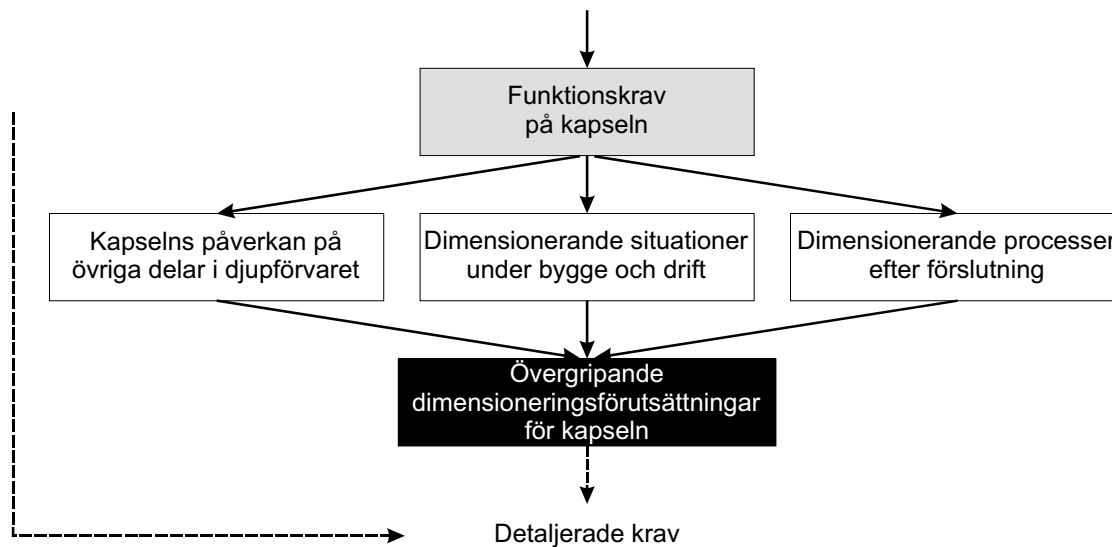
Oorganisk sulfatkorrosion bedöms som utesluten under förvarsförhållanden.

Kopparkapseln ska utformas med hänsyn till de korrosionsprocesser som förekommer i djupförvaret.

### **Spänningskorrosion kopparkapsel**

Spänningskorrosion av koppar kan förekomma vid dragspänning och speciella kemiska förhållanden. Spänningskorrosion av kopparhöljet har utretts i flera studier /Werme, 1998; Benjamin m fl, 1988; Rosborg och Svensson, 1994/. Processen bedöms inte uppstå under förvarsförhållanden, och den är därför inte dimensionerande.

## 6.5 Dimensioneringsförutsättningar



Figur 6-5. Aktuell del för konstruktionsförutsättningarna för kapseln.

### 6.5.1 Utformning

Utf Kpsl 1: **Antal bränsleelement**

Kapseln ska rymma det antal bränsleelement som, med hänsyn till bränslets egenskaper och förvarsutformningen, bestämts så att Utf Kpsl 7 uppfylls.

Utf Kpsl 2: **Storlek**

Kapselns dimensioner och dess utrymme för bränsleelement ska anpassas till elementens dimensioner samt förekommande längdutvidgning och andra deformationer.

Utf Kpsl 3: **Kriticitet**

Kapseln ska utformas så att kriticitet förhindras även om kapseln skulle bli vattenfylld.

Utf Kpsl 4: **Möjlig att kontrollera**

En försluten kapsel ska kunna kontrolleras och visas uppfylla krav på beständighet och täthet.

Utf Kpsl 5: **Lyft**

Kapseln ska utformas så att erforderlig säkerhet erhålles vid lyft med ingrepp i locket.

Utf Kpsl 6: **Strålning**

Insatsen och kopparkapseln ska med hänsyn till bränslets resteffekt utformas så att strålningen som tränger igenom kapseln inte blir för intensiv.

Utf Kpsl 7: **Temperatur på kapselytan**

Temperaturen på ytan av deponerade kapslar får inte medge förångning av vatten.

Utf Kpsl 8: **Normalt svälltryck**

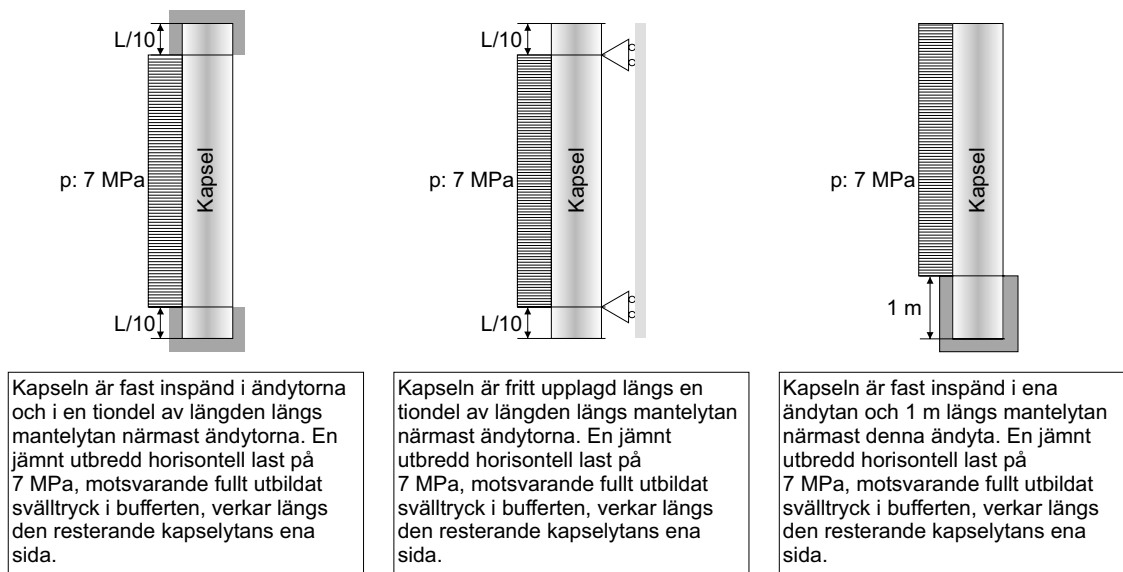
Kapseln ska motstå svälltryck från bufferten samt vattentrycket på förvarsdjup.

- Utf Kpsl 9: **Ojämn tryckuppbyggnad**  
Kapseln ska kontrollberäknas för ojämn belastning som kan uppstå i samband med vattenmättnad av bufferten.
- Utf Kpsl 10: **Ojämn belastning efter vattenmättnad**  
Kapseln ska motstå ojämn belastning som kan förekomma efter vattenmättnad av bufferten.
- Utf Kpsl 11: **Islast**  
Kapseln ska motstå det ökade tryck den kan komma att utsättas för under en istid.
- Utf Kpsl 12: **Jordskalv**  
I händelse av jordskalv ska kapseln kontrollberäknas för de berg rörelser och tryckförändringar som kan förekomma i deponeringshål.
- Utf Kpsl 13: **Korrosion**  
Kopparkapselns tjocklek ska vara tillräcklig för att stå emot kända korrosionsprocesser före deponering samt i den kemiska miljö som förväntas i djupförvaret.
- Utf Kpsl 14: **Minimera miljöpåverkan**  
Kapseln ska utformas så att tillverkning, hantering och deponering ger så liten miljöpåverkan som möjligt.

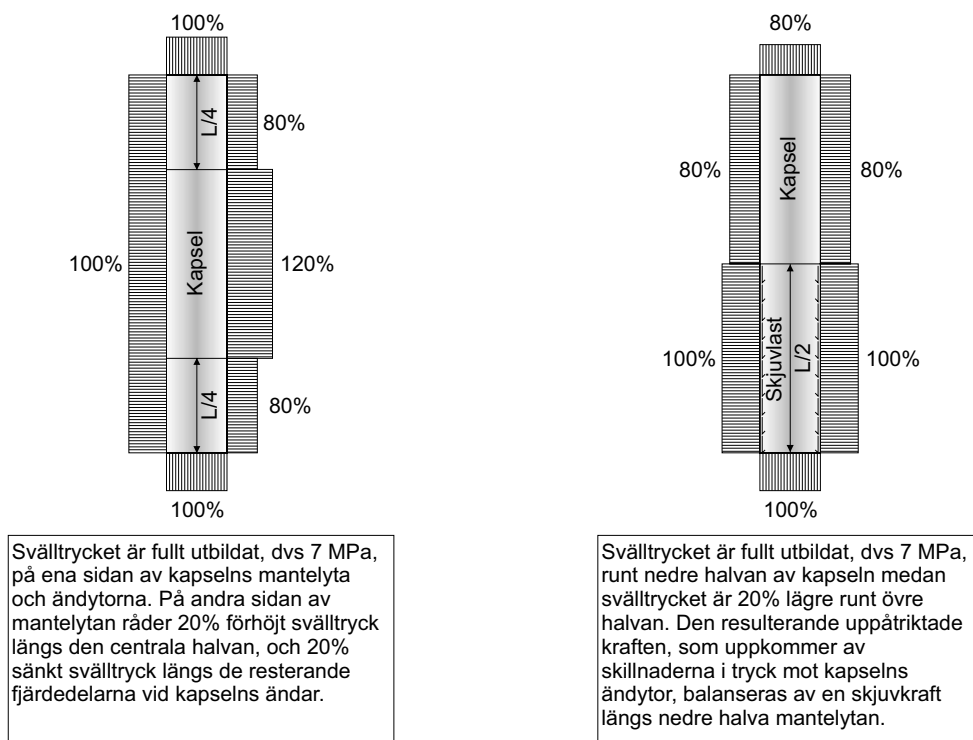
De parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna måste kvantifieras för att kapseln ska kunna utformas, tillverkas och kontrolleras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 6-1 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 6-1. Kvantifiering av parametrar, laster m m för kapseln.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utf Kpsl 1: Antal bränsleelement	12 BWR element 4 PWR element	/Pettersson, 1997/
Utf Kpsl 2: Storlek	Bränsledimensioner enligt tabell 2-1	/SKB, September 2002/
Utf Kpsl 3: Kriticitet	$k_{\text{eff}} < 0,95$	
Utf Kpsl 6: Strålning	Resteffekt enligt tabell 2-1 Ytdosrat < 1 Gy/h	/Werme, 1998/
Utf Kpsl 7: Temperatur på kapselytan	$T_{\text{kapselyta}} < 100 \text{ }^\circ\text{C}$	
Utf Kpsl 8: Normalt svälltryck	Isostatisk belastning Svälltryck = 7 Mpa Vattentryck = 7MPa	/Werme, 1998/
Utf Kpsl 9: Ojämn tryckuppbyggnad	Vattentryck = 0 Övriga laster enligt figur 6-6.	/Werme, 1998/
Utf Kpsl 10: Ojämn belastning efter vattenmättnad	Isostatiskt vattentryck = 7 Mpa Övriga laster enligt figur 6-7.	/Werme, 1998/
Utf Kpsl 11: Islast	Isostatisk belastning Last på grund av kryprörelser i berget: 44 MPa Last på grund av ökat vattentryck: 39 MPa	/SKB, 1999a/
Utf Kpsl 13: Korrosion	Tidsperspektiv minst 100 000 år. Grundvattensammansättning enligt tabell 9-3.	/SKB, 1999a/



**Figur 6-6.** Lastfall som illustrerar ojämnt svälltryck i bufferten, och som kapseln ska kontrollberäknas för /ur Werme, 1998/.



**Figur 6-7.** Lastfall som illustrerar ojämn tryckbelastning mot kapseln och som kapseln ska dimensioneras för /ur Werme, 1998/.

## 6.5.2 Utförande

- Utför Kpsl 1: **Tillförlitlig produktion**  
Kapslarna ska tillverkas och förslutas med höga krav på tillförlitlighet i produktionen.
- Utför Kpsl 2: **Noggrann kontroll**  
Kapslarna ska kontrolleras med metoder där sannolikheten att detektera icke tillåtna diskontinuiteter är hög.
- Utför Kpsl 3: **Kontamineringskontroll**  
Det ska kontrolleras att utsidan på förslutna kapslar inte är kontaminerad med radioaktiva ämnen.
- Utför Kpsl 4: **Säker hantering**  
Kapslarna ska hanteras och lagras så att skador undviks.
- Utför Kpsl 5: **Val av bränsleelement**  
För en given utformning av kapsel, buffert och berganläggning ska bränsleelement väljas så att villkor Utf Kpsl 3, 6 och 7 uppfylls.
- Utför Kpsl 6: **Möjlig att öppna**  
En försluten kapsel ska vara möjligt att öppna om den inte godkänts vid kontroll.
- Utför Kpsl 7: **Registrering av klyvbart material**  
Mängden klyvbart material i kapseln ska registreras.
- Utför Kpsl 8: **Kontroll av klyvbart material**  
Det ska vara möjligt att kontrollera att klyvbart material inte tagits ur en försluten kapsel.

De parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna måste kvantifieras för att kapseln ska kunna utformas, tillverkas och kontrolleras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 6-2 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 6-2. Kvantifiering av parametrar, laster m m för kapseln.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utför Kpsl 1: Tillförlitlig produktion	Tillverkningsmetoden ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras	/SKB, 2001b/
Utför Kpsl 1: Noggrann kontroll	Kontrollmetoden ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras	/SKB, 2001b/

## 6.6 Sammanställning av konstruktionsföresättningar och deras samband och ursprung

I detta avsnitt redovisas i tabellform (tabell 6-3) sambandet mellan funktionskraven på kapseln, funktionskraven på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav. Med lagkrav avses de krav i lagar, föreskrifter och internationella överenskommelser som redovisats i kapitel 3 Styrande regelverk. Ägarkrav avser krav redovisade i kapitel 4 Övriga övergripande föresättningar och krav. I tabell 6-4 redovisas vidare sambandet mellan dimensioneringsföresättningar, funktionskrav på kapseln, dimensionerande situationer och processer samt hur kraven är relaterade till andra delar i djupförvaret.

**Tabell 6-3. Samband mellan funktionskrav på kapseln, funktionskrav på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav.**

Funktionskrav på kapsel	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Kpsl SS 1: Innesluta bränslet</b> Kapseln ska innesluta det använda kärnbränslet och förhindra spridning av radioaktivitet till omgivningen.</p>	<p><b>Djup SS 1: Isolera</b> Djupförvaret ska i första hand isolera det radioaktiva avfallet från biosfären.</p> <p><b>Djup SS 2: Fördröja</b> Om isoleringen skulle brytas har djupförvaret till uppgift att fördröja radionuklidtransport, så att nukliderna då de slutligen når biosfären inte ger upphov till skada.</p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b> Säkerheten ska baseras på flera säkerhetsfunktioner som ska upprätthållas av ett system av passiva barriärer.</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b> Säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer som är så utformade att genombrott av en barriär endast leder till begränsade omgivningskonsekvenser /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §; SKIFS 2002:1 3, 7 §/.</p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b> En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b> Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.</p>
<p><b>Kpsl SS 2: Tätt vid deponering</b> Kapseln ska vara tät vid deponeringen.</p>	<p><b>Djup SS 1: Isolera</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p>
<p><b>Kpsl SS 3: Kemiskt beständig</b> Kapseln ska vara kemiskt beständig i den miljö som förväntas i djupförvaret.</p>	<p><b>Djup SS 5: Strålskydd nu och i framtiden</b> Djupförvaret ska skydda människa och miljö från skadlig verkan av strålning både nu och i framtiden.</p> <p><b>Djup SS 6: Enskilda brister ej äventyra säkerhet</b> Brister i enskilda barriärer får inte påtagligt försämra djupförvarets säkerhet.</p> <p><b>Djup SS 7: Långtidsstabla barriärer</b> Barriärernas långsiktiga utveckling ska vara möjlig att utvärdera.</p>	<p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b> Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets barriärer ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §, SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden som kan påverka barriärerna skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet, dels i framtiden /SSI FS 1998:1 3 §/.</p> <p><b>Lag SS 17: Acceptabel risk</b> Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst <math>10^{-6}</math> för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken /SSI FS 1998:1 5 §/.</p>

Funktionskrav på kapsel	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
		<p><b>Lag SS 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b> För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön /SSI FS 1998:1 11 §/.</p> <p><b>Lag SS 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b> För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären /SSI FS 1998:1 12 §/.</p>
<p><b>Kpsl SS 4: Mekaniskt beständig</b> Kapseln ska motstå de mekaniska belastningar som förväntas i djupförvaret.</p>	<p><b>Djup SS 5: Strålskydd nu och i framtiden</b></p> <p><b>Djup SS 6: Enskilda brister ej äventyra säkerhet</b></p> <p><b>Djup SS 7: Långtidsstabila barriärer</b></p>	<p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b></p> <p><b>Lag SS 17: Acceptabel risk</b></p> <p><b>Lag ss 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b></p> <p><b>Lag ss 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b></p>
<p><b>Kpsl SS 5: Begränsa värme och stråldos</b> För att undvika negativ inverkan på barriärerna ska kapseln begränsa värme och stråldos till närområdet.</p>	<p><b>Djup SS 4: Samverkande barriärer</b> En barriär i djupförvaret får inte äventyra de övriga barriärernas säkerhetsfunktioner.</p> <p><b>Djup SS 6: Enskilda brister ej äventyra säkerhet</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Kpsl SS 6: Liten inverkan på övriga barriärer</b> Kapseln ska ha försumbar termisk, kemisk och mekanisk inverkan på övriga barriärers och bränslets bidrag till isolering och fördröjning.</p>	<p><b>Djup SS 4: Samverkande barriärer</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Kpsl M 1: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Kapseln ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.</p>	<p><b>Djup M 2: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Konsumtionen av material, råvaror och energi ska vara så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.</p>	<p><b>Lag M 1: Hållbar utveckling</b> En hållbar utveckling ska främjas som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 5: Hushåll med råvaror och energi</b> Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi ska främjas så att ett kretslopp uppnås /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p>
		<p><b>Lag ss 18: Biologisk mångfald</b> Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska göras så att biologisk mångfald och hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning /SSI FS 1998:1 6 §/.</p>



Funktionskrav på kapsel	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Kpsl BD 1: Säker hantering</b> Kapseln ska kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.</p>	–	<p><b>Lag SS 13: Strålskydd under drift</b> Djupförvaret ska förses med tekniska anordningar, mätutrustning m m som krävs för att upprätthålla ett gott strålskydd /SFS 1988:220 6 §/.</p> <p><b>Lag BD 3: Säker drift och underhåll</b> Hantering av avfall, buller, förekomst och utsläpp av farliga ämnen och farlig strålning ska beaktas så risken för brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 5: Säkerhet för de som vistas i anläggningen</b> Trivsel, hälsa och säkerhet för anställda och andra som utför arbete vid, eller besöker, anläggningen och ska beaktas vid utformningen.</p> <p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b> Djupförvaret ska utformas, byggas och drivas på ett säkert och effektivt sätt.</p>
<p><b>Kpsl I 1: Kapsla in allt använt kärnbränsle</b> Det ska vara möjligt att kontrollera och verifiera att allt använt kärnbränsle från det svenska kärnkraftsprogrammet har kapslats in.</p>	<p><b>Djup I 2: Kontrollera klyvbart material</b> Det ska vara möjligt att kontrollera och verifiera att det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet deponeras i djupförvaret.</p>	<p><b>Lag I 3: Kontroll av kärnämne</b> Det ska kontrolleras och verifieras att kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi inte används för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III; IAEA:s stadgar, Paragraf XII/.</p>
<p><b>Kpsl Ö 1: Anpassas till det svenska kärnkraftsprogrammet</b> Kapseln ska rymma de olika typer av använt kärnbränsle som beskrivs i kapitel 2 Använt kärnbränsle.</p>	–	<p><b>Ö krav 1: Rymma allt svenskt använt kärnbränsle</b> Djupförvaret ska kunna ta emot det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet även med hänsyn till att kärnkraftverkens drifttid kan komma att förlängas.</p>
<p><b>Kpsl Ö 2: Tillförlitlig och effektiv tillverkning</b> Kapseln ska kunna serietillverkas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p>	–	<p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b></p> <p><b>Ö krav 10: En kapsel om dagen</b> Konstruktion, byggande och drift av anläggningarna i systemet ska genomföras så att en kapsel per arbetsdag kan deponeras i djupförvaret.</p>
<p><b>Kpsl Ö 3: Tillförlitlig och effektiv förslutning</b> Kapseln ska kunna förslutas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p>	–	<p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b></p> <p><b>Ö krav 10: En kapsel om dagen</b></p>
<p><b>Kpsl Ö 4: Återta kapsel</b> Kapseln ska utformas så att den kan återtas, men detaljer som införs för att underlätta återtag får inte försämra kapselns barriärfunktioner.</p>	<p><b>Djup Ö 1: Återtag</b> Det ska vara möjligt att återta deponerade kapslar men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra djupförvarets barriärer och deras säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 3: Återtag</b> Inverkan på slutförvarets säkerhet av åtgärder som införts för att underlätta återtag eller övervakning samt för att förhindra intrång ska redovisas /SKIFS 2002:1 8 §; SSI FS 1998:1 8 §/.</p> <p><b>Lag I 1: Ej bördor på kommande generationer</b> Vid omhändertagande av radioaktivt avfall ska man sträva efter att inte lägga otillbörliga bördor på kommande generationer /IAEA, 1997, Kap 2, Paragraf 4/.</p> <p><b>Ö krav 7: Stegvis genomförande</b> Utbyggnad av djupförvaret och deponering ska ske stegvis med möjlighet att återta deponerade kapslar.</p>

**Tabell 6-4. Dimensioneringsförutsättningarnas koppling till funktionskrav på kapseln, andra delar i djupförvaret, samt dimensionerande situationer och processer.**

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Kpsl 1: Antal bränsleelement</b> Kapseln ska rymma det antal bränsleelement som, med hänsyn till bränslets egenskaper och förvarsutformningen, bestämts så att Utf Kpsl 7 uppfylls.</p>	<p><b>Kpsl Ö 1: Anpassas till det svenska kärnkraftprogrammet</b> Kapseln ska rymma de olika typer av använt kärnbränsle som beskrivs i kapitel 2 Använt kärnbränsle.</p>	<p>Buffert Dimension (innerdiameter)</p> <p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension (tvärsnitt)</p>	<p>Drift (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>	–
<p><b>Utf Kpsl 2: Storlek</b> Kapselns dimensioner och dess utrymme för bränsleelement ska anpassas till elementens dimensioner samt förekommande längdutvidgning och andra deformationer.</p>	<p><b>Kpsl Ö 1: Anpassas till det svenska kärnkraftprogrammet</b></p>	<p>Buffert Dimension (innerdiameter)</p> <p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension (tvärsnitt)</p>	<p>Drift (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>	–
<p><b>Utf Kpsl 3: Kriticitet</b> Kapseln ska utformas så att kriticitet förhindras även om kapseln skulle bli vattenfylld.</p>	<p><b>Kpsl SS 6: Liten inverkan på övriga barriärer</b> Kapseln ska ha försvarbar kemisk och mekanisk inverkan på övriga barriärers och bränslets bidrag till isolering och fördröjning.</p>	–	<p>Val av bränsleelement</p>	<p>Inducerad fission – kriticitet (Process i bränsle)</p>
<p><b>Utf Kpsl 4: Möjlig att kontrollera</b> En försluten kapsel ska kunna kontrolleras och visas uppfylla krav på beständighet och täthet.</p>	<p><b>Kpsl SS 2: Tät vid deponering</b> Kapseln ska vara tät vid deponeringen.</p> <p><b>Kpsl Ö 2: Tillförlitlig och effektiv tillverkning</b> Kapseln ska kunna serie-tillverkas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p> <p><b>Kpsl Ö 3: Tillförlitlig och effektiv förslutning</b> Kapseln ska kunna förslutas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p>	–	<p>Tillverkning</p> <p>Förslutning</p> <p>Kontroll</p>	–
<p><b>Utf Kpsl 5: Lyft</b> Kapseln ska utformas så att erforderlig säkerhet erhålles vid lyft med ingrepp i locket.</p>	<p><b>Kpsl SS 2: Tät vid deponering</b></p> <p><b>Kpsl BD 1: Säker hantering</b> Kapseln ska kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.</p> <p><b>Kpsl Ö 4: Återta kapsel</b> Kapseln ska utformas så att den kan återtas, men detaljer som införs för att underlätta återtag får inte påverka kapselns barriärfunktioner.</p>	<p>Utrustning samt kring- och serviceanläggningar</p>	<p>Hantering</p> <p>Återtag (Situation i berganläggning)</p>	–

Dimensionerings-förutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utf Kpsl 6: Strålning</b> Insatsen och koppar-kapseln ska med hänsyn till bränslets resteffekt utformas så att strålningen som tränger igenom kapseln inte blir för intensiv.	<b>Kpsl SS 5: Begränsa värme och stråldos</b> För att undvika negativ inverkan på barriärerna ska kapseln begränsa värme och stråldos till närområdet.  <b>Kpsl SS 6: Liten inverkan på övriga barriärer</b>  <b>Kpsl BD 1: Säker hantering</b>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Val av bränsleelement	Stråldämpning/ värmealstring
			Arbetarskydd	Stråldämpning/ värmealstring (Process i bränsle)
				Stråldämpning/ värmealstring (Process i buffert)
				Strålinducerad montmorillonit- omvandling (Process i buffert)
				Radiolys av porvatten (Process i buffert)
	Stråldämpning/ värmealstring (Process i återfyllning)			
	Radiolys av porvatten (Process i återfyllning)			
<b>Utf Kpsl 7: Temperatur på kapselytan</b> Temperaturen på ytan av deponerade kapslar får inte medge förångning av vatten.	<b>Kpsl SS 6: Liten inverkan på övriga barriärer</b>  <b>Kpsl SS 3: Kemiskt beständig</b> Kapseln ska vara kemiskt beständig i den miljö som förväntas i djupförvaret.	Buffert Material  Deponeringstunnlar och deponeringshål Läge (centrumavstånd)	Val av bränsleelement	Stråldämpning/ värmealstring (Process i bränsle)
			Uppvärmning och förångning av grundvatten	Stråldämpning/ värmealstring
				Värmetransport
				Värmetransport (Process i buffert)
				Värmetransport (Process i berganläggning)
<b>Utf Kpsl 8: Normalt svälltryck</b> Kapseln ska motstå svälltryck från bufferten samt vattentrycket på försvarsdjup.	<b>Kpsl SS 1: Innesluta bränslet</b> Kapseln ska innesluta det använda kärnbränslet och förhindra spridning av radioaktivitet till omgivningen.  <b>Kpsl SS 4: Mekaniskt beständig</b> Kapseln ska motstå de mekaniska belastningar som förväntas i djupförvaret.	Buffert Material  Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Läge Vatteninflöde Grundvatten-sammansättning	Svälltryck från buffert	Deformation av gjutjärnsinsats
			Vattenmättnad (Situation i buffert)	
			Vatteninflöde (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)	
<b>Utf Kpsl 9: Ojämn tryckuppbyggnad</b> Kapseln ska kontrolleras för ojämn belastning som kan uppstå i samband med vattenmättnad av bufferten.	<b>Kpsl SS 1: Innesluta bränslet</b>  <b>Kpsl SS 4: Mekaniskt beständig</b>	Buffert Material  Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Läge Konstruktioner Vatteninflöde Grundvatten-sammansättning	Ojämn uppbyggnad av svälltryck	Deformation av gjutjärnsinsats
			Ojämn uppbyggnad av svälltryck (Situation i buffert)	
			Vatteninflöde (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)	

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utf Kpsl 10: Ojämn belastning efter vattenmättnad</b> Kapseln ska motstå ojämn belastning som kan förekomma efter vattenmättnad av bufferten.	<b>Kpsl SS 1: Innesluta bränslet</b>	Buffert Material	Avvikande deponering	Deformation av gjutjärnsinsats
	<b>Kpsl SS 4: Mekaniskt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension	Inhomogen buffert (Situation i buffert)	
<b>Utf Kpsl 11: Islast</b> Kapseln ska motstå det ökade tryck den kan komma att utsättas för under en istid.	<b>Kpsl SS 1: Innesluta bränslet</b>	Buffert Material	–	Deformation av gjutjärnsinsats
	<b>Kpsl SS 4: Mekaniskt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Läge		Mekanisk växelverkan buffert/kapsel (Process i buffert)  Tidsberoende deformationer (Process i berganläggning)
<b>Utf Kpsl 12: Jordskalv</b> I händelse av jordskalv ska kapseln kontrollberäknas för de berg rörelser och tryckförändringar som kan förekomma i deponeringshål.	<b>Kpsl SS 1: Innesluta bränslet</b>	Buffert Material	–	Deformation av gjutjärnsinsats
	<b>Kpsl SS 4: Mekaniskt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Läge		Mekanisk växelverkan buffert/kapsel (Process i buffert)  Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor (Process i berganläggning)
				Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor (Process i deponeringstunnlar och deponeringshål)
<b>Utf Kpsl 13: Korrosion</b> Kopparkapseln ska vara tillräcklig för att stå emot kända korrosionsprocesser före deponering samt i den kemiska miljö som förväntas i djupförvaret.	<b>Kpsl SS 1: Innesluta bränslet</b>	Buffert Material	Korrosion av försluten kapsel	Korrosion kopparkapsel
	<b>Kpsl SS 4: Kemiskt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Läge Konstruktioner Vatteninflöde Grundvatten-sammansättning  Övriga berggrum Läge Konstruktioner Vatteninflöde		Diffusion (Process i buffert)  Advektion blandning (Process i berganläggning)
<b>Utf Kpsl 14: Minimera miljöpåverkan</b> Kapseln ska utformas så att tillverkning, hantering och deponering ger så liten miljöpåverkan som möjligt.	<b>Kpsl M 1: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Kapseln ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Tillverkning  Förslutning  Hantering	–

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utför Kpsl 1: Tillförlitlig produktion</b> Kapslarna ska tillverkas och förslutas med höga krav på tillförlitlighet i produktionen.	<b>Kpsl SS 2: Tät vid deponering</b>  <b>Kpsl Ö 2: Tillförlitlig och effektiv tillverkning</b>  <b>Kpsl Ö 3: Tillförlitlig och effektiv förslutning</b>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Tillverkning Förslutning	–
<b>Utför Kpsl 2: Noggrann kontroll</b> Kapslarna ska kontrolleras med metoder där sannolikheten att detektera icke tillåtna diskontinuiteter är hög.	<b>Kpsl SS 2: Tät vid deponering</b>  <b>Kpsl Ö 3: Tillförlitlig och effektiv förslutning</b>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Kontroll	–
<b>Utför Kpsl 3: Kontamineringskontroll</b> Det ska kontrolleras att utsidan på förslutna kapslar inte är kontaminerad med radioaktiva ämnen.	<b>Kpsl SS 1: Innesluta bränslet</b>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Kontroll	–
<b>Utför Kpsl 4: Säker hantering</b> Kapslarna ska hanteras och lagras så att skador undviks.	<b>Kpsl SS 2: Tät vid deponering</b>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Hantering	–
<b>Utför Kpsl 5: Val av bränsleelement</b> För en given utformning av kapsel, buffert och berganläggning ska bränsleelement väljas så att villkor Utf Kpsl 3, 6 och 7 uppfylls.	<b>Kpsl SS 3: Kemiskt beständig</b>  <b>Kpsl SS 6: Liten inverkan på övriga barriärer</b>	Buffert Material  Deponeringstunnlar och deponeringshål Läge (centrumavstånd)	Val av bränsleelement  Uppvärmning och förångning av grundvatten	Inducerad fission – kriticitet (Process i bränsle)  Stråldämpning/ värmealstring (Process i bränsle)  Stråldämpning/ värmealstring  Värmetransport  Värmetransport (Process i buffert)  Värmetransport (Process i berganläggning)
<b>Utför Kpsl 6: Möjlig att öppna</b> En försluten kapsel ska vara möjligt att öppna om den inte godkänts vid kontroll.	<b>Kpsl SS 2: Tät vid deponering</b>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Kontroll	–
<b>Utför Kpsl 7: Registrering av klyvbart material</b> Mängden klyvbart material i kapseln ska registreras.	<b>Kpsl I 1: Kapsla in allt använt kärnbränsle</b> Det ska vara möjligt att kontrollera och verifiera att allt använt kärnbränsle från det svenska kärnkraftsprogrammet har kapslats in.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Val av bränsleelement	–
<b>Utför Kpsl 8: Kontroll av klyvbart material</b> Det ska vara möjligt att kontrollera att klyvbart material inte tagits ur en försluten kapsel.	<b>Kpsl I 1: Kapsla in allt använt kärnbränsle</b>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Val av bränsleelement Förslutning	–

I tabell 6-3 och tabell 6-4 sammanställs funktionskrav på, och dimensioneringsförutsättningar för kapseln. Samtliga dessa krav är relaterade till minst ett lag- och/eller ägarkrav. Det finns dock lag- och ägarkrav som inte följts upp av funktionskrav och därmed dimensioneringsförutsättningar för kapseln. Dessa lag- och ägarkrav redovisas i tabell 6-5. De kan i det fortsatta arbetet med att utforma, tillverka och försluta kapseln antingen visas vara överflödiga eller komma att följas upp av mer detaljerade krav.

**Tabell 6-5. Lag- och ägarkrav som inte följts upp av funktionskrav eller dimensioneringsförutsättningar på kapseln.**

Lag, internationell överenskommelse samt övriga krav och önskemål	Lag- och ägarkrav
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Lagen om kärnteknisk verksamhet med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 6: Identifiera händelser som kan påverka skyddsåtgärder</b> Händelser som kan påverka åtgärder eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 7: Acceptabel tålighet hos skyddsåtgärder</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om dessa händelser eller förhållanden skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 8: Förebygga störningar</b> Störningar och haverier ska i största möjliga utsträckning förebyggas /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag SS 10: Beprövad teknik</b> I första hand ska beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar användas för utformning av ett system för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 11: Utprovning av ny teknik</b> Om beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar inte är möjliga eller rimliga, ska en utprovning och utvärdering ske för att verifiera att funktion och beteende hos ingående system och komponenter är inom de antaganden som görs i säkerhetsanalysen /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 12: Rapportera och åtgärda brister</b> Om brister i barriärer upptäcks ska de anmälas till SKI, utredas och åtgärdas /SKIFS 1998:1 2 kap 2 §; SKIFS 2002:1 4 §/.</p>
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Strålskyddslagen med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 13: Strålskydd under drift</b> Djupförvaret ska förses med tekniska anordningar, mätutrustning m m som krävs för att upprätthålla ett gott strålskydd /SFS 1988:220 6 §/.</p> <p><b>Lag SS 15: Optimering av strålskydd</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske dvs stråldoser till människor begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhälleliga faktorer /SSI FS 1998:1 4 §/.</p> <p><b>Lag SS 16: Bästa möjliga teknik</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska hänsyn tas till bästa möjliga teknik, dvs den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön som inte medför orimliga kostnader ska vidtas /SSI FS 1998:1 4 §/.</p>

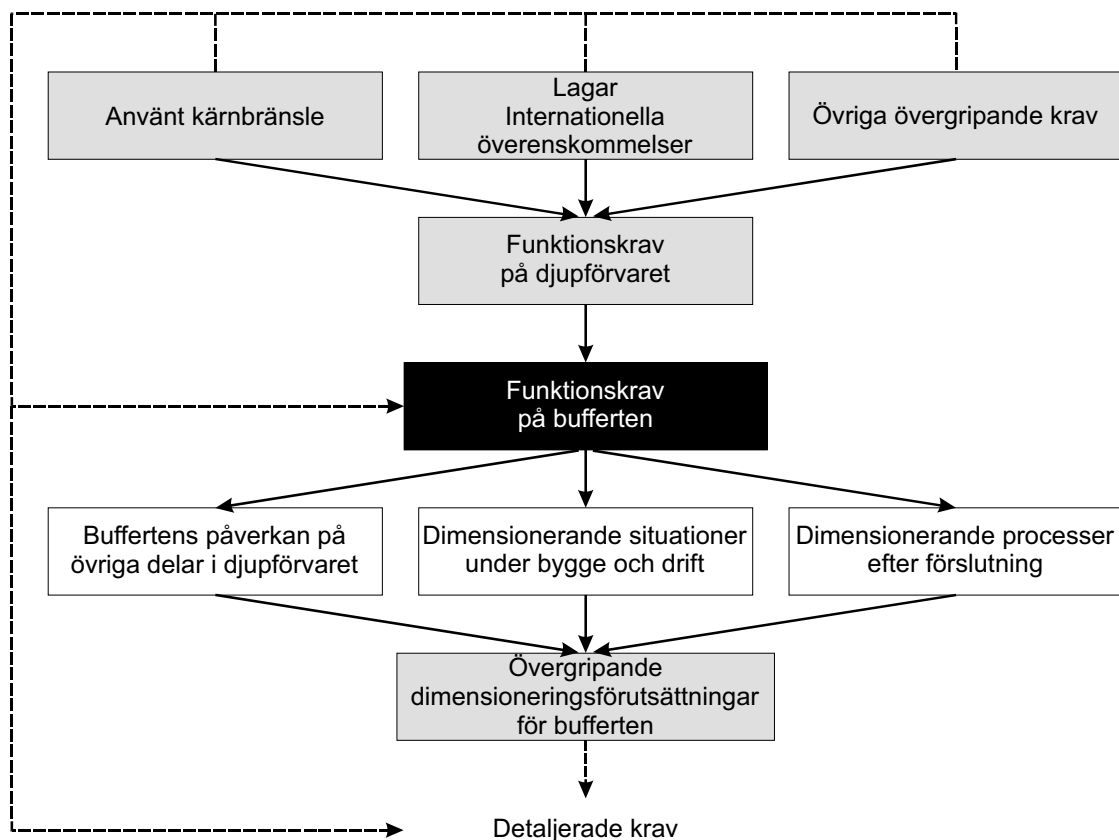
Lag, internationell överenskommelse samt övriga krav och önskemål	Lag- och ägarkrav
<p><b>Miljö</b> Miljöbalken</p>	<p><b>Lag M 2: Människa och miljö skyddas</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas mot föroreningar och annan påverkan /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 3: Skydda värdefulla miljöer och biologisk mångfald</b> Värdefulla natur- och kulturmiljöer ska skyddas och den biologiska mångfalden bevaras /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 4: Begränsa ingrepp i fysisk miljö</b> Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt ska användas så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktig god hushållning tryggas /SFS 1998:808 1 kap 1 §, 2 kap 4 §, 3 kap, 4 kap/.</p>
<p><b>Byggnande och drift</b> Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk med förordning  Arbetsmiljölagen, arbetsmiljöförordningen  Räddningstjänstlagen  Lag om transport av farligt gods  Lag om brandfarliga och explosiva varor  Ellag</p>	<p><b>Lag BD 1: Utformning med hänsyn till säkerhet och miljö</b> Byggnadsverk ska uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav vad gäller bärförmåga och stadga, brandsäkerhet, hälsa och miljö, olycksrisk och hushållning med energi och andra resurser /SFS 1994:847 2, 4 §; SFS 1994:1215 3, 4 §/.</p> <p><b>Lag BD 2: Utformning med hänsyn till säkerhet</b> Byggnadsverk ska vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att de inte medför risk för brukarnas eller grannarnas hygien eller hälsa /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 4: Beakta olyckor</b> Brand och andra olyckor ska beaktas så att risken brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 5: Säkerhet för de som vistas i anläggningen</b> Trivsel, hälsa och säkerhet för anställda och andra som utför arbete vid, eller besöker, anläggningen och ska beaktas vid utformningen.</p>
<p><b>Internationella överenskommelser</b> IAEA:s avfallskonvention  Icke spridningsavtalet</p>	<p><b>Lag I 2: Fredlig användning av kärnenergi</b> Kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi får inte användas för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III/.</p>
<p><b>Ägarnas önskemål</b></p>	<p><b>Ö krav 1: Rymma allt svenskt använt kärnbränsle</b> Djupförvaret ska kunna ta emot det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet även med hänsyn till att kärnkraftverkens drifttid kan komma att förlängas.</p> <p><b>Ö krav 2: Förlängd drifttid</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att byggnads- och/eller driftperioden kan komma att bli längre än den för närvarande planerade.</p> <p><b>Ö krav 3: Övergång till horisontell deponering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att övergång från vertikal till horisontell deponering kan bli aktuell.</p> <p><b>Ö krav 4: Samlokalisering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att samlokalisering med förvaret för låg- och medelaktivt, långlivat avfall kan bli aktuell.</p> <p><b>Ö krav 5: Ny teknik</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att idag känd men oprövad alternativ teknik kan komma att användas.</p> <p><b>Ö krav 8: Begränsad drifttid</b> Djupförvaret ska byggas, och deponering äga rum under en begränsad tidsperiod.</p> <p><b>Ö krav 9: Djupförvaret ska förslutas</b> När deponeringen slutförts ska djupförvaret förslutas.</p>

## 7 Buffert

Bufferten ska vara en diffusionsbarriär mellan det strömmande vattnet i berget och kapseln. Om det skulle finnas otäta kapslar ska bufferten förhindra och fördröja transport av radionuklider från kapseln till berget. Konstruktionsförutsättningarna utgår från att bufferten tillverkas av en lera som innehåller svällande mineral, och att den deponeras i djupförvaret i form av block eller ringar. Referensmaterialet för bufferten är naturlig Na-bentonit av Wyoming-typ med handelsnamnet MX-80, men även andra leror kan bli aktuella som buffertmaterial. I det följande benämns materialet *bentonit*. Konstruktionsförutsättningarna för bufferten är sammanställda i avsnitt 7.6.

### 7.1 Funktionskrav

Funktionskraven har formulerats utifrån de lagkrav och ägar krav som anges i kapitel 3 och 4 och därur härledda funktionskrav på djupförvaret (se avsnitt 5.1). Funktionskraven redovisas nedan och är sammanställda i avsnitt 7.6, där även deras koppling till krav på djupförvaret samt lagar m m redovisas.



**Figur 7-1.** Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret. Färgade fält utgör konstruktionsförutsättningar, vita utgör bakgrund till konstruktionsförutsättningar.



### 7.1.1 Säkerhet och strålskydd

Bufferten ska bidra till isolering och fördröjning genom att /SKB, 1998a, 2001a/:

Buff SS 1: **Hindra vattenflöde**

Buffertens hydrauliska konduktivitet ska vara så låg att eventuell transport av korroderanter och radionuklider sker enbart genom diffusion.

Buff SS 2: **Liten inverkan på de övriga barriärerna**

Bufferten ska ha försumbar kemisk och mekanisk inverkan på övriga barriärers funktion.

Buff SS 3: **Filtrera kolloider**

Kolloidala partiklar ska filtreras av bufferten.

Buff SS 4: **Långsiktigt beständig**

Bufferten ska under lång tid bibehålla sina funktioner i den miljö som förväntas på förvarsdjup.

Av Buff SS 1 följer:

Buff SS 5: **Fullständigt fylla utrymmet mellan kapsel och berg**

Buffertens svälltryck ska vara tillräckligt högt för att ge god kontakt med omgivande berg och med kapseln.

Buff SS 6: **Hålla kapseln på plats**

Buffertens deformerbarhet ska inte vara större än att kapslarnas läge bibehålls.

Av Buff SS 2 följer:

Buff SS 7: **Skydda kapseln mekaniskt**

Buffertens deformerbarhet ska vara sådan att mindre berg rörelser kan tas upp utan att kapseln skadas.

Buff SS 8: **Leda bort värme**

Buffertens värmeledningsegenskaper ska vara sådana att värmen från kapslarna inte leder till oacceptabla fysikaliska och kemiska förändringar av bufferten.

### 7.1.2 Miljö

Med hänsyn till miljöbalken gäller för bufferten:

Buff M1: **Minimera konsumtion av råvaror och energi**

Bufferten ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.

### 7.1.3 Byggande och drift

Med hänsyn till lagstiftning inom plan-, bygg- och arbetsmiljöområdet ska:

Buff BD 1: **Säker hantering**

Bufferten ska kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.

## 7.1.4 Internationella överenskommelser

Inga funktionskrav på bufferten har formulerats.

## 7.1.5 Övriga förutsättningar och krav

### Buff Ö 1: Tillförlitlig och effektiv tillverkning

Bufferten ska kunna serietillverkas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.

### Buff Ö 2: Tillförlitlig hantering och deponering

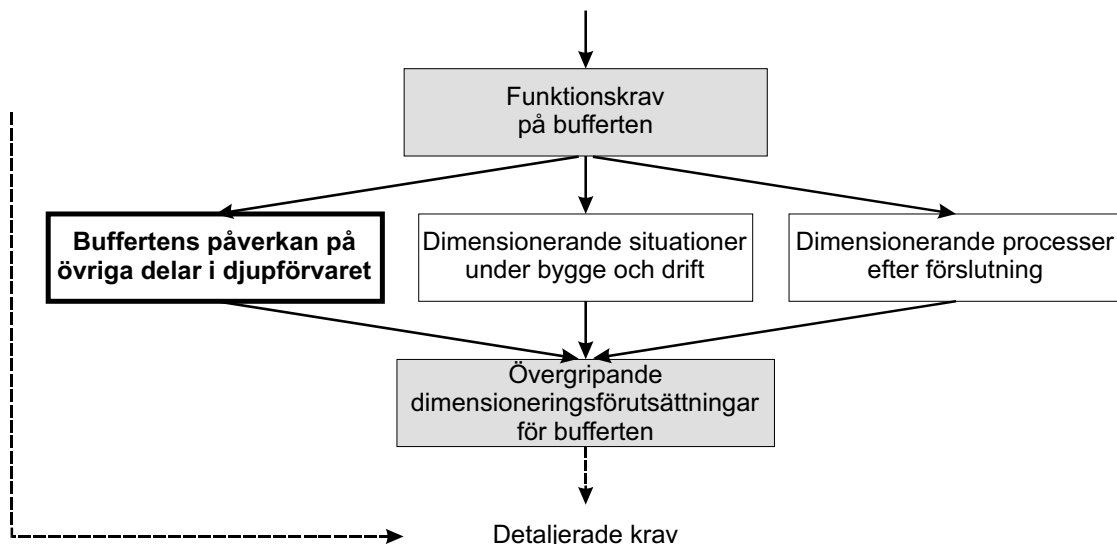
Bufferten ska kunna hanteras och deponeras i önskad takt på ett sådant sätt att specificerade kvalitetskrav bibehålls.

### Buff Ö 3: Återtag

Bufferten ska utformas så att återtag av en deponerad kapsel är möjligt, men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra buffertens barriärfunktioner.

## 7.2 Påverkan på övriga delar i djupförvaret

Utformningen av bufferten är kopplad till och beror av utformningen av andra delar i djupförvaret. I detta avsnitt redovisas hur bufferten påverkar övriga delar. Hur övriga delar påverkar bufferten redovisas under motsvarande rubrik i kapitlen om respektive del. Syftet är att få en överblick över hur förändringar av bufferten påverkar utformningen av övriga delar och vice versa. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 7.5.



Figur 7-2. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för bufferten.

### 7.2.1 Konstruktionsbestämmande parametrar

Bufferten påverkar utformningen av andra delar i djupförvaret genom parametrarna:

- Dimension
- Material
  - mineralsammansättning
  - vattenhalt
- Torrdensitet
- Densitet efter vattenmättnad

Densiteten efter vattenmättnad ges av dimension i deponeringshålet och torrdensiteten.

### 7.2.2 Kapsel

Buffertens material, vattenmättnadsförloppet och densitet efter vattenmättnad avgör storleken på det svälltryck som i normala fall ger ett isostatiskt tryck mot kapseln. Material samt vattenmättnadsförlopp avgör buffertens värmeledningsförmåga och påverkar temperaturen på kapselytan. Material och densitet efter vattenmättnad avgör hur belastningar orsakade av deformerade deponeringshål och berg rörelser överförs till kapseln. Buffertens material påverkar porvattenkemin och den kemiska miljön runt kapseln. Buffertens material och densitet efter vattenmättnad påverkar dess vatten-genomsläpplighet, och därmed transporten av ämnen lösta i grundvattnet in till kapselytan och den kemiska miljön runt kapseln. Buffertens material och dimension påverkar storleken på de mekaniska och kemiska påfrestningar kapseln kan tillåtas utsätta den för.

### 7.2.3 Deponeringstunnlar och deponeringshål

Buffertens ytterdiameter bestämmer deponeringshålets diameter. Buffertens tjocklek över och under kapseln bestämmer deponeringshålets djup (längd). Buffertens värmeledningsegenskaper påverkar temperaturen i omgivande berg. Buffertens material och densitet efter vattenmättnad har betydelse för det svälltryck som bufferten kommer att utveckla i djupförvaret. Svälltrycket utsätter deponeringshålet för tryckbelastning. Buffertens material och dimension påverkar storleken på de mekaniska och kemiska påfrestningar berget kan tillåtas utsätta den för och därmed hur deponeringstunnlar och deponeringshål bör placeras in i berget och vilka konstruktioner (tätningar, förstärkningar, golv m m) som kan tillåtas i dem.

### 7.2.4 Återfyllning

Buffertens material och densitet efter vattenmättnad har betydelse för det svälltryck som bufferten kommer att utveckla i djupförvaret. Svälltrycket utsätter återfyllningen i och över deponeringshålet för tryckbelastning.

### 7.2.5 Övriga berggrum samt undersökningsborrhål

Buffertens material och dimension påverkar de kemiska påfrestningar den kan tillåtas utsättas för och därmed hur övriga berggrum, dvs ramp, tunnlar och schakt samt hallar och bergsilo, bör placeras in i berget och vilka konstruktioner (tätningar, förstärkningar, golv m m) som kan tillåtas i dem.

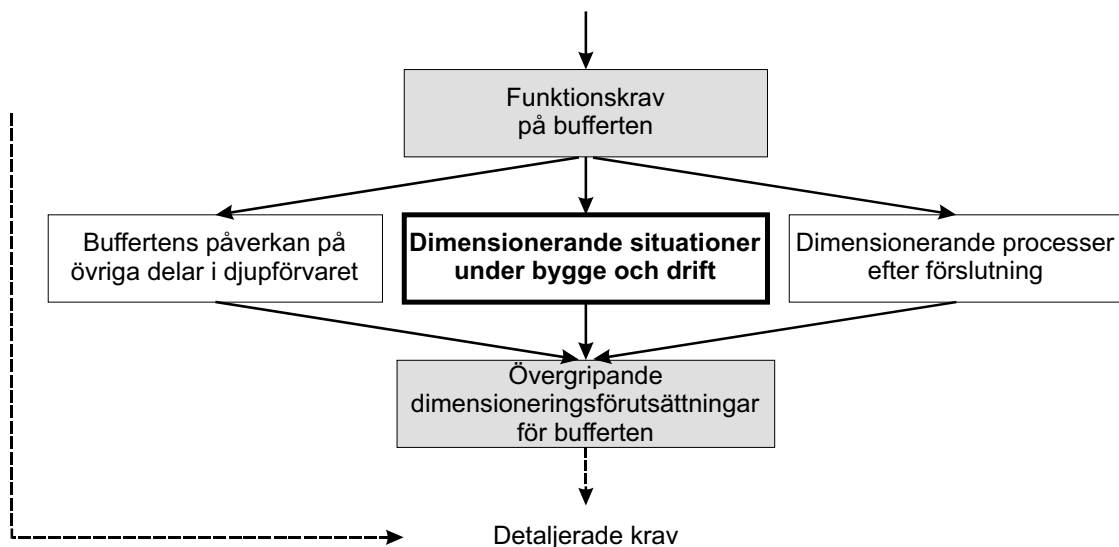
## 7.2.6 Utrustning samt kring- och serviceanläggningar

Buffertmaterialets egenskaper ställer krav på den utrustning som krävs för att hantera råmaterialet samt för att tillverka och hantera block och ringar. Med hänsyn till buffertens egenskaper utformas utrustning m m så att de krav som ställs på bufferten efter deponering kan uppfyllas.

## 7.3 Dimensionerande situationer vid hantering och drift

I detta avsnitt redovisas situationer som uppträder vid hantering och drift som påverkar utformningen av bufferten. Redovisningen utgår från den beskrivning av hantering och drift som ges i ”Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden /SKB, 2000/ samt ”Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E” /SKB, 2001d/. De dimensionerande situationerna kan vara relaterade till normala förhållanden eller till missöden och avvikelser från det normala. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 7.5.

Som en bakgrund till de identifierade situationerna ges en kort beskrivning av hantering och drift i avsnitt 7.3.3. De dimensionerande situationerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar.



**Figur 7-3.** Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för bufferten.

### 7.3.1 Normala förhållanden

- **Tillverkning**  
Vid tillverkning utsätts materialet för mekanisk påfrestning och nedsmutsning, vilket kan leda till defekter.
- **Hantering**  
Vid lyft, transporter och lagring utsätts bentonitblocken för mekanisk påfrestning, nedsmutsning och uttorkning.
- **Kontroll**  
Kontrollmetoder och kontrollprocess påverkar variationsbredden i egenskaper hos den deponerade bufferten.
- **Vattenmättnad**  
Då deponeringen i en tunnel är klar rör sig grundvatten in mot deponeringshålet och bufferten vattenmätts.
- **Värmetransport**  
Värme från kapselytan förs via spalter mellan kapsel och buffert, bufferten samt spalter mellan buffert och berg över från kapselytan till deponeringshålets vägg.

### 7.3.2 Missöden och andra avvikelser från det normala

- **Ojämn uppbyggnad av svälltryck**  
Vattenmättnaden av bufferten och därmed uppbyggnaden av svälltrycket blir ojämn.
- **Inhomogen buffert**  
Tryckfördelningen efter vattenmättnad blir ojämn på grund av inhomogeniteter i buffert eller deponeringshål eller för att kapseln hamnat snett i deponeringshålet.

### 7.3.3 Hantering och drift

#### **Normala förhållanden**

Bentoniten bryts, torkas och mals vid lertakten. Materialet transporteras sedan i pulverform till en depå. Vid leverans kontrolleras att sammansättningen överensstämmer med givna specifikationer. Bentoniten förs sedan till en anläggning för tillverkning av block eller ringar. Bentonit med specificerad mineralsammansättning och kornstorleksfördelning blandas ihop och pressas till block eller ringar med given dimension, torrdensitet och vattenhalt. De färdiga blocken förvaras i ett speciellt lager i väntan på att föras ned i djupförvaret.

Då en kapsel ska deponeras, väljs ett antal block och ringar ut och kontrolleras. De förs sedan ned i djupförvaret och placeras i deponeringshålet. Kapseln deponeras, varpå block placeras över kapseln och översta delen av deponeringshålet fylls med återfyllningsmaterial. Före och under deponeringen begränsas vatteninflödet i deponeringshålet till bentoniten för att undvika svällning innan kapseln är på plats. När deponeringen i en tunnel är klar återfylls den och tunnelmynningen pluggas. Grundvatten rör sig in mot deponeringshålen och bufferten vattenmätts.

Vattentransporten i bufferten vid omättade förhållanden är en komplicerad process som beror av bland annat temperatur, montmorillonit- och vattenhalt i buffertens olika delar /SKB, 1999b/. Den viktigaste drivkraften för vattentransport vid omättade förhållanden är kapillärt undertryck i bufferten som leder till vattenupptag från omgivande berget. Tillgången på vatten i berget är också en avgörande faktor för hur vattenupptaget sker i tiden. Samverkan mellan buffert och berg är en nyckelfråga för vattenmättnadsprocessen. Den beror på bergets permeabilitet och avståndet mellan vattenförande sprickor. I normala fall förväntas en relativt jämn tryckuppbyggnad. I ett ytterlighetsfall kan man tänka sig att inga vattenförande sprickor skär deponeringshålet. Vattnet måste då komma via det massiva berget eller den återfyllda deponeringstunneln, vilket innebär en långsam mättnadsprocess. Även grundvattnets salthalt påverkar mättnadsförloppet, men för förväntad grundvattensammansättning (se tabell 9-3) är effekten liten.

Under vattenmättnadsfasen förekommer spalter mellan kapseln och bufferten, samt mellan bufferten och deponeringshålets vägg. Spalterna, som kan vara fyllda med vatten eller luft, påverkar värmetransporten mellan kapselytan och deponeringshålets vägg. Om det sammanlagda värmeledningstalet är lågt blir, för en given resteffekt, temperaturdifferensen mellan kapselytan och deponeringshålets vägg stor, vilket kan ge upphov till höga temperaturer på kapselytan.

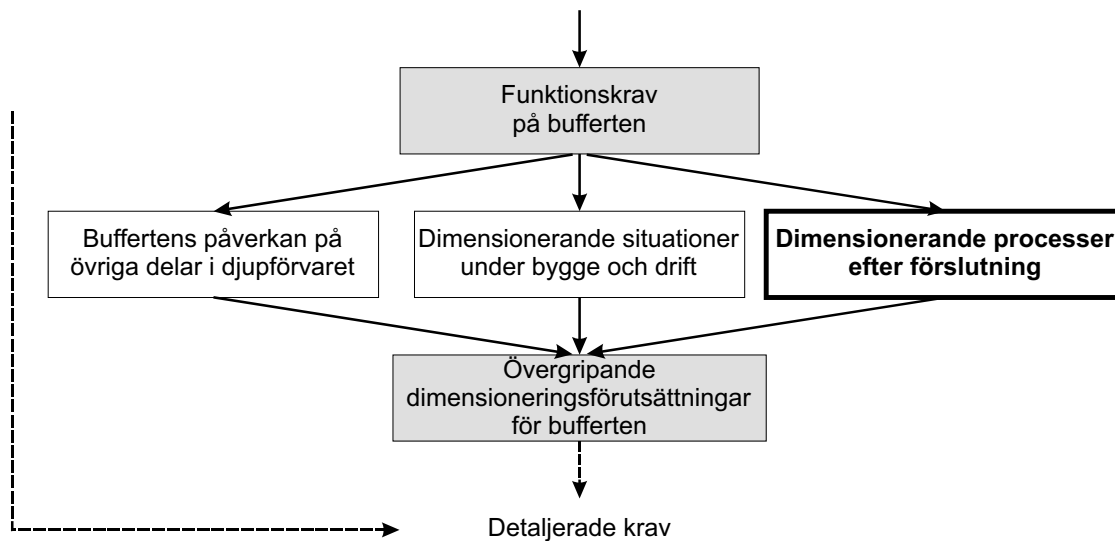
### ***Missöden och avvikelser från det normala***

En så jämn vattenfördelning via deponeringshålets väggar som möjligt är fördelaktig. Om vatten endast förs till bufferten i enstaka vattenförande sprickor kan vattenmättnaden i bufferten bli ojämn. Ojämn bevätning kan leda till ojämn tryckbelastning på kapseln.

I normala fall omges kapseln av en homogen buffert som ger en jämnt fördelad tryckbelastning mot kapseln. Om bentonit ringar eller block skadas, om deponeringshålet har geometriska avvikelser eller kapseln deponerats snett, och detta inte upptäcks och korrigeras, kan svälltrycket i bufferten efter vattenmättnad bli ojämnt. Det innebär ojämn tryckbelastning på kapseln och lokalt sämre svällegenskaper.

I samband med brand, eller andra allvarliga missöden kan bufferten i ett deponeringshål komma att förorenas. I ett sådant fall kan det bli nödvändigt att återta deponerad bentonit. Har kapseln deponerats innebär det att även den måste återtas.

## 7.4 Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret



Figur 7-4. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för bufferten.

I detta avsnitt redovisas processer som uppträder efter förslutning av förvaret och som påverkar utformningen av bufferten. Redovisningen utgår från sammanställningen av processer, "Processer i förvarets utveckling" /SKB, 1999b/, som gjordes inför säkerhetsanalysen SR 97 /SKB, 1999a/. Av de redovisade processerna påverkar inte alla utformningen av bufferten. För fullständighetens skull redovisas ändå samtliga processer. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 7.5.

Processbeskrivningarna sammanfattas i avsnitt 7.4.1–7.4.6. De dimensionerande processerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar. Syftet är att redovisa vilka processer som styr utformningen, samt att visa hur kunskapen om förvarets långsiktiga utveckling och säkerhet tas tillvara i utformningen av bufferten.

### 7.4.1 Strålningsrelaterade processer

#### **Stråldämpning/värmealstring**

Gamma och neutronstrålning från kapseln dämpas (attenueras) i bufferten. Strålningsdämpningen kommer att höja buffertens temperatur, men effekten är försumbar jämfört med andra temperaturhöjande processer. Strålningen har betydelse för de kemiska processerna  $\gamma$ -radiolys av porvatten och strålinducerad montmorillonitnedbrytning. Processen är inte dimensionerande för bufferten men påverkar de strålningsnivåer som kan accepteras på kapselytan.

## 7.4.2 Termiska processer

### *Värmetransport*

Värme transporteras från kapselytan till bufferten, genom bufferten och till berget. Efter bufferten vattenmättats så att alla spalter och fogar är fyllda sker all värmetransport genom ledning. Temperaturen i bufferten bestäms då av buffertens värmeledningsförmåga och temperaturgradienten mellan kapselytan och deponeringshålets vägg. Temperaturnivåerna beror på bergets värmeledningsegenskaper, resteffekten och förvarets layout.

Buffertens värmeledningsförmåga som beror av bentonitens mineralsammansättning, vattenhalt och densitet efter vattenmättnad, måste vara tillräcklig för att hålla temperaturen på kapselytan under 100 °C.

## 7.4.3 Hydrauliska processer

### *Vattentransport vid mättade förhållanden*

Det är ett funktionskrav att det enda betydelsefulla transportsättet för vatten genom bufferten är diffusion. Detta gäller under förutsättning att produkten av den hydrauliska konduktiviteten och den hydrauliska gradienten är betydligt mindre än kvoten mellan den effektiva diffusiviteten och transportlängden ( $K \times i \ll D_e / \Delta L$ ). Den hydrauliska konduktiviteten i en vattenmättad buffert beror av dess mineralsammansättning och densitet samt av jonkoncentration i porvattnet och temperatur. Processen påverkar utformningen av bufferten.

### *Gastransport/gaslösning*

Gas finns instängd i bufferten då deponeringshål och deponeringstunnlar försluts. Om det finns otäta kapslar bildas vätgas då gjutjärnsinsatsen korroderar. Gasen kan transporteras i bufferten på två sätt. Genom att lösas i porvattnet och transporteras genom diffusion eller genom att en flödesväg öppnas. Innestängd gas förväntas lösas i porvattnet och transporteras ut genom diffusion. Gas som bildas vid korrosion av gjutjärnsinsatsen antas bygga upp ett tryck. Vid ett kritiskt tryck (öppningstrycket) öppnas en flödesväg genom bufferten och gasen släpps ut. Flödesvägen hålls öppen så länge trycket är högt, när det sjunkit till en viss nivå, stängningstrycket, kan flödesvägen inte längre hållas öppen. Gasfyllda hålrum kan då finnas kvar i transportvägarna. Den innestängda gasen förväntas lösas i porvattnet och transporteras genom diffusion.

Experiment visar att ursprunglig gas i gasform inte finns kvar i bufferten efter vattenmättnad. En tolkning är att kapilläreffekten komprimerar gasen som löses i porvattnet och transporteras ut. Laboratorieförsök visar att vid uppbyggnad av gasträck sjunker öppningstrycket vid upprepade gasinjektioner. Detta tolkas som att gas finns kvar, och att flödesvägarna inte hunnit slutas fullt ut mellan trycktopparna. Om tiden det tar att bygga upp öppningstrycket är tillräcklig förväntas hålrummen försvinna och transportvägarna slutas.

För att inte trycket mot kapseln ska bli för högt måste bufferten kunna släppa igenom gas, och för att den enda transportmekanismen ska vara diffusion måste transportvägar för gas slutas då gasen släppts igenom. Processen påverkar utformningen av bufferten.



## 7.4.4 Mekaniska processer

### ***Svällning***

Vatten tas upp av omättad bentonit och orsakar svällning. Om bentoniten inte kan expandera fritt utvecklas ett svälltryck som når sitt maximala värde vid full vattenmättnad (ett jämviktsvärde). Svälltrycket beror av buffertens densitet efter vattenmättnad, mineralsammansättning och porvattnets sammansättning. Porvattnets sammansättning beror av bentonitens mineralsammansättning och grundvattensammansättningen. Svällningen är avgörande för buffertens funktion och viktig för utformningen av bufferten.

### ***Mekanisk växelverkan buffert/återfyllning***

Bufferten utövar ett svälltryck mot återfyllningen och vice versa. Skillnaden i svälltryck är stor och bufferten utövar ett tryck mot återfyllningen som därvid komprimeras. Komprimeringen medför att buffertens densitet och därmed svälltrycket sjunker, samtidigt ökar mottrycket från återfyllningen. Svällning och kompression motverkas i viss mån av friktion mot berget. När svälltrycket i bufferten är lika stort som summan av mottrycket från återfyllningen och friktionen mot berget erhålls jämvikt. Densiteten och svälltrycket i buffertens översta del har då minskat. Processen påverkar utformningen av bufferten och återfyllningen.

### ***Mekanisk växelverkan buffert/kapsel***

Bufferten påverkar kapseln mekaniskt genom att utöva ett svälltryck mot kapselytan. Svälltrycket byggs upp under vattenmättnadsfasen, se avsnitt 7.3.3. Efter vattenmättnad utgörs trycket mot kapseln av summan av svälltrycket och vattentrycket på förvarsdjup. Ökat tryck kan förekomma i samband med temperaturökning eller uppstå på grund av bergrörelser, ökat vattentryck i samband med istider eller gas som stängs in eller genereras vid kapselytan. Vid bergrörelser påverkas belastningen som förs över till kapseln av buffertens reologiska egenskaper som i sin tur beror av material och densitet efter vattenmättnad.

Kapselns tyngd påverkar bufferten. Eftersom kapselns densitet är högre än buffertens kommer den att sätta sig, det vill säga röra sig nedåt på grund av konsolidering och krypning. Under vattenmättnadsfasen kommer buffertens svällning leda till att kapseln rör sig uppåt. Korrosion av kapseln leder till volymökning eftersom korrosionsprodukterna har lägre densitet än den ursprungliga metallen. Volymökningen leder till att bufferten konsolideras och trycket mellan kapseln och bufferten ökar.

Processen påverkar utformningen av bufferten.

### ***Mekanisk växelverkan buffert/närfältberg***

Svälltrycket från bufferten överförs till berget, men förväntas inte ge annat än obetydliga bergrörelser. Tryckets storlek påverkas av tryck från kapseln på grund av korrosion eller gasbildning samt av termisk expansion och konvergens eller bergrörelser i deponeringshålet (se avsnitt 9.4.4). Processen påverkar önskade egenskaper hos förvarsberget.

### ***Termisk expansion***

Vid temperaturförändringar i bufferten kommer volymen att förändras mer hos porvattnet än hos mineralfasen. Eftersom tillgängligt porutrymme i deponeringshålet inte förändras i motsvarande grad som porvattenvolymen vid en temperaturökning leder temperaturskillnader mellan olika delar av bufferten till tryckskillnader som ger en rörelse av porvattnet. Teoretiskt kan tryckökningen mot omgivningen uppgå till flera tiotal MPa. Tryckökningen motverkas av en dränering genom berget och återfyllningen och processen är därför inte dimensionerande.

## **7.4.5 Kemiska processer**

### ***Advektion***

Bufferten utformas så att tryckinducerat flöde, advektion, av ämnen lösta i vatten är försumbart i förhållande till diffusiv transport då bufferten är vattenmättad. Advektion kan dock förekomma vid plötsliga tryckförändringar i samband med gaspulser eller jordskalv. Plötsliga tryckförändringar beaktas i säkerhetsanalyser men deras direkta inverkan på transporten genom bufferten påverkar inte utformningen av bufferten.

### ***Diffusion***

För att fördröja transport av lösta ämnen utformas bufferten så att den hydrauliska konduktiviteten är så låg att all transport sker genom diffusion. Genom att begränsa transport av korroderande ämnen som kan påverka bentoniten är diffusionsprocessen av stor betydelse för kapselns och buffertens utveckling. Diffusion svarar för transporten av reaktanter och reaktionsprodukter som påverkar den kemiska utvecklingen i bufferten. Diffusion av  $\text{Na}^+$ - och  $\text{Ca}^{2+}$ -joner är avgörande för jonbytesprocessen (se Jonbyte/sorption), diffusion av  $\text{K}^+$  utgör en begränsande faktor för illitiseringsprocessen (se Montmorillinitomvandling).

### ***Jonbyte/sorption***

Under de kemiska förhållanden som förväntas i ett djupförvar är det utbyte från  $\text{Na}^+$  till  $\text{Ca}^{2+}$  och den totala salthalten i grundvattnet som kan påverka buffertens funktion. Både jonbyte till kalcium och ökad jonstyrka påverkar bentonits svällförmåga genom att begränsa den maximala vatteninbindningen.

I deponeringshålen är volymen begränsad och ett svälltryck kan upprätthållas även efter ett fullständigt jonbyte till  $\text{Ca}^{2+}$ . Porgeometri, och därmed även den hydrauliska konduktiviteten, förändras därför inte påtagligt efter ett jonbyte. I laboratorieförsök har hydraulisk konduktivitet och svälltryck undersökts hos MX-80 bentonit som fullständigt jonbytt till kalcium. Inga signifikanta skillnader kunde påvisas mellan jonbytt och ursprunglig MX-80 för densiteter högre än  $1\,900\text{ kg/m}^3$  /Karnland m fl, 1992/.

Mycket hög jonkoncentration i porvattnet leder till en signifikant minskning av svälltrycket och till en ökning av den hydrauliska konduktiviteten. En konceptuell beskrivning av utvecklingen av svälltrycket om porvattnet är mättat med avseende på salt visar att bufferten bibehåller ett ansevärt svälltryck /Karnland, 1997/. För en kvantifiering av hydrauliska konduktiviteten vid mycket höga salthalter (brines, över 10 procents salthalt) finns en påtaglig osäkerhet.

Processen påverkar utformningen av bufferten samt önskemål på förvarsplatsen och utformning av berganläggningen.

### **Montmorillonitomvandling**

Egenskaper med betydelse för buffertens funktion till exempel låg hydraulisk konduktivitet och svälltryck, styrs av samverkan mellan vatten och det svällande montmorillonitmineralet i bentoniten. Processer som leder till minskning av innehållet av svällande mineral är därför viktiga att utvärdera. En sådan process är omvandling till illit. Omvandlingshastigheten styrs av tillgången på kalium och temperaturen i bufferten. Svälltrycket och hydrauliska konduktiviteten efter omvandling bestäms av mängden kvarvarande montmorillonit.

Den naturliga andelen kalium i bufferten kan hållas låg och därför måste kalium transporteras in från omgivningen. Denna intransport förväntas ske mycket långsamt och detta i sig utgör ett effektivt hinder för en betydande omvandling. När det gäller temperaturen har modellberäkningar visat att omvandlingstakten kan förväntas bli mycket låg vid temperaturer under 130 °C även vid relativt höga kaliumkoncentrationer /Karnland m fl, 1995/. Relevanta förändringar av buffertens montmorillonithalt bedöms inträffa i först i ett miljonårsperspektiv.

En övre gräns för processens omfattning kan uppskattas genom att uppskatta initial mängd kalium i bentoniten samt intransporten av kalium från grundvatten och återfyllning /Hökmark, 1995/.

Processen påverkar utformningen av bufferten samt önskemål på förvarsplatsen och utformning av berganläggningen.

### **Lösning/fällning föroreningar**

Buffertmaterialet består förutom av svällande mineral, montmorillonit, av så kallade accessoriska mineral samt små mängder andra ämnen, föroreningar. I förvarsmiljön kan dessa lösas upp och ibland åter fällas. Utfällningar av karbonater och sulfater närmast kapslarna innebär att en porös kontaktzon kan utbildas och buffertens hållfasthet ökar. Utfällning av kisel kan bland annat minska bentonitens svällpotential.

De upplösningsprocesser som är viktiga är:

- Kalcitupplösning (jonbytesprocess  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ , vid reaktionen binds vätejoner varvid pH ökar).
- Pyritoxidation (förbrukning av initial syre och buffring av eventuellt inträngande syresatt vatten, reaktionen sänker pH).
- Upplösning av kalciumsulfater (kalciumsulfater, gips och anhydrit, har lägre löslighet i höga temperaturer och kan därför fällas ut i närheten av kapselytan).
- Utfällning/upplösning av kisel (andra ämnen (föroreningar) i bentoniten utgörs till största delen av kvarts och fältspater, vars löslighet ökar med temperaturen vilket ger en ökad utfällning mot berget).

Transport av ämnen kan ske i olika form och kan idag inte helt beskrivas. Cementeeringsprocessernas omfattning och konsekvens är i dag svårbedömd. De kan påverka utformningen av bufferten.

### **Kolloidfrigörelse/erosion**

Expanderande buffert kan tränga in i sprickor i berget kring deponeringshål. Grundvattnet i sprickorna kan erodera bufferten till följd av mekanisk erosion (strömmande vatten)

eller kemisk erosion (låg salthalt dispergerar lergelen). Detta kan få till följd att densiteten på bufferten i deponeringshålet minskar och lerkolloider bildas i grundvattnet. Lerkolloiderna skulle potentiellt kunna transportera radionuklider. Processerna påverkas av grundvattenflödet, grundvattnets och buffertens sammansättningar samt sprickgeometrin i omgivande berg.

För att bentoniten ska vara stabil och inte dispergeras till en kolloidal suspension krävs att grundvattnet innehåller tillräckligt höga halter positiva joner, vilket djupa svenska grundvatten i regel gör. I laboratorieförsök har halten kolloider i grundvatten från omgivningen av mättad bentonit bestämts till 1 ppm /Missana m fl/.

Bentonitens känslighet för erosion beror av densiteten efter vattenmättnad. Om bentoniten tillåts expandera sväller den ut till en gel med låg densitet. Om tillräcklig vattenhastighet uppstår mot gelen eroderas det yttersta skiktet. Vattenhastigheten i djupförvaret förväntas inte vara så hög att bentonit som trängt in i sprickor eroderas. En slutsats från genomförda modellberäkningar är att förlusten av buffert ut i sprickor som har kanalvidder som kan accepteras med hänsyn till vatteninströmningen vid applicering av bufferten, det vill säga cirka 0,1–0,5 millimeter, kommer att vara försumbar.

Processen påverkar utformningen av bufferten samt önskemål på förvarsplatsen och utformning av berganläggningen.

### ***Strålinducerad montmorillonitomvandling***

Montmorillonit i bufferten kan brytas ner av gammastrålning, vilket skulle resultera i en minskad montmorillonithalt i deponeringshålet. Den tillåtna strålningen vid kapselytan ger en stråldos som inte orsakar mätbara förändringar av montmorillonithalten /SKB, 1999b/. Effekten av alfastrålning vid ett eventuellt kapselbrott har inte beaktats. Processen påverkar högsta tillåtna strålning på kapselytan men inte utformningen av bufferten.

### ***Radiolys av porvatten***

Gamma strålning från bränslet som tränger igenom kapseln sönderdelar porvatten genom radiolys och det bildas OH-radikaler, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, och andra komponenter. Processen påverkar de strålningsnivåer som tillåts på kapselytan /Werme, 1998; SKB, 1999b/.

### ***Mikrobiella processer***

Mikrobiella processer kan under vissa förhållanden resultera i bildning av gas och sulfid. Gasbildning kan ge mekanisk påverkan på bufferten och sulfid kan korrodera kopparkapseln.

Slutsatsen från bland annat laboratorieexperiment är att bakterier inte bedöms kunna överleva i en vattenmättad buffert med en densitet över 1 800 kg/m<sup>3</sup> /Pedersen m fl, 1995; SKB, 1999b/. I en uppföljning av ett kanadensiskt laboratorieförsök kunde överlevande sulfatreducerande bakterier påvisas upp till en densitet på 1 800 kg/m<sup>3</sup> men inget liv återfanns vid 2 000 kg/m<sup>3</sup> /Motamedi m fl, 1996; SKB, 1999b/.

Mikrobiella processer i vattenmättad bentonitbuffert bedöms därför kunna försummas om bentonitdensiteten i deponeringshålet inte understiger 1 800 kg/m<sup>3</sup>.

Processen påverkar utformningen av bufferten.

## 7.4.6 Radionuklidtransport

Radionuklidtransport förutsätter att kapseln är otät. Det radioaktiva sönderfallet tillsammans med transportförhållandena i bufferten bestämmer i vilken utsträckning radionuklider från en skadad kapsel hinner sönderfalla innan de når berget.

### **Advektion**

För att fördröja radionuklidtransport utformas bufferten så att advektion ej förekommer i bufferten.

### **Kolloidtransport**

Diffusiv transport av radionuklider med kolloider (partiklar med dimensioner i storleksordningen  $10^{-9}$ – $10^{-6}$  meter) genom bentonitbufferten kan antas vara försumbar beroende på bentonitporernas slingrighet och ringa storlek. Detta gäller förutsatt att torrdensiteten är minst  $1\ 000\ \text{kg/m}^3$  /Kurosawa m fl, 1997; SKB, 1999b/. Processen påverkar utformningen av bufferten.

### **Speciering av radionuklider**

Specieringen av radionukliderna har betydelse för sorption och diffusion i bufferten. Den påverkas av radionuklidernas speciering på randen, det vill säga i kapseln, och av förhållandena i bufferten.

Specieringen beräknas för relevant porvattensammansättning med termodynamiska jämviktsmodeller för säkerhetsanalysen men processen är inte dimensionerande för buffertens utformning.

### **Sorption**

Radionuklider kan bindas (sorbera) på bentonit genom till exempel jonbytesreaktioner eller ytkomplexering. Sorptionen påverkas av porvattensammansättning, densitet efter vattenmättnad och temperatur.

Sorptionen anges med en distributionskoefficient,  $K_d$ -värde. Distributionskoefficienten är ett uppmätt värde och ska utvärderas för säkerhetsanalysen för aktuellt porvatten. Porvattnets sammansättning beror av buffertmaterial, transport av ämnen i bufferten och grundvattensammansättning.

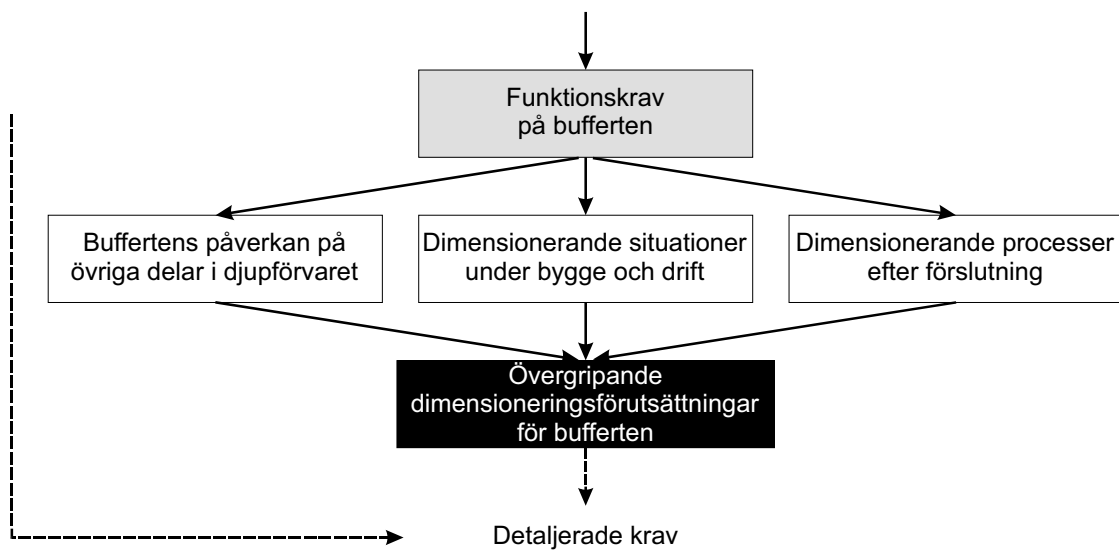
### **Diffusion**

För att fördröja transport av lösta ämnen utformas bufferten så att den hydrauliska konduktiviteten är så låg att all transport sker genom diffusion. Om kapseln är skadad är låg diffusion viktig för att fördröja, minska och i många fall förhindra utsläpp av radionuklider.

### **Sönderfall**

Genom radioaktivt sönderfall omvandlas radionuklider i bufferten. Vid sönderfallen alstras alfa-, beta- och gammastrålning samt nya nuklider, radioaktiva eller stabila. Lång transporttid genom bufferten är en säkerhetsmässig fördel.

## 7.5 Dimensioneringsförutsättningar



Figur 7-5. Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för bufferten.

### 7.5.1 Utformning

Utf Buff 1: **Tillförlitlig deponering**

Kapseln ska deponeras centrerat i deponeringshålet, block och ringar ska utformas för att underlätta detta och för att motstå belastning från utrustning och kapsel under deponeringen.

Utf Buff 2: **Jämnt svälltryck**

Under de förhållanden som accepteras råda i deponeringshål ska bufferten efter vattenmättnad utöva ett jämnt svälltryck mot kapseln.

Utf Buff 3: **Ej skada kapsel och berg**

Buffertens svälltryck får inte vara så stort att kapseln eller det omgivande berget skadas.

Utf Buff 4: **Värmeledningsförmåga**

Buffertens material ska väljas så att dess värmeledningsförmåga för en given resteffekt i kapseln, givna egenskaper hos förvarsberget och en given förvarslayout är tillräcklig för att uppfylla Utf Kpsl 7, såväl under vattenmättnadsfasen som efter vattenmättnad.

Utf Buff 5: **Ojämnt svälltryck**

Situationer som kan leda till ojämnt svälltryck mot kapseln ska analyseras. För situationer som kan antas vara vanligt förekommande eller som kan leda till extrem belastning på kapseln ska lastfall för vilka kapselns hållfasthet ska beräknas formuleras.

- Utf Buff 6: **Enbart diffusion**  
Med hänsyn till de temperatur-, hydrauliska- och kemiska förhållanden som förväntas i godkända deponeringshål ska pressade buffertblock och -ringar ha sådan dimension (tjocklek), torrdensitet och mineralsammansättning att bufferten i vattenmättat tillstånd har så låg konduktivitet att den enda betydelsefulla transporten av vatten och lösta specier är diffusion.
- Utf Buff 7: **Släppa igenom gas**  
Buffertens mineralsammansättning, vattenhalt och densitet efter vattenmättnad ska med hänsyn till de temperatur-, hydrauliska- och kemiska förhållanden som förväntas i godkända deponeringshål vara sådan att svälltrycket är tillräckligt för att stänga transportvägar som öppnats vid utsläpp av gas, men inte så stort att gastryck som riskerar att skada kapseln byggs upp.
- Utf Buff 8: **Växelverkan återfyllning**  
Densitet och svälltryck i buffertens översta del ska kontrollberäknas med hänsyn till expansion på grund av komprimering av återfyllningen, härvid ska Utf Buff 6 och 10 visas vara uppfyllda.
- Utf Buff 9: **Bära kapseln under vattenmättnadsförloppet**  
Under vattenmättnadsförloppet får utvecklingen av svälltrycket inte medföra att kapseln förskjuts ur sitt centrerade läge i deponeringshålet.
- Utf Buff 10: **Tillräcklig bärförmåga**  
Med den grundvattensammansättning som förväntas i deponeringshål och med hänsyn till Utf buff 9 samt accepterade avvikelser (toleranser) i deponeringshålet ska buffertens mineralsammansättning väljas så att densiteten medger tillräcklig bärförmåga för att hålla kapseln på plats i deponeringshålet.
- Utf Buff 11: **Skydda kapseln mekaniskt**  
Buffertens dimension, mineralsammansättning, vattenhalt och densitet efter vattenmättnad och därav avhängiga reologiska egenskaper ska, med hänsyn till de förhållanden som accepteras råda i deponeringshål, vara sådana att tryckförändringar och förskjutningar i berget som kan förekomma vid jordskalv, ska kunna äga rum utan att kapseln skadas så att en otäthet uppstår.
- Utf Buff 12: **Kemisk påverkan på kapseln**  
Buffertens mineralsammansättning ska med hänsyn till de förhållanden som accepteras råda i deponeringshål väljas så att ämnen lösta i porvattnet inte utsätter kapseln för sådana kemiska angrepp att en otäthet uppstår.
- Utf Buff 13: **Långtidsstabilitet**  
Buffertens mineralsammansättning, vattenhalt och densitet efter vattenmättnad ska med hänsyn till deponeringshållets dimension och toleranser och förväntad grundvattensammansättning vara sådan att Utf Buff 6, 7, 10 och 11 kan upprätthållas under mycket lång tid.
- Utf Buff 14: **Jonbyte/sorption**  
Utf Buff 13 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen jonbyte/sorption.
- Utf Buff 15: **Montmorillonitombildning**  
Utf Buff 13 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen montmorillonitombildning.

- Utf Buff 16: **Lösning/fällning av föroreningar**  
Utf Buff 13 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen lösning/fällning av föroreningar.
- Utf Buff 17: **Kolloidfrigörelse/erosion**  
Utf Buff 13 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen kolloidfrigörelse/erosion.
- Utf Buff 18: **Förhindra mikrobiella processer**  
Buffertens mineralsammansättning och vattenhalt ska väljas så att densiteten efter vattenmättnad med hänsyn till accepterade förhållanden i deponeringshål inte medger mikrobiell aktivitet som kan orsaka negativ påverkan på kapsel och buffert.
- Utf Buff 19: **Förhindra kolloidtransport**  
Buffertblock och -ringar ska ha en sådan mineralsammansättning och vattenhalt att kolloidtransport förhindras.
- Utf Buff 20: **Återta buffert**  
Det ska vara möjligt att återta deponerad buffert såväl före som efter vattenmättnad.
- Utf Buff 21: **Minimera miljöpåverkan**  
Bufferten ska utformas så att tillverkning, hantering och deponering ger så liten miljöpåverkan som möjligt.

De parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna måste kvantifieras för att bufferten ska kunna utformas, tillverkas och kontrolleras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 7-1 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 7-1. Kvantifiering av parametrar, laster m m för bufferten.**

Dimensioneringsförutsättningar	Parameter, last	Referens
Utf Buff 10: Tillräcklig bärförmåga	Grundvattensammansättning enligt tabell 9-3 (Övriga förhållanden i deponeringshål ej kvantifierade) Densitet efter vattenmättnad 1 900–2 100 kg/m <sup>3</sup>	/Puigdomeneck, 2001/ /SKB, 1999b/
Utf Buff 12: Kemisk påverkan på kapseln	Grundvattensammansättning enligt tabell 9-3 (Övriga förhållanden i deponeringshål ej kvantifierade)	/Puigdomeneck, 2001/
Utf Buff 13: Långtidsstabilitet	Grundvattensammansättning enligt tabell 9-3 (Övriga förhållanden i deponeringshål ej kvantifierade)	/Puigdomeneck, 2001/
Utf Buff 18: Förhindra mikrobiella processer	Grundvattensammansättning enligt tabell 9-3 (Övriga förhållanden i deponeringshål ej kvantifierade) Densitet efter vattenmättnad > 1 200 kg/m <sup>3</sup>	/Puigdomeneck, 2001/ /SKB, 1999b/
Utf Buff 19: Förhindra kolloidtransport	Tordensitet > 1 000 kg/m <sup>3</sup>	/Kurosawa m fl, 1997/



## 7.5.2 Utförande

### Utför Buff 1: **Tillförlitlig tillverkning**

Beredning av råmaterial och utformning av pressutrustning ska göras så att det på ett säkert, effektivt och tillförlitligt sätt går att pressa buffertblock och ringar med specificerade egenskaper.

### Utför Buff 2: **Tillförlitlig hantering**

Block och ringar av kompakterad bentonit ska kunna hanteras, lagras, transporteras och deponeras utan att materialet förändras eller blocken spricker sönder eller skadas på annat sätt.

### Utför Buff 3: **Noggrann kontroll**

Inför deponering ska bufferten kontrolleras och visas uppfylla krav på beständighet och funktion.

De parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna måste kvantifieras för att bufferten ska kunna utformas, tillverkas och kontrolleras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 7-2 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 7-2. Kvantifiering av parametrar, laster m m för bufferten.**

Dimensioneringsförutsättningar	Parameter, last	Referens
Utför Buff 1: Tillförlitlig tillverkning	Tillverkningsmetoden ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras	/SKB, 2001b/
Utför Buff 2: Tillförlitlig hantering	Hantering och lagring ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras	/SKB, 2001b/
Utför Buff 3: Noggrann kontroll	Kontrollmetoden ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras	/SKB, 2001b/

## 7.6 Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung

I detta avsnitt redovisas i tabellform (tabell 7-3) sambandet mellan funktionskraven på bufferten, funktionskraven på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav. Med lagkrav avses de krav i lagar, föreskrifter och internationella överenskommelser som redovisats i kapitel 3 Styrande regelverk. Ägarkrav avser krav redovisade i kapitel 4 Övriga övergripande förutsättningar och krav. I tabell 7-4 redovisas vidare sambandet mellan dimensioneringsförutsättningar, funktionskrav på bufferten, dimensionerande situationer och processer samt hur kraven är relaterade till andra delar i djupförvaret.

**Tabell 7-3. Samband mellan funktionskrav på bufferten, funktionskrav på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav.**

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Buff SS 1: Hindra vattenflöde</b> Buffertens hydrauliska konduktivitet ska vara så låg att eventuell transport av korrodanter och radionuklider sker enbart genom diffusion.</p>	<p><b>Djup SS 1: Isolera</b> Djupförvaret ska i första hand isolera det radioaktiva avfallet från biosfären.</p> <p><b>Djup SS 2: Fördröja</b> Om isoleringen skulle brytas har djupförvaret till uppgift att fördröja radionuklidtransport, så att nukliderna då de slutligen når biosfären inte ger upphov till skada.</p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b> Säkerheten ska baseras på flera säkerhetsfunktioner som ska upprätthållas av ett system av passiva barriärer.</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b> Säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer som är så utformade att genombrott av en barriär endast leder till begränsade omgivningskonsekvenser /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §; SKIFS 2002:1 3, 7 §/.</p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b> En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b> Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.</p>
<p><b>Buff SS 2: Liten inverkan på de övriga barriärerna</b> Bufferten ska ha försumbar kemisk och mekanisk inverkan på övriga barriärers funktion.</p>	<p><b>Djup SS 4: Samverkande barriärer</b> En barriär i djupförvaret får inte äventyra de övriga barriärernas säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Buff SS 3: Filtrera kolloider</b> Kolloidala partiklar ska filtreras av bufferten.</p>	<p><b>Djup SS 2: Fördröja</b></p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Buff SS 4: Långsiktigt beständig</b> Bufferten ska under lång tid bibehålla sina funktioner i den miljö som förväntas på förvarsdjup.</p>	<p><b>Djup SS 5: Strålskydd nu och i framtiden</b> Djupförvaret ska skydda människa och miljö från skadlig verkan av strålning både nu och i framtiden.</p> <p><b>Djup SS 6: Enskilda brister ej äventyra säkerhet</b> Brister i enskilda barriärer får inte påtagligt försämra djupförvarets säkerhet.</p> <p><b>Djup SS 7: Långtidsstabila barriärer</b> Barriärernas långsiktiga utveckling ska vara möjlig att utvärdera.</p>	<p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b></p> <p><b>Lag SS 17: Acceptabel risk</b> Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst <math>10^{-6}</math> för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken /SSI FS 1998:1 5 §/.</p> <p><b>Lag ss 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b></p> <p><b>Lag ss 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b></p>
<p><b>Buff SS 5: Fullständigt fylla utrymmet mellan kapsel och berg</b> Buffertens svälltryck ska vara tillräckligt högt för att ge god kontakt med omgivande berg och med kapseln.</p>	<p><b>Djup SS 1: Isolera</b></p> <p><b>Djup SS 2: Fördröja</b></p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Buff SS 6: Hålla kapseln på plats</b> Buffertens deformerbarhet ska inte vara större än att kapslarnas läge bibehålls.</p>	<p><b>Djup SS 1: Isolera</b></p> <p><b>Djup SS 2: Fördröja</b></p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Buff SS 7: Skydda kapseln mekaniskt</b> Buffertens deformerbarhet ska vara sådan att mindre bergörelser kan tas upp utan att kapseln skadas.</p>	<p><b>Djup SS 1: Isolera</b></p> <p><b>Djup SS 2: Fördröja</b></p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Buff SS 8: Leda bort värme</b> Buffertens värmelednings-egenskaper ska vara sådana att värmen från kapslarna inte leder till oacceptabla fysikaliska och kemiska förändringar av bufferten.</p>	<p><b>Djup SS 7: Långtidsstabila barriärer</b></p>	<p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b> Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets barriärer ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden som kan påverka barriärerna skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet, dels i framtiden /SSI FS 1998:1 3 §/.</p> <p><b>Lag ss 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b> För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön /SSI FS 1998:1 11 §/.</p> <p><b>Lag ss 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b> För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären /SSI FS 1998:1 12 §/.</p>
<p><b>Buff M 1: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Bufferten ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.</p>	<p><b>Djup M 2: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Konsumtionen av material, råvaror och energi ska vara så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.</p>	<p><b>Lag M 1: Hållbar utveckling</b> En hållbar utveckling ska främjas som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 5: Hushåll med råvaror och energi</b> Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi ska främjas så att ett kretslopp uppnås /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag ss 18: Biologisk mångfald</b> Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska göras så att biologisk mångfald och hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning /SSI FS 1998:1 6 §/.</p>

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Buff BD 1: Säker hantering</b> Bufferten kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.</p>	–	<p><b>Lag BD 3: Säker drift och underhåll</b> Hantering av avfall, buller, förekomst och utsläpp av farliga ämnen och farlig strålning ska beaktas så risken för brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 5: Säkerhet för de som vistas i anläggningen</b> Trivsel, hälsa och säkerhet för anställda och andra som utför arbete vid, eller besöker, anläggningen och ska beaktas vid utformningen.</p> <p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b> Djupförvaret ska utformas, byggas och drivas på ett säkert och effektivt sätt.</p>
<p><b>Buff Ö 1: Tillförlitlig och effektiv tillverkning</b> Bufferten ska kunna serie-tillverkas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p>	–	<p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b></p> <p><b>Ö krav 10: En kapsel om dagen</b> Konstruktion, byggande och drift av anläggningarna i systemet ska genomföras så att en kapsel per arbetsdag kan deponeras i djupförvaret.</p>
<p><b>Buff Ö 2: Tillförlitlig hantering och deponering</b> Bufferten ska kunna hanteras och deponeras i önskad takt på ett sådant sätt att specificerade kvalitetskrav bibehålls.</p>	–	<p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b></p> <p><b>Ö krav 10: En kapsel om dagen</b></p>
<p><b>Buff Ö 3: Återtag</b> Bufferten ska utformas så att återtag av en deponerad kapsel är möjligt, men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra buffertens barriärfunktioner.</p>	<p><b>Djup Ö 1: Återtag</b> Det ska vara möjligt att återta deponerade kapslar men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra djupförvarets barriärer och deras säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 3: Återtag</b> Inverkan på slutförvarets säkerhet av åtgärder som införs för att underlätta återtag eller övervakning samt för att förhindra intrång ska redovisas /SKIFS 2002:1 8 §; SSI FS 1998:1 8 §/.</p> <p><b>Lag I 1: Ej bördor på kommande generationer</b> Vid omhändertagande av radioaktivt avfall ska man sträva efter att inte lägga otillbörliga bördor på kommande generationer /IAEA, 1997, Kap 2, Paragraf 4/.</p> <p><b>Ö krav 7: Stegvis genomförande</b> Utbyggnad av djupförvaret och deponering ska ske stegvis med möjlighet att återta deponerade kapslar.</p>

**Tabell 7-4. Dimensioneringsförutsättningarnas koppling till funktionskrav på bufferten, andra delar i djupförvaret, samt dimensionerande situationer och processer.**

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Buff 1: Tillförlitlig deponering</b> Kapseln ska deponeras centrerat i deponeringshålet, block och ringar ska utformas för att underlätta detta och för att motstå belastning från utrustning och kapsel under deponeringen.</p>	<p><b>Buff BD 1: Säker hantering</b> Bufferten ska kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.</p>	<p>Kapsel Antal bränsleelement Dimension Material</p> <p>Utrustning samt kring- och serviceanläggningar</p>	<p>Hantering</p> <p>Drift (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>	–
<p><b>Utf Buff 2: Jämnt svälltryck</b> Under de förhållanden som accepteras råda i deponeringshål ska bufferten efter vattenmättnad utöva ett jämnt svälltryck mot kapseln.</p>	<p><b>Buff SS 5: Fullständigt fylla utrymmet mellan kapsel och berg</b> Buffertens svälltryck ska vara tillräckligt högt för att ge god kontakt med omgivande berg och med kapseln.</p>	<p>Kapsel Dimension Material</p> <p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Grundvattensammansättning</p>	–	Svällning
<p><b>Utf Buff 3: Ej skada kapsel och berg</b> Buffertens svälltryck får inte vara så stort att kapseln eller det omgivande berget skadas.</p>	<p><b>Buff SS 2: Liten inverkan på de övriga barriärerna</b> Bufferten ska ha försumbar kemisk och mekanisk inverkan på övriga barriärers funktion.</p> <p><b>Buff SS 5: Fullständigt fylla utrymmet mellan kapsel och berg</b></p>	<p>Kapsel Dimension Material</p> <p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Grundvattensammansättning</p>	–	<p>Svällning</p> <p>Mekanisk växelverkan buffert/kapsel</p> <p>Deformation av gjutjärnsinsats (Process i kapsel)</p>
<p><b>Utf Buff 4: Värmeledningsförmåga</b> Buffertens material ska väljas så att dess värmeledningsförmåga för en given resteffekt i kapseln, givna egenskaper hos förvarsberget och en given förvarslayout är tillräcklig för att uppfylla Utf Kpsl 7, såväl under vattenmättnadsfasen som efter vattenmättnad.</p>	<p><b>Buff SS 2: Liten inverkan på de övriga barriärerna</b></p> <p><b>Buff SS 8: Leda bort värme</b> Buffertens värmelednings-egenskaper ska vara sådana att värmen från kapslarna inte leder till oacceptabla fysikaliska och kemiska förändringar av bufferten.</p>	<p>Kapsel Resteffekt</p> <p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Läge (centrumavstånd)</p>	<p>Värmetransport</p> <p>Val av bränsleelement (Situation i kapsel)</p> <p>Uppvärmning och förångning av grundvatten (Situation i kapsel)</p>	<p>Värmetransport</p> <p>Stråldämpning/värmealstring (Process i bränsle)</p> <p>Stråldämpning/värmealstring (Process i kapsel)</p> <p>Värmetransport (Process i berganläggning)</p>
<p><b>Utf Buff 5: Ojämnt svälltryck</b> Situationer som kan leda till ojämnt svälltryck mot kapseln ska analyseras. För situationer som kan antas vara vanligt förekommande eller som kan leda till extrem belastning på kapseln ska lastfall för vilka kapselns hållfasthet ska beräknas formuleras.</p>	<p><b>Buff SS 2: Liten inverkan på de övriga barriärerna</b></p> <p><b>Buff SS 5: Fullständigt fylla utrymmet mellan kapsel och berg</b></p>	<p>Kapsel Dimension Material</p> <p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Grundvattensammansättning</p>	<p>Ojämn uppbyggnad av svälltryck (Situation i buffert)</p> <p>Vatteninflöde (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>	<p>Svällning</p> <p>Mekanisk växelverkan buffert/kapsel</p> <p>Deformation av gjutjärnsinsats (Process i kapsel)</p>

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Buff 6: Enbart diffusion</b> Med hänsyn till de temperatur-, hydrauliska- och kemiska förhållanden som förväntas i godkända deponeringshåll ska pressade buffertblock och -ringar ha sådan dimension (tjocklek), torrdensitet och mineral-sammansättning att bufferten i vattenmättat tillstånd har så låg konduktivitet att den enda betydelsefulla transporten av vatten och lösta specier är diffusion.</p>	<p><b>Buff SS 1: Hindra vattenflöde</b> Buffertens hydrauliska konduktivitet ska vara så låg att eventuell transport av korroderanter och radionuklider sker enbart genom diffusion.</p>	<p>Deponeringstunnlar och deponeringshåll Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Grundvatten-sammansättning</p>	<p>–</p>	<p>Vattentransport vid mättade förhållanden  Diffusion  Advektion blandning (Process i berganläggning)  Grundvattenströmning (Process i deponeringstunnlar och deponeringshåll)</p>
<p><b>Utf Buff 7: Släppa igenom gas</b> Buffertens mineral-sammansättning, vattenhalt och densitet efter vattenmättnad ska med hänsyn till de temperatur-, hydrauliska- och kemiska förhållanden som förväntas i godkända deponeringshåll vara sådan att svälltrycket är tillräckligt för att stänga transportvägar som öppnats vid utsläpp av gas, men inte så stort att gastryck som riskerar att skada kapseln byggs upp.</p>	<p><b>Buff SS 1: Hindra vattenflöde</b>  <b>Buff SS 2: Liten inverkan på de övriga barriärerna</b></p>	<p>Deponeringstunnlar och deponeringshåll Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Grundvatten-sammansättning</p>	<p>–</p>	<p>Gastransport/gaslösning  Gasströmning/gaslösning (Process i berganläggning)</p>
<p><b>Utf Buff 8: Växelverkan återfyllning</b> Densitet och svälltryck i buffertens översta del ska kontrollberäknas med hänsyn till expansion på grund av komprimering av återfyllningen, härvid ska Utf Buff 6 och 10 visas vara uppfyllda.</p>	<p>Se Utf Buff 6 och 10</p>	<p>Återfyllning Densitet efter vattenmättnad</p>	<p>–</p>	<p>Mekanisk växelverkan buffert/återfyllning</p>
<p><b>Utf Buff 9: Bära kapseln under vattenmättnadsförloppet</b> Under vattenmättnadsförloppet får utvecklingen av svälltrycket inte medföra att kapseln förskjuts ur sitt centrerade läge i deponeringshåll.</p>	<p><b>Buff SS 6: Hålla kapseln på plats</b> Buffertens deformerbarhet ska inte vara större än att kapslarnas läge bibehålls.</p>	<p>Kapsel Antal bränsleelement Dimension Material  Deponeringstunnlar och deponeringshåll Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Grundvatten-sammansättning</p>	<p>Vattenmättnad  Vatteninflöde (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshåll)</p>	<p>–</p>

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Buff 10: Tillräcklig bärförmåga</b> Med den grundvatten-sammansättning som förväntas i deponeringshål och med hänsyn till Utf buff 9 samt accepterade avvikelser (toleranser) i deponeringshålet ska buffertens mineral-sammansättning väljas så att densiteten medger tillräcklig bärförmåga för att hålla kapseln på plats i deponeringshålet.</p>	<p><b>Buff SS 6: Hålla kapseln på plats</b></p>	<p>Kapsel Antal bränsleelement Dimension Material</p> <p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Grundvatten-sammansättning</p>	<p>Vattenmättnad</p> <p>Vatteninflöde (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>	<p>Mekanisk växelverkan buffert/kapsel</p>
<p><b>Utf Buff 11: Skydda kapseln mekaniskt</b> Buffertens dimension, mineralsammansättning, vattenhalt och densitet efter vattenmättnad och därav avhängiga reologiska egenskaper ska, med hänsyn till de förhållanden som accepteras råda i deponeringshål, vara sådana att tryckförändringar och förskjutningar i berget som kan förekomma vid jordskalv, ska kunna äga rum utan att kapseln skadas så att en otäthet uppstår.</p>	<p><b>Buff SS 7: Skydda kapseln mekaniskt</b> Buffertens deformbarhet ska vara sådan att mindre berg rörelser kan tas upp utan att kapseln skadas.</p> <p><b>Buff SS 6: Hålla kapseln på plats</b></p>	<p>Kapsel Dimension Material</p> <p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Läge</p>	<p>–</p>	<p>Mekanisk växelverkan buffert/berg</p> <p>Mekanisk växelverkan buffert/kapsel</p> <p>Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor (Process i berganläggning)</p> <p>Tidsberoende deformationer (Process i berganläggning)</p>
<p><b>Utf Buff 12: Kemisk påverkan på kapseln</b> Buffertens mineral-sammansättning ska med hänsyn till de förhållanden som accepteras råda i deponeringshål väljas så att ämnen lösta i porvattnet inte utsätter kapseln för sådana kemiska angrepp att en otäthet uppstår.</p>	<p><b>Buff SS 2: Liten inverkan på de övriga barriärerna</b></p>	<p>Kapsel Dimension Material</p>	<p>–</p>	<p>Diffusion</p> <p>Korrosion kopparkapsel (Process i kapsel)</p>
<p><b>Utf Buff 13: Långtidsstabilitet</b> Buffertens mineral-sammansättning, vattenhalt och densitet efter vattenmättnad ska med hänsyn till deponeringshålets dimension och toleranser och förväntad grundvatten-sammansättning vara sådan att Utf Buff 6, 7, 10 och 11 kan upprätthållas under mycket lång tid.</p>	<p><b>Buff SS 4: Långsiktigt beständig</b> Bufferten ska vara långsiktigt beständig och dess funktioner bibehållas i den miljö som förväntas på förvarsdjup.</p>	<p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Konstruktioner Grundvatten-sammansättning</p>	<p>–</p>	<p>Diffusion</p> <p>Advektion blandning (Process i berganläggning)</p> <p>Grundvattenströmning (Process i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>
<p><b>Utf Buff 14: Jonbyte/sorption</b> Utf Buff 13 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen jonbyte/sorption.</p>	<p><b>Buff SS 4: Långsiktigt beständig</b></p>	<p>Se Utf Buff 13</p>		<p>Se Utf Buff 13</p> <p>Jonbyte/sorption</p>

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utf Buff 15: Montmorillonit-omvandling:</b> Utf Buff 13 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen montmorillonitomvandling.	<b>Buff SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Se Utf Buff 13		Se Utf Buff 13  Montmorillonit-omvandling
<b>Utf Buff 16: Lösning/fällning av föroreningar</b> Utf Buff 13 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen lösning/fällning av föroreningar.	<b>Buff SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Se Utf Buff 13		Se Utf Buff 13  Lösning/fällning av föroreningar
<b>Utf Buff 17: Kolloidfrigörelse/erosion</b> Utf Buff 13 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen kolloidfrigörelse/erosion.	<b>Buff SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Se Utf Buff 13		Se Utf Buff 13  Kolloidfrigörelse/erosion
<b>Utf Buff 18: Förhindra mikrobiella processer</b> Buffertens mineralsammansättning och vattenhalt ska väljas så att densiteten efter vattenmättnad med hänsyn till accepterade förhållanden i deponeringshål inte medger mikrobiell aktivitet som kan orsaka negativ påverkan på kapsel och buffert.	<b>Buff SS 7: Liten inverkan på de övriga barriärerna</b>  <b>Buff SS 8: Långsiktigt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Vatteninflöde Sprickdensitet Konstruktioner Grundvatten-sammansättning	–	Mikrobiella processer
<b>Utf Buff 19: Förhindra kolloidtransport</b> Buffertblock och -ringar ska ha en sådan mineralsammansättning och vattenhalt att kolloidtransport förhindras.	<b>Buff SS 3: Filtrera kolloider</b> Kolloidala partiklar ska filtreras av bufferten.	–	–	Kolloidtransport
<b>Utf Buff 20: Återta buffert</b> Det ska vara möjligt att återta deponerad buffert såväl före som efter vattenmättnad.	<b>Buff Ö 3: Återtag</b> Bufferten ska utformas så att återtag av en deponerad kapsel är möjligt, men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra buffertens barriärfunktioner.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Återtag (Situation i berganläggning)	–
<b>Utf Buff 21: Minimera miljöpåverkan</b> Bufferten ska utformas så att tillverkning, hantering och deponering ger så liten miljöpåverkan som möjligt.	<b>Buff M 1: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Bufferten ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Tillverkning  Hantering	



Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utför Buff 1: Tillförlitlig tillverkning</b> Beredning av råmaterial och utformning av pressutrustning ska göras så att det på ett säkert, effektivt och tillförlitligt sätt går att pressa buffertblock och ringar med specificerade egenskaper.	<b>Buff Ö 1: Tillförlitlig och effektiv tillverkning</b> Bufferten ska kunna serietillverkas enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Tillverkning	–
<b>Utför Buff 2: Tillförlitlig hantering</b> Block och ringar av kompakterad bentonit ska kunna hanteras, lagras, transporteras och deponeras utan att materialet förändras eller blocken spricker sönder eller skadas på annat sätt.	<b>Buff BD 1: Säker hantering</b>  <b>Buff Ö 2: Tillförlitlig hantering och deponering</b> Bufferten ska kunna hanteras och deponeras i önskad takt på ett sådant sätt att specificerade kvalitetskrav bibehålls.	Kapsel Antal bränsleelement Dimension Material  Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Hantering  Drift (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)	–
<b>Utför Buff 3: Noggrann kontroll</b> Inför deponering ska bufferten kontrolleras och visas uppfylla krav på beständighet och funktion.	<b>Buff Ö 2: Tillförlitlig hantering och deponering</b>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Hantering Kontroll	–

I tabell 7-3 och tabell 7-4 sammanställs funktionskrav på dimensioneringsförutsättningar för bufferten. Samtliga dessa krav är relaterade till minst ett lag- och/eller ägarkrav. Det finns dock lag- och ägarkrav som inte följts upp av funktionskrav och därmed dimensioneringsförutsättningar för bufferten. Dessa lag- och ägarkrav redovisas i tabell 7-5. De kan i det fortsatta arbetet med att utforma och tillverka bufferten antingen visas vara överflödiga eller komma att följas upp av mer detaljerade krav.

**Tabell 7-5. Lag- och ägarkrav som inte följts upp av funktionskrav eller dimensioneringsförutsättningar på bufferten.**

Lag, internationell överenskommelse samt övriga krav och önskemål	Lag- och ägarkrav
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Lagen om kärnteknisk verksamhet med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 6: Identifiera händelser som kan påverka skyddsåtgärder</b> Händelser som kan påverka åtgärder eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 7: Acceptabel tålighet hos skyddsåtgärder</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om dessa händelser eller förhållanden skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 8: Förebygga störningar</b> Störningar och haverier ska i största möjliga utsträckning förebyggas /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag SS 10: Beprövad teknik</b> I första hand ska beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar användas för utformning av ett system för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 11: Utprovning av ny teknik</b> Om beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar inte är möjliga eller rimliga, ska en utprovning och utvärdering ske för att verifiera att funktion och beteende hos ingående system och komponenter är inom de antaganden som görs i säkerhetsanalysen /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 12: Rapportera och åtgärda brister</b> Om brister i barriärer upptäcks ska de anmälas till SKI, utredas och åtgärdas /SKIFS 1998:1 2 kap 2 §; SKIFS 2002:1 4 §/.</p>
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Strålskyddslagen med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 13: Strålskydd under drift</b> Djupförvaret ska förses med tekniska anordningar, mätutrustning m m som krävs för att upprätthålla ett gott strålskydd /SFS 1988:220 6 §/.</p> <p><b>Lag SS 15: Optimering av strålskydd</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske dvs stråldoser till människor begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhällsliga faktorer /SSI FS 1998:1 4 §/.</p> <p><b>Lag SS 16: Bästa möjliga teknik</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska hänsyn tas till bästa möjliga teknik, dvs den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön som inte medför orimliga kostnader ska vidtas /SSI FS 1998:1 4 §/.</p>
<p><b>Miljö</b> Miljöbalken</p>	<p><b>Lag M 2: Människa och miljö skyddas</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas mot föroreningar och annan påverkan /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 3: Skydda värdefulla miljöer och biologisk mångfald</b> Värdefulla natur- och kulturmiljöer ska skyddas och den biologiska mångfalden bevaras /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 4: Begränsa ingrepp i fysisk miljö</b> Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt ska användas så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas /SFS 1998:808 1 kap 1 §, 2 kap 4 §, 3 kap, 4 kap/.</p>

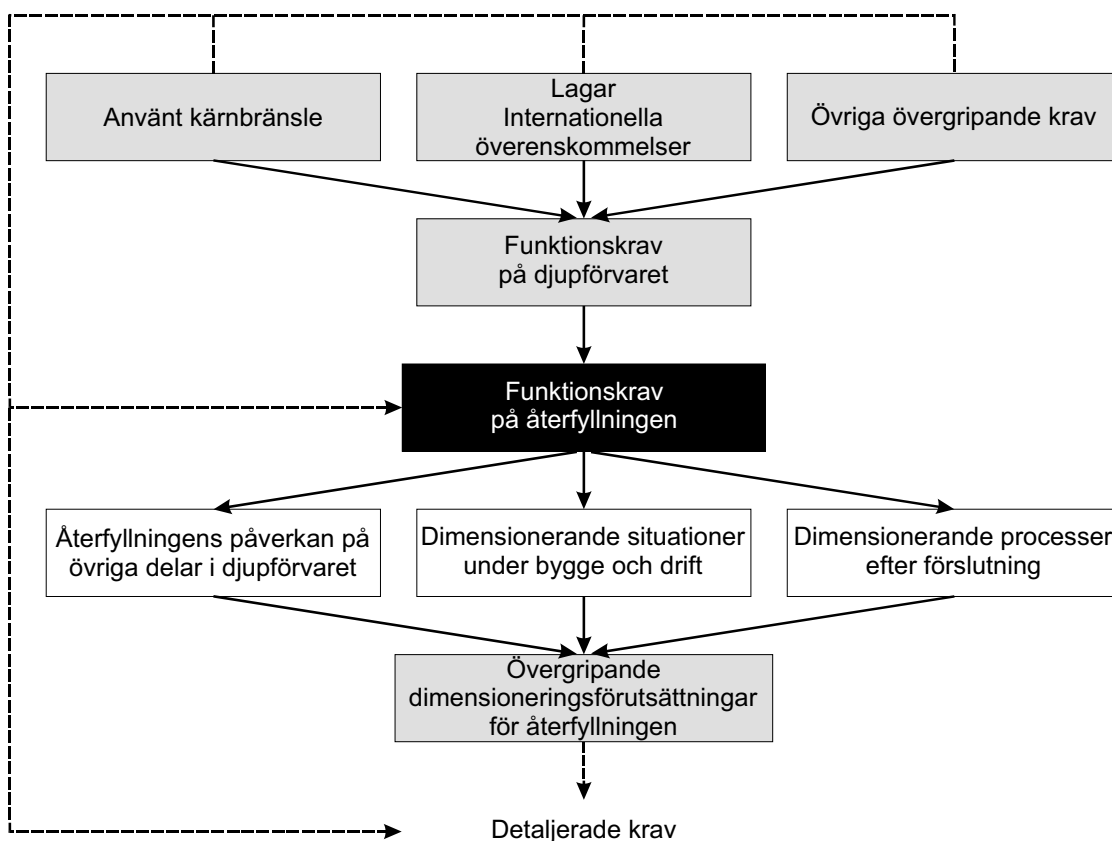
Lag, internationell överenskommelse samt övriga krav och önskemål	Lag- och ägarkrav
<p><b>Byggnad och drift</b> Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk med förordning</p> <p>Arbetsmiljölagen, arbetsmiljöförordningen</p> <p>Räddningstjänstlagen</p> <p>Lag om transport av farligt gods</p> <p>Lag om brandfarliga och explosiva varor</p> <p>Ellag</p>	<p><b>Lag BD 1: Utformning med hänsyn till säkerhet och miljö</b> Byggnadsverk ska uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav vad gäller bärförmåga och stadga, brandsäkerhet, hälsa och miljö, olycksrisk och hushållning med energi och andra resurser /SFS 1994:847 2, 4 §; SFS 1994:1215 3, 4 §/.</p> <p><b>Lag BD 2: Utformning med hänsyn till säkerhet</b> Byggnadsverk ska vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att de inte medför risk för brukarnas eller grannarnas hygien eller hälsa /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 4: Beakta olyckor</b> Brand och andra olyckor ska beaktas så att risken brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p>
<p><b>Internationella överenskommelser</b> IAEA:s avfallskonvention</p> <p>Icke spridningsavtalet</p>	<p><b>Lag I 2: Fredlig användning av kärnenergi</b> Kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi får inte användas för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III/.</p> <p><b>Lag I 3: Kontroll av kärnämne</b> Det ska kontrolleras och verifieras att kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi inte används för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III; IAEA:s stadgar, Paragraf XII/.</p>
<p><b>Ägarnas önskemål</b></p>	<p><b>Ö krav 1: Rymma allt svenskt använt kärnbränsle</b> Djupförvaret ska kunna ta emot det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet även med hänsyn till att kärnkraftverkens drifttid kan komma att förlängas.</p> <p><b>Ö krav 2: Förlängd drifttid</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att byggnads- och/eller driftperioden kan komma att bli längre än den för närvarande planerade.</p> <p><b>Ö krav 3: Övergång till horisontell deponering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att övergång från vertikal till horisontell deponering kan bli aktuell.</p> <p><b>Ö krav 4: Samlokalisering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att samlokalisering med förvaret för låg- och medelaktivt, långlivat avfall kan bli aktuell.</p> <p><b>Ö krav 5: Ny teknik</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att idag känd men oprövad alternativ teknik kan komma att användas.</p> <p><b>Ö krav 8: Begränsad drifttid</b> Djupförvaret ska byggas, och deponering äga rum under en begränsad tidsperiod.</p> <p><b>Ö krav 9: Djupförvaret ska förslutas</b> När deponeringen slutförts ska djupförvaret förslutas.</p>

## 8 Återfyllning

Återfyllning avser det material som används för att försluta deponeringstunnlar. Återfyllningen är ingen barriär. Deponeringstunnlarna återfylls för att bergets barriärfunktioner ska bibehållas. Konstruktionsförutsättningarna för återfyllningen i övriga bergum kan komma att skilja sig från konstruktionsförutsättningarna för återfyllningen i deponeringstunnlarna. Konstruktionsförutsättningarna utgår från att återfyllningen består av en blandning av krossat berg och en lera som innehåller svällande mineral. Referensmaterialet för återfyllningen är en blandning av bergkross från den aktuella förvarsplatsen och naturlig Na-bentonit av Wyoming-typ med handelsnamnet MX-80.

### 8.1 Funktionskrav

Funktionskrav på återfyllningen har formulerats utifrån de lagkrav och ägarkrav som anges i kapitel 3 och 4 och därur härledda funktionskrav på djupförvaret (se avsnitt 5.1). Funktionskraven redovisas nedan och finns sammanställda i avsnitt 8.6, där även deras koppling till krav på djupförvaret samt lagar m m redovisas.



*Figur 8-1. Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret. Färgade fält utgör konstruktionsförutsättningar, vita utgör bakgrund till konstruktionsförutsättningar.*

### 8.1.1 Säkerhet och strålskydd

För att djupförvarets barriärer ska bibehålla sin isolerande och fördröjande funktion ställs följande krav på återfyllningen i deponeringstunnlar /SKB, 1998a, 2001a/:

Återf SS 1: **Kompressibilitet**

För att buffertens densitet ska bibehållas ska återfyllningen ha en kompressibilitet som minimerar buffertens expansion uppåt.

Återf SS 2: **Hydraulisk konduktivitet**

För att deponeringstunnlarna inte ska utgöra konduktiva vägar som påverkar vattenomsättningen i förvaret ska återfyllningen, över hela tunnelns tvärsnitt och längd, ha en hydraulisk konduktivitet som är jämförbar med den i det omgivande berget, eller som är så låg att vattentransporten domineras av diffusion.

Återf SS 3: **Ej negativ påverkan på barriärer**

Återfyllda deponeringstunnlar får inte ha någon negativ påverkan på barriärerna i förvaret.

Återf SS 4: **Långsiktigt beständig**

Återfyllningen ska vara långsiktigt beständig och dess funktioner bibehållas i den miljö som förväntas i djupförvaret.

### 8.1.2 Miljö

Med hänsyn till miljöbalken gäller för bufferten:

Återf M1: **Minimera konsumtion av råvaror och energi**

Återfyllningen ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.

### 8.1.3 Byggande och drift

Med hänsyn till lagstiftning inom plan-, bygg- och arbetsmiljöområdet gäller:

Återf BD 1: **Säker hantering**

Återfyllningen ska kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.

### 8.1.4 Internationella överenskommelser

Inga funktionskrav på återfyllningen har formulerats.

### 8.1.5 Övriga förutsättningar och krav

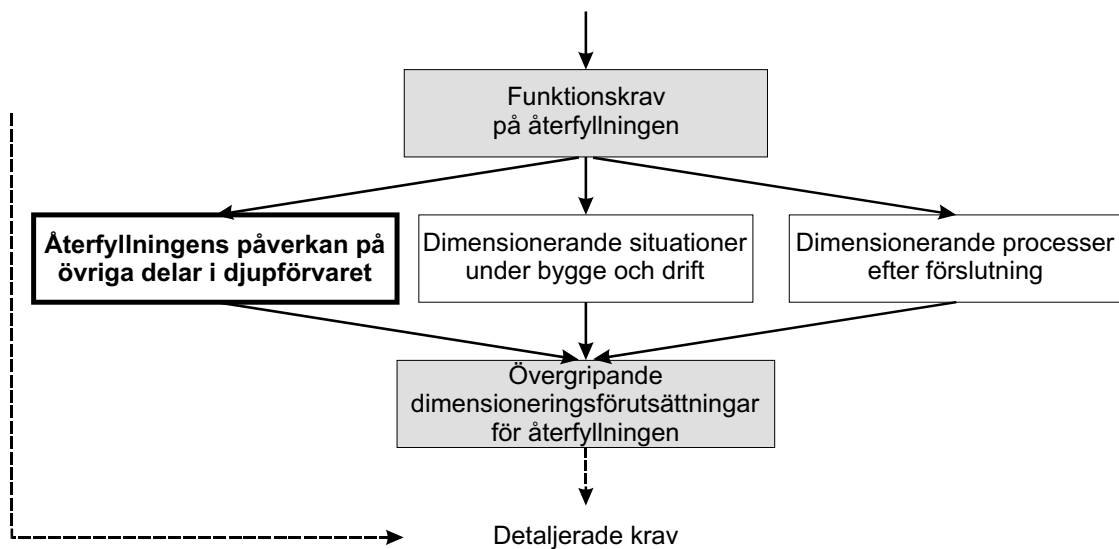
Återf Ö 1: **Tillförlitlig och effektiv hantering**

Återfyllningen ska kunna beredas, transporteras och läggas ut enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.

Återf Ö 2: **Återtag**

Återfyllningen ska utformas så att återtag av deponerade kapslar är möjligt, men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra återfyllningens funktioner.

## 8.2 Påverkan på övriga delar i djupförvaret



Figur 8-2. Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för återfillningen.

Utformningen av återfillningen är kopplad till och beror av utformningen av andra delar i djupförvaret. I detta avsnitt redovisas hur återfillningen påverkar övriga delar. Hur övriga delar påverkar återfillningen redovisas under motsvarande rubrik i kapitlen om respektive del. Syftet är att få en överblick över hur förändringar av återfillningen påverkar utformningen av övriga delar och vice versa. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 8.5.

### 8.2.1 Konstruktionsbestämmande parametrar

Återfillningen anpassas till andra delar i djupförvaret och samverkar med dem genom parametrarna:

- Lera
  - mineralsammansättning
  - vattenhalt
  - andel
- Krossat berg
  - kornstorleksfördelning
- Vattenhalt
- Densitet efter packning i deponeringstunneln
- Densitet efter vattenmättnad

### 8.2.2 Kapsel

Återfillningen kan påverka den kemiska miljön runt kapseln. För referensmaterialet är återfillningens påverkan på kapseln försumbar.

### **8.2.3 Buffert**

Återfyllningens densitet efter vattenmättnad bestämmer storleken på det svälltryck som utvecklas och materialets kompressibilitet. Återfyllningens densitet efter vattenmättnad bestäms av andelen lera i materialet och lerans mineralsammansättning, den densitet som kan uppnås efter utläggning och packning i deponeringstunneln, deponeringstunnelns dimensioner samt sammansättningen på porvattnet. Återfyllningens svälltryck, kompressibilitet och tyngd påverkar bufferten genom att utgöra en mothållande kraft mot buffertens expansion uppåt i deponeringshålet i samband att ett svälltryck utvecklas.

### **8.2.4 Deponeringstunnlar och deponeringshål**

Återfyllningens densitet efter vattenmättnad bestämmer storleken på det svälltryck som utvecklas och materialets kompressibilitet. Återfyllningens densitet efter vattenmättnad bestäms av andelen lera i materialet och lerans mineralsammansättning, den densitet som kan uppnås efter utläggning och packning i deponeringstunneln, deponeringstunnelns dimensioner samt sammansättningen på porvattnet. Svälltrycket och återfyllningens tyngd utövar ett tryck mot berget runt deponeringstunneln. Svälltrycket mot taket hindrar visst blockutfall. Återfyllningens kompressibilitet som också den beror av densiteten efter vattenmättnad sätter en gräns för omfattningen av kryprörelser i berget runt deponeringstunnlarna.

### **8.2.5 Övriga bergrum samt undersökningsborrhål**

Återfyllningen i deponeringstunnlarna påverkar inte utformningen av övriga bergrum samt undersökningsborrhål.

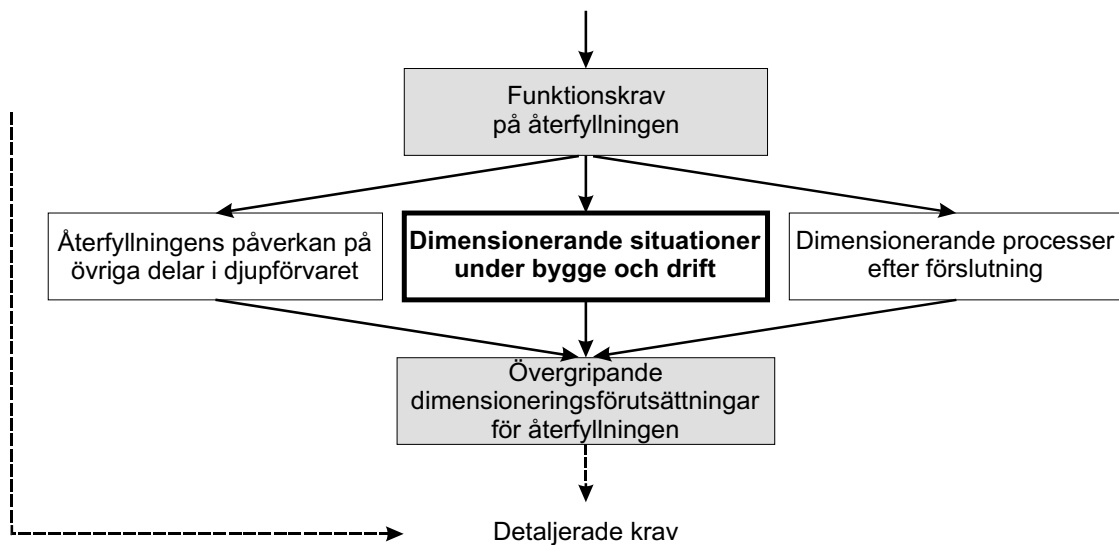
### **8.2.6 Pluggar i deponeringstunnlar**

Återfyllningens densitet efter vattenmättnad bestämmer storleken på det svälltryck som utvecklas och materialets kompressibilitet. Återfyllningens densitet efter vattenmättnad bestäms av andelen lera i materialet och lerans mineralsammansättning, den densitet som kan uppnås efter utläggning och packning i deponeringstunneln, deponeringstunnelns dimensioner samt sammansättningen på porvattnet. Svälltrycket utövar ett tryck mot pluggen i deponeringstunneln.

### **8.2.7 Utrustning samt kring- och serviceanläggningar**

Återfyllningens egenskaper ställer krav på den utrustning som krävs för att lagra och bereda råmaterialet samt för att transportera, lägga ut och packa materialet i deponeringstunnlarna. Med hänsyn till råmaterialets och det färdiga återfyllningsmaterialets egenskaper utformas utrustning m m så att de krav som ställs på återfyllningen efter deponering kan uppfyllas.

## 8.3 Dimensionerande situationer under byggande och drift



Figur 8-3. Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för återfillningen.

I detta avsnitt redovisas situationer som uppträder vid hantering och drift som påverkar utformningen av återfillningen. Redovisningen utgår från den beskrivning av hantering och drift som ges i "Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden /SKB, 2000/ samt "Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E" /SKB, 2001d/. De dimensionerande situationerna kan vara relaterade till normala förhållanden eller till missöden och avvikelser från det normala. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 8.5.

Som en bakgrund till de identifierade situationerna ges en kort beskrivning av hantering och drift i avsnitt 8.3.3. De dimensionerande situationerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar.

### 8.3.1 Normala förhållanden

- **Lagring av råmaterial**  
Lermaterial och uttagna bergmassor lagras i väntan på beredning.
- **Beredning och blandning**  
Lermaterial och uttagna bergmassor krossas till önskad kornstorlek. Specificerade fraktioner lermaterial och krossat berg väljs, vägs in och blandas. Materialet förs ned i djupförvaret.
- **Utläggning**  
I djupförvaret lastas återfillningen på en maskin som lägger ut och packar återfillningen.
- **Kontroll**  
Kontrollmetoder och kontrollprocess påverkar variationsbredden hos återfyllda deponeringstunnlars egenskaper.



- **Vattenmättnad**

När ett bergrum återfylls pluggas dess mynning och grundvatten rör sig in i återfyllningen och ett svälltryck utvecklas.

### 8.3.2 Missöden och andra avvikelser från det normala

- **Inhomogenitet**

Brister i val av råmaterial och blandning upptäcks inte vid kontroll och materialet är inhomogent.

- **Dålig packning**

Brister i packning eller lokalt höga vattenflöden leder till ojämn eller låg densitet.

### 8.3.3 Hantering och drift

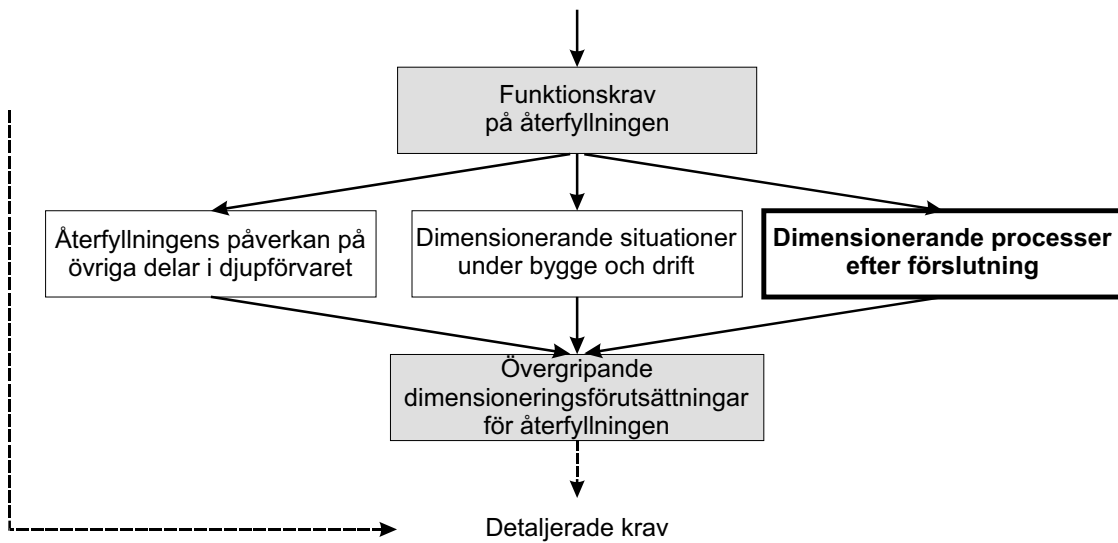
Bergmaterial till återfyllning krossas till önskad kornstorlek och blandas med bentonit till önskad homogenitet, varpå materialet kontrolleras. Materialet bereds och läggs ut parallellt, och produktionshastigheten måste anpassas till utläggningstakten. Återfyllningen påbörjas allt eftersom deponeringen är klar. Materialet läggs ut i tunneln och packas till önskad packningsgrad. När hela deponeringstunneln återfyllts pluggas tunnelmynningen, grundvatten rör sig in mot tunneln och återfyllningen vattenmätts. Transporttunnlar återfylls när deponeringen i ett deponeringsområde avslutats. Slutligen återfylls djupförvarets övriga bergrum samt undersökningsborrhål.

Återfyllningen i ett förslutet bergrum blir aldrig helt homogen. Det medför att återfyllningens egenskaper kommer att variera i det återfyllda bergrummet. De varierande egenskaperna beror dels på att blandningen av lera och bergkross inte ger en helt jämn fördelning av lerkomponent och bergkross, dels på att utläggningen och packningen inte kan göras lika effektiv över hela bergrummets tvärsnitt och längd. De varierande egenskaperna medför variation i bevättningshastighet och uppbyggnad av svälltryck. Packningen påverkar återfyllningens densitet i det återfyllda bergrummet. Återfyllningens densitet och andelen lera i materialet påverkar densiteten efter vattenmättnad, som genom att den påverkar både svälltryck och hydraulisk konduktivitet, är av stor betydelse för återfyllningens funktion.

Densiteten hos återfyllningen förväntas bli lägst vid taket. Om en spalt finns i taket mot berget finns en risk för erosion av strömmande vatten i återfyllningsmaterialet närmast taket. En spalt kan finnas om packningen är otillräcklig eller uppstå genom kanalbildning vid inplaceringen av återfyllningen. Då återfyllningen vattenmätts och svälltrycket utvecklas täpps kanalen till och risken för erosion försvinner. Eftersom densiteten vid tunneltakets kan vara låg på grund av dålig packning finns dock risk att svälltrycket blir begränsat och risken för erosion kan bli bestående.

Brister i blandning och kontroll av materialet kan leda till en mycket inhomogen återfyllning. Inhomogenitet kan leda till att vattenförande kanaler bildas, om flödet är stort kan bentoniten erodera bort. Dåligt utförd packning leder till låg packningsgrad och påverkar densiteten efter vattenmättnad och därmed svällegenskaperna. I båda fallen försämras svällegenskaperna med försämrade funktion hos återfyllningen som följd.

## 8.4 Dimensionerande processer efter förvaret förslutits



*Figur 8-4. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningar för återfyllningen.*

I detta avsnitt redovisas processer som uppträder efter förslutning av förvaret och som påverkar utformningen av återfyllningen. Redovisningen utgår från sammanställningen av processer, ”Processer i förvarets utveckling” /SKB, 1999b/, som gjordes inför säkerhetsanalysen SR 97 /SKB, 1999a/. I sammanställningen redovisas processer i buffert och återfyllning gemensamt. Här redovisas de delar som rör återfyllningen separerat. Av de redovisade processerna påverkar inte alla utformningen av återfyllningen. För fullständighetens skull redovisas ändå samtliga processer. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 8.5.

Processbeskrivningarna sammanfattas i avsnitt 8.4.1–8.4.6. De dimensionerande processerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar. Syftet är att redovisa vilka processer som styr utformningen, samt att visa hur kunskapen om förvarets långsiktiga utveckling och säkerhet tas tillvara i utformningen av återfyllningen.

### 8.4.1 Strårelaterade processer

#### **Stråldämpning/värmealstring**

Gamma och neutronstrålning från kapseln dämpas (attenueras) i bufferten. Den strålning som inte dämpas i bufferten tränger ut i närfältsberget och eventuellt återfyllningen. Effekten av eventuell strålningsdämpning i återfyllningen bedöms vara försumbar för återfyllningens funktion. Processen påverkar högsta tillåtna strålning på kapselytan men är inte dimensionerande för återfyllningen.

## 8.4.2 Termiska processer

### *Värmetransport*

Återfyllningens temperatur bestäms av det omgivande berget som har högre värmeledningsförmåga. Återfyllningens egen värmeledningsförmåga inverkar på temperaturen genom att närfältets genomsnittliga effektiva värmetransportmotstånd blir något större om värmeledningsförmågan är låg. Tunnlarnas volym i förhållande till bergets volym är emellertid så liten att värmeledningsförmågan i återfyllningen ger obetydliga effekter på temperaturen i både återfyllning och i buffert. Processen är inte dimensionerande för återfyllningen.

## 8.4.3 Hydrauliska processer

### *Vattentransport vid mättade förhållanden*

För att återfyllda bergrum inte ska utgöra konduktiva zoner ska återfyllningen ha en hydraulisk konduktivitet som är jämförbar med det omgivande bergets. För en given andel lera i återfyllningen bestäms den hydrauliska konduktiviteten efter vattenmättnad av lerans mineralsammansättning, porvattenkemin och densiteten. Porvattenkemin beror till största delen av sammansättningen på vatten som tillförs efter deponering, men också av sammansättningen på vatten i bergkross och lera och på vatten som tillsätts vid blandning.

De kemiska förhållandena, till exempel hög salthalt hos grundvattnet, kan innebära att återfyllningens hydrauliska konduktivitet ökar. Försök visar att, vid bentonithalter under 30 procent, har salthalten i grundvatten stor inverkan på den hydrauliska konduktiviteten i återfyllningen. Det beror på att den hydrauliska konduktiviteten bestäms av bentonitens egenskaper i bergkrossets porsystem. Vid låga bentonithalter blir bentonitens densitet i porutrymmena låg, och vid låga densiteter är bentonitens egenskaper känsliga för saltinnehåll. För att erhålla samma hydrauliska konduktivitet innebär det att en högre inblandning av lera krävs om grundvattnet har hög salthalt. För typiska svenska grundvattenförhållanden kan grundvattnets salthalt ha avgörande betydelse för hur stor andel lera som behövs i återfyllningen. /SKB, 1999b/.

### *Gastransport/gaslösning*

Gas finns inestängd i återfyllningen då deponeringstunnlar försluts. Gasen kan transporteras på två sätt. Genom att lösas i porvattnet och transporteras genom diffusion eller genom att en flödesväg öppnas. I återfyllningen spelar grundvattentrycket en avgörande roll för lösligheten hos innesluten gas eftersom endast små svälltryck utbildas /SKB, 1999b/. Inestängd gas förväntas lösas i porvattnet och transporteras ut. Gastransport i återfyllningen bedöms inte vara viktig för dess funktion, och processen är inte dimensionerande för återfyllningen /SKB, 2001a/.

## 8.4.4 Mekaniska processer

### ***Svällning***

Vatten som tas upp av den omättade bentoniten i återfyllningen och orsakar svällning. Om bentoniten inte kan expandera fritt utvecklas ett svälltryck som når sitt maximala värde vid full vattenmättnad. Återfyllningens svälltryck beror av andelen lera, lerans mineralsammansättning och vattenhalt och av porvattnets sammansättning. För att konduktiva strukturer som kan uppstå vid kanalbilning och kryprörelser i återfyllningsmaterialet ska tätas bör återfyllningens svälltryck vara minst 100 kPa.

De kemiska förhållandena, till exempel hög salthalt hos grundvattnet, kan innebära att svällningen begränsas. Försök visar att, vid bentonithalter under 30 procent, har salthalten i grundvatten stor inverkan på utvecklingen av svälltrycket i återfyllningen. Det beror på att vid låga bentonithalter blir bentonitens densitet i porutrymmena låg, och vid låga densiteter är svälltrycket känsligt för saltinnehållet. För att erholda erforderligt svälltryck innebär det att en högre inblandning av lera krävs om grundvattnet har hög salthalt. För typiska svenska grundvattenförhållanden kan grundvattnets salthalt ha avgörande betydelse för hur stor andel lera som behövs i återfyllningen.

### ***Mekanisk växelverkan buffert/återfyllning***

Återfyllningen utövar på grund av sin tyngd och sitt svälltryck ett tryck mot bufferten, och bufferten utövar ett svälltryck mot återfyllningen. Svälltrycket i bufferten är större än det tryck återfyllningen utövar mot bufferten och orsakar en kompression av återfyllningen. Komprimeringen medför att buffertens densitet och därmed svälltrycket sjunker, samtidigt ökar mottrycket från återfyllningen. Svällning och kompression motverkas i viss mån av friktion mot berget. När svälltrycket i bufferten är lika stort som summan av mottrycket från återfyllningen och friktionen mot berget erhålls jämvikt. Omfattningen av expansionen/komprimeringen beror på buffertens och återfyllningens ursprungliga densiteter och avhängiga expansions- och kompressionsegenskaper. Mottrycket från återfyllningen måste vara tillräckligt för att bibehålla buffertens densitet inom accepterade nivåer.

### ***Mekanisk växelverkan återfyllning/närfältsberg***

Återfyllningens svälltryck och tyngd fungerar som stöd mot bergutfall men ger i övrigt för små tryck för att påverka berget. För att kunna motstå visst blockutfall är det ett önskemål att uppnå minst 100 kPa svälltryck mot taket. Det motsvarar tyngden av ett 5 meter högt bergblock. Om återfyllningen saknar svälltryck kan avlossning av bergblock leda till att konduktiva strukturer bildas.

Trycket från återfyllningen är inte tillräckligt för att förhindra kryprörelser i berget runt återfyllda bergrum. Kryprörelserna upphör när återfyllningen komprimerats tillräckligt mycket för att erholda signifikant mottryck.

Friktionen mellan återfyllning och bergvägg i deponeringshålet och utbredningen av buffertens svälltryck genom återfyllningen mot deponeringstunnelns tak utövar en påfrestning på omgivande berg. Bergets hållfasthet måste vara tillräcklig för att motstå påfrestningarna utan att deformeras på ett sådant sätt att den långsiktiga säkerheten äventyras.

Processen behandlas i säkerhetsanalyser men påverkar inte utformningen av återfyllningen.

### ***Termisk expansion***

Vid temperaturförändringar i bufferten kommer volymen att förändras mer hos porvattnet än hos mineralfasen. Detta leder till en tryckökning. I återfyllningen är dock den hydrauliska konduktiviteten så hög att tryckökningen leder till porvattnet dräneras och trycket sjunker. Processen är inte dimensionerande.

## **8.4.5 Kemiska processer**

### ***Advektion***

Tryckinducerat flöde, advektion, av ämnen lösta i vatten kan efter vattenmättnad förekomma i återfyllningen. Återfyllningens hydrauliska konduktivitet bör motsvara den hos det omgivande berget.

### ***Diffusion***

Diffusion förekommer i återfyllningen. I lerkomponenten svarar diffusion för transporten av reaktanter och reaktionsprodukter som påverkar den kemiska utvecklingen av bentoniten. Diffusion av  $\text{Na}^+$ - och  $\text{Ca}^{2+}$ -joner är avgörande för jonbytesprocessen (se Jonbyte/sorption), diffusion av  $\text{K}^+$  utgör en begränsande faktor för illitiseringsprocessen (se Montmorillonitomvandling).

### ***Osmos***

Inverkan av hög salthalt i grundvattnet kan förekomma i återfyllningen men inte i bufferten. Det beror på att densiteten hos lerkomponenten i återfyllningen är betydligt lägre än i bufferten. Vilket i sin tur är ett resultat av andelen lera i återfyllningen och använd packningsteknik. För referensmaterialet är därför montmorillonitfasen utsvälld till en volym som motsvarar den maximala utsvällningen vid en viss salthalt. Om salthalten överskrider denna kritiska gräns förändras porstrukturen, vilket leder till ökning av den hydrauliska konduktiviteten, förlorat svälltryck och ökad risk för kanalbildning vid höga vattenflöden /SKB, 2001a/. Processen behöver utredas närmare. Med uppnådda packningsresultat finns risk för försämring av återfyllningens funktion vid relativt låga salthalter i grundvattnet.

### ***Jonbyte/sorption***

Under de kemiska förhållanden som förväntas i ett djupförvar är det utbyte från  $\text{Na}^+$  till  $\text{Ca}^{2+}$  och den totala salthalten i grundvattnet som kan påverka lerkomponenten i återfyllningen. Både jonbyte till kalcium och ökad jonstyrka påverkar bentonits svällförmåga genom att begränsa den maximala vatteninbindningen. Jonbyte från Na till Ca leder till förändrad porgeometri i återfyllningen. Återfyllningens hydrauliska konduktivitet ökar och den svällande förmågan försämras. Processen påverkar utformningen av återfyllningen.

### ***Montmorillonitomvandling***

Egenskaper med betydelse för återfyllningens funktion till exempel låg hydraulisk konduktivitet och svälltryck, styrs av samverkan mellan vatten och det svällande montmorillonitmineralet i bentoniten. Processer som leder till minskning av innehållet av svällande mineral är därför viktiga att utvärdera. En sådan process är omvandling till illit. Omvandlingshastigheten styrs av tillgången på kalium och temperaturen i bufferten. Svälltrycket och hydrauliska konduktiviteten efter omvandling bestäms av mängden kvarvarande montmorillonit. Processen bedöms ha begränsad betydelse för återfyllningens utveckling.

### ***Lösning/fällning föroreningar***

Naturliga föroreningar i bentonit materialet bedöms inte ha någon betydelse för återfyllningens långsiktiga funktion. Betydelsen av konstruktions- och kvarglömda material bedöms i nuläget bli liten. Effekter av främmande ämnen bör utredas närmare, restriktioner av mängder av vissa ämnen kan eventuellt bli aktuellt.

### ***Kolloidfrigörelse/erosion***

I återfyllningen är risken för kolloidfrigörelse och erosion större än i bufferten eftersom lerkomponentens densitet efter vattenmättnad är lägre i återfyllningen. Risken för erosion är störst vid tunneltaket, där sämre packning förväntas ge lägre densitet. Effekten av försämrade egenskaper på grund av borteroderad bentonit kan bli betydande. Processen påverkar utformningen av återfyllningen.

### ***Strålinducerad montmorillonitomvandling***

Montmorillonit i bufferten kan brytas ner av gammastrålning, vilket skulle resultera i en minskad montmorillonithalt. Processen bedöms vara försumbar i återfyllningen.

### ***Radiolys av porvatten***

Gamma strålning från bränslet som tränger igenom kapseln sönderdelar porvatten genom radiolys och det bildas OH-radikaler, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, och andra komponenter. Processen bedöms inte påverka återfyllningen. Den är inte dimensionerande för återfyllningen men påverkar de högsta strålningsnivåer som kan tillåtas på kapselytan.

### ***Mikrobiella processer***

Eftersom densiteten är lägre än i bufferten och vattentillgången högre, är möjligheterna till bakteriell aktivitet i återfyllningsmaterialet högre än i bufferten. Konsekvenserna av mikrobiella processer i återfyllningen behandlas i säkerhetsanalyser. De påverkar inte utformningen av återfyllningen.

## 8.4.6 Radionuklidtransport

### **Advektion**

Återfyllningen har en hydraulisk konduktivitet respektive diffusivitet som innebär att både diffusion och advektion kan vara viktiga transportmekanismer. Återfyllningens transportmotstånd ska motsvara transportmotståndet i det omgivande berget.

### **Kolloidtransport**

Processen är inte dimensionerande för återfyllningens utformning.

### **Speciering av radionuklider**

Specieringen av radionukliderna har betydelse för sorption och diffusion i återfyllningen. Den påverkas av vilken speciering nukliden har vid randen till återfyllningen men också av de kemiska förhållandena i återfyllningen.

Specieringen beräknas för relevant porvattensammansättning med termodynamiska jämviktsmodeller för säkerhetsanalysen men processen är inte dimensionerande för återfyllningens utformning.

### **Sorption**

Radionuklider kan bindas (sorbera) på återfyllningen.

Sorptionen anges med en distributionskoefficient,  $K_d$ -värde. Distributionskoefficienten i återfyllningen kan beräknas genom sammanvägning av  $K_d$ -värden för bentonit och berg i proportion till återfyllningens sammansättning.

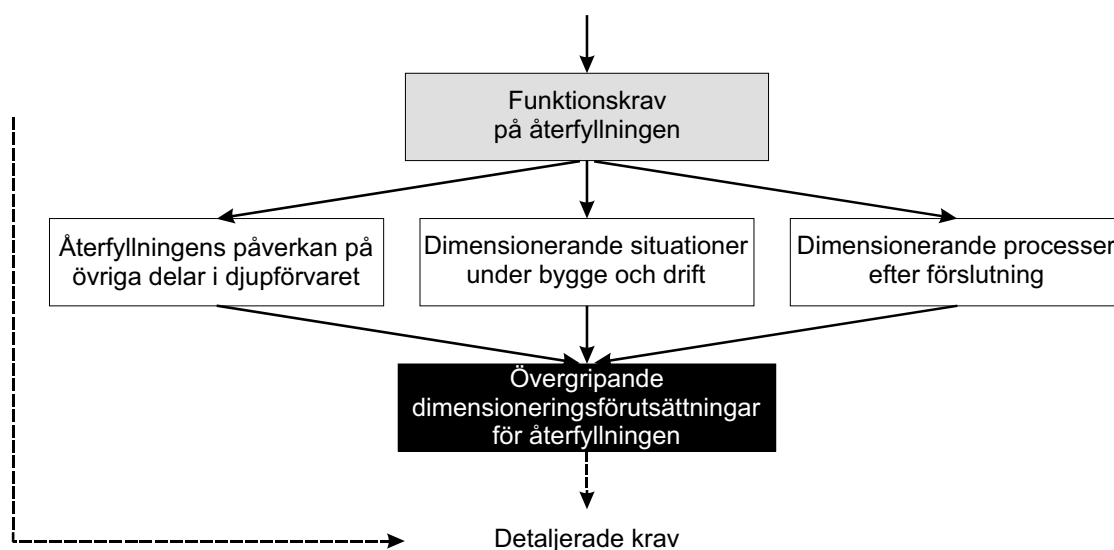
### **Diffusion**

Återfyllningen har en hydraulisk konduktivitet respektive diffusivitet som innebär att både diffusion och advektion kan vara viktiga transportmekanismer. Om transporten i återfyllningen domineras av diffusion, innebär det god fördröjning. Diffusions-egenskaperna är dock inte styrande för utformningen av återfyllningen.

### **Sönderfall**

Genom radioaktivt sönderfall omvandlas radionuklider i återfyllningen. Vid sönderfallen alstras alfa-, beta- och gammastrålning samt nya nuklider, radioaktiva eller stabila. Lång transporttid är en säkerhetsmässig fördel.

## 8.5 Dimensioneringsförutsättningar



Figur 8-5. Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för återfillningen.

### 8.5.1 Utformning

#### Utf Återf 1: **Hydraulisk konduktivitet**

Andelen lera i återfillningen samt lerans mineralsammansättning och återfillningens densitet ska med hänsyn till grundvattnets sammansättning på den aktuella förvaringsplatsen vara sådan att återfillningens hydrauliska konduktivitet efter vattenmättnad motsvarar den hos det omgivande berget.

#### Utf Återf 2: **Täta konduktiva strukturer**

Andelen lera i återfillningen samt lerans mineralsammansättning och återfillningens densitet ska med hänsyn till grundvattnets sammansättning på den aktuella förvaringsplatsen vara sådan att återfillningens svälltryck efter vattenmättnad är tillräckligt för att täta konduktiva strukturer som kan bildas i återfillningen och i zonen mellan återfillningen och berget.

#### Utf Återf 3: **Kompressibilitet**

Återfillningens densitet ska väljas så att den inte komprimeras mer på grund av växelverkan med bufferten än att mottrycket är tillräckligt för att bibehålla buffertens egenskaper så att Utf Buff 6, 7 och 10 uppfylls.

#### Utf Återf 4: **Långtidsstabilitet**

Densitet och mineralsammansättning hos lerkomponenten i återfillningsmaterialet ska vara sådan att hydraulisk konduktivitet, kompressibilitet och svälltryck enligt Utf Återf 1, 2 och 3 kan upprätthållas under lång tid.



- Utf Återf 5: **Osmos**  
Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen osmos.
- Utf Återf 6: **Jonbyte/sorption**  
Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen jonbyte/sorption.
- Utf Återf 7: **Montmorillonitomvandling**  
Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen montmorillonitomvandling.
- Utf Återf 8: **Lösning/fällning av föroreningar**  
Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen lösning/fällning av föroreningar.
- Utf Återf 9: **Kolloidfrigörelse/erosion**  
Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen kolloidfrigörelse/erosion.
- Utf Återf 10: **Främmande ämnen**  
Främmande ämnen som lämnas kvar i bergrum vid förslutning ska visas ha försumbar inverkan på att hydraulisk konduktivitet och svälltryck enligt Utf Återf 1 och 2 upprätthålls.
- Utf Återf 11: **Transportmotstånd**  
Omfattningen av advektion och diffusion ska efter vattenmättnad i återfyllningen vara sådan att återfyllningens förmåga att fördröja transport av ämnen lösta i grundvattnet motsvarar transportmotståndet i det omgivande berget.
- Utf Återf 12: **Återta återfyllning**  
Det ska vara möjligt att åter öppna återfyllda tunnlar såväl före som efter vattenmättnad.

I arbetet med att beskriva beredning, inplacering och kontroll av återfyllningen måste de parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna kvantifieras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 8-1 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 8-1. Kvantifiering av parametrar, laster m m för återfyllningen.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utf Återf 2: Täta konduktiva strukturer	Svälltryck > 100 kPa	/SKB, 1999b/

## 8.5.2 Utförande

### Utför Återf 1: **Hantering och beredning**

Lermaterial och bergkross ska lagras, beredas och transporteras ned i djupförvaret så att återfyllningsmaterialet vid inplaceringen i de bergrum som ska återfyllas uppfyller specificerade materialkrav.

### Utför Återf 2: **Utläggning**

Återfyllningsmaterial ska läggas ut och packas så att återfyllningen efter vattenmättnad har tillräckligt innehåll av svällande lera och tillräcklig densitet för att upprätthålla svälltryck och hydraulisk konduktivitet enligt Utför Återf 1 och 2 över hela bergrummets tvärsnitt och längd.

### Utför Återf 3: **Vattenmättnad**

Återfyllningens homogenitet och packning ska vara sådan att vattenmättnad kan äga rum utan att kvarstående kanaler eller spalter bildas.

### Utför Återf 4: **Säker utläggning**

Vid beredning och utläggning av återfyllning ska hänsyn tas till personalens säkerhet.

### Utför Återf 5: **Kontroll**

Inplacerad återfyllning ska kunna kontrolleras för att säkerställa att den uppfyller krav på homogenitet och densitet.

### Utför Återf 6: **Minimera miljöpåverkan**

Återfyllningsmaterial ska väljas, och hantering och utläggning genomförs, så att miljöpåverkan blir så liten som möjligt.

De parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna måste kvantifieras för att återfyllningen ska kunna utformas, tillverkas och kontrolleras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 8-3 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 8-2. Kvantifiering av parametrar, laster m m för bufferten.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utför Återf 1: Hantering och beredning	Hantering och beredning ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras	/SKB, 2001b/
Utför Återf 2: Utläggning	Utläggningen ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras	/SKB, 2001b/

## 8.6 Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung

I detta avsnitt redovisas i tabellform (tabell 8-3) sambandet mellan funktionskraven på återfyllningen, funktionskraven på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav. Med lagkrav avses de krav i lagar, föreskrifter och internationella överenskommelser som redovisats i kapitel 3 Styrande regelverk. Ägarkrav avser krav redovisade i kapitel 4 Övriga övergripande förutsättningar och krav. I tabell 8-4 redovisas vidare sambandet mellan dimensioneringsförutsättningar, funktionskrav på återfyllningen, dimensionerande situationer och processer samt hur kraven är relaterade till andra delar i djupförvaret.

**Tabell 8-3. Samband mellan funktionskrav på återfyllningen, funktionskrav på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav.**

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Återf SS 1: Kompressibilitet</b> För att buffertens densitet ska bibehållas ska återfyllningen ha en kompressibilitet som minimerar buffertens expansion uppåt.</p>	<p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b> Säkerheten ska baseras på flera säkerhetsfunktioner som ska upprätthållas av ett system av passiva barriärer.</p>	<p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b> En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b> Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.</p>
<p><b>Återf SS 2: Hydraulisk konduktivitet</b> För att deponeringstunnlarna inte ska utgöra konduktiva vägar som påverkar vattenomsättningen i förvaret ska återfyllningen, över hela tunnelns tvärsnitt och längd, ha en hydraulisk konduktivitet som är jämförbar med den i det omgivande berget, eller som är så låg att vattentransporten domineras av diffusion.</p>	<p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b></p>	<p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Återf SS 3: Ej negativ påverkan på barriärer</b> Återfyllda deponeringstunnlar får inte ha någon negativ påverkan på barriärerna i förvaret.</p>	<p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b></p> <p><b>Djup SS 8: Bygge med hänsyn till långsiktig säkerhet</b> Bygge och drift av djupförvarsanläggningen får endast ge begränsad påverkan på djupförvarets säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet, dels i framtiden /SSI FS 1998:1 3 §/.</p>
<p><b>Återf SS 4: Långsiktigt beständig</b> Återfyllningen ska vara långsiktigt beständig och dess funktioner bibehållas i den miljö som förväntas i djupförvaret.</p>	<p><b>Djup SS 5: Strålskydd nu och i framtiden</b> Djupförvaret ska skydda människa och miljö från skadlig verkan av strålning både nu och i framtiden.</p> <p><b>Djup SS 8: Bygge med hänsyn till långsiktig säkerhet</b></p>	<p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b></p> <p><b>Lag SS 17: Acceptabel risk</b> Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst <math>10^{-6}</math> för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken /SSI FS 1998:1 5 §/.</p>

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Återf M 1: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Återfyllningen ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.</p>	<p><b>Djup M 2: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Konsumtionen av material, råvaror och energi ska vara så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.</p>	<p><b>Lag M 1: Hållbar utveckling</b> En hållbar utveckling ska främjas som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 5: Hushåll med råvaror och energi</b> Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi ska främjas så att ett kretslopp uppnås /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag SS 18: Biologisk mångfald</b> Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska göras så att biologisk mångfald och hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning /SSI FS 1998:1 6 §/.</p>
<p><b>Återf BD 1: Säker hantering</b> Återfyllningen ska kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.</p>	<p>–</p>	<p><b>Lag BD 3: Säker drift och underhåll</b> Hantering av avfall, buller, förekomst och utsläpp av farliga ämnen och farlig strålning ska beaktas så risken för brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 5: Säkerhet för de som vistas i anläggningen</b> Trivsel, hälsa och säkerhet för anställda och andra som utför arbete vid, eller besöker, anläggningen och ska beaktas vid utformningen.</p> <p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b> Djupförvaret ska utformas, byggas och drivas på ett säkert och effektivt sätt.</p>
<p><b>Återf Ö 1: Tillförlitlig och effektiv hantering</b> Återfyllningen ska kunna beredas, transporteras och läggas ut enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p>	<p>–</p>	<p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b></p> <p><b>Ö krav 10: En kapsel om dagen</b> Konstruktion, byggande och drift av anläggningarna i systemet ska genomföras så att en kapsel per arbetsdag kan deponeras i djupförvaret.</p>
<p><b>Återf Ö 2: Återtag</b> Återfyllningen ska utformas så att återtag av deponerade kapslar är möjligt, men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra återfyllningens funktioner.</p>	<p><b>Djup Ö 1: Återtag</b> Det ska vara möjligt att återta deponerade kapslar men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra djupförvarets barriärer och deras säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 3: Återtag</b> Inverkan på slutförvarets säkerhet av åtgärder som införs för att underlätta återtag eller övervakning samt för att förhindra intrång ska redovisas /SKIFS 2002:1 8 §; SSI FS 1998:1 8 §/.</p> <p><b>Lag I 1: Ej bördor på kommande generationer</b> Vid omhändertagande av radioaktivt avfall ska man sträva efter att inte lägga otillbörliga bördor på kommande generationer /IAEA, 1997, Kap 2, Paragraf 4/.</p> <p><b>Ö krav 7: Stegvis genomförande</b> Utbyggnad av djupförvaret och deponering ska ske stegvis med möjlighet att återta deponerade kapslar.</p>

**Tabell 8-4. Dimensioneringsförutsättningarnas koppling till funktionskrav på återfyllningen, andra delar i djupförvaret, samt dimensionerande situationer och processer.**

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Återf 1: Hydraulisk konduktivitet</b> Andelen lera i återfyllningen samt lerans mineralsammansättning och återfyllningens densitet ska med hänsyn till grundvattnets sammansättning på den aktuella förvarsplatsen vara sådan att återfyllningens hydrauliska konduktivitet efter vattenmättnad motsvarar den hos det omgivande berget.</p>	<p><b>Återf SS 2: Hydraulisk konduktivitet</b> För att deponeringstunnlarna inte ska utgöra konduktiva vägar som påverkar vattenomsättningen i förvaret ska återfyllningen, över hela tunnelns tvärsnitt och längd, ha en hydraulisk konduktivitet som är jämförbar med den i det omgivande berget.</p> <p><b>Återf SS 3: Ej negativ påverkan på barriärer</b> Återfyllda deponeringstunnlar får inte ha någon negativ påverkan på barriärerna i förvaret.</p>	<p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimensioner Läge Vatteninflöde Konstruktioner Grundvatten-sammansättning</p>	<p>–</p>	<p>Vattentransport vid mättade förhållanden</p> <p>Advektion blandning (Process i berganläggning)</p> <p>Grundvattenströmning (Process i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>
<p><b>Utf Återf 2: Täta konduktiva strukturer</b> Andelen lera i återfyllningen samt lerans mineralsammansättning och återfyllningens densitet ska med hänsyn till grundvattnets sammansättning på den aktuella förvarsplatsen vara sådan att återfyllningens svälltryck efter vattenmättnad är tillräckligt för att täta konduktiva strukturer som kan bildas i återfyllningen och i zonen mellan återfyllningen och berget.</p>	<p><b>Återf SS 2: Hydraulisk konduktivitet</b></p> <p><b>Återf SS 3: Ej negativ påverkan på barriärer</b></p>	<p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimensioner Läge Vatteninflöde Konstruktioner Grundvatten-sammansättning</p>	<p>–</p>	<p>Vattentransport vid mättade förhållanden</p> <p>Advektion blandning (Process i berganläggning)</p> <p>Grundvattenströmning (Process i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>
<p><b>Utf Återf 3: Kompressibilitet</b> Återfyllningens densitet ska väljas så att den inte komprimeras mer på grund av växelverkan med bufferten än att mottrycket är tillräckligt för att bibehålla buffertens egenskaper så att Utf Buff 6, 7 och 11 uppfylls.</p>	<p><b>Återf SS 1: Kompressibilitet</b> För att buffertens densitet ska bibehållas ska återfyllningen ha en kompressibilitet som minimerar buffertens expansion uppåt.</p> <p><b>Återf SS 3: Ej negativ påverkan på barriärer</b></p>	<p>Buffert Dimension Material</p>	<p>–</p>	<p>Mekanisk växelverkan återfyllning/buffert</p>
<p><b>Utf Återf 4: Långtidsstabilitet</b> Densitet och mineral-sammansättning hos lerkomponenten i återfyllningsmaterialet ska vara sådan att hydraulisk konduktivitet, kompressibilitet och svälltryck enligt Utf Återf 1, 2 och 3 kan upprätthållas under lång tid.</p>	<p><b>Återf SS 4: Långsiktigt beständig</b> Återfyllningen ska vara långsiktigt beständig och dess funktioner bibehållas i den miljö som förväntas i djupförvaret.</p>	<p>Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Läge Vatteninflöde Sprickdensitet Konstruktioner Grundvatten-sammansättning</p>	<p>–</p>	<p>Advektion</p> <p>Diffusion</p> <p>Advektion blandning (Process i berganläggning)</p> <p>Grundvattenströmning (Process i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utf Återf 5: Osmos</b> Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen osmos.	<b>Återf SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Läge Vatteninflöde Sprickdensitet Konstruktioner Grundvatten-sammansättning	–	Se Utf Återf 5  Osmos
<b>Utf Återf 6: Jonbyte/sorption</b> Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen jonbyte/sorption.	<b>Återf SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Läge Vatteninflöde Sprickdensitet Konstruktioner Grundvatten-sammansättning	–	Se Utf Återf 5  Jonbyte/sorption
<b>Utf Återf 7: Montmorillonitombildning</b> Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen montmorillonitombildning.	<b>Återf SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Läge Vatteninflöde Sprickdensitet Konstruktioner Grundvatten-sammansättning	–	Se Utf Återf 5  Montmorillonitombildning
<b>Utf Återf 8: Lösning/fällning av föroreningar</b> Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen lösning/fällning av föroreningar.	<b>Återf SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Läge Vatteninflöde Sprickdensitet Konstruktioner Grundvatten-sammansättning	–	Se Utf Återf 5  Lösning/fällning av föroreningar
<b>Utf Återf 9: Kolloidfrigörelse/erosion</b> Utf Återf 4 ska visas uppfyllas med hänsyn tagen till processen kolloidfrigörelse/erosion.	<b>Återf SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimension Läge Vatteninflöde Sprickdensitet Konstruktioner Grundvatten-sammansättning	–	Se Utf Återf 5  Kolloidfrigörelse/erosion
<b>Utf Återf 10: Främmande ämnen</b> Främmande ämnen som lämnas kvar i bergum vid förslutning ska visas ha försumbar inverkan på att hydraulisk konduktivitet och svälltryck enligt Utf Återf 1 och 2 upprätthålls.	<b>Återf SS 4: Långsiktigt beständig</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Konstruktioner		Advektion  Diffusion  Lösning/fällning av föroreningar

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utf Återf 11: Transportmotstånd</b> Omfattningen av advektion och diffusion ska efter vattenmättnad i återfyllningen vara sådan att återfyllningens förmåga att fördröja transport av ämnen lösta i grundvattnet motsvarar transportmotståndet i det omgivande berget.	<b>Återf SS 2: Hydraulisk konduktivitet</b>	–	–	Advektion Diffusion
<b>Utf Återf 12: Återta återfyllning</b> Det ska vara möjligt att åter öppna återfyllda tunnlar såväl före som efter vattenmättnad.	<b>Återf Ö 2: Återtag</b> Återfyllningen ska utformas så att återtag av deponerade kapslar är möjligt, men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra återfyllningens funktioner.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar (Situation i berganläggning)	Återtag	–
<b>Utför Återf 1: Hantering och beredning</b> Lermaterial och bergkross ska lagras, beredas och transporteras ned i djupförvaret så att återfyllningsmaterialet vid inplaceringen i de bergrum som ska återfyllas uppfyller specificerade materialkrav.	<b>Återf Ö 1: Tillförlitlig och effektiv hantering</b> Återfyllningen ska kunna beredas, transporteras och läggas ut enligt specificerade kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Lagring av råmaterial Beredning och blandning	–
<b>Utför Återf 2: Utläggning</b> Återfyllningsmaterial ska läggas ut och packas så att återfyllningen efter vattenmättnad har tillräckligt innehåll av svällande lera och tillräcklig densitet för att upprätthålla svälltryck och hydraulisk konduktivitet enligt Utf Återf 5, 6 och 7 över hela bergrummets tvärsnitt och längd.	<b>Återf Ö 1: Tillförlitlig och effektiv hantering</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimensioner Vatteninflöde Konstruktioner  Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Utläggning Vatteninflöde (Process i deponeringstunnlar och deponeringshål)	–
<b>Utför Återf 3: Vattenmättnad</b> Återfyllningens homogenitet och packning ska vara sådan att vattenmättnad kan äga rum utan att kvarstående kanaler eller spalter bildas.	<b>Återf SS 2: Hydraulisk konduktivitet</b>	Deponeringstunnlar och deponeringshål Dimensioner Vatteninflöde Konstruktioner Grundvatten-sammansättning	Vattenmättnad	–
<b>Utför Återf 4: Säker utläggning</b> Vid beredning och utläggning av återfyllning ska hänsyn tas till personalens säkerhet.	<b>Återf BD 1: Säker hantering</b> Återfyllningen ska kunna transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Beredning och blandning Utläggning	–

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utför Återf 5: Kontroll</b> Inplacerad återfyllning ska kunna kontrolleras för att säkerställa att den uppfyller krav på homogenitet och densitet.	<b>Återf Ö 1: Tillförlitlig och effektiv hantering</b>	–	Beredning och blandning  Utläggning  Kontroll  Inhomogenitet  Dålig packning  Vatteninflöde (Process i deponeringstunnlar och deponeringshål)	–
<b>Utför Återf 6: Minimera miljöpåverkan</b> Återfyllningsmaterial ska väljas, och hantering och utläggning genomföras, så att miljöpåverkan blir så liten som möjligt.	<b>Återf M 1: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Återfyllningen ska utformas så att konsumtionen av material, råvaror och energi blir så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Lagring av råmaterial  Beredning och blandning  Utläggning	–

I tabell 8-3 och tabell 8-4 sammanställs funktionskrav på och dimensioneringsförutsättningar för återfyllningen. Samtliga dessa krav är relaterade till minst ett lag- och/eller ägarkrav. Det finns dock lag- och ägarkrav som inte följts upp av funktionskrav och därmed dimensioneringsförutsättningar för återfyllningen. Dessa lag- och ägarkrav redovisas i tabell 8-5. De kan i det fortsatta arbetet med att utforma, bereda och lägga ut återfyllningen antingen visas vara överflödiga eller komma att följas upp av mer detaljerade krav.



**Tabell 8-5. Lag- och ägarkrav som inte följts upp av funktionskrav eller dimensioneringsförutsättningar på återfyllningen.**

Lag, internationell överenskommelse samt övriga krav och önskemål	Lag- och ägarkrav
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Lagen om kärnteknisk verksamhet med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b> Säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer som är så utformade att genombrott av en barriär endast leder till begränsade omgivningskonsekvenser /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §; SKIFS 2002:1 3, 7 §/.</p> <p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b> Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets barriärer ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden som kan påverka barriärerna skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 6: Identifiera händelser som kan påverka skyddsåtgärder</b> Händelser som kan påverka åtgärder eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 7: Acceptabel tålighet hos skyddsåtgärder</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om dessa händelser eller förhållanden skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 8: Förebygga störningar</b> Störningar och haverier ska i största möjliga utsträckning förebyggas /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b> Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.</p> <p><b>Lag SS 10: Beprövad teknik</b> I första hand ska beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar användas för utformning av ett system för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 11: Utprovning av ny teknik</b> Om beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar inte är möjliga eller rimliga, ska en utprovning och utvärdering ske för att verifiera att funktion och beteende hos ingående system och komponenter är inom de antaganden som görs i säkerhetsanalysen /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 12: Rapportera och åtgärda brister</b> Om brister i barriärer upptäcks ska de anmälas till SKI, utredas och åtgärdas /SKIFS 1998:1 2 kap 2 §; SKIFS 2002:1 4 §/.</p>

Lag, internationell överenskommelse samt övriga krav och önskemål	Lag- och ägarkrav
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Strålskyddslagen med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 13: Strålskydd under drift</b> Djupförvaret ska förses med tekniska anordningar, mätutrustning m m som krävs för att upprätthålla ett gott strålskydd /SFS 1988:220 6 §/.</p> <p><b>Lag SS 15: Optimering av strålskydd</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske dvs stråldoser till människor begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhälleliga faktorer /SSI FS 1998:1 4 §/.</p> <p><b>Lag SS 16: Bästa möjliga teknik</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska hänsyn tas till bästa möjliga teknik, dvs den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön som inte medför orimliga kostnader ska vidtas /SSI FS 1998:1 4 §/.</p> <p><b>Lag SS 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b> För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön /SSI FS 1998:1 11 §/.</p> <p><b>Lag SS 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b> För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären /SSI FS 1998:1 12 §/.</p>
<p><b>Miljö</b> Miljöbalken</p>	<p><b>Lag M 2: Människa och miljö skyddas</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas mot föroreningar och annan påverkan /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 3: Skydda värdefulla miljöer och biologisk mångfald</b> Värdefulla natur- och kulturmiljöer ska skyddas och den biologiska mångfalden bevaras /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 4: Begränsa ingrepp i fysisk miljö</b> Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt ska användas så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas /SFS 1998:808 1 kap 1 §, 2 kap 4 §, 3 kap, 4 kap/.</p>
<p><b>Byggnad och drift</b> Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk med förordning</p> <p>Arbetsmiljölagen, arbetsmiljöförordningen</p> <p>Räddningstjänstlagen</p> <p>Lag om transport av farligt gods</p> <p>Lag om brandfarliga och explosiva varor</p> <p>Ellag</p>	<p><b>Lag BD 1: Utformning med hänsyn till säkerhet och miljö</b> Byggnadsverk ska uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav vad gäller bärförmåga och stadga, brandsäkerhet, hälsa och miljö, olycksrisk och hushållning med energi och andra resurser /SFS 1994:847 2, 4 §; SFS 1994:1215 3, 4 §/.</p> <p><b>Lag BD 2: Utformning med hänsyn till säkerhet</b> Byggnadsverk ska vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att de inte medför risk för brukarnas eller grannarnas hygien eller hälsa /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 4: Beakta olyckor</b> Brand och andra olyckor ska beaktas så att risken brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p>
<p><b>Internationella överenskommelser</b> IAEA:s avfallskonvention</p> <p>Icke spridningsavtalet</p>	<p><b>Lag I 2: Fredlig användning av kärnenergi</b> Kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi får inte användas för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III/.</p> <p><b>Lag I 3: Kontroll av kärnämne</b> Det ska kontrolleras och verifieras att kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi inte används för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III; IAEA:s stadgar, Paragraf XII/.</p>

Ägarnas önskemål

**Ö krav 1: Rymma allt svenskt använt kärnbränsle**

Djupförvaret ska kunna ta emot det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet även med hänsyn till att kärnkraftverkens drifttid kan komma att förlängas.

**Ö krav 2: Förlängd drifttid**

Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att byggnads- och/eller driftperioden kan komma att bli längre än den för närvarande planerade.

**Ö krav 3: Övergång till horisontell deponering**

Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att övergång från vertikal till horisontell deponering kan bli aktuell.

**Ö krav 4: Samlokalisering**

Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att samlokalisering med förvaret för låg- och medelaktivt, långlivat avfall kan bli aktuell.

**Ö krav 5: Ny teknik**

Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att idag känd men oprövad alternativ teknik kan komma att användas.

**Ö krav 8: Begränsad drifttid**

Djupförvaret ska byggas, och deponering äga rum under en begränsad tidsperiod.

**Ö krav 9: Djupförvaret ska förslutas**

När deponeringen slutförts ska djupförvaret förslutas.

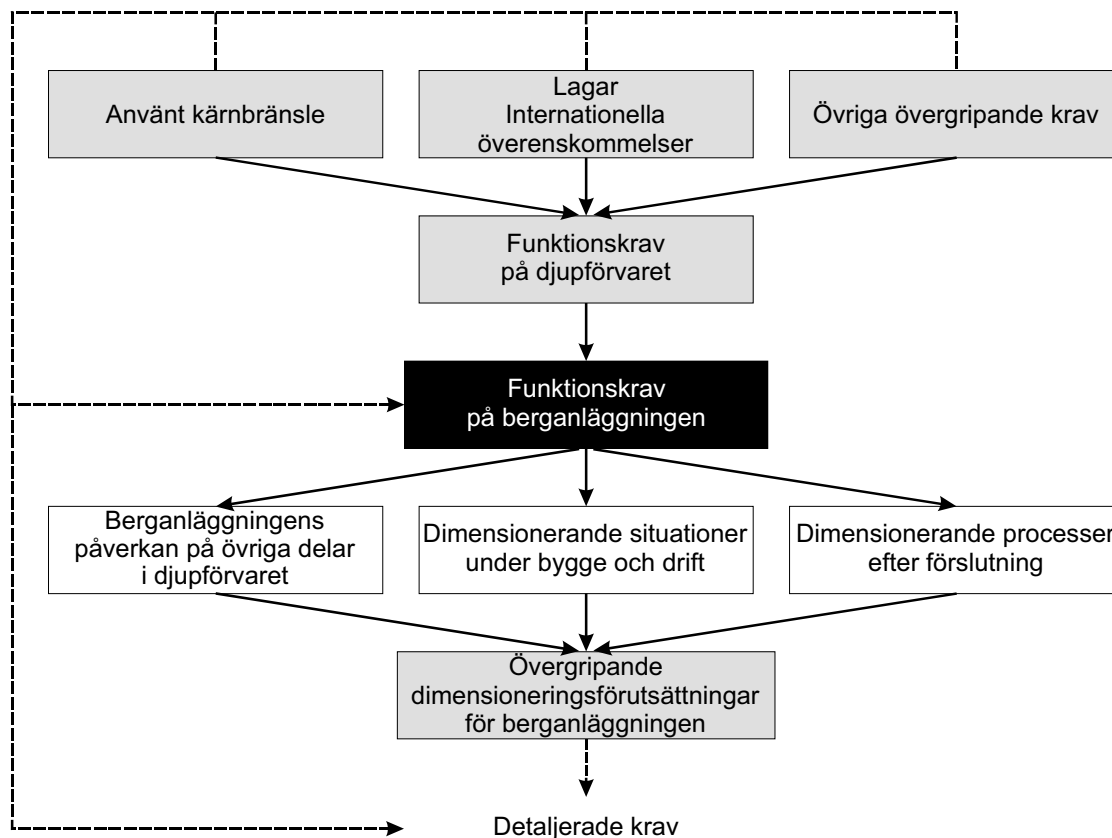
## 9 Berganläggningen

Berget ska ge en miljö där kapseln förblir tät och buffertens funktion bevaras under lång tid. Om det skulle finnas otäta kapslar ska berget fördröja transport av radionuklider från bufferten och upp till ytan. De krav djupförvaret ställer på berget har sammanställts inför genomförandet av platsundersökningar /Andersson m fl, 2000/. Konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret syftar till att sammanställa övergripande krav för hur berganläggningen ska anpassas till platsens egenskaper. Det kan dock ibland vara svårt att separera krav och önskemål på berget (platsen) från krav på utformningen av berganläggningen, och krav och önskemål som avser platsen upprepas delvis i konstruktionsförutsättningarna för berganläggningen.

Konstruktionsförutsättningarna för berganläggningen som helhet är sammanställda i avsnitt 9.6. Förutom för berganläggningen som helhet presenteras mer detaljerade konstruktionsförutsättningar för deponeringstunnlar och deponeringshål (kapitel 10), för övriga bergrum samt undersökningsborrhål (kapitel 11) och för pluggar i deponeringstunnlar (kapitel 12).

### 9.1 Funktionskrav

Funktionskraven har formulerats utifrån de lagkrav och ägarkrav som anges i kapitel 3 och 4 och de funktionskrav på djupförvaret som redovisas i avsnitt 5.1 Funktionskrav har ställts på berganläggningen som helhet, se figur 9-1. Kraven är sammanställda i avsnitt 9.6, där även deras koppling till funktionskrav på djupförvaret och lagar m m redovisas.



**Figur 9-1.** Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret. Färgade fält utgör konstruktionsförutsättningar, vita utgör bakgrund till konstruktionsförutsättningar.

### 9.1.1 Säkerhet och strålskydd

Berganläggningen ska utformas så att bergets barriärfunktion upprätthålls, det innebär /SKB, 1998a, 2001a/:

**Berg SS 1: Stabil miljö i berget**

Berganläggningen ska utformas så att berggrunden på förvarsplatsen efter förslutning av förvaret ger förvarets ingenjörbarriärer en lämplig och mekaniskt och kemiskt stabil miljö.

**Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport**

Berganläggningen ska utformas så att berggrunden på förvarsplatsen efter förslutning av förvaret fördröjer transport av radionuklider till biosfären.

**Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner**

Bygge och drift av berganläggningen får endast ge begränsad påverkan på bergets och de övriga barriärernas barriärfunktioner.

**Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden**

Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska utformas så att stråldoser till personal och omgivning begränsas.

**Berg SS 5: Minimera risker för strålskador**

Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska omfatta åtgärder avsedda att mildra konsekvenser av missöden och avvikelser från det normala.

### 9.1.2 Miljö

Specifikationen av miljökrav utgår från Miljöbalken, baserat på den har följande kravspecifikation gjorts:

Berg M 1: **Ej förhindra nyttjande av platsen**

Berganläggningen ska utformas och placeras in i berget på ett sådant sätt att den i minsta möjliga mån begränsar framtida generationers nyttjande av förvarsplatsen.

Berg M 2: **Begränsad miljöpåverkan**

Berganläggningen ska byggas och drivas på ett sådant sätt att dess påverkan på miljön blir så liten som möjligt mot bakgrund av vad som anses nödvändigt för att uppnå ett gott strålskydd.

### 9.1.3 Byggande och drift

Lagstiftningen inom plan-, bygg- och arbetsmiljöområdet Syftar till att begränsa störningar och annan miljöpåverkan samt olycksrisker. Med hänsyn till det ska:

Berg BD 1: **Ej störa kringboende**

Berganläggningen ska utformas så att grannar störs i minsta möjliga mån.

Berg BD 2: **Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker**

Val av material, fysisk utformning och etablering av rutiner för hantering av bergmassor, ventilationsluft m m ska göras med hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker.

Berg BD 3: **Minimera konsekvens av olyckor**

Berganläggningen ska förses med utrustning och utrymmen för att minimera konsekvenserna av brand och andra olyckor.

Berg BD 4: **Gott arbetarskydd**

Rutiner, installationer samt förstärkningsåtgärder ska utformas så att ett gott arbetarskydd upprätthålls.

### 9.1.4 Internationella överenskommelser

Mot bakgrund av IAEA:s icke spridnings avtal ställs följande krav:

Berg I 1: **Kontroll av klyvbart material**

Möjligheterna att på ett säkert sätt övervaka att kapslar med använt kärnbränsle inte otillbörligen förs upp ur förvaret ska övervägas vid utformningen av berganläggningen.

### 9.1.5 Övriga förutsättningar och krav

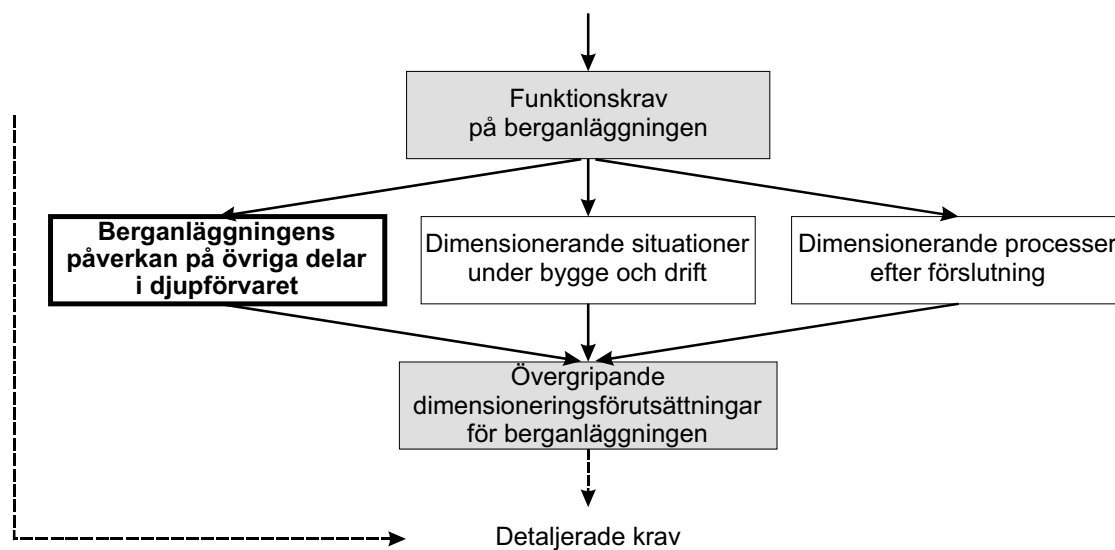
Krav på effektivitet och flexibilitet medför följande:

Berg Ö 1: **Tillförlitlig och effektiv utbyggnad**

Berganläggningen ska projekteras, byggas ut, drivas och förslutas i enlighet med uppställda kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.

- Berg Ö 2: **Rationell utformning**  
Lämpligt område för berganläggningen ska väljas med hänsyn till regionala plastiska skjuvzoner, regionala sprickzoner, lokala större sprickzoner samt bergets termiska egenskaper så att det är möjligt att placera in anläggningen utan att dela upp den i allt för många delar samt så att deponeringsområdenas utbredning inte blir allt för stor.
- Berg Ö 3: **Parallell utbyggnad och drift**  
Utformning av anläggning, utrustning och rutiner ska göras så att undersökningar, byggande och drift kan genomföras parallellt och så att sannolikheten för avbrott i utbyggnad och drift hålls låg.
- Berg Ö 4: **Utformning med hänsyn till utrustning**  
Berganläggningen ska utformas med hänsyn till de alternativa utformningar av utrustning för bygge och drift som kan bli aktuella.
- Berg Ö 5: **Utökade deponeringsområden**  
Berganläggningen ska utformas med hänsyn till att områden för deponering av använt kärnbränsle kan komma att utökas och områden för deponering av låg- och medelaktivt långlivat avfall kan tillkomma.
- Berg Ö 6: **Återta deponerade kapslar**  
Berganläggningen ska utformas så att ett återtag av deponerade kapslar är möjligt men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte påverka bergets säkerhetsfunktioner.
- Berg Ö 7: **Tid för öppethållande**  
Berganläggningen ska kunna hållas öppen i den tid som krävs för att deponera allt använt kärnbränsle som ingår i det svenska kärnkraftsprogrammet.

## 9.2 Koppling till förvarsplatsen samt kring- och serviceanläggningar



Figur 9-2. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för berganläggningen.

För övriga försvarsdelar redovisas i avsnittet påverkan på andra delar i djupförvaret hur respektive försvarsdel påverkar utformningen av övriga delar. Utformningen av berganläggningen beror förutom av övriga delar i djupförvaret i hög grad av platsens egenskaper. Därför inleds detta avsnitt med en redovisning av vilka egenskaper hos platsen som styr utformningen av berganläggningen. Hur berganläggningen påverkar övriga försvarsdelar redovisas i de separata kapitlen om berganläggningens olika delar. Utformningen av berganläggningen och platsens egenskaper påverkar även konstruktionsförutsättningarna för kring och serviceanläggningar.

### 9.2.1 Försvarsplatsen

För att kunna utforma berganläggningen krävs information om den tänkta försvarsplatsen och berggrunden där.

Variabler som beskriver miljön på ytan har sammanställts av /Lindborg och Kautsky, 2000/. Variablerna har delats in i ämnesområdena: människan, klimat, naturgeografi, biota samt hydrologi/oceanografi. Parametrar som påverkar geovetenskaplig förståelse, långsiktig funktion och säkerhet samt utformningen av berganläggningen har sammanställts av /Andersson m fl, 1997/. Parametrarna är indelade i ämnesområdena geologi, bergmekanik, termiska egenskaper, hydrogeologi samt kemi. Inom de uppräknade ämnesområdena finns parametergrupper som omfattar ett antal registrerbara parametrar.

I tabell 9-2 redovisas ämnesområden och parametergrupper som påverkar utformningen av berganläggningen samt vilken detalj eller del av utformningen de påverkar. På denna övergripande nivå anges endast ämnesområde och parametergrupp. Anpassningen till registrerade parametervärden redovisas i andra dokument.

Bergets deformationszoner är viktiga för utformningen av berganläggningen. I den strukturgeologiska beskrivningen använder SKB beteckningarna *plastiska skjuvzoner* för att beskriva zoner där deformationen varit plastisk samt *sprickzoner* för att beskriva zoner där deformationen varit spröd. Sprickzonerna delas in i storleksklasser enligt tabell 9-1.

**Tabell 9-1. Storleksklassning av sprickzoner samt ambitionsnivå för geometrisk beskrivning i platsmodell.**

Benämning	Längd	Bredd	Ambition för geometrisk beskrivning
Regionala sprickzoner	> 10 km	> 100 m	Deterministisk
Lokala större sprickzoner	1–10 km	5–100 m	Deterministisk
Lokala mindre sprickzoner (vissa deterministisk)	10 m–1 km	0,1–5 m	Statistisk
Sprickor	< 10 m	< 0,1 m	Statistisk



**Tabell 9-2. Översikt över ämnesområden, parametergrupper och parametrar som påverkar utformningen av berganläggningen.**

Ämnesområde	Variabler/Parametergrupp	Påverkad del/detalj
Människan	Mänskliga aktiviteter Olika typer av markanvändning	Inplacering av anläggningen Utformning av ovanjordsdel Förvarsdjup
Klimat	Nederbörd, avrinning, temperatur m m	Omhändertagande av uppumpat grundvatten Ventilation
Naturgeografi	Geomorfologi (landskapstyp) Kvartärgeologi (avlagringar)	Inplacering av anläggningen Utformning av ovanjordsdel
Biota	Miljögifter/radionuklider i biomassa Flora Fauna	Inplacering av anläggningen Utformning av ovanjordsdel Omhändertagande av uppumpat grundvatten
Hydrologi/Oceanografi	Sjöar och vattendrag Mark- och grundvatten In-/utströmningsområden	Inplacering av anläggningen Utformning av ovanjordsdel Omhändertagande av uppumpat grundvatten
Geologi	Topografi Jordtäckte Berggrund – bergarter Berggrund – strukturer	Förvarsdjup Inplacering av deponeringsområden Inplacering av övriga berggrum
Bergmekanik	Sprickzoner Mekaniska egenskaper – sprickor Mekaniska egenskaper – intakt berg Mekaniska egenskaper – bergmassa Densitet – termiska egenskaper Randvillkor	Förvarsdjup Dimensioner (tvärsnitt) på berggrum Deponeringstunnlar (orientering) Deponeringshål (centrumavstånd) Övriga berggrum (orientering, avstånd) Konstruktioner (bergförstärkning)
Termiska egenskaper	Bergets termiska egenskaper Temperaturer	Förvarsdjup Deponeringstunnlar (centrumavstånd) Deponeringshål (centrumavstånd)
Hydrogeologi	Sprickzoner – deterministiskt modellerade Sprickzoner – stokastiskt modellerade Jordlager Grundvattnets hydrauliska egenskaper Randvillkor	Förvarsdjup Deponeringstunnlar (orientering) Övriga berggrum (orientering) Konstruktioner (tätning)
Hydrogeokemi	Tillståndsvariabler Huvudkomponenter Spårämnen Lösta gaser Stabila isotoper Radioaktiva isotoper Övrigt Sprickmineral Bergmatris	Förvarsdjup Konstruktioner
Bergets transportegenskaper	Egenskaper i deponeringshålsskala Egenskaper för strömningsvägar Egenskaper för berg Egenskaper för jordlager/recipienter Stödjande data	Förvarsdjup Deponeringstunnlar (läge) Deponeringshål (centrumavstånd) Övriga berggrum (läge)

## 9.2.2 Utrustning för byggande och drift samt kring- och serviceanläggningar ovan jord

Berganläggningen påverkar utrustning för byggande och drift samt kring och serviceanläggningar genom parametrarna:

- Storlek – anläggningens totala utbredning och volym
- Läge – de olika bergrummens positioner
- Utbyggnadstakt

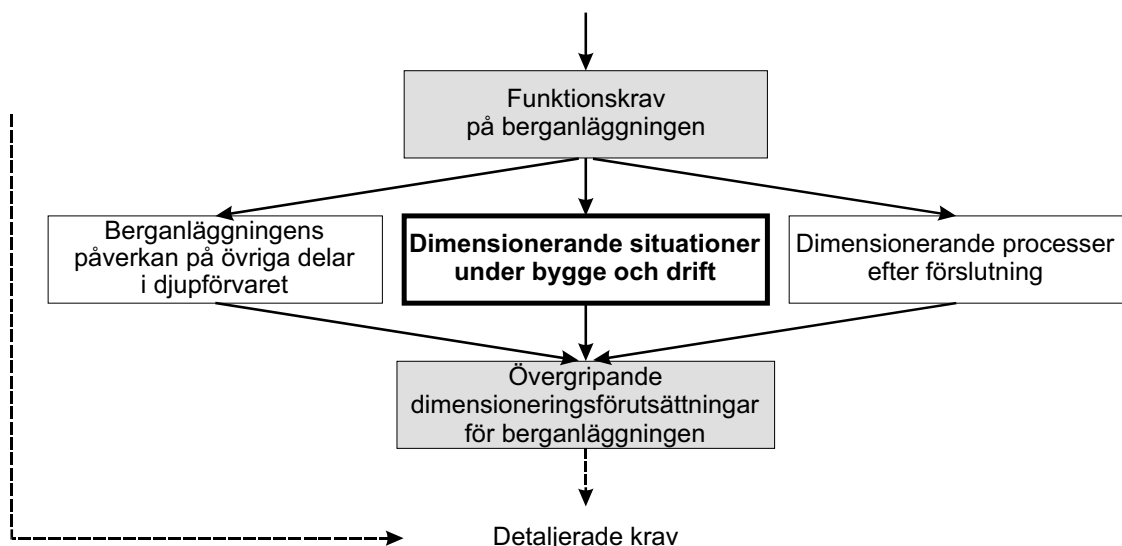
Under byggande och drift sprängs och borrar bergmassor ut och förs upp till ytan. Kapslar, buffert och återfyllningsmaterial transporteras till förvaret. Uppläggningsplatser, byggnader och system för att transportera och hantera uttagna bergmassor, kapslar, buffert och återfyllning anpassas till djupförvarets läge och utbyggnadstakt.

Grundvatten som läcker in i förvarets bergrum pumpas upp till ytan. System för omhändertagande av uppumpat grundvatten påverkas av vattenflödet och vattnets sammansättning, salthalt och innehåll av radon är två viktiga komponenter.

Bergrummen måste ventileras från luftföroreningar och damm som uppstår i samband med byggande och drift och gaser från berget. Konstruktionsförutsättningarna för ventilationssystemet påverkas av utformning av utrustning för byggande och drift och gashalterna i förvarsberget.

Förutom av utformning, byggande och drift av berganläggningen är ekosystem och övrig markanvändning på platsen av stor betydelse för utformningen av kring- och serviceanläggningar.

## 9.3 Dimensionerande situationer vid byggande och drift



Figur 9-3. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för berganläggningen.

I detta avsnitt redovisas situationer som uppträder under byggande och drift som påverkar utformningen av berganläggningen. Redovisningen utgår från den beskrivning av byggande och drift som ges i "Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden /SKB, 2000/ samt "Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E" /SKB, 2001d, 2002a,b/. De dimensionerande situationerna kan vara relaterade till normala förhållanden eller till missöden och avvikelser från det normala. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 9.5.

Som en bakgrund till de identifierade situationerna sammanfattas beskrivningen av anläggningens byggande och drift i avsnitt 9.3.3. De dimensionerande situationerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar.

### 9.3.1 Normala förhållanden

- **Bergutfall, ras**  
Deformationer av berget kan orsaka skador på personal och utrustning. (Se även Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor samt Sprickbildning i avsnitt 9.4.4.)
- **Radon**  
Radon från berget medför att personal utsätts för strålning. (Se även Gasbildning/ gaslösning i avsnitt 9.4.5.)
- **Buller och luftföroreningar**  
Buller, luftföroreningar och damm från utrustning för byggande och drift samt bergarbeten och masshantering kan vara hälsovådligt.
- **Vatteninläckage**  
Grundvatten kommer att röra sig in mot förvarets bergrum och grundvattenytan sänks, förekommande flöden avgör behovet av tätningar och pumpning. (Se även Grundvattenströmning i avsnitt 9.4.3.)
- **Förändrade grundvattenförhållanden**  
Vid dräneringen av underjordsanläggningen kommer grundvatten att pumpas upp till ytan, grundvattenytan kommer att sänkas och eventuellt kommer djupare liggande grundvatten att transporteras upp och in mot förvarsområdet, s k upconing. (Se även Grundvattenströmning och Advektion blandning i avsnitt 9.4.3 respektive 9.4.5.)
- **Tillförsel av främmande ämnen**  
Under byggande och drift förs konstruktionsmaterial och föroreningar av olika slag ned i berganläggningen, vidare bildas utfällningar av organiskt material på bergväggarna (se även Mikrobiella processer och Nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial i avsnitt 9.4.5).
- **Transporter**  
Under byggande och drift transporteras personal, utrustning, berg-, återfyllnings- och andra massor, buffertblock samt kapslar med använt kärnbränsle i djupförvaret.
- **Flera parallella aktiviteter**  
Bygge, bergundersökningar, deponering samt återfyllning och pluggning av deponeringstunnlar pågår parallellt.
- **Kontroll**  
Kontrollmetoder och kontrollprocess påverkar sannolikheten att bergrum byggs på ett sådant sätt att bygg- och driftsäkerhet och bergets barriärfunktioner påverkas negativt.

### 9.3.2 Missöden och avvikelser från det planerade

- **Återtag**

Deponerade kapslar måste återtats:

- i samband med deponeringen då deponeringstunneln är öppen,
- efter deponeringstunneln pluggats men transporttunneln är öppen,
- efter transporttunneln förslutits men förvaret är öppet.

- **Brand**

En brand eller ett missöde som innebär utsläpp av föroreningar inträffar.

### 9.3.3 Bygge och drift av berganläggningen

#### ***Normala förhållanden***

Innan deponering kan inledas bereds de bergrum som krävs för nertransport och mottagande av inkapslat bränsle, samt deponeringstunnlar och deponeringshål.

Inför deponeringen transporteras behållare som innehåller kapslar med använt bränsle från inkapslingsanläggningen till djupförvaret. Behållarna tas emot i ovanjordsanläggningen och lagras i ett buffertförråd. Från buffertförrådet transporteras behållarna ned till en omlastningshall i förvarets underjordsdel. Där lyfts kapseln ur transportbehållaren och placeras i en strålskärmsstub, som sedan transporteras till deponeringstunneln. Vid deponeringstunneln placeras strålskärmsstuben på en deponeringsmaskin. Deponeringsmaskinen för kapseln till deponeringshålet och deponerar den. Deponeringshålet har förberetts för deponering genom att bufferten placerats in. Efter deponeringen inplaceras bufferten ovanpå kapseln, och den översta delen av deponeringshålet fylls med återfyllningsmaterial. När deponeringen i en deponeringstunnel är klar återfylls den och mynningen pluggas.

Under bygg- och drifttiden kontrolleras bergrummens stabilitet, underjordsanläggningen ventileras och inläckande vatten pumpas ut. Förstärkningsåtgärder och skrotning genomförs vid behov. Under driften, i första hand i samband med omlastningen ovan jord och vid deponeringen, kommer personalen att utsättas för yttre strålning från kapseln med kärnbränsle. Personalen under jord utsätts även för radon från berget.

Under bygg- och drifttiden kommer diverse konstruktionsmaterial, såväl organiskt som oorganiskt, att föras ned i förvaret. Då grundvattnet möter luftsyre i bergrummen bildas utfällningar av bakterier och järnhydroxid, om det pågår under lång tid kan stora mängder organiskt material komma att bli kvar vid förslutning av förvaret. Konstruktionsmaterial och organiskt material kan ha negativ inverkan på djupförvarets säkerhet (se även avsnitt 9.4.5 Kemiska processer).

När all deponering är klar försluts samtliga bergrum i djupförvaret och anläggningar ovan jord tas ur drift. Slutligen kan åtgärder för att återställa eller förändra användningen av platsen och/eller för att övervaka den genomföras.

#### ***Missöden och avvikelser från det planerade***

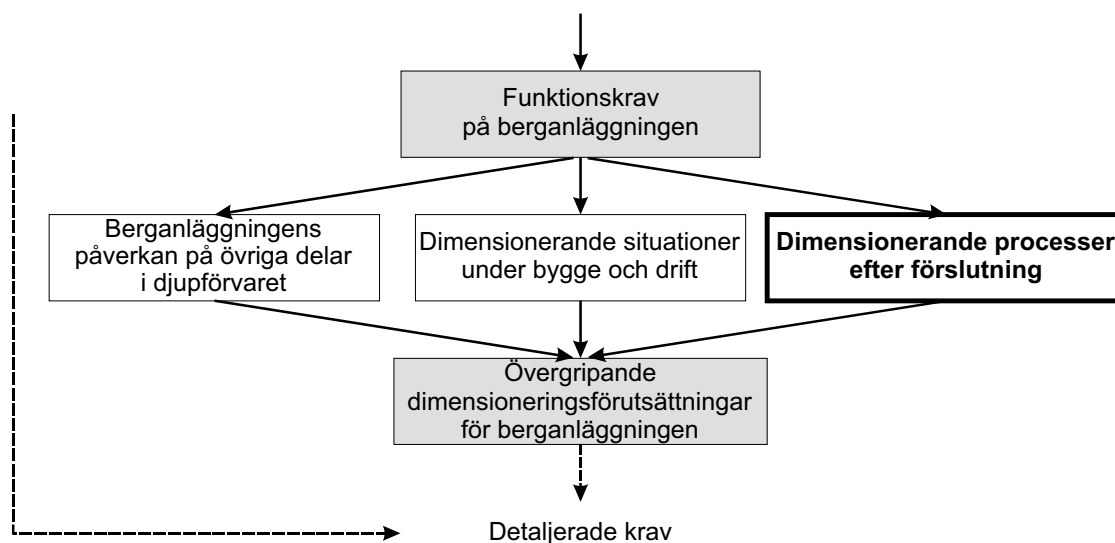
Om utvärderingen som genomförs efter den inledande driften visar att förvaret inte uppfyller uppställda krav kan det bli nödvändigt att återta de deponerade kapslarna. Även under den reguljära driften och efter djupförvaret förslutits kan det uppstå situationer då deponerade kapslar önskas återtats.

Under byggande och drift kan störningar och missöden inträffa. Med *störningar* avses avviker från normal drift som kan förväntas inträffa någon gång under drifttiden, medan *missöden* avser händelser som är mer eller mindre osannolika. Exempel på störningar är fel i utrustning och försörjningssystem samt yttre påverkan t ex i samband med åska och häftiga skyfall, exempel på missöden är större bränder, kollisioner och tappad last.

## 9.4 Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret

I detta avsnitt redovisas processer som uppträder efter förslutning av förvaret och som påverkar bergets långsiktiga utveckling. Redovisningen utgår från sammanställningen av processer, "Processer i förvarets utveckling" /SKB, 1999b/, som gjordes inför säkerhetsanalysen SR 97 /SKB, 1999a/. Samtliga processer har beaktats. Processerna kan påverka utformningen av berganläggningen, ge underlag för dimensionerande påfrestningar på kapsel, buffert och återfyllning eller inte alls påverka utformningen av djupförvaret. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 9.5.

Processbeskrivningarna sammanfattas i avsnitt 9.4.1–9.4.6. De dimensionerande processerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar. Syftet är att redovisa vilka processer som styr utformningen av berganläggningen samt att visa hur kunskapen om förvarets långsiktiga utveckling och säkerhet tas tillvara i utformningen av berganläggningen.



Figur 9-4. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningarna för berganläggningen.

### 9.4.1 Strårelaterade processer

Strårelaterade processer i berget påverkar inte förvarets säkerhet och är därmed inte dimensionerande.

### 9.4.2 Termiska processer

#### *Värmetransport*

Värmetransport i geosfären kan likställas med konvektion i det fasta berget. Andra former av värmetransport kan försummas. Värmetransporten beror av bergets värmekonduktivitet och värmelagringsförmåga vilka bestäms av mineralsammansättningen. Den inverkan höjd temperatur, sprickgeometri och bergspänningar har på processen kan försummas. Flera processer i förvarets utveckling är temperaturberoende, och en beräkning av temperaturutvecklingen ingår i säkerhetsanalysen. Högsta tillåtna temperaturer på kapselytan och bufferten har fastställts (se avsnitt 6.5 och 7.5). Dessa villkor, resteffekt i kapseln, samt buffertens och bergets värmetransportegenskaper och temperatur påverkar inplacering av deponeringsområden (se vidare avsnitt 10.4.1) och hela förvarets storlek.

### 9.4.3 Hydrauliska processer

#### *Grundvattenströmning*

Grundvattenströmningen påverkar grundvattnets sammansättning och därmed den kemiska miljön i förvaret. Den påverkar också förutsättningarna för transport av radionuklider från förvaret. Liten strömning är säkerhetsmässigt gynnsamt. Drivkraften för grundvattenflöde är skillnader i lägesenergi. Flödets storlek beror av drivkraftens storlek, bergets vattenledande förmåga som bestäms av sprickstrukturen och transportvägarnas flödesegenskaper, samt i viss mån av vattnets flödesegenskaper. I Sverige är nederbörden relativt stor och bergrundens vattengenomsläpplighet låg vilket medför att grundvattenytan och den hydrauliska gradienten följer topografin. Densitetsskillnader på grund av varierande salthalt och temperatur påverkar också drivkraften för grundvattenflöde.

Grundvattenflöde i kristallint berg äger rum i sprickor. Varje sprickas flödesegenskaper beror framförallt av spricköppningen (aperturen) men även av ytstruktur och förekomst av gas. Flödesegenskaperna varierar både inom och mellan sprickor. Eftersom bergets flödesegenskaper beror både av varje sprickas egenskaper och hur sprickorna är sammankopplade visar de en stor rumslig variabilitet. Platsundersökning från ytan ger statistisk information om grundvattenflöden i deponeringshålsskala. Det är inte möjligt att fastställa flödet i enskilda deponeringshålspositioner förrän deponeringstunneln drivits.

Efter förvaret förslutits återställs grundvattennivån som sänkts under bygg- och drifttiden successivt till sin naturliga nivå. Grundvattenflödet påverkas sedan av klimatförändringar. Förekomst av permafrost minskar radikalt bergets vattengenomsläpplighet. Närvaron av inlandsisar påverkar vattentryck och randvillkor för grundvattenflöde samt bergets vattengenomsläpplighet. Strandlinjeförskjutning påverkar randvillkoren för grundvattenflöde. Vidare påverkas grundvattenflödet av förändringar av bergets permeabilitet orsakade av förändringar av den mekaniska lasten (effektivspänningen), jordskalv, närvaron av gas och sprick- och lermineral.

Grundvattenströmning påverkar utformningen av djupförvaret eftersom det är en säkerhetsmässig fördel att grundvattenströmningen i deponeringsområden är låg (se vidare avsnitt 10.4.2).

## **Gasströmning/gaslösning**

Gas kan finnas kvar i förvaret sedan bygg- och drifttiden. Gas kan också genereras i avfallet. Gas kan påverka vattenströmning, dels genom eventuell sprickbildning i när-områdets barriärer, dels genom tvåfasflöde. Tvåfasflöde påverkas av gravitationen och trycket för respektive fas. Gas strömmar i regel uppåt på grund av gravitationen, medan vatten på grund av kapillära krafter rör sig från ”våta” till ”torra partier. Flödenas storlek beror också på ledningsförmågan för respektive fas, denna i sin tur beror av fasernas mättnadsgrad. För vatten sjunker ledningsförmågan snabbt även vid ett måttligt inslag av gas. Processen behandlas i säkerhetsanalysen men är inte dimensionerande.

### **9.4.4 Mekaniska processer**

När bergmassan belastas deformeras den dels genom att det intakta berget deformeras, dels genom förskjutning, kompression eller vidgning av sprickorna. Bergmassans deformationsegenskaper beror både på bergarternas hållfasthet och sprickornas egenskaper. Mekaniska processer i berget har att göra med deformationer, deformationer sker parallellt i intakt berg och sprickor. För en ändamålsenlig hantering har de mekaniska processerna ändå delats upp i:

- rörelse i intakt berg,
- termisk rörelse,
- rörelser längs befintliga sprickor,
- sprickbildning och
- tidsberoende deformationer.

#### **Rörelse hos intakt berg**

*Rörelse i intakt berg* avser elastiska rörelser i berg utan synliga sprickor som inte leder till brott. Denna process är inblandad i alla mekaniska processer som äger rum i berget men påverkar inte förvarets säkerhet och är därför inte dimensionerande.

#### **Termisk rörelse**

*Termisk rörelse* avser volymexpansion orsakad av temperaturhöjning. Eftersom berget är inspant undertrycks den termiska expansionen, istället uppstår termospanningar. Volymexpansionen i sig påverkar inte säkerheten och är därmed inte dimensionerande. Däremot kan lasttillskottet påverka processerna *rörelser längs befintliga sprickor* och/eller *sprickbildning* (se vidare avsnitt 10.4.3).

#### **Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor**

*Reaktivering* eller *rörelser längs befintliga sprickor* avser rörelser som sker längs deformationszoner och sprickor. Rörelserna kan delas in i normalrörelser och skjuvrörelser. Rörelser kan ske i samband med termisk belastning, belastningar relaterade till bygge och drift, bentonitens svällning, glaciationer, plattetektoniska rörelser och jordskalv.

Normalrörelser, dvs rörelser vinkelrätt mot ett sprickplan, kan påverka sprickaperturen och därmed sprickans transmissivitet. För enskilda sprickor kan processen vara betydelsefull, men för bergmassan som helhet har normalspänningsvariationer begränsad betydelse för permeabiliteten. Skjuvrörelser leder till förskjutningar längs ett sprickplan. De kan skada buffert och kapsel och har direkt betydelse för säkerheten. Skjuvrörelser kan också påverka sprickors transmissivitet.

Permeabilitetsförändringar på grund av mekaniska processer i berget runt det deponerade bränslet – närfältsberget – bedöms inte medföra någon signifikant påverkan på närbergets barriärfunktion. Ned till ett djup av ca 200 m beräknas den termiska pulsen från förvaret ge reduktion av horisontalspänningarna och ökad permeabilitet i vertikalled. Retentionsförmågan hos denna del av berget har dock mindre säkerhetsmässig betydelse. Mekanisk påverkan på bergets permeabilitet diskuteras i säkerhetsanalysen, men är inte en dimensionerande process.

Studier av reaktiveringar – både empiriska och teoretiska – visar att det finns en uppenbar korrelation mellan förskjutningsbeloppet och sprickans, eller sprickzonens, utbredning (längd, radie). Processen påverkar hur stora sprickzoner och sprickor som kan tillåtas skära olika delar av berganläggningen (se vidare avsnitt 10.4.3). Den påverkar också behovet av bergförstärkningar under byggande och drift och orienteringen på djupförvarets olika bergrum.

### ***Sprickbildning***

*Sprickbildning* avser brott i intakt berg, såväl nybildning av sprickor som sprickpropagering. Sprickbildningen beror av spänningstillståndet och förekommer framförallt invid hålrumsväggar där tangentialspänningarna är stora och den radiella inspänningen liten. Propagering av befintliga sprickor förutsätter höga spänningsnivåer och kraftig spänningsanisotropi. Sprickbildning i det förslutna förvaret kan ske på grund av termisk expansion, på grund av förändringar av spänningstillståndet i samband med glaciation eller i samband med jordskalv.

Sprickbildning skulle kunna påverka säkerheten om:

- sprickor med så stor utbredning att stora skjuvrörelser kan förkomma bildas,
- de bildade sprickorna skär deponeringshål,
- brott och därpå följande volymexpansion invid deponeringshål leder till att bufferten komprimeras och trycket mot kapseln ökar.

Nybildning av sprickor som leder till att permeabiliteten i området mellan deponeringshål och deponeringstunnel ökar skulle också kunna påverka säkerheten.

Spänningstillståndet registreras vid platsundersökningar och områden med stabilitetsproblem väljs bort. Processen påverkar behovet av bergförstärkningar under byggande och drift och även orienteringen på djupförvarets olika bergrum.



### **Tidsberoende deformationer**

Tidsberoende deformationer avser deformationer som uppstår på grund av att bergets materialegenskaper förändras – eller kan förändras – i långa tidsperspektiv så att rörelser sker på grund av redan verkande spänningar (kryp-rörelser). Osäkerheterna runt processen är stora, men dess effekter i form av rörelser i berget kan gränssättas under olika antaganden om bergets deformationsegenskaper. Om alla betydelsefulla rörelser sker längs sprickor begränsas rörelserna vid deponeringshål av utbredningen av de sprickor som tillåts skära hålen. Om man antar att berget i sin helhet deformeras trycks deponeringshållet ihop till buffertens svälltryck blir lika stort som bergets medeltryckspänning, vilken kan skattas till 20 MPa. Om samma modell används för att gränssätta trycket under en glaciation blir trycket 44 MPa om alla kryp-rörelser hinner äga rum under glaciationen. Processen påverkar inte utformningen av berganläggningen. Den behandlas i säkerhetsanalyser och är ett lastfall för vilket kapselns hållfasthet ska beräknas.

### **9.4.5 Kemiska processer**

Grundvattenflödet i kombination med grundvattnets sammansättning är betydelsefullt för förvarets säkerhet. De påverkar i vilken omfattning oönskade ämnen kan komma i kontakt med ingenjörbarriärerna och, om otäta kapslar förekommer, transporten av radionuklider från förvaret.

Löst syre och sulfid som kommer i kontakt med kapseln orsakar kopparkorrosion. Med undantag av en kombination av extremt höga salthalter och lågt pH påverkar övriga konstituenten i grundvattnet inte kapseln.

Extremt jonfattigt eller salt vatten kan påverka bufferten negativt. Grundvattnets innehåll av tvåvärda katjoner bör vara minst 4 mg/l för att undvika kolloidbildning. För att bibehålla svälltrycket bör den totala salthalten (TDS) inte överskrida 100 g/l.

Neutralt pH och vatten fritt från löst syre är gynnsamt för förvarets förmåga att fördröja radionuklidtransport. En inte allt för hög total salthalt samt låg halt av kolloider och mikrober är också önskvärd ur radionuklidtransportsynpunkt.

Processerna påverkar utformningen av berganläggningen.

### **Advektion blandning**

*Advektion* – transport med strömmande vatten – är den viktigaste transportprocessen för lösta ämnen i grundvattnet (se även 9.4.3 Hydrauliska processer). Advektion leder till att olika vattentyper blandas eller ersätter varandra. Sammansättningen på det vatten som tränger ned i berggrunden och bildar grundvatten beror av förhållanden relaterade till klimatförändringar, såsom om platsen ligger över eller under havet, närvaro av inlandsisar och permafrost. Förutom av klimatrelaterade förändringar förväntas grundvattnets sammansättning påverkas av byggande och drift av förvaret. Sammansättningar som kan förväntas i typisk svensk berggrund i olika tidsperspektiv och i olika situationer redovisas i tabell 9-3 /Puigdomeneck, 2001/. Grundvattensammansättningen påverkar utformning av kapsel, buffert och återfyllning, utformningen av de förstärkningar och tätningar som krävs i bygg- och driftskedet samt utformning av system för uppumpning av grundvatten som rör sig in mot öppna bergrum. Processen påverkar inplacering av deponeringsområden (se vidare avsnitt 10.4.4).

**Tabell 9-3. örväntade grundvattensammansättningar.**

Konsistent (mg/l)*	Vid förslutning av förvaret	Efter 1 000 år	Glaciala förhållanden	
			Salt "upconing"	Smältvatten
pH	6 till 9	7 till 10	6 till 8	8 till 10
Eh (mV)	0 till -400	-250 ±100	-200 ±100	-100 ±100
Na <sup>+</sup>	10 till 3 000	50 till 2 000	4 500	4,5
K <sup>+</sup>	1 till 20	0 till 10	37	4
Ca <sup>2+</sup>	1 till 3 000	10 till 2 000	9 900	7
Mg <sup>2+</sup>	1 till 200	1 till 100	41	1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10 till 1 000	10 till 40	71	25
Cl <sup>-</sup>	20 till 10 000	100 till 5 000	25 000	< 1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,1 till 600	0,1 till 400	511	5
HS <sup>-</sup>	0,01 till 10	< 1	< 1	< 0,1
TOC	0 till 30	< 2	< 2	< 2

\* Gäller ej pH och Eh.

### **Diffusion**

Genom diffusion kan ämnen röra sig från områden med högre till områden med lägre koncentration. Processen tas upp i säkerhetsanalyser. Den påverkar radionuklidtransportberäkningar och analys av klimatrelaterade förändringar. Processen kan vara betydelsefull som transportmekanism då advektionen är liten, dvs vid stagnanta förhållanden, se vidare avsnitt 9.4.6 Molekylär diffusion samt matrisdiffusion.

### **Reaktioner grundvatten/bergmatris**

Kemiska reaktioner i grundvatten/mineralsystemet har starkt varierande reaktionshastigheter. Reaktioner där fasta faser ingår är generellt mycket långsamma. Rådande grundvattensammansättning är ett resultat av många olika processer som pågått under lång tid. Effekterna av reaktionerna balanserar varandra och sammansättningen kan anses vara statisk och endast ändras vid blandning av olika vattentyper. Processen är inte dimensionerande.

### **Lösning/fällning av sprickmineraler**

Mineraler på spricktytor kan lösas i grundvattnet och lösta ämnen i grundvattnet kan fällas ut på sprickytorna. Dessa processer är långsamma under stationära förhållanden. Vid förändringar, till exempel infiltration av surt eller syresatt vatten i berggrunden, är sprickmineralens förmåga att motverka (buffra) kemiska förändringar betydelsefulla.

En viktig förutsättning för djupförvarets funktion är att reducerande förhållanden råder i berget och i djupförvaret. Grundvattnets redoxpotential och pH-värde förväntas ligga inom de intervall som anges i tabell 9-3.

### ***Mikrobiella processer***

Bakterier i grundvatten kan fungera som katalysatorer för olika reaktioner i djupförvaret. Bakterierna kan vara till fördel genom att medverka till kemisk reduktion av löst syre eller till nackdel t ex genom att reducera sulfat till sulfid. Sulfatreduktion förekommer där tillgången på organiskt material, näringsämnen och sulfat är riklig. Konstruktionsmaterial och organiskt material som bildas under byggande och drift kan bidra till gynnsamma förhållanden för sulfatreduktion. Mängder, sammansättning och var materialet förekommer har betydelse för eventuell påverkan på säkerheten. Processen kan påverka utformningen av konstruktioner och installationer som krävs i bygg- och driftskedet.

### ***Nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial***

Oorganiskt material som inte är stabilt i djupförvaret kommer att brytas ned och påverka vattensammansättningen. Järn och stål korroderar under vätgasbildning och upplösning av cement och betong kan påverka vattnets pH. Mängder och var materialet finns påverkar eventuell inverkan på säkerheten. Processen kan påverka utformningen av konstruktioner och installationer som krävs i bygg- och driftskedet.

### ***Kolloidomsättning***

Kolloider är små partiklar som inte sedimenterar. De kan ha negativ inverkan på radionuklidtransport genom att sorberande nuklider kan fastna på kolloiderna och transporteras med grundvattnet. Kolloidhalterna i djupt grundvatten är, med undantag av den inledande perioden då syre från drifttiden finns i förvaret, mycket låga. I samband med glaciation kan kolloidhalten komma att öka om jonfattigt vatten förekommer i förvaret. Processen behandlas i säkerhetsanalyser men påverkar inte utformningen av berganläggningen.

### ***Gasbildning/gaslösning***

Varierande mängder lösta gaser, kväve, metan, koldioxid, helium, argon, väte etc, förekommer i grundvatten. Gaser kan ha flera olika ursprung, en del kommer från jordens mantel, en del kommer med vatten från ytan medan andra kan bildas i berget, naturligt eller i samband med reaktioner med material som härstammar från bygge och drift av berganläggningen. Om det finns otäta kapslar tillkommer eventuell vätgas från korrosion av kapselinsatsen. Processen är av vikt i driftskedet men påverkar inte utformningen av berganläggningen.

### ***Metanisomsättning***

Under en glaciation, vid låg temperatur och högt tryck, kan vatten och metangas bilda en fast fas, metanis. Det är inte troligt att metanisbildning i ett djupförvar kommer att ske i en omfattning som har betydelse för förvarets säkerhet. Processen påverkar inte utformningen av berganläggningen.

### ***Saltutfrysning***

Vid långsam frysning av vatten kommer lösta ämnen inte att ingå i isen utan de lösta ämnena som funnits i vattnet skjuts framför isfronten. Detta skulle kunna ske vid permafrost. Betydelsen för salthalten är inte fullt utredd.

## **9.4.6 Radionuklidtransport**

### ***Advektion och dispersion***

Radionuklider kan transporteras med strömmande grundvatten, advektion. Grundvattnet strömmar med olika hastighet i olika sprickor, detta fenomen ger upphov till blandningsfenomen som kallas hydrodynamisk dispersion. Låga grundvattenflöden är en säkerhetsmässig fördel, se vidare avsnitt 10.4.5.

### ***Sorption***

Sorptionen innebär att radionuklider som finns lösta i grundvattnet fastnar på berget eller sprickmineralen. De viktigaste mekanismerna är jonbyte och ytkomplexering. Processen kan i vissa fall vara irreversibel vilket innebär att radionukliden fastnar permanent. Sorptionen i berget är viktig för förvarets fördröjande funktion. Sorptionen beror av bl a av grundvattensammansättningen där redoxförhållanden, pH, salthalt och innehåll av komplexbildare är viktiga parametrar, se vidare avsnitt 10.4.5.

### ***Molekylär diffusion samt matrisdiffusion***

Radionuklidtransport genom diffusion i berget är underordnad den advektiva transporten. Vid stagnanta förhållanden i bergets sprickor kan processen vara väsentlig liksom vid indiffusion till vattenfyllda mikrosprickor, matrisdiffusion. Det senare bidrar till att fördröja radionuklidtransport, se vidare avsnitt 10.4.5.

### ***Kolloidtransport***

Radionuklider som sorberar på kolloider i grundvattnet skulle kunna transporteras med vattnets hastighet. Kolloidhalten i svenska grundvatten är som regel låga, se vidare avsnitt 10.4.5.

### ***Speciering***

Radionuklidernas speciering i grundvattnet bestäms av den kemiska miljön, pH, redoxförhållanden etc. Specieringen har betydelse för till exempel löslighet och sorption, se vidare avsnitt 10.4.5.

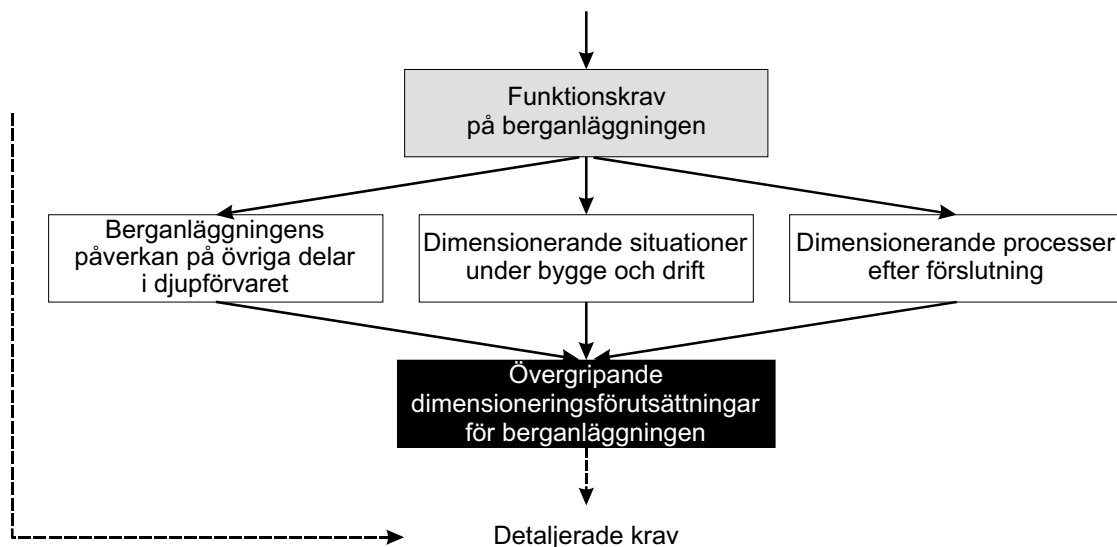
### ***Transport i gasfas***

Ett fåtal radionuklider kan existera i gasform och transporteras med gasbubblor om höga halter gas skulle uppstå, till exempel vid korrosion av insatsen i en skadad kapsel. Processen påverkar inte utformningen av berganläggningen.

### ***Sönderfall***

Radionukliderna sönderfaller under transporten genom geosfären. Förhållandet mellan halveringstiden och den totala transporttiden anger hur stor andel av radionuklidinnehållet som når biosfären. Långa transporttider är ett önskemål. Processen påverkar utformningen av berganläggningen.

## 9.5 Dimensioneringsförutsättningar



Figur 9-5. Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för berganläggningen.

### 9.5.1 Utformning

Utf Berg 1: **Bergförstärkning**

Bergförstärkning ska utformas så att stenfall och ras i de olika bergrummen förhindras.

Utf Berg 2: **Gaser från berget**

Ventilation ska utformas med hänsyn till radon och andra gaser (t ex metan) från berget så att god arbetsmiljö erhålls.

Utf Berg 3: **Luftföroreningar från utrustning och bergarbeten**

Vid utformning av ventilation ska hänsyn tas till damm från bergarbeten och masshantering samt till luftföroreningar från utrustning för byggande och drift.

Utf Berg 4: **Transport av salt vatten**

Salthalten i närfältsberget, dvs berget i området kring de deponerade kapslarna, får efter bygg- och driftskedet inte avvika från det som anges i Utf Berg 20. Detta med hänsyn tagen till utformning av tätning och pumpning samt berganläggningen i övrigt, bergets egenskaper, grundvattenströmning och grundvattensammansättning på förvarsplatsen samt tiden för öppethållande av de bergrum som ingår i djupförvaret.

Utf Berg 5: **Transport av förorenat vatten**

Grundvattensammansättningen i närfältsberget, dvs berget i området kring de deponerade kapslarna, får efter bygg- och driftskedet inte avvika från det som anges i Utf Berg 20. Detta med hänsyn tagen till konstruktionsmaterial eller andra främmande ämnen i berganläggningen samt utformning av tätning och pumpning samt berganläggningen i övrigt, bergets egenskaper, grundvattenströmning och grundvattensammansättning på förvarsplatsen samt tiden för öppethållande av de bergrum som ingår i djupförvaret.

- Utf Berg 6: **Grundvattenyta och ekosystem**  
Sänkning av grundvattenytan (grundvattentrycket) under byggande och drift av berganläggningen får inte leda till oacceptabla konsekvenser för ekosystem och vattenförsörjning på platsen.
- Utf Berg 7: **Främmande ämnens inverkan på säkerheten**  
Mängden konstruktionsmaterial och andra främmande ämnen som ej ingår i de tekniska barriärerna, och som lämnas kvar i berganläggningen vid förslutning, ska beräknas och visas ha begränsad betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet.
- Utf Berg 8: **Önskad kapacitet**  
Berganläggningen ska utformas så att bygge, bergundersökningar, deponering och återfyllning och pluggning av deponeringstunnlar kan pågå parallellt och uppfylla önskade kapacitetskrav.
- Utf Berg 9: **Brand**  
Vid utformning av berganläggningen ska hänsyn tas till brandfara.
- Utf Berg 10: **Brandbekämpning**  
Berganläggningen ska förses med redskap för brandbekämpning och andra installationer för att mildra konsekvenserna av en brand.
- Utf Berg 11: **Räddningskammare och utrymningsvägar**  
I fall av brand eller andra missöden ska berganläggningen innehålla räddningskammare och utrymningsvägar.
- Utf Berg 12: **Termiska egenskaper**  
Deponeringsområden ska placeras i ett område där bergets termiska egenskaper är sådana att minsta avstånd mellan deponeringstunnlar och deponeringshål enligt Utf Dep 2 inte blir för stort.
- Utf Berg 13: **Hydraulisk gradient**  
Berganläggningen ska placeras med hänsyn till topografin så att områden med potentiellt stora gradienter i grundvattenytan undviks.
- Utf Berg 14: **Transmissiva zoner**  
Vid inplacering av berganläggningen ska hänsyn tas till vattenledande strukturer.
- Utf Berg 15: **Regionala sprickzoner**  
Regionala sprickzoner får ej förekomma inom förvarsvolymen men tillåts skära tillträdet till förvarsnivå.
- Utf Berg 16: **Hänsyn till flödesmönster**  
Vid inplaceringen av berganläggningen och val av tunnelriktningar ska hänsyn tas till grundvattnets flödesmönster.
- Utf Berg 17: **Stort transportmotstånd**  
Berganläggningen ska utformas så att transportmotståndet från deponeringshålen till ytan blir stort.
- Utf Berg 18: **Mekanisk stabilitet i deponeringsområden**  
Vid inplacering av deponeringsområden i berget ska hänsyn tas till hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar så att stabilitetsproblem under bygge och drift samt efter förslutning undviks.

- Utf Berg 19: **Grundvattenflöde och flödes hastigheter i deponeringsområden**  
Berg i deponeringsområden ska i stora delar ha lågt grundvattenflöde och låga flödes hastigheter.
- Utf Berg 20: **Grundvattensammansättning i deponeringsområden**  
Deponeringsområden ska placeras in där grundvattensammansättningen erbjuder en lämplig och kemiskt stabil miljö för buffert och kapsel.
- Utf Berg 21: **Deponeringsområdets avstånd till sprickzoner**  
Deponeringsområden, dvs områden med deponeringstunnlar och deponeringshål, ska placeras med respektavstånd från regionala sprickzoner och lokala större sprickzoner.
- Utf Berg 22: **Marginal för varierande egenskaper i berget**  
Enskilda deponeringshål kan på grund av lokalt höga vattenflöden eller lokala mindre sprickzoner behöva placeras på större avstånd från varandra än beräknat minimiavstånd. Vid bedömning av hur stort område djupförvaret kräver ska hänsyn tas till detta.
- Utf Berg 23: **Tillräckligt förvarsdjup**  
Förvarsdjupet ska vara tillräckligt för att tillåta tänkbara mänskliga aktiviteter på och nära ytan utan att säkerheten äventyras.
- Utf Berg 24: **Berggrunden fri från naturresurser**  
Berganläggningen ska placeras i områden där berggrunden är fri från sådant som idag bedöms vara naturresurser i exploaterbar mängd, t ex malmer, mineral, sällsynta bergarter eller potential för geotermisk energiutvinning.
- Utf Berg 25: **Små ingrepp i miljön**  
Bygge och drift av berganläggningen ska innebära så små ingrepp i den fysiska miljön som möjligt.
- Utf Berg 26: **Hänsyn till ekosystem**  
Ekosystem och markanvändning ska inventeras och inplacering av berganläggningen – såväl ovan- som underjordsanläggningar – ska göras med hänsyn till olägenhet för närboende, ekologiskt skyddsvärda miljöer samt inverkan på markanvändning.
- Utf Berg 27: **Driftsäkerhet**  
Berganläggningen ska utformas med hänsyn till brand och andra missöden som kan tänkas förekomma under driftskedet.
- Utf Berg 28: **Mildra konsekvenser av missöden**  
Berganläggningen ska förses med utrustning avsedd att mildra konsekvenserna av brand och andra missöden som kan tänkas förekomma i driftskedet.

I arbetet med att utforma berganläggningen måste de parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna kvantifieras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration samt platsundersökningar fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 9-4 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt i förekommande fall det idag aktuella värdet på dem. Flera av parametrarna utgörs av *geovetenskapliga lämplighetsindikatorer* /Andersson m fl, 2000/ vars värden registreras vid platsundersökningar. De geovetenskapliga lämplighetsindikatorerna används i säkerhetsanalyser för att bedöma om en plats kan uppfylla säkerhetskraven. De värden på parametrarna som anges i tabell 9-4 utgör i de flesta fall ej absoluta krav utan önskemål som i nuvarande lokaliseringsskede kan användas vid projektering.

**Tabell 9-4. Kvantifiering av parametrar, laster m m för berganläggningen.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utf Berg 1: Bergförstärkning	Regler enligt referenser ska följas.	/AFS 1997:3/ Bergarbete /AFS 1994:17/ Sprängarbete med hänvisningar
Utf Berg 2: Gaser från berget	Undersökning av radon enligt AFS 1997:3. Årsexponering < 2,5 MBq h/m <sup>3</sup> vilket motsvarar 1 500 Bq/m <sup>3</sup> vid 1 600 timmars exponering.	/AFS 1997:3/ Bergarbete /AFS 2000:3/
Utf Berg 3: Luftföroreningar från utrustning och bergarbeten	Gränsvärden enligt referens ska följas.	/AFS 1994:17/ Sprängarbete med hänvisningar
Utf Berg 12: Termiska egenskaper	Temperatur på förvarsdjup < 25 °C (önskemål). Värmeledningsförmåga > 2,5 W/(m,K) (önskemål). Temperaturutvidgningskoefficient i intervallet 10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup> (önskemål). Avstånd mellan deponeringstunnlar ca 40 m. Avstånd mellan deponeringshål ca 6 m.	Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer ur /Andersson m fl, 2000/
Utf Berg 13: Hydraulisk gradient	Lokal hydrauliska gradienten < 1 procent på förvarsnivå (önskemål).	Geovetenskaplig lämplighetsindikator ur /Andersson m fl, 2000/
Utf Berg 14: Transmissiva zoner	Sprickzoner med en transmissivitet (T) högre än 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s som bedöms byggnadsteknisk besvärliga bör om möjligt ej passeras (önskemål).	Geovetenskaplig lämplighetsindikator ur /Andersson m fl, 2000/
Utf Berg 17: Stort transportmotstånd	En stor del av strömningsvägarna bör ha ett transportmotstånd (F-parameter) större än 10 <sup>4</sup> år/m (önskemål).  I deponeringsområden: Måttligt antal sprickor (önskemål). Måttlig sprickyta per volym (önskemål). Matrisdiffustivitet och matrisporositet högre än en faktor 100 än de värdeområden som anges i "SR 97 Data and data uncertainties" /Andersson, 1999/ (önskemål). Maximalt tillgängligt diffusionsdjup över någon centimeter (önskemål).	Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer ur /Andersson m fl, 2000/
Utf 18: Mekanisk stabilitet i deponeringsområden	Hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar som medger drivning av tunnel och hål utan omfattande stabilitetsproblem (krav).	Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer ur /Andersson m fl, 2000/
Utf Berg 19: Grundvattenflöde och flödes hastigheter i deponeringsområden	Vattengenomsläpplighet K < 10 <sup>-8</sup> m/s (önskemål). Grundvattenflöde (darcy hastighet) < 0,01 m/år i deponeringshålsskala (önskemål).	Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer ur /Andersson m fl, 2000/
Utf Berg 20: Grundvattensammansättning i deponeringsområden	Grundvattensammansättning: – utan löst syre (krav) – total salthalt < 100 g/l (krav) – pH i intervallet 6–10 (önskemål) – halt av organiska ämnen DOC < 20 mg/l (önskemål) – kolloidhalt < 0,5 mg/l (önskemål) – låga ammoniumhalter (önskemål) – innehåll av kalcium och magnesium > 4 mg/l (önskemål).	Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer ur /Andersson m fl, 2000/
Utf Berg 21: Deponeringsområdets avstånd till sprickzoner	100 m preliminärt respektavstånd till regionala sprickzoner. 50 m preliminärt respektavstånd till lokala större sprickzoner.	/Munier m fl, 1997/ /Munier och Hermansson, 2000/



## 9.5.2 Utförande

### Utför Berg 1: **Fastställande av respektavstånd**

Respektavstånd enligt Utf Berg 21 ska fastställas successivt genom bergmekaniska analyser och baseras på tillgänglig information om berget på förvarsplatsen.

### Utför Berg 2: **Kontroll**

Allteftersom berganläggningen byggs ut ska de parametrar som påverkar bygghälsa och bergets säkerhetsfunktioner mätas och visas uppfylla krav relaterade till djupförvarets och bergets funktion.

De parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna måste kvantifieras för att berganläggningen ska kunna utformas, byggas och kontrolleras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration samt platsundersökningar fortlöper. I tabell 9-5 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 9-5. Kvantifiering av parametrar, laster m m för berganläggningen.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utför Berg 2: Kontroll	Kontrollmetoden ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras	/SKB, 2001b/

## 9.6 Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung

I detta avsnitt redovisas i tabellform (tabell 9-6) sambandet mellan funktionskraven på berganläggningen, funktionskraven på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav. Med lagkrav avses de krav i lagar, föreskrifter och internationella överenskommelser som redovisats i kapitel 3 Styrande regelverk. Ägarkrav avser krav redovisade i kapitel 4 Övriga övergripande förutsättningar och krav. I tabell 9-7 redovisas vidare sambandet mellan dimensioneringsförutsättningar, funktionskrav på berganläggningen, dimensionerande situationer och processer samt hur kraven är relaterade till andra delar i djupförvaret, samt till de olika ämnesområden i platsmodellen som redovisas i tabell 9-2.

**Tabell 9-6. Samband mellan funktionskrav på berganläggningen, funktionskrav på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav.**

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b> Berganläggningen ska utformas så att berggrunden på förvarsplatsen efter förslutning av förvaret ger förvarets ingenjörbarriärer en lämplig och mekaniskt och kemiskt stabil miljö.</p>	<p><b>Djup SS 1: Isolera</b> Djupförvaret ska i första hand isolera det radioaktiva avfallet från biosfären.</p> <p><b>Djup SS 2: Fördröja</b> Om isoleringen skulle brytas har djupförvaret till uppgift att fördröja radionuklidtransport, så att nukliderna då de slutligen når biosfären inte ger upphov till skada.</p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b> Säkerheten ska baseras på flera säkerhetsfunktioner som ska upprätthållas av ett system av passiva barriärer.</p> <p><b>Djup SS 4: Samverkande barriärer</b> En barriär i djupförvaret får inte äventyra de övriga barriärernas säkerhetsfunktioner.</p> <p><b>Djup SS 5: Strålskydd nu och i framtiden</b> Djupförvaret ska skydda människa och miljö från skadlig verkan av strålning både nu och i framtiden.</p> <p><b>Djup SS 7: Långtidsstabla barriärer</b> Barriärernas långsiktiga utveckling ska vara möjlig att utvärdera.</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b> Säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer som är så utformade att genombrott av en barriär endast leder till begränsade omgivningskonsekvenser /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §; SKIFS 2002:1 3, 7 §/.</p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b> En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b> Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets barriärer ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden som kan påverka barriärerna skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b> Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.</p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet, dels i framtiden /SSI FS 1998:1 3 §/.</p> <p><b>Lag SS 17: Acceptabel risk</b> Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst <math>10^{-6}</math> för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken /SSI FS 1998:1 5 §/.</p> <p><b>Lag ss 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b> För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön /SSI FS 1998:1 11 §/.</p> <p><b>Lag ss 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b> För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären /SSI FS 1998:1 12 §/.</p>

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b> Berganläggningen ska utformas så att bergrunden på förvarsplatsen efter förslutning av förvaret fördröjer transport av radionuklider till biosfären.</p>	<p><b>Djup SS 2: Fördröja</b></p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>
<p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b> Bygge och drift av berganläggningen får endast ge begränsad påverkan på bergets och de övriga barriärernas barriärfunktioner.</p>	<p><b>Djup SS 6: Enskilda brister ej äventyra säkerhet</b> Bristar i enskilda barriärer får inte påtagligt försämra djupförvarets säkerhet.</p> <p><b>Djup SS 8: Bygge med hänsyn till långsiktig säkerhet</b> Bygge och drift av djupförvarsanläggningen får endast ge begränsad påverkan på djupförvarets säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b></p>
<p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b> Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska utformas så att stråldoser till personal och omgivning begränsas.</p>	<p><b>Djup SS 9: Strålskydd vid drift</b> Stråldoser som kan uppstå i samband med drift av djupförvaret ska begränsas så långt möjligt.</p>	<p><b>Lag SS 6: Identifiera händelser som kan påverka skyddsåtgärder</b> Händelser som kan påverka åtgärder eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 7: Acceptabel tålighet hos skyddsåtgärder</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 8: Förebygga störningar</b> Störningar och haverier ska i största möjliga utsträckning förebyggas /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag SS 13: Strålskydd under drift</b> Djupförvaret ska förses med tekniska anordningar, mätutrustning m m som krävs för att upprätthålla ett gott strålskydd /SFS 1988:220 6 §/.</p>
<p><b>Berg SS 5: Minimera risker för strålskador</b> Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska omfatta åtgärder avsedda att mildra konsekvenser av missöden och avvikelser från det normala.</p>	<p><b>Djup SS 9: Strålskydd vid drift</b></p>	<p><b>Lag SS 6: Identifiera händelser som kan påverka skyddsåtgärder</b></p> <p><b>Lag SS 7: Acceptabel tålighet hos skyddsåtgärder</b></p> <p><b>Lag SS 8: Förebygga störningar</b></p> <p><b>Lag SS 13: Strålskydd under drift</b></p>

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Berg M 1: Ej förhindra nyttjande av plasten</b> Berganläggningen ska utformas och placeras in i berget på ett sådant sätt att den i minsta möjliga mån begränsar framtida generationers nyttjande av förvarsplatsen.</p>	<p><b>Djup M 1: Begränsad inverkan på miljön</b> Djupförvaret ska utformas så att det ger ett gott strålskydd och så att det både nu och i framtiden innebär ett så litet ingrepp i miljön som möjligt.</p>	<p><b>Lag M 1: Hållbar utveckling</b> En hållbar utveckling ska främjas som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 2: Människa och miljö skyddas</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas mot föroreningar och annan påverkan /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 3: Skydda värdefulla miljöer och biologisk mångfald</b> Värdefulla natur- och kulturmiljöer ska skyddas och den biologiska mångfalden bevaras /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag M 4: Begränsa ingrepp i fysisk miljö</b> Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt ska användas så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas /SFS 1998:808 1 kap 1 §, 2 kap 4 §, 3 kap, 4 kap/.</p> <p><b>Lag ss 18: Biologisk mångfald</b> Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska göras så att biologisk mångfald och hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning /SSI FS 1998:1 6 §/.</p>
<p><b>Berg M 2: Begränsad miljöpåverkan</b> Berganläggningen ska byggas och drivas på ett sådant sätt att dess påverkan på miljön blir så liten som möjligt mot bakgrund av vad som anses nödvändigt för att uppnå ett gott strålskydd.</p>	<p><b>Djup M 1: Begränsad inverkan på miljön</b></p> <p><b>Djup M 2: Minimera konsumtion av råvaror och energi</b> Konsumtionen av material, råvaror och energi ska vara så liten som möjligt med hänsyn till vad som anses nödvändigt för att erhålla ett fullgott strålskydd för människa och miljö.</p>	<p><b>Lag M 1: Hållbar utveckling</b></p> <p><b>Lag M 2: Människa och miljö skyddas</b></p> <p><b>Lag M 3: Skydda värdefulla miljöer och biologisk mångfald</b></p> <p><b>Lag M 4: Begränsa ingrepp i fysisk miljö</b></p> <p><b>Lag M 5: Hushåll med råvaror och energi</b> Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi ska främjas så att ett kretslopp uppnås /SFS 1998:808 1 kap 1 §/.</p> <p><b>Lag ss 18: Biologisk mångfald</b></p>
<p><b>Berg BD 1: Ej störa kringboende</b> Berganläggningen ska utformas så att grannar störs i minsta möjliga mån.</p>	<p>–</p>	<p><b>Lag BD 2: Utformning med hänsyn till säkerhet</b> Byggnadsverk ska vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att de inte medför risk för brukarnas eller grannarnas hygien eller hälsa /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 3: Säker drift och underhåll</b> Hantering av avfall, buller, förekomst och utsläpp av farliga ämnen och farlig strålning ska beaktas så risken för brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p>

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b> Val av material, fysisk utformning och etablering av rutiner för hantering av bergmassor, ventilationsluft m m ska göras med hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker.</p>	<p>–</p>	<p><b>Lag BD 1: Utformning med hänsyn till säkerhet och miljö</b> Byggnadsverk ska uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav vad gäller bärförmåga och stadga, brandsäkerhet, hälsa och miljö, olycksrisk och hushållning med energi och andra resurser /SFS 1994:847 2, 4 §; SFS 1994:1215 3, 4 §/.</p> <p><b>Lag BD 2: Utformning med hänsyn till säkerhet</b></p> <p><b>Lag BD 3: Säker drift och underhåll</b></p> <p><b>Lag BD 5: Säkerhet för de som vistas i anläggningen</b> Trivsel, hälsa och säkerhet för anställda och andra som utför arbete vid, eller besöker, anläggningen och ska beaktas vid utformningen.</p>
<p><b>Berg BD 3: Minimera konsekvens av olyckor</b> Berganläggningen ska förses med utrustning och utrymmen för att minimera konsekvenserna av brand och andra olyckor.</p>	<p>–</p>	<p><b>Lag BD 4: Beakta olyckor</b> Brand och andra olyckor ska beaktas så att risken brukare och grannar minimeras /SFS 1994:1215 5, 6, 7, 8 §/.</p> <p><b>Lag BD 5: Säkerhet för de som vistas i anläggningen</b></p>
<p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b> Rutiner, installationer samt förstärkningsåtgärder ska utformas så att ett gott arbetarskydd upprätthålls.</p>	<p>–</p>	<p><b>Lag BD 1: Utformning med hänsyn till säkerhet och miljö</b></p> <p><b>Lag BD 2: Utformning med hänsyn till säkerhet</b></p> <p><b>Lag BD 3: Säker drift och underhåll</b></p> <p><b>Lag BD 4: Beakta olyckor</b></p> <p><b>Lag BD 5: Säkerhet för de som vistas i anläggningen</b></p>
<p><b>Berg I 1: Kontroll av klyvbart material</b> Möjligheterna att på ett säkert sätt övervaka att kapslar med använt kärnbränsle inte otillbörligen förs upp ur förvaret ska övervägas vid utformningen av berganläggningen.</p>	<p><b>Djup I 1: Förhindra olovlig befattning med kärnämne</b> Djupförvaret ska förhindra olovlig befattning med kärnämne.</p> <p><b>Djup I 2: Kontrollera klyvbart material</b> Det ska vara möjligt att kontrollera och verifiera att det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet deponeras i djupförvaret.</p>	<p><b>Lag I 2: Fredlig användning av kärnenergi</b> Kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi får inte användas för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III/.</p> <p><b>Lag I 3: Kontroll av kärnämne</b> Det ska kontrolleras och verifieras att kärnämne som uppkommit till följd av fredlig användning av kärnenergi inte används för att tillverka kärnvapen /IAEA, 1968, Paragraf III; IAEA:s stadgar, Paragraf XII/.</p>

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b> Berganläggningen ska projekteras, byggas ut, drivas och förslutas i enlighet med uppställda kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p>	–	<p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b> Djupförvaret ska utformas, byggas och drivas på ett säkert och effektivt sätt.</p> <p><b>Ö krav 8: Begränsad drifttid</b> Djupförvaret ska byggas, och deponering äga rum under en begränsad tidsperiod.</p> <p><b>Ö krav 9: Djupförvaret ska förslutas</b> När deponeringen slutförts ska djupförvaret förslutas.</p> <p><b>Ö krav 10: En kapsel om dagen</b> Konstruktion, byggande och drift av anläggningarna i systemet ska genomföras så att en kapsel per arbetsdag kan deponeras i djupförvaret.</p>
<p><b>Berg Ö 2: Rationell utformning</b> Lämpligt område för berganläggningen ska väljas med hänsyn till regionala plastiska skjuvzoner, regionala sprickzoner, lokala större sprickzoner samt bergets termiska egenskaper så att det är möjligt att placera in anläggningen utan att dela upp den i allt för många delar samt så att deponeringsområdenas utbredning inte blir allt för stor.</p>	–	<p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b></p>
<p><b>Berg Ö 3: Parallell utbyggnad och drift</b> Utformning av anläggning, utrustning och rutiner ska göras så att undersökningar, byggande och drift kan genomföras parallellt och så att sannolikheten för avbrott i utbyggnad och drift hålls låg.</p>	–	<p><b>Ö krav 6: Effektiv verksamhet</b></p> <p><b>Ö krav 7: Stegvis genomförande</b> Utbyggnad av djupförvaret och deponering ska ske stegvis med möjlighet att återta deponerade kapslar.</p>
<p><b>Berg Ö 4: Utformning med hänsyn till utrustning</b> Berganläggningen ska utformas med hänsyn till de alternativa utformningar av utrustning för bygge och drift som kan bli aktuella.</p>	–	<p><b>Ö krav 3: Övergång till horisontell deponering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att övergång från vertikal till horisontell deponering kan bli aktuell.</p> <p><b>Ö krav 4: Samlokalisering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att samlokalisering med förvaret för låg- och medelaktivt, långlivat avfall kan bli aktuell.</p> <p><b>Ö krav 5: Ny teknik</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att idag känd men oprövad alternativ teknik kan komma att användas.</p>

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Berg Ö 5: Utökade deponeringsområden</b> Berganläggningen ska utformas med hänsyn till att områden för deponering av använt kärnbränsle kan komma att utökas och områden för deponering av låg- och medelaktivt långlivat avfall kan tillkomma.</p>	<p>–</p>	<p><b>Ö krav 1: Rymma allt svenskt använt kärnbränsle</b> Djupförvaret ska kunna ta emot det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet även med hänsyn till att kärnkraftverkens drifttid kan komma att förlängas.</p> <p><b>Ö krav 3: Övergång till horisontell deponering</b></p> <p><b>Ö krav 4: Samlokalisering</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att samlokalisering med förvaret för låg- och medelaktivt, långlivat avfall kan bli aktuell.</p>
<p><b>Berg Ö 6: Återta deponerade kapslar</b> Berganläggningen ska utformas så att ett återtag av deponerade kapslar är möjligt men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte påverka bergets säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Djup Ö 1: Återtag</b> Det ska vara möjligt att återta deponerade kapslar men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte försämra djupförvarets barriärer och deras säkerhetsfunktioner.</p>	<p><b>Lag SS 3: Återtag</b> Inverkan på slutförvarets säkerhet av åtgärder som införs för att underlätta återtag eller övervakning samt för att förhindra intrång ska redovisas /SKIFS 2002:1 8 §; SSI FS 1998:1 8 §/.</p> <p><b>Lag I 1: Ej bördor på kommande generationer</b> Vid omhändertagande av radioaktivt avfall ska man sträva efter att inte lägga otillbörliga bördor på kommande generationer /IAEA, 1997, Kap 2, Paragraf 4/.</p> <p><b>Ö krav 7: Stegvis genomförande</b></p>
<p><b>Berg Ö 7: Tid för öppethållande</b> Berganläggningen ska kunna hållas öppen i den tid som krävs för att deponera allt använt kärnbränsle som ingår i det svenska kärnkraftsprogrammet.</p>	<p>–</p>	<p><b>Ö krav 1: Rymma allt svenskt använt kärnbränsle</b> Djupförvaret ska kunna ta emot det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet även med hänsyn till att kärnkraftverkens drifttid kan komma att förlängas.</p> <p><b>Ö krav 2: Förlängd drifttid</b> Djupförvaret ska utformas med hänsyn till att byggnads- och/eller driftperioden kan komma att bli längre än den för närvarande planerade.</p> <p><b>Ö krav 8: Begränsad drifttid</b> Djupförvaret ska byggas, och deponering äga rum under en begränsad tidsperiod.</p> <p><b>Ö krav 9: Djupförvaret ska förslutas</b> När deponeringen slutförts ska djupförvaret förslutas.</p>

**Tabell 9-7. Dimensioneringsförutsättningarnas koppling till funktionskrav på berganläggningen, andra delar i djupförvaret, platsmodellen samt dimensionerande situationer och processer.**

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Berg 1: Bergförstärkning</b> Bergförstärkning ska utformas så att stenfall och ras i de olika berggrummen förhindras.</p>	<p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b> Val av material, fysisk utformning och etablering av rutiner för hantering av bergmassor, ventilationsluft m m ska göras med hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker.</p> <p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b> Rutiner, installationer samt förstärkningsåtgärder ska utformas så att ett gott arbetarskydd upprätthålls.</p> <p><b>Berg Ö 3: Parallell utbyggnad och drift</b> Utformning av anläggning, utrustning och rutiner ska göras så att undersökningar, byggande och drift kan genomföras parallellt och så att sannolikheten för avbrott i utbyggnad och drift hålls låg.</p>	–	Bergmekanik	Bergutfall ras	–
<p><b>Utf Berg 2: Gaser från berget</b> Ventilation ska utformas med hänsyn till radon och andra gaser (t ex metan) från berget så att god arbetsmiljö erhålls.</p>	<p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b></p> <p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Geologi Hydrogeokemi	Radon	–
<p><b>Utf Berg 3: Luftföroreningar från utrustning och bergarbeten</b> Vid utformning av ventilation ska hänsyn tas till damm från bergarbeten och masshantering samt till luftföroreningar från utrustning för byggande och drift.</p>	<p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Buller och luftföroreningar	–
<p><b>Utf Berg 4: Transport av salt vatten</b> Salthalten i närfältsberget, dvs berget i området kring de deponerade kapslarna, får efter bygg- och driftskedet inte avvika från det som anges i Utf Berg 20. Detta med hänsyn tagen till utformning av tätning och pumpning samt berganläggningen i övrigt, bergets egenskaper, grundvattenströmning och grundvattensammansättning på förvarsplatsen samt tiden för öppethållande av de berggrum som ingår i djupförvaret.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b> Berganläggningen ska utformas så att bergrunden på förvarsplatsen efter förslutning av förvaret ger förvarets ingenjörbarriärer en lämplig och mekaniskt och kemiskt stabil miljö.</p> <p><b>Berg SS 3: Ej försämrade barriärfunktioner</b> Bygge och drift av berganläggningen får endast ge begränsad påverkan på bergets och de övriga barriärernas barriärfunktioner.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Hydrogeologi Hydrogeokemi	Vattenlinläckage Förändrade grundvattenförhållanden	Grundvattenströmning Advektion blandning



Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Berg 5: Transport av förorenat vatten</b> Grundvattensammansättningen i närfältsberget, dvs berget i området kring de deponerade kapslarna, får efter bygg- och driftskedet inte avvika från det som anges i Utf Berg 20. Detta med hänsyn tagen till konstruktionsmaterial eller andra främmande ämnen i berganläggningen samt utformning av tätning och pumpning samt berganläggningen i övrigt, bergets egenskaper, grundvattenströmning och grundvattensammansättning på förvarsplatsen samt tiden för öppethållande av de bergum som ingår i djupförvaret.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Hydrogeologi Hydrogeokemi	Vattenlinläckage Förändrade grundvattenförhållanden Tillförsel av främmande ämnen	Grundvattenströmning Advektion blandning
<p><b>Utf Berg 6: Grundvattenyta och ekosystem</b> Sänkning av grundvattentytan (grundvattentrycket) under byggande och drift av berganläggningen får inte leda till oacceptabla konsekvenser för ekosystem och vattenförsörjning på platsen.</p>	<p><b>Berg M 2: Begränsad miljöpåverkan</b> Berganläggningen ska byggas och drivas på ett sådant sätt att dess påverkan på miljön blir så liten som möjligt mot bakgrund av vad som anses nödvändigt för att uppnå ett gott strålskydd.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Hydrogeologi Människan Klimat Biota Hydrologi/ Oceanografi	Vattenlinläckage Förändrade grundvattenförhållanden	–
<p><b>Utf Berg 7: Främmande ämnens inverkan på säkerheten</b> Mängden konstruktionsmaterial och andra främmande ämnen som ej ingår i de tekniska barriärerna, och som lämnas kvar i berganläggningen vid förslutning, ska beräknas och visas ha begränsad betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Tillförsel av främmande ämnen	Mikrobiella processer Nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial
<p><b>Utf Berg 8: Önskad kapacitet</b> Berganläggningen ska utformas så att bygge, bergundersökningar, deponering och återfyllning och pluggning av deponeringstunnlar kan pågå parallellt och uppfylla önskade kapacitetskrav.</p>	<p><b>Berg Ö 3: Parallell utbyggnad och drift</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Flera parallella aktiviteter	–
<p><b>Utf Berg 9: Brand</b> Vid utformning av berganläggningen ska hänsyn tas till brandfara.</p>	<p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b></p> <p><b>Berg BD 3: Minimera konsekvens av olyckor</b> Berganläggningen ska förses med utrustning och utrymmen för att minimera konsekvenserna av brand och andra olyckor.</p> <p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Brand	–

Dimensionerings-förutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Berg 10: Brandbekämpning</b> Berganläggningen ska förses med redskap för brandbekämpning och andra installationer för att mildra konsekvenserna av en brand.</p>	<p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b></p> <p><b>Berg BD 3: Minimera konsekvens av olyckor</b></p> <p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Brand	–
<p><b>Utf Berg 11: Räddningskammare och utrymningsvägar</b> I fall av brand eller andra missöden ska berganläggningen innehålla räddningskammare och utrymningsvägar.</p>	<p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b></p> <p><b>Berg BD 3: Minimera konsekvens av olyckor</b></p> <p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Brand	–
<p><b>Utf Berg 12: Termiska egenskaper</b> Deponeringsområden ska placeras i ett område där bergets termiska egenskaper är sådana att minsta avstånd mellan deponeringstunnlar och deponeringshål enligt Utf Dep 2 inte blir för stort.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b></p> <p><b>Berg Ö 2: Rationell utformning</b> Lämpligt område för berganläggningen ska väljas med hänsyn till regionala plastiska skjuzoner, regionala sprickzoner, lokala större sprickzoner samt bergets termiska egenskaper så att det är möjligt att placera in anläggningen utan att dela upp den i allt för många delar samt så att deponeringsområdenas utbredning inte blir allt för stor.</p>	<p>Kapsel Resteffekt</p> <p>Buffert Material</p>	Termiska egenskaper	<p>Värmetransport</p> <p>Val av bränsleelement (Situation i kapsel)</p> <p>Uppvärmning och förångning av grundvatten (Situation i kapsel)</p>	<p>Värmetransport</p> <p>Stråldämpning/ värmealstring (Process i bränsle)</p> <p>Stråldämpning/ värmealstring (Process i kapsel)</p> <p>Värmetransport (Process i buffert)</p>
<p><b>Utf Berg 13: Hydraulisk gradient</b> Berganläggningen ska placeras med hänsyn till topografin så att områden med potentiellt stora gradienter i grundvattenytan undviks.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b> Berganläggningen ska utformas så att bergrunden på förvarsplatsen efter förslutning av förvaret fördröjer transport av radionuklider till biosfären.</p>	–	Geologi	–	Grundvattenströmning
<p><b>Utf Berg 14: Transmissiva zoner</b> Vid inplacering av berganläggningen ska hänsyn tas till vattenledande strukturer.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b></p> <p><b>Berg Ö 2: Rationell utformning</b></p>	–	Hydrogeologi	–	Grundvattenströmning
<p><b>Utf Berg 15: Regionala sprickzoner</b> Regionala sprickzoner får ej förekomma inom förvarsvolymen men tillåts skära tillträdet till förvarsnivå.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p>	–	Bergmekanik	–	Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Berg 16: Hänsyn till flödesmönster</b> Vid inplaceringen av berganläggningen och val av tunnelriktningar ska hänsyn tas till grundvattnets flödesmönster.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b></p>	–	Hydrogeologi	–	Grundvattenströmning
<p><b>Utf Berg 17: Stort transportmotstånd</b> Berganläggningen ska utformas så att transportmotståndet från deponeringshålen till ytan blir stort.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b></p>	–	Bergets transportegenskaper	–	<p>Grundvattenströmning</p> <p>Advektion blandning</p> <p>Diffusion</p> <p>Advektion och dispersion</p> <p>Sorption</p> <p>Molekylär diffusion samt matrisdiffusion</p>
<p><b>Utf Berg 18: Mekanisk stabilitet i deponeringsområden</b> Vid inplacering av deponeringsområden i berget ska hänsyn tas till hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar så att stabilitetsproblem under bygge och drift samt efter förslutning undviks.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p>	–	Bergmekanik	–	<p>Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor</p> <p>Sprickbildning</p>
<p><b>Utf Berg 19: Grundvattenflöde och flödes hastigheter i deponeringsområden</b> Berg i deponeringsområden ska i stora delar ha lågt grundvattenflöde och låga flödes hastigheter.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b></p>	<p>Buffert Material</p> <p>Återfyllning Lera Krossat berg Vattenhalt Densitet efter packning</p>	Hydrogeologi	<p>Vattenmättnad (Situation i buffert)</p> <p>Ojämn uppbyggnad av svälltryck (Situation i buffert)</p> <p>Vattenmättnad (Situation i återfyllning)</p> <p>Dålig packning (Situation i återfyllning)</p>	Grundvattenströmning
<p><b>Utf Berg 20: Grundvattensammansättning i deponeringsområden</b> Deponeringsområden ska placeras in där grundvattensammansättningen erbjuder en lämplig och kemiskt stabil miljö för buffert och kapsel.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p>	<p>Kapsel Material Dimension</p> <p>Buffert Material Dimension Densitet efter vattenmättnad</p> <p>Återfyllning Lera Krossat berg Densitet efter vattenmättnad</p>	Hydrogeokemi	–	<p>Advektion blandning</p> <p>Advektion och dispersion</p> <p>Lösning/fällning av sprickmineraler</p> <p>Korrosion kopparkapsel (Process i kapsel)</p> <p>Osmos (Process i återfyllning)</p>

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
					Jonbyte/sorption (Process i buffert) (Process i återfyllning) Montmorillonit- omvandling (Process i buffert) (Process i återfyllning) Lösning/fällning av föroreningar (Process i buffert) (Process i återfyllning) Kolloidfrigörelse /erosion (Process i buffert) (Process i återfyllning)
<b>Utf Berg 21: Deponeringsområdets avstånd till sprickzoner</b> Deponeringsområden, dvs områden med deponerings-tunnlar och deponeringshål, ska placeras med respekt-avstånd från regionala sprickzoner och lokala större sprickzoner.	<b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b>	–	Bergmekanik	–	Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor
<b>Utf Berg 22: Marginal för varierande egenskaper i berget</b> Enskilda deponeringshål kan på grund av lokalt höga vattenflöden eller lokala mindre sprickzoner behöva placeras på större avstånd från varandra än beräknat minimiavstånd. Vid bedömning av hur stort område djupförvaret kräver ska hänsyn tas till detta.	<b>Berg Ö 2: Rationell utformning</b>	–	Bergmekanik Hydrogeologi	–	Grundvatten- strömning  Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor
<b>Utf Berg 23: Tillräckligt försvarsdjup</b> Försvarsdjupet ska vara tillräckligt för att tillåta tänkbara mänskliga aktiviteter på och nära ytan utan att säkerheten äventyras.	<b>Berg M 1: Ej förhindra nyttjande av plasten</b> Berganläggningen ska utformas och placeras in i berget på ett sådant sätt att den i minsta möjliga mån begränsar framtida generationers nyttjande av försvarsplatsen.	–	Människan	–	–
<b>Utf Berg 24: Berggrunden fri från naturresurser</b> Berganläggningen ska placeras i områden där berggrunden är fri från sådant som idag bedöms vara naturresurser i exploaterbar mängd, t ex malmer, mineral, sällsynta bergarter eller potential för geotermisk energiutvinning.	<b>Berg M 1: Ej förhindra nyttjande av plasten</b>	–	Människan	–	–

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Berg 25: Små ingrepp i miljön</b> Bygge och drift av berganläggningen ska innebära så små ingrepp i den fysiska miljön som möjligt.</p>	<p><b>Berg M 2: Begränsad miljöpåverkan</b> Berganläggningen ska byggas och drivas på ett sådant sätt att dess påverkan på miljön blir så liten som möjligt mot bakgrund av vad som anses nödvändigt för att uppnå ett gott strålskydd.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Människan Naturgeografi Biota Hydrologi/ Oceanografi	Buller och luftföroreningar  Förändrade grundvattenförhållanden  Transporter	–
<p><b>Utf Berg 26: Hänsyn till ekosystem</b> Ekosystem och markanvändning ska inventeras och inplacering av berganläggningen – såväl ovan som underjordsanläggningar – ska göras med hänsyn till olägenhet för närboende, ekologiskt skyddsvärda miljöer samt inverkan på markanvändning.</p>	<p><b>Berg M 1: Ej förhindra nyttjande av plasten</b>  <b>Berg M 2: Begränsad miljöpåverkan</b>  <b>Berg BD 1: Ej störa kringboende</b> Berganläggningen ska utformas så att grannar störs i minsta möjliga mån.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Människan Naturgeografi Biota Hydrologi/ Oceanografi	Buller och luftföroreningar  Förändrade grundvattenförhållanden  Transporter	–
<p><b>Utf Berg 27: Driftsäkerhet</b> Berganläggningen ska utformas med hänsyn till brand och andra missöden som kan tänkas förekomma under driftskedet.</p>	<p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b> Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska utformas så att stråldoser till personal och omgivning begränsas.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Brand  Tillförsel av främmande ämnen  Transporter  Flera parallella aktiviteter	–
<p><b>Utf Berg 28: Mildra konsekvenser av missöden</b> Berganläggningen ska förses med utrustning avsedd att mildra konsekvenserna av brand och andra missöden som kan tänkas förekomma i driftskedet.</p>	<p><b>Berg SS 5: Minimera risker för strålskador</b> Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska omfatta åtgärder avsedda att mildra konsekvenser av missöden och avvikelser från det normala.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Brand	–
<p><b>Utför Berg 1: Fastställande av respektavstånd</b> Respektavstånd enligt Utf Berg 21 ska fastställas successivt genom bergmekaniska analyser och baseras på tillgänglig information om berget på förvarsplatsen.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b></p>	–	Bergmekanik	–	Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor
<p><b>Utför Berg 2: Kontroll</b> Allteftersom berganläggningen byggs ut ska de parametrar som påverkar byggbarhet och bergets säkerhetsfunktioner mätas och visas uppfylla krav relaterade till djupförvarets och bergets funktion.</p>	<p><b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b>  <b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p>	–	–	Kontroll	–

I tabell 9-6, tabell 9-7, tabell 10-3, tabell 10-4, tabell 11-2 och tabell 12-1 sammanställs funktionskrav på och dimensioneringsförutsättningar för berganläggningen och de olika bergrum m m som ingår i den. Samtliga dessa krav är relaterade till minst ett lag- och/eller ägarkrav. Det finns dock lag- och ägarkrav som inte följts upp av funktionskrav och därmed dimensioneringsförutsättningar för berganläggningen eller något av de olika bergrum m m som ingår i den. Dessa lag- och ägarkrav redovisas i tabell 9-8. De kan i det fortsatta arbetet med att projektera, bygga och driva berganläggningen antingen visas vara överflödiga eller komma att följas upp av mer detaljerade krav.

**Tabell 9-8. Lag- och ägarkrav som inte följts upp av funktionskrav eller dimensioneringsförutsättningar på berganläggningen eller bergrum m m som ingår i den.**

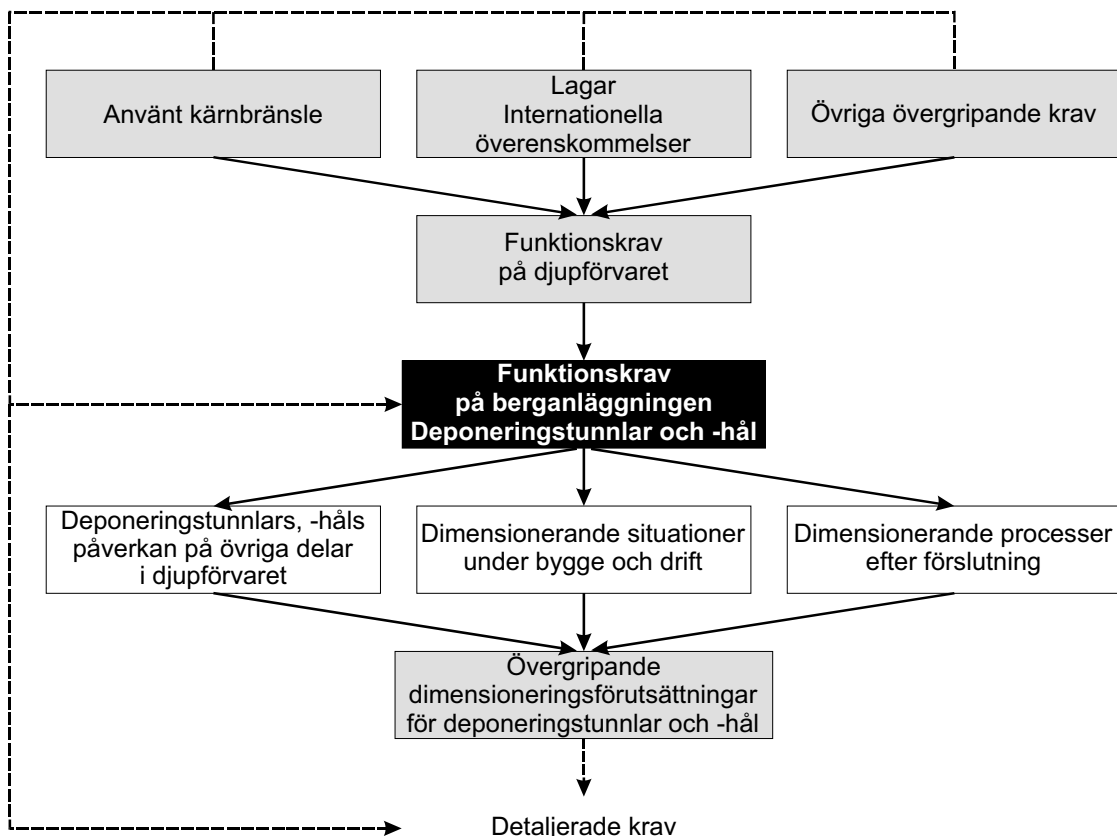
Lag, internationell överenskommelse samt övriga krav och önskemål	Lag- och ägarkrav
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Lagen om kärnteknisk verksamhet med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 10: Beprövad teknik</b> I första hand ska beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar användas för utformning av ett system för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 11: Utprovning av ny teknik</b> Om beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar inte är möjliga eller rimliga, ska en utprovning och utvärdering ske för att verifiera att funktion och beteende hos ingående system och komponenter är inom de antaganden som görs i säkerhetsanalysen /SKIFS 1998:1 3 kap 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 12: Rapportera och åtgärda brister</b> Om brister i barriärer upptäcks ska de anmälas till SKI, utredas och åtgärdas /SKIFS 1998:1 2 kap 2 §; SKIFS 2002:1 4 §/.</p>
<p><b>Säkerhet och strålskydd</b> Strålskyddslagen med föreskrifter</p>	<p><b>Lag SS 15: Optimering av strålskydd</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske dvs stråldoser till människor begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhälleliga faktorer /SSI FS 1998:1 4 §/.</p> <p><b>Lag SS 16: Bästa möjliga teknik</b> Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska hänsyn tas till bästa möjliga teknik, dvs den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön som inte medför orimliga kostnader ska vidtas /SSI FS 1998:1 4 §/.</p>

## 10 Deponeringstunnlar och deponeringshål

Berget i området kring de deponerade kapslarna – närfältsberget – ska erbjuda ingenjörsbarriärerna en stabil miljö och ha god förmåga att fördröja radionuklidtransport. Med utgångspunkt från det placeras deponeringsområden med deponeringstunnlar och deponeringshål in i berget. Konstruktionsförutsättningarna för deponeringstunnlar och deponeringshål är sammanställda i avsnitt 10.6.

### 10.1 Funktionskrav

De funktionskrav som i avsnitt ställs på berganläggningen som helhet gäller även för deponeringstunnlar och deponeringshål. Utöver dessa funktionskrav har ytterligare funktionskrav som gäller deponeringstunnlar och deponeringshål formulerats. Kraven är sammanställda i avsnitt 10.6, där även deras koppling till funktionskrav på djupförvaret och berganläggningen som helhet samt lagar m m redovisas.



**Figur 10-1.** Aktuell del av konstruktionsförutsättningar för berganläggningen. Färgade fält utgör konstruktionsförutsättningar, vita utgör bakgrund till konstruktionsförutsättningar.

### 10.1.1 Säkerhet och strålskydd

Dep SS 1: **Stabil miljö i berget**

Deponeringstunnlar och deponeringshål ska utformas och placeras in i berget så att området runt de deponerade kapslarna – närfältsberget – kan erbjuda en lämplig och stabil miljö för buffert och kapsel.

Dep SS 2: **Fördröja radionuklidtransport**

Deponeringstunnlar och deponeringshål ska utformas och placeras in i berget så att området runt de deponerade kapslarna – närfältsberget – bidrar till att fördröja radionuklidtransport.

### 10.1.2 Miljö

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

### 10.1.3 Byggande och drift

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

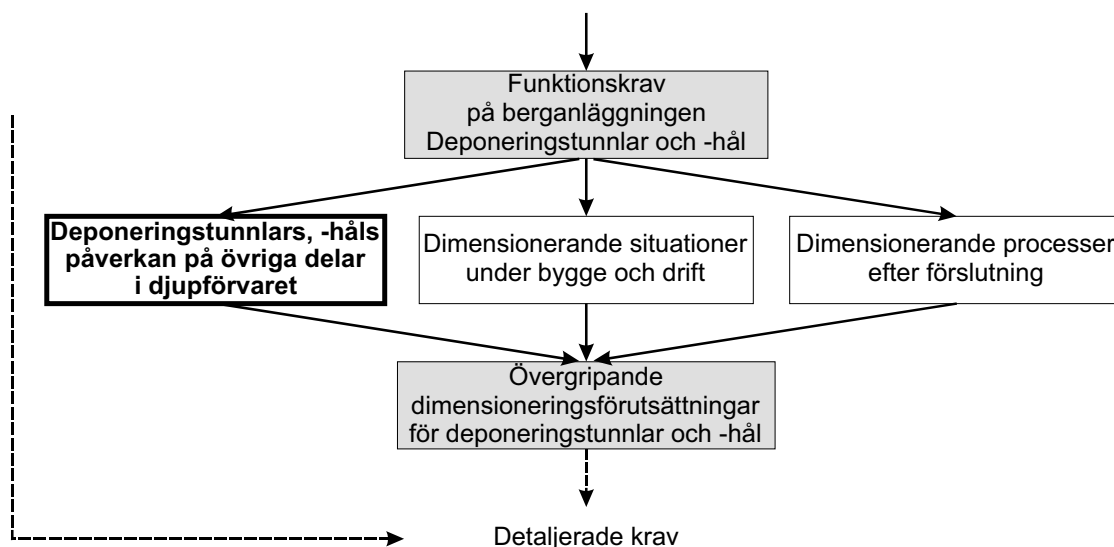
### 10.1.4 Internationella överenskommelser

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

### 10.1.5 Övriga förutsättningar och krav

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

## 10.2 Påverkan på övriga delar i djupförvaret



*Figur 10-2. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningar för deponeringstunnlar och deponeringshål.*



Utformningen av deponeringstunnlar och deponeringshål är kopplad till och beror av utformningen av andra delar i djupförvaret. I detta avsnitt redovisas hur deponeringstunnlar och deponeringshål påverkar övriga delar. Hur övriga delar påverkar deponeringstunnlar och deponeringshål redovisas under motsvarande rubrik i kapitlen om respektive del. Syftet är att få en överblick över hur förändringar av deponeringstunnlar och deponeringshål påverkar utformningen av övriga delar och vice versa. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 10.5.

### **10.2.1 Konstruktionsbestämmande parametrar**

Deponeringstunnlar och deponeringshål påverkar utformningen av andra delar i djupförvaret genom parametrarna:

- Läge
  - djup i förvarsberget
  - avstånd till sprickzoner och sprickor
  - centrumavstånd
  - orientering
- Dimension
  - tvärsnitt
  - längd
- Konstruktioner
  - bergförstärkning
  - tätning
  - övriga
- Sprickdensitet
- Vatteninflöde
- Grundvattensammansättning

### **10.2.2 Kapsel**

Avståndet mellan deponeringstunnlar och deponeringshål, bergets temperatur och värmeledningsegenskaper påverkar temperaturen på kapselytan.

Deponeringshålets läge i djupled avgör storleken på det vattentryck kapseln utsätts för. Deponeringshålets läge och dimensioner påverkar de mekaniska påfrestningar som via bufferten förs över till kapseln.

Vatteninflöde, grundvattensammansättning och konstruktioner påverkar den kemiska miljön vid kapseln samt mekaniska påfrestningar som via bufferten förs över till kapseln.

### **10.2.3 Buffert**

Centrumavståndet mellan deponeringstunnlar och deponeringshål, bergets temperatur och värmeledningsegenskaper påverkar temperaturen i bufferten.

Deponeringshålets läge i djupled avgör storleken på vattentrycket mot bufferten.

Deponeringshålets läge i förhållande till sprickzoner och sprickor påverkar hur stora bergförskjutningar som kan förekomma vid hålet. Bergförskjutningarna utsätter bufferten för mekanisk belastning och deformation.

Deponeringshålets dimensioner med tillåtna avvikelser påverkar buffertens densitet efter vattenmättnad och därmed dess svälltryck. Ovala eller svagt böjda deponeringshål kan leda till ojämnt svälltryck i bufferten.

Sprickdensitet och vatteninflöde påverkar buffertens vattenmättnadsförlopp. Litet eller ojämnt vatteninflöde kan medföra ojämn vattenmättnad och därmed ojämn utveckling av svälltrycket i bufferten.

Grundvattensammansättningen (speciellt kalcium- och salthalt) i deponeringshålet påverkar utveckling och upprätthållande av svälltrycket i bufferten.

Grundvattensammansättning och konstruktioner i deponeringshålen, dvs tätningar, förstärkningar och bottenavjämning, påverkar buffertens kemiska miljö.

Deponeringshålens sprickdensitet och sprickornas egenskaper påverkar buffertens densitet och svälltryck om den penetrerar in sprickorna.

#### **10.2.4 Återfyllning**

Deponeringstunnlarnas dimensioner med tillåtna avvikelser påverkar återfyllningens densitet efter vattenmättnad och därmed dess svälltryck och hydrauliska konduktivitet.

Vatteninflödet i deponeringstunnlarna påverkar återfyllningens vattenmättnadsförlopp. Utvecklingen av svälltryck i återfyllningen påverkas också av grundvattensammansättningen (speciellt kalcium- och salthalt) i berget runt deponeringstunnlarna.

Grundvattensammansättning och konstruktioner i deponeringstunnlarna, dvs tätningar, förstärkningar och övriga konstruktioner och främmande ämnen som finns kvar vid förslutning, påverkar återfyllningens kemiska miljö.

Sprickor och sprickzoner som skär deponeringstunnlar påverkar återfyllningens densitet och därmed svälltryck och hydraulisk konduktivitet om återfyllningsmaterial penetrerar in sprickorna.

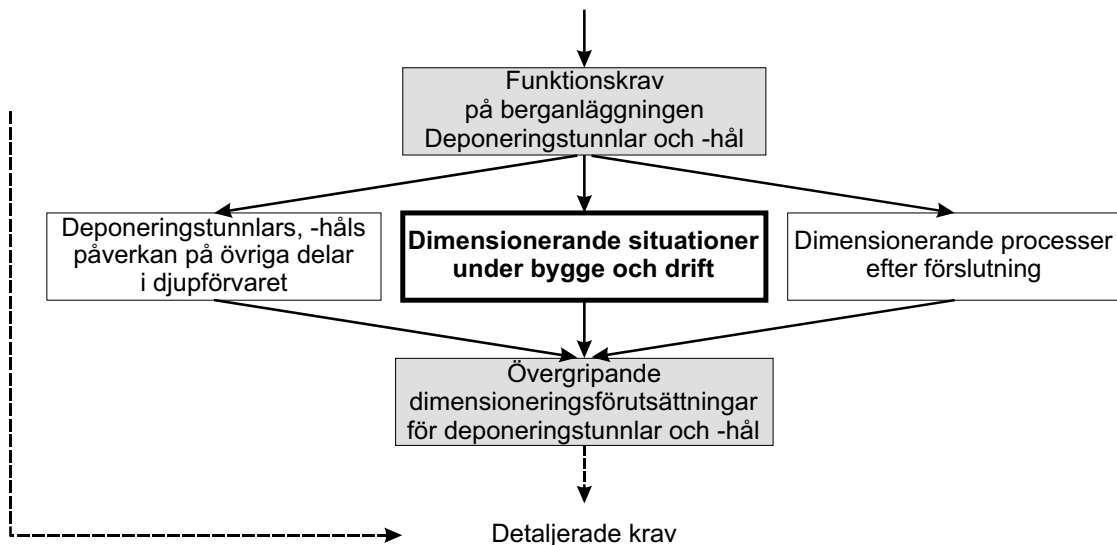
#### **10.2.5 Övriga bergrum samt undersökningsborrhål**

Deponeringstunnlarnas och deponeringshålens läge påverkar inplaceringen av övriga bergrum.

#### **10.2.6 Utrustning samt kring- och serviceanläggningar**

Utrustning som krävs för undersökning av berget, byggande och drift måste kunna rymmas i deponeringstunnlarna.

## 10.3 Dimensionerande situationer under byggande och drift



**Figur 10-3.** Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningar för deponeringstunnlar och deponeringshål

I detta avsnitt redovisas situationer som uppträder under byggande och drift /SKB, 2000, 2001d/ som påverkar utformningen av deponeringstunnlar och deponeringshål. De dimensionerande situationerna kan vara relaterade till normala förhållanden eller till missöden och avvikelser från det normala. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 10.5.

Som en bakgrund till de identifierade situationerna innehåller avsnitt 10.3.3 en kort beskrivning av byggande och drift av deponeringstunnlar och deponeringshål. De dimensionerande situationerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar.

### 10.3.1 Normala förhållanden

- **Bygge**

Under byggande av deponeringstunneln transporteras bergmassor ut ur tunneln, då deponeringshålen ska tillredas tillkommer transport och drift av bormaskiner för kärnbörning och börning av deponeringshål.

- **Drift**

Vid drift används utrustning för rengöring och kontroll av deponeringshål, samt maskiner för deponering av buffert och kapsel.

- **Parallell utbyggnad och drift**

Utbyggnad av nya transporttunnlar, deponeringstunnlar och deponeringshål sker parallellt med, samt efter, deponering.

- **Vatteninflöde**

Grundvatten rör sig in mot deponeringstunnlar och deponeringshål.

- **Tillförsel av främmande ämnen**  
Under byggande och drift förs konstruktionsmaterial och föroreningar av olika slag ned i deponeringstunnlar och deponeringshål, vidare bildas utfällningar av organiskt material på bergväggarna.
- **Uppvärmning**  
Då kapslar deponerats överförs värme från kapslarna via bufferten till berget.
- **Kontroll av närfältsberget**  
Kontrollmetoder och kontrollprocess påverkar sannolikheten att deponeringstunnlar och deponeringshål placeras och drivs i områden där bergets egenskaper erbjuder mindre goda förutsättningar för god bygg- och driftsäkerhet samt för att upprätthålla bergets barriärfunktioner.

### 10.3.2 Missöden och avvikelser från det normala

- **Deponeringshål godkänns icke**  
Deponeringshålet godkänns icke vid slutkontroll, orsaken till det kan vara att:
  - Hålet är snett eller avviker på annat sätt från de tillåtna dimensionerna.
  - Icke gynnsamma egenskaper hos det omgivande berget upptäcks.
  - Föroreningar finns kvar efter rengöring.
- **Driftavbrott**  
Ett driftavbrott inträffar under deponeringsskedet i en tunnel.

### 10.3.3 Bygge och drift av deponeringstunnlar och deponeringshål

#### *Normala förhållanden*

Från en central transporttunnel genomförs kärnbörning för att undersöka berget för de tillkommande deponeringstunnlarna. Efter godkännande av berget drivs deponeringstunnlarna. Berget runt tunneln undersöks. I godkända lägen för deponeringshål borras först ett hål med kärnborr för ytterligare kontroll. Om positionen godkänns borras deponeringshålet. När deponeringshålet tillretts avjämnas dess botten.

Då samtliga deponeringshål i en deponeringstunnel tillretts inleds deponeringen. Deponeringshålet dräneras, rengörs och kontrolleras varpå ringar av kompakterad bentonit placeras i hålet med ett för ändamålet speciellt utformat fordon. En kapsel i taget förs ned till deponeringstunnelns mynning. Där lastas kapseln på en deponeringsmaskin som för kapseln till deponeringshålet och deponerar den. Bentonitblock och återfyllningsmaterial placeras över kapseln. Värme från kapseln transporteras via bufferten över till berget. Berget värms och expanderar och bergspänningar byggs upp. När deponeringen i en tunneln är klar återfylls den och tunnelmynningen pluggas. Parallellt med deponeringen pågår utbyggnad av nya transporttunnlar, deponeringstunnlar och deponeringshål.

I samband med att deponeringstunnlar och deponeringshål tillreds, ändras spänningsförhållandena i det omgivande berget och bergrörelser och sprickbildning förekommer. Grundvatten rör sig in mot deponeringstunnlar och deponeringshål. Då reducerat grundvatten möter luftsyre i tunnlar och hål bildas utfällningar av bakterier och järnhydroxid, om processen pågår under lång tid kan stora mängder organiskt material deponeras på bergväggarna. Konsekvenser av detta är idag ej känt men skulle kunna innebära att öppettiden av deponeringstunnlar bör begränsas.

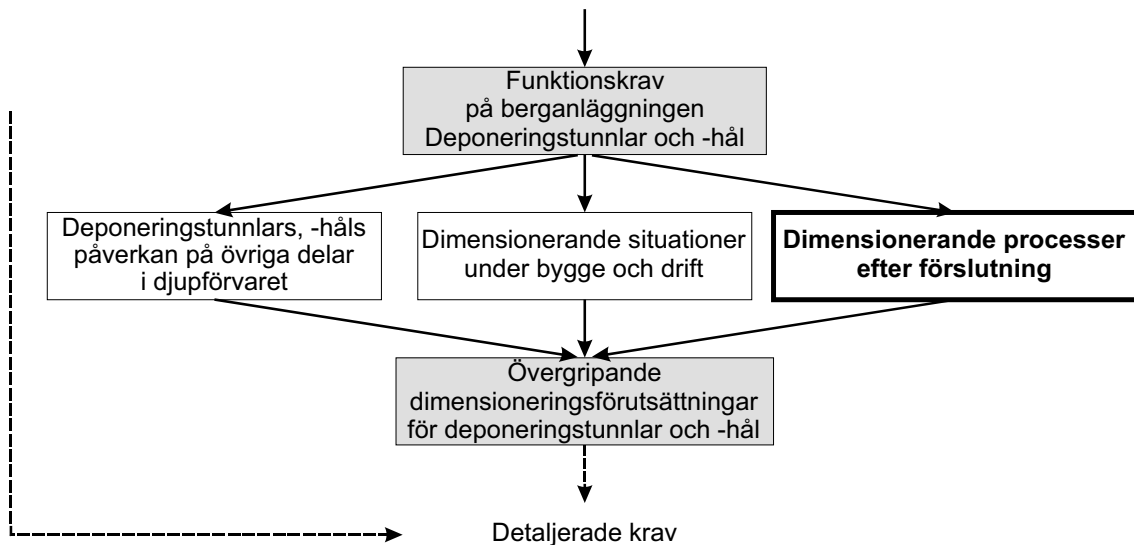
### **Missöden och avvikelser från det normala**

Vid tillredning och under perioden deponeringshålet hålls öppet kan hålets väggar deformeras så att hålets dimensioner avviker från det tillåtna. Hålet kan borras snett eller placeras in i ett olämplig bergparti, och misstaget upptäcks inte förrän hålet tillretts. Transporten av kapseln till deponeringshålet eller deponeringen av kapseln kan misslyckas. Ras i deponeringstunneln kan störa deponeringen. En brand eller ett missöde som medför att föroreningar förs ned i hålet kan inträffa.

## **10.4 Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret**

I avsnitt 9.4 i kapitel 9 Berganläggningen redovisas processer som uppträder efter förslutning av förvaret och som påverkar bergets långsiktiga utveckling. Här läggs detaljer som påverkar utformningen av deponeringstunnlar och deponeringshål till om sådana finns. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 10.5.

Tilläggen till processbeskrivningarna avsnitt 9.4 sammanfattas i avsnitt 10.4.1–10.4.5, de leder fram till dimensioneringsförutsättningar. Syftet är att redovisa vilka processer som påverkar utformningen av deponeringstunnlar och deponeringshål.



**Figur 10-4.** Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningar för deponeringstunnlar och deponeringshål.

## 10.4.1 Termiska processer

### *Värmetransport*

Högsta tillåtna temperaturer på kapselytan och bufferten har fastställts (se avsnitt 6.5 och 7.5). Dessa villkor, resteffekt i kapseln, samt buffertens och bergets värmetransportegenskaper och temperatur bestämmer minsta tillåtna avstånd mellan deponeringstunnlar och deponeringshål.

## 10.4.2 Hydrauliska processer

### *Grundvattenströmning*

Grundvattenströmning och sprickapertur påverkar fördröjningen av radionuklider i övergången mellan buffert och berg. Inverkan är dock relativt begränsad och för grundvattenflöden över en viss nivå är fördröjningen oberoende av flödet. Fördröjningen är nuklidspecifik och beror även av andra parametrar som t ex kapselskadan. Vidare kan doskriterier mötas även om fördröjningen i övergången buffert berg försummas. Extremt höga flöden och stora aperturer kan dock medföra att buffertens funktion försämras. Låg grundvattenströmning och små aperturer är därför ett önskemål, men inget krav, för att uppnå stor fördröjning. Medan det är ett krav att undvika extremt höga flöden och stora aperturer.

Grundvattenströmning, sprickornas egenskaper och sprickmineralen påverkar även närfältsbergets förmåga att förhindra grundvatten med innehåll av löst syre, lågt innehåll av tvåvärda katjoner eller hög salthalt att nå ingenjörbarriärerna.

## 10.4.3 Mekaniska processer

### *Termisk rörelse*

I skedet efter deponering kan termospänningar orsaka rörelser längs befintliga sprickor och/eller sprickbildning som påverkar avståndet mellan deponeringstunnlar och deponeringshål.

### *Reaktivering – rörelse längs befintliga sprickor*

En stor förskjutning över en deponeringstunnel kan leda till att konduktiva zoner bildas. En stor rörelse över en deponeringstunnel innebär också en risk för deformation av deponeringshål. Processen är avgörande för hur stora sprickor som kan tillåtas skära deponeringstunnlar.

En förskjutning över ett deponeringshål kan i värsta fall leda till att kapseln mister sin isolerande funktion, och skjuvrörelser över deponeringshål som kan leda till belastningar som allvarligt skadar kapseln bör undvikas. Processen är avgörande för hur stora sprickor som kan tillåtas skära ett deponeringshål.

#### **10.4.4 Kemiska processer**

##### ***Advektion blandning***

Advektion är en viktig transportprocess, den påverkar grundvattensammansättningen. Krav på isolering leder till önskemål på grundvattensammansättning i berget runt deponeringstunnlar och deponeringshål. Processen påverkar utformning av tätningar och hantering av inläckande grundvatten samt tid för öppethållande av deponeringstunnlar.

#### **10.4.5 Radionuklidtransport**

##### ***Advektion och dispersion***

Advektion är en viktig transportprocess, den påverkar transporten av radionuklider genom berget. Höga grundvattenflöden i området runt deponeringshål försämrar fördröjningen vilket leder till önskemål på högsta tillåtna grundvattenflöden i berget runt deponeringstunnlar och deponeringshål.

##### ***Sorption***

Sorption är en process som är viktig för bergets fördröjande förmåga. Sorptionen påverkas av grundvattensammansättningen och bidrar till önskemål på grundvattensammansättningen i berget runt deponeringstunnlar och deponeringshål.

##### ***Molekylär diffusion samt matrisdiffusion***

Processen bidrar till att fördröja radionuklidtransport. Krav på fördröjning leder till önskemål på matrisdiffusivitet och matrisporositet i berget runt deponeringstunnlar och deponeringshål.

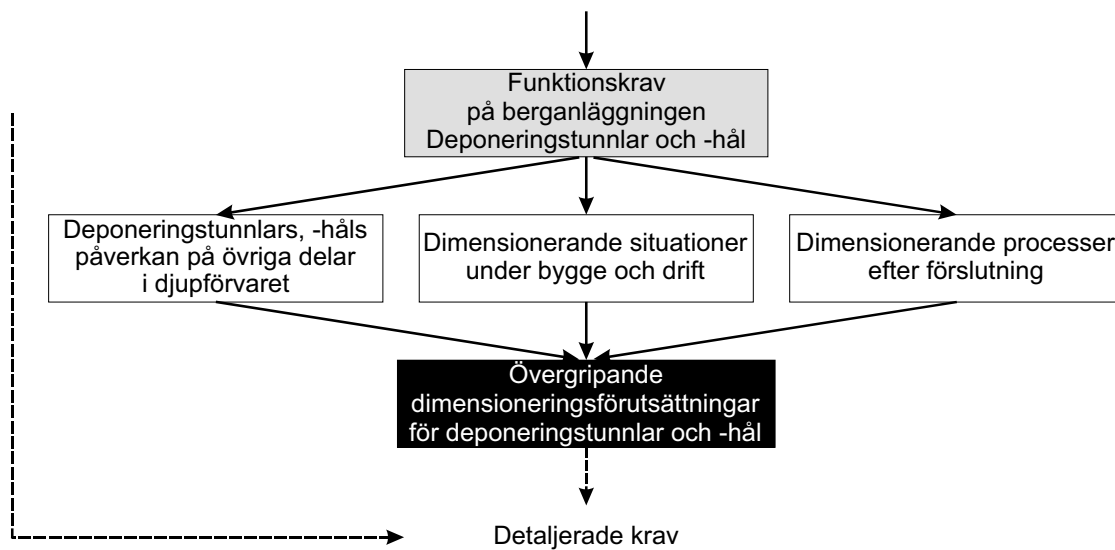
##### ***Kolloidtransport***

Hög halt av kolloider i grundvattnet kan bidra till nedsatt fördröjande förmåga hos berget. Det är därför ett önskemål att kolloidhalten i grundvattnet i berget runt deponeringstunnlar och deponeringshål är låg.

##### ***Speciering***

Radionuklidernas speciering bestäms av grundvattensammansättningen. Den påverkar löslighet och sorption och därmed bergets fördröjande förmåga. Speciering bidrar till önskemål på grundvattensammansättningen i berget runt deponeringstunnlar och deponeringshål.

## 10.5 Dimensioneringsförutsättningar



**Figur 10-5.** Aktuell del av konstruktionsförutsättningar för deponeringstunnlar och deponeringshåll.

### 10.5.1 Utformning

#### Utf Dep 1: **Rymma utrustning och installationer**

Dimensioner på deponeringstunnlar ska anpassas till den utrustning med installationer som krävs för ventilation, transport av bergmassor, undersökning av berget, tillredning och rengöring av deponeringshåll, deponering av buffert och kapslar samt återfyllning och pluggning.

#### Utf Dep 2: **Minsta avstånd**

Minsta avstånd mellan deponeringshåll och deponeringstunnlar bestäms av Utf Kpsl 7 och ska beräknas med hänsyn till:

- Bergets värmeledningsförmåga och den initiala temperaturen på förvarsdjup.
- Resteffekt – dvs den sammanlagda resteffekten hos bränslet i kapseln.
- Bufferten och dess värmetransportegenskaper.

#### Utf Dep 3: **Termisk belastning**

Givet minsta avstånd enligt Utf Dep 2 ska temperaturlast och de termospanningar i berget den ger upphov till beräknas.

#### Utf Dep 4: **Justering av minsta avstånd**

Vid behov justeras minsta avstånd enligt Utf Dep 2 så att termospanningar beräknade enligt Utf Dep 3 inte ger upphov till rörelser längs befintliga sprickor och/eller sprickbildning som kan äventyra förvarets säkerhet.

#### Utf Dep 5: **Säker deponering**

Deponeringshållspositioner ska väljas med hänsyn till sprickdensitet och vatteninflöde så att deponering av kapseln kan ske på ett säkert sätt.

#### Utf Dep 6: **Vattenmättnad av bufferten**

Deponeringshållspositioner ska väljas med hänsyn till sprickdensitet, vatteninflöde och grundvattensammansättning så att vattenmättnad av bufferten kan ske så att Utf Kpsl 7 uppfylls och övriga barriärers funktion inte försämras.



- Utf Dep 7: **Tätning och pumpning av deponeringshål**  
Behovet av tätning och pumpning för att hålla deponeringshål tillräckligt torra för säker deponering ska beräknas med hänsyn till Utf Berg 4 och 5.
- Utf Dep 8: **Tätning och pumpning av deponeringstunnlar**  
Behovet av tätning och pumpning för att hålla deponeringstunnlar tillräckligt torra för återfyllning ska beräknas med hänsyn till Utf Berg 4 och 5 samt Utför Återf 2 och 3.
- Utf Dep 9: **Övergivna deponeringshål återfylls**  
Deponeringshål som måste överges ska återfyllas.
- Utf Dep 10: **Övergivna deponeringshål stabila**  
Återfyllda övergivna deponerings hål får inte påverka omgivande berg, deponeringstunnel och intilliggande deponeringshål på ett sådant sätt att säkerheten äventyras.
- Utf Dep 11: **Återtag**  
Deponeringstunnlar och deponeringshål ska vara utformade så att en felaktigt deponerad kapsel kan återtas på ett säkert sätt.
- Utf Dep 12: **Sprickapertur vid deponeringshål**  
Sprickaperturerna vid deponeringshålen får mot bakgrund av de krav som i Utf Berg 19 ställs på grundvattenflöde och flödes hastigheter inte medge kolloidfrigörelse/erosion av bufferten.
- Utf Dep 13: **Deponeringstunnlars avstånd till sprickzoner**  
Deponeringstunnlar ska placeras med respektavstånd från regionala sprickzoner och lokala större sprickzoner.
- Utf Dep 14: **Deponeringstunnlarnas riktning**  
Deponeringstunnlarnas riktning ska bestämmas med hänsyn till huvudspänningsriktningen och vattenförande sprickors riktning så att långsiktigt stabila mekaniska och kemiska förhållanden erhålls.
- Utf Dep 15: **Deponeringshåls avstånd till sprickzoner**  
Deponeringshål placeras med respektavstånd från lokala mindre sprickzoner.
- Utf Dep 16: **Deponeringshåls dimensioner**  
Avvikelser i deponeringshålets dimension får inte ge upphov till densitetsvariationer i bufferten som leder till ojämnt svälltryck och därmed ojämn belastning av kapseln.
- Utf Dep 17: **Utökat avstånd mellan deponeringshål**  
Om berget vid en enskild deponeringshålsposition inte kan förväntas erbjuda stort motstånd mot transport av radionuklider ska avståndet till intilliggande deponeringshål beräknat enligt Utf Dep 2, 3 och 4 förlängas.

I arbetet med att utforma berganläggningen måste de parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna kvantifieras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration samt platsundersökningar fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 10-1 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt i förekommande fall det idag aktuella värdet på dem. Några av parametrarna utgörs av *geovetenskapliga lämplighetsindikatorer* /Andersson m fl, 2000/ vars värden registreras vid platsundersökningar. De geovetenskapliga lämplighetsindikatorerna används i säkerhetsanalyser för att bedöma om en plats kan uppfylla säkerhetskraven. De värden på parametrarna som anges i tabell 10-1 utgör i de flesta fall ej absoluta krav utan önskemål som i nuvarande lokaliseringsskede kan användas vid projekteringen.

**Tabell 10-1. Kvantifiering av parametrar, laster m m för återfyllningen.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utf Dep 1: Rymma utrustning och installationer	Mått på utrustning och installationer. Rörelseutrymme för fordon m m.	/SKB, 2001d/
Utf Dep 2: Minsta avstånd	$T_{kapselyta} < 100$ °C (enligt Utf Kpsl 7) Resteffekt enligt tabell 2-1.	
Utf Dep 5: Säker deponering	Måttligt antal vattenförande sprickor. Vattengenomsläpplighet $K < 10^{-8}$ m/s. Grundvattenflöde (darcyhastighet) $< 0,01$ m/år i deponeringshålskala.  Det ska gå att deponera 200 kapslar om året (en per arbetsdag).	Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer ur /Andersson m fl, 2000/ /SKB, 2001b/
Utf Dep 7: Tätning och pumpning av deponeringshål	Tätning och pumpning ska genomföras så att det går att deponera 200 kapslar om året (en per arbetsdag).	/SKB, 2001b/
Utf Dep 8: Tätning och pumpning av deponeringstunnlar	Tätning och pumpning ska genomföras så att det går att deponera 200 kapslar om året (en per arbetsdag).	/SKB, 2001b/
Utf Dep 12: Sprickapertur vid deponeringshål	Acceptabla kanalvidder 0,1–0,5 mm.	/SKB, 1999b/
Utf Dep 13: Deponeringstunnlars avstånd till sprickzoner	100 m preliminärt respektavstånd från regionala sprickzoner. 50 m preliminärt respektavstånd från lokala större sprickzoner.	/Munier m fl, 1997/ /Munier och Hermansson, 2000/
Utf Dep 15: Deponeringshåls avstånd till sprickzoner	3 m preliminärt respektavstånd från lokala mindre sprickzoner.	/Munier m fl, 1997/ /Munier och Hermansson, 2000/
Utf Dep 17: Utökat avstånd mellan deponeringshål	Se Utf Berg 17 och 19.	Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer ur /Andersson m fl, 2000/

## 10.5.2 Utförande

### Utför Dep 1: **Ej påverka förslutna deponeringsområden**

Sprängarbeten och andra bergarbeten för att driva deponeringstunnlar och anlägga deponeringshål ska utföras på sådant sätt att områden där deponering slutförts inte påverkas på sådant sätt att kapselns, buffertens, återfyllningens och närfältsbergets funktioner äventyras.

### Utför Dep 2: **Övergivna deponeringshål får ej störa utbyggnad**

Återfyllning av övergivna deponeringshål ska kunna ske på ett sådant sätt att bygge och drift kan fortgå i acceptabel takt.

### Utför Dep 3: **Kontroll av berget**

Berget runt deponeringstunnlar och deponeringshål ska kontrolleras och visas ha egenskaper och grundvattensammansättning enligt Utf berg 17, 18, 19 och 20.

### Utför Dep 4: **Godkänt innan deponering inleds**

Inför deponeringen ska utöver kontroll enligt Utför Dep 3 deponeringshålens läge och dimension kontrolleras och visas vara acceptabla.

#### Utför Dep 5: **Teknisk livslängd**

Deponeringstunnlar och deponeringshål ska hållas öppna under så kort tid som möjligt med hänsyn tagen till utbyggnad och drift.

De parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna måste kvantifieras för att berganläggningen ska kunna utformas, byggas och kontrolleras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration samt platsundersökningar fortlöper. I tabell 10-2 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 10-2. Kvantifiering av parametrar, laster m m för deponeringstunnlar och deponeringshål.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utför Dep 1: Ej påverka förslutna deponeringsområden	200 kapslar om året (en per arbetsdag) ska kunna deponeras.	/SKB, 2001b/
Utför Dep 2: Övergivna deponeringshål får ej stora utbyggnad	200 kapslar om året (en per arbetsdag) ska kunna deponeras.	/SKB, 2001b/
Utför Dep 3: Kontroll av berget	Kontrollmetoden ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras.	/SKB, 2001b/
Utför Dep 4: Godkänt innan deponering inleds	Kontrollmetoden ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) kan deponeras.	/SKB, 2001b/
Utför Dep 5: Teknisk livslängd	För närvarande bedöms den tekniska livslängden för deponeringstunnlar och deponeringshål uppgå till maximalt 5 år.	–

## 10.6 Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung

I detta avsnitt redovisas i tabellform (tabell 10-3) sambandet mellan funktionskraven på deponeringstunnlar och deponeringshål, funktionskraven på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav. Med lagkrav avses de krav i lagar, föreskrifter och internationella överenskommelser som redovisats i kapitel 3 Styrande regelverk. Ägarkrav avser krav redovisade i kapitel 4 Övriga övergripande förutsättningar och krav. I tabell 10-4 redovisas vidare sambandet mellan dimensioneringsförutsättningar, funktionskrav på berganläggningen och/eller deponeringstunnlar och deponeringshål, dimensionerande situationer och processer samt hur kraven är relaterade till andra delar i djupförvaret, samt till de olika ämnesområden i platsmodellen som redovisas i tabell 9-2.

**Tabell 10-3. Samband mellan funktionskrav på deponeringstunnlar och deponeringshål, funktionskrav på djupförvaret, lagkrav och ägarkrav.**

Funktionskrav	Funktionskrav på djupförvaret	Lagkrav och ägarkrav
<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b> Deponeringstunnlar och deponeringshål ska utformas och placeras in i berget så att området runt de deponerade kapslarna – närfältsberget – kan erbjuda en lämplig och stabil miljö för buffert och kapsel.</p>	<p><b>Dep SS 1: Isolera</b> Djupförvaret ska i första hand isolera det radioaktiva avfallet från biosfären.</p> <p><b>Djup SS 2: Fördröja</b> Om isoleringen skulle brytas har djupförvaret till uppgift att fördröja radionuklidtransport, så att nukliderna då de slutligen når biosfären inte ger upphov till skada.</p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b> Säkerheten ska baseras på flera säkerhetsfunktioner som ska upprätthållas av ett system av passiva barriärer.</p> <p><b>Djup SS 5: Strålskydd nu och i framtiden</b> Djupförvaret ska skydda människa och miljö från skadlig verkan av strålning både nu och i framtiden.</p> <p><b>Djup SS 7: Långtidsstabila barriärer</b> Barriärernas långsiktiga utveckling ska vara möjlig att utvärdera.</p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b> Säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer som är så utformade att genombrott av en barriär endast leder till begränsade omgivningskonsekvenser /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §; SKIFS 2002:1 3, 7 §/.</p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b> En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 2 §/.</p> <p><b>Lag SS 4: Identifiera händelser som kan påverka barriärer</b> Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets barriärer ska identifieras /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 5: Acceptabel tålighet hos barriärer</b> Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om händelser eller förhållanden som kan påverka barriärerna skulle inträffa /SKIFS 1998:1 2 kap 1 §, 3 kap 1 §, 4 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5, 9 §/.</p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b> Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet /SKIFS 1998:1 3 kap 1 §; SKIFS 2002:1 5 §/.</p> <p><b>Lag SS 14: Alltid acceptabla stråldoser</b> Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet, dels i framtiden /SSI FS 1998:1 3 §/.</p> <p><b>Lag SS 17: Acceptabel risk</b> Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst <math>10^{-6}</math> för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken /SSI FS 1998:1 5 §/.</p> <p><b>Lag ss 19: Redovisning av skyddsförmåga 1 000 år efter förslutning</b> För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön /SSI FS 1998:1 11 §/.</p> <p><b>Lag ss 20: Redovisning av skyddsförmåga tiden efter 1 000 år</b> För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären /SSI FS 1998:1 12 §/.</p>
<p><b>Dep SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b> Deponeringstunnlar och deponeringshål ska utformas och placeras in i berget så att området runt de deponerade kapslarna – närfältsberget – bidrar till att fördröja radionuklidtransport.</p>	<p><b>Djup SS 2: Fördröja</b></p> <p><b>Djup SS 3: Passiva barriärer med flera säkerhetsfunktioner</b></p>	<p><b>Lag SS 1: Flerfaldiga barriärer</b></p> <p><b>Lag SS 2: Ej övervakning och underhåll</b></p> <p><b>Lag SS 9: Robust system</b></p>

**Tabell 10-4. Dimensioneringsförutsättningarnas koppling till funktionskrav på berganläggningen och/eller deponeringstunnlar och deponeringshål, andra delar i djupförvaret, platsmodellen samt dimensionerande situationer och processer.**

Dimensionerings-- förutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Dep 1: Rymma utrustning och installationer</b> Dimensioner på deponeringstunnlar ska anpassas till den utrustning med installationer som krävs för ventilation, transport av bergmassor, undersökning av berget, tillredning och rengöring av deponeringshål, deponering av buffert och kapslar samt återfyllning och pluggning.</p>	<p><b>Berg Ö 4: Utformning av utrustning</b> Berganläggningen ska utformas med hänsyn till de alternativa utformningar av utrustning för bygge och drift som kan bli aktuella.</p> <p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b> Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska utformas så att stråldoser till personal och omgivning begränsas.</p> <p><b>Berg SS 5: Minimera risker för strålskador</b> Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska omfatta åtgärder avsedda att mildra konsekvenser av missöden och avvikelser från det normala.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Bygge Drift	–
<p><b>Utf Dep 2: Minsta avstånd</b> Minsta avstånd mellan deponeringshål och deponeringstunnlar bestäms av Utf Kpsl 7 och ska beräknas med hänsyn till: – Bergets värmeledningsförmåga och den initiala temperaturen på förvarsdjup. – Resteffekt – dvs den sammanlagda resteffekten hos bränslet i kapseln. – Bufferten och dess värmetransportegenskaper.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b> Deponeringstunnlar och deponeringshål ska utformas och placeras in i berget så att området runt de deponerade kapslarna – närfältsberget – kan erbjuda en lämplig och stabil miljö för buffert och kapsel.</p> <p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b> Bygge och drift av berganläggningen får endast ge begränsad påverkan på bergets och de övriga barriärernas barriärfunktioner.</p>	<p>Kapsel Kapsleffekt</p> <p>Buffert Material</p>	Termiska egenskaper	<p>Val av bränsleelement (Situation i kapsel)</p> <p>Uppvärmning och förångning av grundvatten (Situation i kapsel)</p> <p>Värmeledning (Situation i buffert)</p> <p>Uppvärmning (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>	<p>Värmetransport</p> <p>Stråldämpning/ värmealstring (Process i bränsle)</p> <p>Stråldämpning/ värmealstring (Process i kapsel)</p> <p>Värmetransport (Process i buffert)</p>
<p><b>Utf Dep 3: Termisk belastning</b> Givet minsta avstånd enligt Utf Dep 2 ska temperaturlast och de termospanningar i berget den ger upphov till beräknas.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b></p>	–	<p>Bergmekanik</p> <p>Termiska egenskaper</p>	Se Utf Dep 2	<p>Se Utf Dep 2</p> <p>Termisk rörelse</p>
<p><b>Utf Dep 4: Justering av minsta avstånd</b> Vid behov justeras minsta avstånd enligt Utf Dep 2 så att termospanningar beräknade enligt Utf Dep 3 inte ger upphov till rörelser längs befintliga sprickor och/eller sprickbildning som kan äventyra förvarets säkerhet.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b></p>	–	<p>Bergmekanik</p> <p>Termiska egenskaper</p>	Se Utf Dep 2	<p>Se Utf Dep 2</p> <p>Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor</p> <p>Sprickbildning</p>

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Dep 5: Säker deponering</b> Deponeringshålspositioner ska väljas med hänsyn till sprickdensitet och vatteninflöde så att deponering av kapseln kan ske på ett säkert sätt.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b> Berganläggningen ska projekteras, byggas ut, drivas och förslutas i enlighet med uppställda kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p>	<p>Buffert Material Dimension</p>	Hydrogeologi	<p>Vatteninflöde</p> <p>Vattenmättnad (Situation i buffert)</p> <p>Drift</p>	–
<p><b>Utf Dep 6: Vattenmättnad av bufferten</b> Deponeringshålspositioner ska väljas med hänsyn till sprickdensitet, vatteninflöde och grundvattensammansättning så att vattenmättnad av bufferten kan ske så att Utf Kpsl 7 uppfylls och övriga barriärers funktion inte försämras.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p>	<p>Buffert Material Dimension</p>	Hydrogeologi	<p>Vatteninflöde</p> <p>Vattenmättnad (Situation i buffert)</p> <p>Uppvärmning och förångning av grundvatten (Situation i kapsel)</p> <p>Värmeledning (Situation i buffert)</p> <p>Uppvärmning (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshåll)</p>	–
<p><b>Utf Dep 7: Tätning och pumpning av deponeringshåll</b> Behovet av tätning och pumpning för att hålla deponeringshåll tillräckligt torra för säker deponering ska beräknas med hänsyn till Utf Berg 4 och 5.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p>	<p>Buffert Material Dimension</p>	<p>Hydrogeologi</p> <p>Hydrogeokemi</p>	<p>Drift</p> <p>Vatteninflöde</p> <p>Vattenmättnad (Situation i buffert)</p>	–
<p><b>Utf Dep 8: Tätning och pumpning av deponeringstunnlar</b> Behovet av tätning och pumpning för att hålla deponeringstunnlar tillräckligt torra för återfyllning ska beräknas med hänsyn till Utf Berg 4 och 5 samt Utför Återf 2 och 3.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p>	<p>Återfyllning Lera Krossat berg Densitet efter packning</p>	<p>Hydrogeologi</p> <p>Hydrogeokemi</p>	<p>Utläggning (Situation i återfyllning)</p> <p>Vatteninflöde</p> <p>Vattenmättnad (Situation i återfyllning)</p>	–
<p><b>Utf Dep 9: Övergivna deponeringshåll återfylls</b> Deponeringshåll som måste överges ska återfyllas.</p>	<p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b> Bygge och drift av berganläggningen får endast ge begränsad påverkan på bergets och de övriga barriärernas barriärfunktioner.</p>	–	–	Deponeringshåll godkänns icke	–
<p><b>Utf Dep 10: Övergivna deponeringshåll stabila</b> Återfyllda övergivna deponeringshåll får inte påverka omgivande berg, deponeringstunnel och intilliggande deponeringshåll på ett sådant sätt att säkerheten äventyras.</p>	<p><b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b></p>	Återfyllning	–	Deponeringshåll godkänns icke	–

Dimensionerings-- förutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<b>Utf Dep 11: Återtag</b> Deponeringstunnlar och deponeringshål ska vara utformade så att en felaktigt deponerad kapsel kan återtas på ett säkert sätt.	<b>Berg Ö 6: Återta deponerade kapslar</b> Berganläggningen ska utformas så att ett återtag av deponerade kapslar är möjligt men åtgärder som införs för att underlätta återtag får inte påverka bergets säkerhetsfunktioner.	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Återtag (Situation i berganläggning)	–
<b>Utf Dep 12: Sprickapertur vid deponeringshål</b> Sprickaperturerna vid deponeringshålen får mot bakgrund av de krav som i Utf Berg 19 ställs på grundvattenflöde och flödeshastigheter inte medge kolloidfrigörelse/erosion av bufferten.	<b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b>  <b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b>	Buffert Material Dimension	Hydrogeologi	–	Grundvattenströmning (Process i berganläggning)  Kolloidfrigörelse/erosion (Process i buffert)
<b>Utf Dep 13: Deponeringstunnlars avstånd till sprickzoner</b> Deponeringstunnlar ska placeras med respektavstånd från regionala sprickzoner och lokala större sprickzoner.	<b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b>	–	Bergmekanik	–	Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor
<b>Utf Dep 14: Deponeringstunnlarnas riktning</b> Deponeringstunnlarnas riktning ska bestämmas med hänsyn till huvudspänningsriktningen och vattenförande sprickors riktning så att långsiktigt stabila mekaniska och kemiska förhållanden erhålls.	<b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b>  <b>Dep SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b> Deponeringstunnlar och deponeringshål ska utformas och placeras in i berget så att området runt de deponerade kapslarna – närfältsberget – bidrar till att fördröja radionuklidtransport.	–	Bergmekanik  Hydrogeologi	–	Grundvattenströmning (Process i berganläggning)  Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor (Process i berganläggning)  Sprickbildning (Process i berganläggning)  Advektion blandning (Process i berganläggning)
<b>Utf Dep 15: Deponeringshåls avstånd till sprickzoner</b> Deponeringshål placeras med respektavstånd från lokala mindre sprickzoner.	<b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b>	–	Bergmekanik	–	Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor
<b>Utf Dep 16: Deponeringshåls dimensioner</b> Avvikelser i deponeringshålens dimension får inte ge upphov till densitetsvariationer i bufferten som leder till ojämnt svälltryck och därmed ojämn belastning av kapseln.	<b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b>	Buffert Dimension Densitet efter vattenmättnad	–	Vattenmättnad (Situation i buffert)  Ojämn uppbyggnad av svälltryck (Situation i buffert)  Svälltryck från buffert (Situation i kapsel)  Ojämnt svälltryck (Situation i kapsel)	–

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utför Dep 17: Utökat avstånd mellan deponeringshål</b> Om berget vid en enskild deponeringshålsposition inte kan förväntas erbjuda stort motstånd mot transport av radionuklider ska avståndet till intilliggande deponeringshål beräknat enligt Utför Dep 2, 3 och 4 förlängas</p>	<p><b>Dep SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b></p>	–	Bergets transport-egenskaper	–	<p>Grundvattenströmning</p> <p>Advektion blandning</p> <p>Diffusion</p> <p>Advektion och dispersion</p> <p>Sorption</p> <p>Molekylär diffusion samt matrisdiffusion</p>
<p><b>Utför Dep 1: Ej påverka förslutna deponeringsområden</b> Sprängarbeten och andra bergarbeten för att driva deponeringstunnlar och anlägga deponeringshål ska utföras på sådant sätt att områden där deponering slutförts inte påverkas på sådant sätt att kapselns, buffertens, återfyllningens och närfälsbergets funktion äventyras.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg SS 3: Ej försämrade barriärfunktioner</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p>	–	–	Parallell utbyggnad och drift	–
<p><b>Utför Dep 2: Övergivna deponeringshål får ej störa utbyggnad</b> Återfyllning av övergivna deponeringshål ska kunna ske på ett sådant sätt att bygge och drift kan fortgå i acceptabel takt.</p>	<p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p>	–	–	Deponeringshål godkänns icke	–
<p><b>Utför Dep 3: Kontroll av berget</b> Berget runt deponeringstunnlar och deponeringshål ska kontrolleras och visas ha egenskaper och grundvattensammansättning enligt Utför Dep 17, 18, 19 och 20.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p>	–	–	Kontroll av närfälsberget	–
<p><b>Utför Dep 4: Godkänt innan deponering inleds</b> Inför deponeringen ska utöver kontroll enligt Utför Dep 3 deponeringshålens läge och dimension kontrolleras och visas vara acceptabla.</p>	<p><b>Dep SS 1: Stabil miljö i berget</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p>	–	–	Kontroll av närfälsberget	–
<p><b>Utför Dep 5: Teknisk livslängd</b> Deponeringstunnlar och deponeringshål ska hållas öppna under så kort tid som möjligt med hänsyn tagen till utbyggnad och drift.</p>	<p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p> <p><b>Berg Ö 7: Tid för öppethållande</b> Berganläggningen ska kunna hållas öppen i den tid som krävs för att deponera allt använt kärnbränsle som ingår i det svenska kärnkraftsprogrammet.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Bygge Drift	–

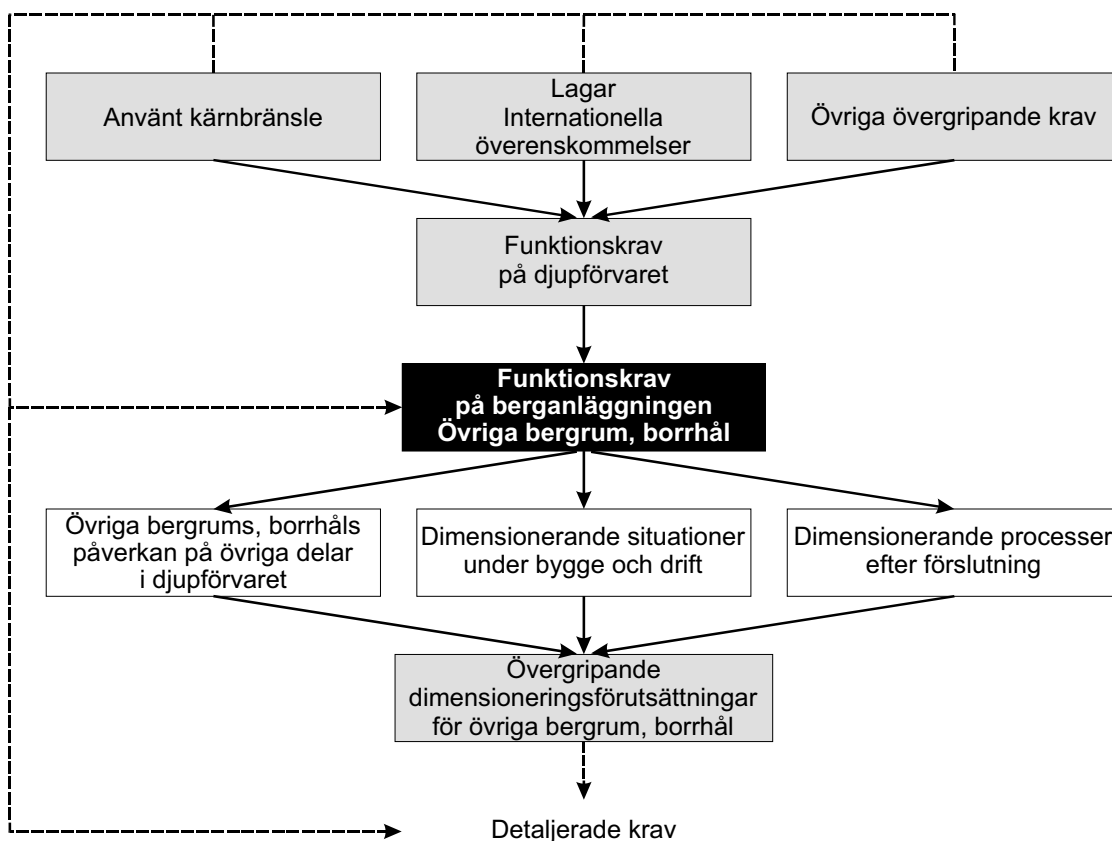


# 11 Övriga bergrum samt undersökningsborrhål

Berget i området utanför deponeringsområdena ska bidra till att ge ingenjörbarriärerna en stabil miljö och till att fördröja radionuklidtransport från närfältsberget, dvs berget i området kring de deponerade kapslarna, till ytan. Detta funktionskrav på berget är utgångspunkten för placeringen i berget och förslutningen av övriga bergrum, dvs ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo samt undersökningsborrhål.

## 11.1 Funktionskrav

De krav som i avsnitt 9.1 ställs på berganläggningen gäller för övriga bergrum, dvs ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo samt undersökningsborrhål.



**Figur 11-1.** Aktuell del av konstruktionsförutsättningar för berganläggningen. Färgade fält utgör konstruktionsförutsättningar, vita utgör bakgrund till konstruktionsförutsättningar.

### 11.1.1 Säkerhet och strålskydd

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

### 11.1.2 Miljö

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

### 11.1.3 Byggande och drift

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

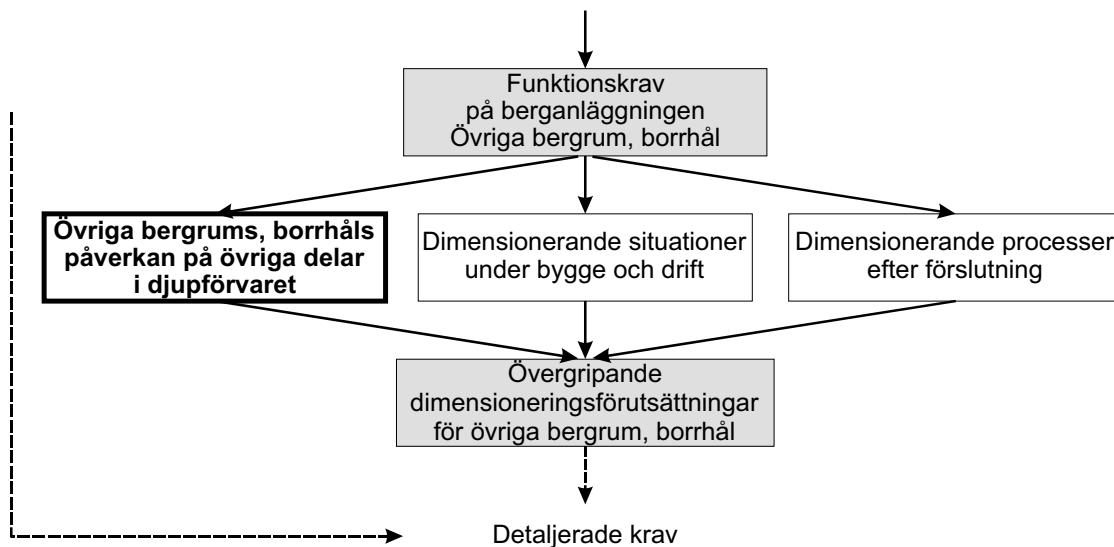
### 11.1.4 Internationella överenskommelser

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

### 11.1.5 Övriga förutsättningar och krav

Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

## 11.2 Påverkan på övriga delar i djupförvaret



*Figur 11-2. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningar för övriga bergtrum samt undersökningsborrhål.*

Utformningen av övriga bergrum, dvs ramp, tunnlar och schakt, samt hallar och bergsilo, är kopplad till och beror av utformningen av andra delar i djupförvaret. Utformning och placering av undersökningsborrhål beror av undersökningsbehovet och påverkar i sig inte utformningen av andra delar. I detta avsnitt redovisas hur ramp, tunnlar och schakt, samt hallar och bergsilo påverkar övriga delar. Hur övriga delar påverkar ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo samt borrhål redovisas under motsvarande rubrik i kapitlen om respektive del. Syftet är att få en överblick över hur förändringar av ramp, tunnlar och schakt samt hallar och bergsilo påverkar utformningen av övriga delar och vice versa.

### **11.2.1 Konstruktionsbestämmande parametrar**

Ramp, tunnlar och schakt, samt hallar och bergsilo påverkar utformningen av andra delar i djupförvaret genom parametrarna:

- Läge
  - djup i förvarsberget
  - relation till sprickzoner och sprickor
  - avstånd till andra bergrum
  - orientering
- Dimension
  - tvärsnitt
  - längd
- Konstruktioner
  - bergförstärkning
  - tätning
  - övriga
- Vatteninflöde

### **11.2.2 Kapsel**

Beroende på bergrummens läge och vatteninflöde kan konstruktioner i dem komma att påverka den kemiska miljön runt kapseln.

### **11.2.3 Buffert**

Beroende på bergrummens läge och vatteninflöde kan konstruktioner i dem komma att påverka den kemiska miljön runt bufferten.

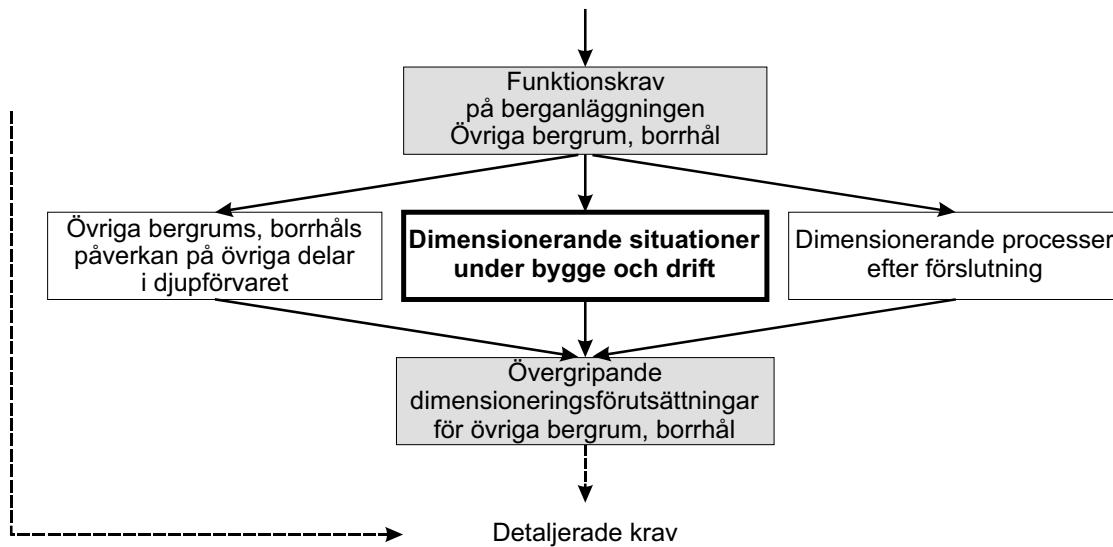
### **11.2.4 Återfyllning**

Bergrummens läge, vatteninflöde och konstruktioner påverkar den kemiska miljön i återfyllningen.

### **11.2.5 Utrustning samt kring- och serviceanläggningar**

Utrustning som krävs för undersökning av berget, byggande och drift måste kunna rymmas i bergrum och undersökningsborrhål.

## 11.3 Dimensionerande situationer under byggande och drift



*Figur 11-3. Aktuell del av bakgrund till konstruktionsförutsättningar för övriga bergtrum samt undersökningsborrhål.*

I detta avsnitt redovisas situationer som uppträder under byggande och drift /SKB, 2000, 2001d, 2002a,b/ som påverkar utformningen av övriga bergtrum samt undersökningsborrhål. De dimensionerande situationerna kan vara relaterade till normala förhållanden eller till missöden och avvikelser från det normala. Avsnittet innehåller inga konstruktionsförutsättningar utan syftar till att ge en bakgrund till de dimensioneringsförutsättningar som redovisas i avsnitt 11.5.

Som en bakgrund till de identifierade situationerna innehåller avsnitt 11.3.3 en kort beskrivning av byggande och drift av övriga bergtrum. De dimensionerande situationerna leder fram till dimensioneringsförutsättningar.

### 11.3.1 Normala förhållanden

- **Bergförstärkning**  
För att undvika ras förstärks bergtrummen.
- **Tätning och dränering**  
Vattenförande sprickzoner och sprickor tätas och grundvatten som kommer in i bergtrummen pumpas upp till ytan.
- **Utrustning och installationer**  
Bergtrum förses med utrustning och installationer som krävs för verksamheten.
- **Undersökning av berget**  
Berget undersöks för att ge den platsbeskrivning som behövs för projektering och säkerhetsanalys.
- **Förslutning**  
Då driftperioden avslutats försluts övriga bergtrum, dvs ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo samt undersökningsborrhål.

### **11.3.2 Missöden och avvikelser från det normala**

Se avsnitt 9.3.2.

### **11.3.3 Bygge och drift av övriga bergrum samt undersökningsborrhål**

#### ***Normala förhållanden***

Undersökning av berget för att placera in tillträde till förvarsdjup i form av ramp och/eller schakt genomförs från ytan, bl a i borrhål. Efter godkännande av inplacering drivs ramp och/eller schakt, allteftersom byggnationen fortskrider undersöks berget. Förstärkningsåtgärder och tätningar införs efter behov och grundvatten som läcker in pumpas upp till ytan. Godkänns berget fortsätter drivningen enligt fastställd plan. Installationer och konstruktioner som el, ventilation, belysning, skyltar, infästningar, portar och körbanor byggs och anläggs successivt.

Då förvarsdjup nås genomförs undersökningar, som bl a omfattar borrhål, och en undersökningstunnel drivs till det första planerade deponeringsområdet. Efter undersökning och godkännande av berget anläggs transporttunnlar, hallar och bergsilo som krävs för fortsatt byggande och drift med hänsyn tagen till den ytterligare information om förvarsberget som tillkommit. Nödvändiga installationer och konstruktioner anläggs.

Under bygg- och driftskedet behövs följande funktioner under jord:

- Omlastning av kapsel
- Förråd- och verkstad
- Personalutrymme
- Ventilation
- Elcentral
- Fordonsuppställning och -tankning
- Bergdränage
- Upplag av bergmassor
- Omlastning av återfyllningsmassor

Hallar och bergsilo planeras för respektive funktion.

Då deponeringen av bränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet slutförts och godkänts försluts samtliga bergrum och undersökningsborrhål.

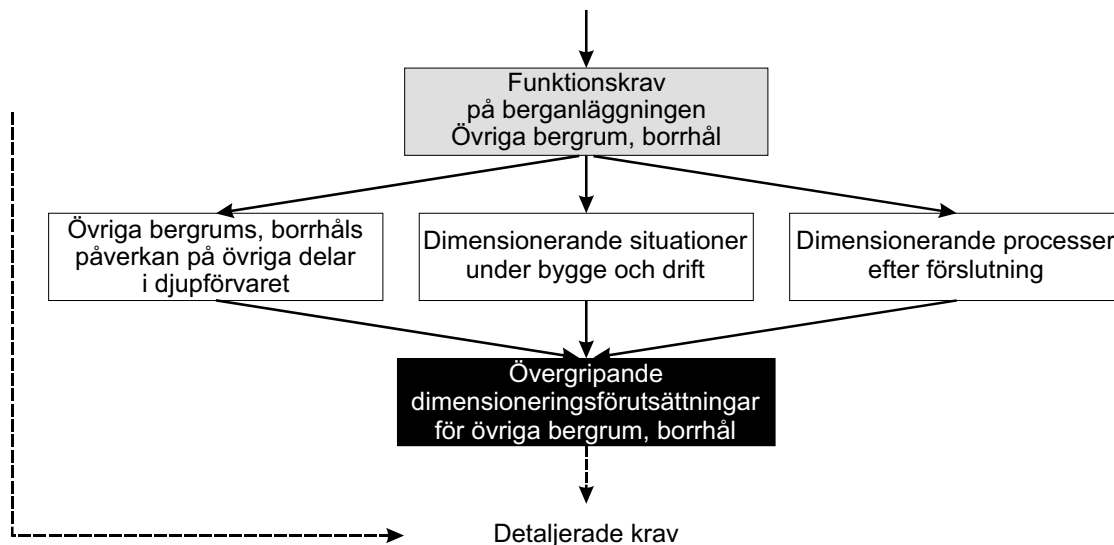
#### ***Missöden och avvikelser från det normala***

Bergets egenskaper avviker från de förväntade, utformningen av förvaret måste förändras radikalt eller utbyggnaden måste avbrytas helt och hållet. En brand eller ett missöde som medför att föroreningar förs ned i förvaret och in i deponeringsområdena inträffar.

## 11.4 Dimensionerande processer efter förslutning av förvaret

I avsnitt 9.4 i kapitel 9 Berganläggningen redovisas processer som uppträder efter förslutning av förvaret och som påverkar bergets långsiktiga utveckling. Dessa processer är relevanta för övriga bergum samt undersökningsborrhål och inga ytterligare detaljer som påverkar utformningen behövs läggas till.

## 11.5 Dimensioneringsförutsättningar



Figur 11-4. Aktuell del av konstruktionsförutsättningarna för berganläggningen.

### 11.5.1 Utformning

#### Utf Övr 1: **Minimera påverkan på djupförvarets barriärer**

Placeringen av övriga bergum, dvs ramp, tunnlar och schakt samt hallar och bergsilo, i förhållande till deponeringstunnlar och deponeringshål ska vara sådan att bergummen såväl under drift som efter återfyllning påverkar förvarsbergets barriärfunktioner i så liten mån som möjligt.

#### Utf Övr 2: **Förslutning**

Övriga bergum, dvs ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo samt undersökningsborrhål ska förslutas på ett sådant sätt att förvarsbergets barriärfunktioner påverkas i så liten mån som möjligt.

#### Utf Övr 3: **Rymma aktiviteter, funktioner, utrustning och installationer**

Ramp, tunnlar och schakt, samt hallar och bergsilo ska utformas med hänsyn till aktiviteter, funktioner, utrustning och installationer de ska rymma.

#### Utf Övr 4: **Flexibilitet**

Vid beräkning av utrymmeskrav enligt Utf Övr 1 ska hänsyn tas till kända möjliga förändringar av utrymme för deponering, transportbehov, installationer och system som krävs för byggande och drift.

- Utf Övr 5: **Lutning på ramp och tunnlar**  
Lutning på ramp och tunnlar ska vara tillräckligt stor för att inte komplicera omhändertagande av inläckande vatten men inte större än att transporter kan genomföras på ett säkert och effektivt sätt.
- Utf Övr 6: **Kurvradier på ramp och tunnlar**  
Kurvradier på ramp och tunnlar ska vara tillräckligt stora med hänsyn till de fordon som ska användas i dem.
- Utf Övr 7: **Läge för hallar och bergsilo**  
Det inbördes läget för hallar och bergsilo bestäms av krav på verksamheten/funktionen.
- Utf Övr 8: **Undersökningsborrhål och -tunnlar**  
Borrhål och tunnlar avsedda för undersökning av berget placeras med hänsyn till projekterings och säkerhetsanalysens behov.
- Utf Övr 9: **Ej störa grannar**  
Förbindelser med markytan ska med hänsyn till de aktiviteter och installationer de avser att rymma placeras in och utformas så att grannar störs i minsta möjliga mån.
- Utf Övr 10: **Ej tillåta utförelse av kapslar**  
Förbindelser mellan deponeringsområden och markytan ska antingen kunna övervakas eller ej tillåta transport av kapslar med använt kärnbränsle.

I arbetet med att utforma berganläggningen måste de parametrar, laster m m som nämns i dimensioneringsförutsättningarna kvantifieras. Storleken på parametrar, laster m m bestäms utifrån aktuell kunskap. Ny kunskap tillkommer allteftersom forskning, utveckling och demonstration fortlöper och nya säkerhetsanalyser genomförs. I tabell 11-1 sammanställs de parametrar, laster m m som kan kvantifieras idag, samt det idag aktuella värdet på dem.

**Tabell 11-1. Kvantifiering av parametrar, laster m m för övriga bergrum.**

Dimensioneringsförutsättning	Parameter, last	Referens
Utf Övr 1: Rymma aktiviteter, utrustning och installationer	Mått på utrustning och installationer. Rörelseutrymme för fordon m m. Transportkapacitet. Lagringskapacitet.	/SKB, 2001d/
Utf Övr 3: Lutning på ramp och tunnlar	Rekommenderad minsta lutning 1:100. Rekommenderad största lutning mellan 1:8 och 1:10.  De transporter som krävs för att kunna deponera 200 kapslar om året (en per arbetsdag) ska kunna passera.	/SKB, 2001b/ /SKB, 2001d/
Utf Övr 4: Kurvradier på ramp och tunnlar	De transporter som krävs för att kunna deponera 200 kapslar om året (en per arbetsdag) ska kunna passera	/SKB, 2001b/
Utf Övr 5: Läge för hallar och bergsilo	Placeringen ska medge att 200 kapslar om året (en per arbetsdag) ska kunna deponeras	/SKB, 2001b/

## 11.5.2 Utförande

Utför Övr 1: **Teknisk livslängd**

Djupförvarets övriga bergrum dvs, ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo ska kunna hållas öppna i den tid som krävs för att deponera allt använt kärnbränsle som ingår i det svenska kärnkraftsprogrammet.

För närvarande bedöms den tekniska livslängden för övriga bergrum dvs, ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo uppgå till minst 50 år och maximalt 100 år.

## 11.6 Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung

I detta avsnitt redovisas i tabell 11-2 sambandet mellan dimensioneringsförutsättningar på övriga bergrum, funktionskrav på berganläggningen, dimensionerande situationer och processer samt hur kraven är relaterade till andra delar i djupförvaret.

**Tabell 11-2. Dimensioneringsförutsättningarnas koppling till funktionskrav på berganläggningen, andra delar i djupförvaret, samt dimensionerande situationer och processer.**

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process	
<b>Utf Övr 1: Minimera påverkan på djupförvarets barriärer</b> Placeringen av övriga bergrum, dvs ramp, tunnlar och schakt samt hallar och bergsilo, i förhållande till deponeringstunnlar och deponeringshål ska vara sådan att bergrummen såväl under drift som efter återfyllning påverkar förvarsbergets barriärfunktioner i så liten mån som möjligt.	<b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b> Berganläggningen ska utformas så att bergrunden på förvarsplatsen efter förslutning av förvaret ger förvarets ingenjörbarriärer en lämplig och mekaniskt och kemiskt stabil miljö.	–	Hydrogeologi Hydrogeokemi	Förslutning	Grundvattenströmning Advektion blandning	
	<b>Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b> Berganläggningen ska utformas så att bergrunden på förvarsplatsen efter förslutning av förvaret fördröjer transport av radionuklider till biosfären.					
	<b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b> Bygge och drift av berganläggningen får endast ge begränsad påverkan på bergets och de övriga barriärernas barriärfunktioner.					
<b>Utf Övr 2: Förslutning</b> Övriga bergrum, dvs ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo samt undersökningsborrhål ska förslutas på ett sådant sätt att förvarsbergets barriärfunktioner påverkas i så liten mån som möjligt.	<b>Berg SS 1: Stabil miljö i berget</b>	–	Hydrogeologi Hydrogeokemi	Förslutning	Grundvattenströmning	
	<b>Berg SS 2: Fördröja radionuklidtransport</b>				Advektion blandning	
	<b>Berg SS 3: Ej försämra barriärfunktioner</b>					



Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupföret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Övr 3: Rymma aktiviteter, funktioner, utrustning och installationer</b> Ramp, tunnlar och schakt, samt hallar och bergsilo ska utformas med hänsyn till aktiviteter, funktioner, utrustning och installationer de ska rymma.</p>	<p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b> Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska utformas så att stråldoser till personal och omgivning begränsas.</p> <p><b>Berg SS 5: Minimera risker för strålskador</b> Utrustning och rutiner för hantering och deponering av kärnbränsle ska omfatta åtgärder avsedda att mildra konsekvenser av missöden och avvikelser från det normala.</p> <p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b> Val av material, fysisk utformning och etablering av rutiner för hantering av bergmassor, ventilationsluft m m ska göras med hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker.</p> <p><b>Berg BD 3: Minimera konsekvens av olyckor</b> Berganläggningen ska förses med utrustning och utrymmen för att minimera konsekvenserna av brand och andra olyckor.</p> <p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b> Rutiner, installationer samt förstärkningsåtgärder ska utformas så att ett gott arbetarskydd upprätthålls.</p> <p><b>Berg Ö 3: Parallell utbyggnad och drift</b> Utformning av anläggning, utrustning och rutiner ska göras så att undersökningar, byggande och drift kan genomföras parallellt och så att sannolikheten för avbrott i utbyggnad och drift hålls låg.</p> <p><b>Berg Ö 4: Utformning av utrustning</b> Berganläggningen ska utformas med hänsyn till de alternativa utformningar av utrustning för bygge och drift som kan bli aktuella.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	<p>Geologi</p> <p>Bergmekanik</p> <p>Hydrogeologi</p>	<p>Utrustning och installationer</p> <p>Transporter (Situation i berganläggning)</p> <p>Flera parallella aktiviteter (Situation i berganläggning)</p>	–

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Övr 4: Flexibilitet</b> Vid beräkning av utrymmeskrav enligt Utf Övr 1 ska hänsyn tas till kända möjliga förändringar av utrymme för deponering, transportbehov, installationer och system somkrävs för byggande och drift.</p>	<p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b></p> <p><b>Berg SS 5: Minimera risker för strålskador</b></p> <p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b></p> <p><b>Berg BD 3: Minimera konsekvens av olyckor</b></p> <p><b>Berg BD 4: Gott arbetarskydd</b></p> <p><b>Berg Ö 3: Parallell utbyggnad och drift</b></p> <p><b>Berg Ö 4: Utformning av utrustning</b></p> <p><b>Berg Ö 5: Utökade deponeringsområden</b> Berganläggningen ska utformas med hänsyn till att områden för deponering av använt kärnbränsle kan komma att utökas och områden för deponering av låg- och medelaktivt långlivat avfall kan tillkomma.</p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Geologi Bergmekanik Hydrogeologi	Utrustning och installationer  Transporter (Situation i berganläggning)	–
<p><b>Utf Övr 5: Lutning på ramp och tunnlar</b> Lutning på ramp och tunnlar ska vara tillräckligt stor för att inte komplicera omhändertagande av inläckande vatten men inte större än att transporter kan genomföras på ett säkert och effektivt sätt.</p>	<p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b> Berganläggningen ska projekteras, byggas ut, drivas och förslutas i enlighet med uppställda kvalitetskrav i önskad takt och till en rimlig kostnad.</p> <p><b>Berg Ö 4: Utformning av utrustning</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Hydrogeologi	Tätning och dränering  Vatteninläckage (Situation i berganläggning)  Transporter (Situation i berganläggning)	–
<p><b>Utf Övr 6: Kurvradier på ramp och tunnlar</b> Kurvradier på ramp och tunnlar ska vara tillräckligt stora med hänsyn till de fordon som ska användas i dem.</p>	<p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p> <p><b>Berg Ö 4: Utformning av utrustning</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	–	Transporter (Situation i berganläggning)	–
<p><b>Utf Övr 7: Läge för hallar och bergsilo</b> Det inbördes läget för hallar och bergsilo bestäms av krav på verksamheten/funktionen.</p>	<p><b>Berg SS 4: Strålskydd under drifttiden</b></p> <p><b>Berg BD 2: Hänsyn till hälsa, miljö och olycksrisker</b></p> <p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p> <p><b>Berg Ö 4: Utformning av utrustning</b></p>	Utrustning samt kring- och serviceanläggningar	Geologi Bergmekanik	Utrustning och installationer	–

Dimensionerings-förutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Ämnesområde i platsmodell	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Övr 8: Undersökningsborrhål och -tunnlar</b> Borrhål och tunnlar avsedda för undersökning av berget placeras med hänsyn till projekterings och säkerhetsanalysens behov.</p>	<p><b>Berg Ö 3: Parallell utbyggnad och drift</b></p>	–	<p>Geologi</p> <p>Bergmekanik</p> <p>Termiska egenskaper</p> <p>Hydrogeologi</p> <p>Hydrogeokemi</p> <p>Bergets transport-egenskaper</p>	Undersökning av berget	–
<p><b>Utf Övr 9: Ej störa grannar</b> Förbindelser med markytan ska med hänsyn till de aktiviteter och installationer de avser att rymma placeras in och utformas så att grannar störs i minsta möjliga mån.</p>	<p><b>Berg BD 1: Ej störa kringboende</b> Berganläggningen ska utformas så att grannar störs i minsta möjliga mån.</p>	Utrustning samt kring- och service-anläggningar	Människan	<p>Utrustning och installationer</p> <p>Transporter (Situation i berganläggning)</p> <p>Flera parallella aktiviteter (Situation i berganläggning)</p>	–
<p><b>Utf Övr 10: Ej tillåta utförsel av kapslar</b> Förbindelser mellan deponeringsområden och markytan ska antingen kunna övervakas eller ej tillåta transport av kapslar med använt kärnbränsle.</p>	<p><b>Berg I 1: Kontroll av klyvbart material</b> Möjligheterna att på ett säkert sätt övervaka att kapslar med använt kärnbränsle inte förs upp ur förvaret ska övervägas vid utformningen av berganläggningen.</p>	Utrustning samt kring- och service-anläggningar	Människan	<p>Transporter (Situation i berganläggning)</p> <p>Flera parallella aktiviteter (Situation i berganläggning)</p>	–
<p><b>Utför Övr 1: Teknisk livslängd</b> Djupförvarets övriga bergum dvs, ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo ska kunna hållas öppna i den tid som krävs för att deponera allt använt kärnbränsle som ingår i det svenska kärnkraftsprogrammet.</p>	<p><b>Berg Ö 1: Tillförlitlig och effektiv utbyggnad</b></p> <p><b>Berg Ö 7: Tid för öppethållande</b> Berganläggningen ska kunna hållas öppen i den tid som krävs för att deponera allt använt kärnbränsle som ingår i det svenska kärnkraftsprogrammet.</p>	Utrustning samt kring- och service-anläggningar	–	<p>Bergförstärkning</p> <p>Tätning och dränering</p> <p>Utrustning och installationer</p>	–

## 12 Pluggar i deponeringstunnlar

Då deponeringen i en deponeringstunnel är klar och tunneln återfyllts pluggas tunnelmynningen och vatten rör sig in mot deponeringstunneln. Pluggen ska hålla återfyllningen på plats så länge transporttunneln vid deponeringstunnelns mynning är öppen, och hindra tillträde till den återfyllda deponeringstunneln.

### 12.1 Funktionskrav

De krav som i avsnitt 9.1 ställs på berganläggningen gäller även för pluggar i deponeringstunnlar. Funktionskraven på berganläggningen fokuserar på djupförvarets avsedda funktion, att under lång tid isolera det använda kärnbränslet från biosfären. Pluggen har ingen funktion då förvaret förslutits och flera av kraven som ställs på berganläggningen är därför inte relevanta för pluggen. Inga krav utöver de som gäller berganläggningen som helhet har formulerats.

### 12.2 Påverkan på övriga delar i djupförvaret

Utformningen av pluggen beror av utformningen av återfyllning och deponeringstunnlar samt av utformningen av berganläggningen som helhet och tiden för öppethållande. Pluggen anpassas till övriga delar av djupförvaret. Övriga delar påverkar pluggen och inte vice versa. Under bygg- och drifttiden kommer dock pluggen att påverka återfyllning och berget i sin närmaste omgivning.

#### 12.2.1 Konstruktionsbestämnade parametrar

Under drifttiden påverkar pluggen återfyllning samt berget i sin närmaste omgivning genom parametrarna:

- Dimension
- Material

#### 12.2.2 Återfyllning

Då vatten rör sig in i den återfyllda deponeringstunneln utövar pluggen ett mothållande tryck mot vattentryck och det svälltryck som byggs upp i återfyllningen.

#### 12.2.3 Deponeringstunnlar

Vid infästningen in i berget förs påkänningen i pluggen över till det omgivande berget.

## 12.3 Dimensionerande situationer under byggande och drift

### 12.3.1 Normala förhållanden

- **Vattenmättnad**

Vatten rör sig in mot den återfyllda deponeringstunneln och ett svälltryck utvecklas i återfyllningen.

### 12.3.2 Bygge och drift

Då deponeringen i en deponeringstunnel är klar och då tunneln återfyllts byggs en plugg i tunnelmynningen. Transporttunneln fortsätter vara i drift.

## 12.4 Dimensionerande processer efter förvaret förslutits

I avsnitt 9.4 i kapitel 9 Berganläggningen redovisas processer som uppträder efter förslutning av förvaret och som påverkar bergets långsiktiga utveckling. Inga ytterligare detaljer som påverkar utformningen pluggar i deponeringstunnlar behöver läggas till.

## 12.5 Dimensioneringsförutsättningar

### 12.5.1 Utformning

Utf Plugg 1: **Motstå vatten- och svälltryck**

Pluggar i deponeringstunnlar ska motstå det vatten- och svälltryck som uppstår då vatten rör sig in mot den återfyllda deponeringstunneln.

Utf Plugg 2: **Begränsad påverkan på långsiktig funktion**

Pluggar i deponeringstunnlar betraktas som konstruktionsmaterial, och ska visas ha begränsad betydelse för djupförvarets funktion efter förslutning.

### 12.5.2 Utförande

Inga övergripande dimensioneringsförutsättningar för utförande av pluggar i deponeringstunnlar har identifierats.

## 12.6 Sammanställning av konstruktionsförutsättningar och deras samband och ursprung

I tabell 12-1 redovisas sambandet mellan dimensioneringsförutsättningar, funktionskrav på pluggar i deponeringstunnlar, dimensionerande situationer och processer samt hur kraven är relaterade till andra delar i djupförvaret.

**Tabell 12-1. Dimensioneringsförutsättningarnas koppling till funktionskrav, andra delar i djupförvaret, samt dimensionerande situationer och processer.**

Dimensioneringsförutsättning	Funktionskrav	Påverkan på annan del i djupförvaret	Dimensionerande situation	Dimensionerande process
<p><b>Utf Plugg 1: Motstå vatten- och svälltryck</b>                      Pluggar i deponerings-tunnlar ska kunna motstå det vatten- och svälltryck som uppstår då vatten rör sig in mot den återfyllda deponerings-tunneln.</p>	<p><b>Berg Ö 2: Parallell utbyggnad och drift</b>                      Utformning av anläggning, utrustning och rutiner ska göras så att undersökningar, byggande och drift kan genomföras på ett effektivt sätt och sannolikheten för avbrott i utbyggnad och drift hålls låg.</p>	<p>Återfyllning                      Lera                      Krossat berg</p>	<p>Vatteninflöde                      (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>	<p>–</p>
<p><b>Utf Plugg 2: Begränsad påverkan på långsiktig funktion</b>                      Pluggar i deponerings-tunnlar betraktas som konstruktionsmaterial, och ska visas ha begränsad betydelse för djupförvarets funktion efter förslutning.</p>	<p><b>Berg SS 3: Ej försämrade barriärfunktioner</b>                      Bygge och drift av berganläggningen får endast ge begränsad påverkan på bergets och de övriga barriärernas barriärfunktioner.</p>	<p>–</p>	<p>Tillförsel av främmande ämnen                      (Situation i deponeringstunnlar och deponeringshål)</p>	<p>Mikrobiella processer                      (Process i berganläggning)                       Nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial                      (Process i berganläggning)</p>

# Referenser

**AFS 1994:17.** Sprängarbete.

**AFS 1997:3.** Bergarbete.

**AFS 2000:3.** Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar.

**Almén K-A, Stanfors R, Svemar C, 1996.** Nomenklatur och klassificering av geologiska strukturer vid platsundersökningar för SKB:s djupförvar. SKB PR D-96-029, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Andersson J, Almén K-E, Ericsson L O, Fredriksson A, Karlsson F, Stanfors R, Ström A, 1997.** Parametrar av betydelse att bestämma vid geoteknisk platsundersökning. SKB R-97-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Andersson J, 1999.** Data and data uncertainties. Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations. SKB TR-99-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Andersson J, Ström A, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geotekniska lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Benjamin L A, Hardic D, Parkins R N, 1988.** Stress corrosion resistance of pure coppers in groundwaters and sodium nitrite solution. Br. Corros. J. 88, 89-95.

**Boverket.** BBK 94, Betongkonstruktioner.

**Boverket.** BSK 99, Stålkonstruktioner.

**Boverket, 1998.** BFS 1998:39 BKR 3. BKR 1998:39 Kap 4 Geokonstruktioner.

**Börgesson L, 1992.** Interaction between rock, bentonite, buffer and canister. FEM calculations of some mechanical effects on the canister in different disposal concepts. SKB TR 92-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Cakmak E, 1994.** Beräkningar av maximal töjning i kopparbehållare för slutförvaring av utbränt kärnbränsle. SKB Inkapsling PPM 95-3420-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Ekberg, 1995.** Lagringsbehållare för utbränt kärnbränsle, kollapstryck hos gjuten cylinder. SKB Inkapsling PPM 95-3420-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Guinan M W, 2001.** Radiation effects in spent nuclear fuel canisters. SKB TR 01-32, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Hedin A, 1997.** Använt kärnbränsle – hur farligt är det? En delrapport från projektet ”Beskrivning av risk”. SKB R-97-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Henshaw J, Hoch A, Sharland S M, 1990.** Further assessment studies of the Advanced Cold Process Canister. AEA Decommissioning & Radwaste, AEA D&R 0060.

**Henshaw J, 1994.** Modelling of nitric acid production in the Advanced Cold Process Canister due to irradiation of moist air. SKB TR 94-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Håkansson R, 1999.** Beräkning av nuklidinnehåll, resteffekt, aktivitet samt doshastighet för utbränt kärnbränsle. SKB R-99-74, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Hökmark, 1995.** Smectite-to-illite conversion in bentonite buffers. Application of a technique for modeling degradation. SKB AR 95-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**IAEA.** Statute of the International Atomic Agency.

**IAEA, 1968.** Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT). U.N.T.S. No. 10485, vol. 729, pp. 169–175. IAEA Information Circular INFCIRK/140, 22 april 1970.

**IAEA, 1997.** Measures to Strengthen International Co-operation in Nuclear, Radiation and Waste Safety. (a) Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. GOV/INF/821-GC(41)/INF/12.

**Karnland O, Pusch R, Sandén T, 1992.** Elecrolytens betydelse för de fysiska egenskaperna hos MX-80 bentonit. SKB AR 92-35, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Karnland O, Warfvinge P, Pusch R, 1995.** Smectite-to-illite converison models. Factors of importance for KBS3 conditions. SKB AR 95-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Karnland O, 1997.** Bentonite swelling pressure in strong NaCl solutions. Correlation between model calculation and experimentally determined data. SKB TR 97-31, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**KASAM, 1998.** Etik och kärnavfall. SKN Rapport 28, mars 1998.

**Kurosawa S, Yui M, Yoshikawa H, 1997.** Experimental study of colloid filtration by compacted bentonite. In: Science Basis for Nuclear Waste Management XX, edited by Gray W and Triay I (MRS symp. proc. 465) pp 962–970.

**Lindborg T, Kautsky U, 2000.** Variabler i olika ekosystem, tänkbara att beskriva vid platsundersökning för ett djupförvar. SKB R-00-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Marsh G P, 1990.** A preliminary assessment of the advanced cold process canister. AEA Technology, Report AEA-InTec-0011.

**Miljödepartementet, 1998.** Alternativ i kärnavfallsfrågan – ett etiskt perspektiv. Regeringskansliet – Särskilde rådgivaren inom kärnavfallsområdet. Rapport från alternativgruppen Dnr 44/97.

**Miljödepartementet, 1999.** Ansvar, rättvisa och trovärdighet – etiska dilemman kring kärnavfall. Nationelle samordnaren på kärnavfallsområdet. Kommentus förlag, ISBN 91-7345-080-4.

**Missana T, Turrero M J, Melón A, Adell A, Ylleva A, Gutiérrez M G.** Laboratory Experiments: colloid characterisation, colloid generation and batch and column experiments in Project Caress 2<sup>nd</sup> Annual Progress Report.

**Motamedi M, Karnland O, Pedersen K, 1996.** Survival of sulfate reducing bacteria at different water activities in compacted bentonite. FEMS Microbiol. Lett. 141:83-87.



- Munier R, Hermansson Jan, 2000.** Djupförvarsteknik. Metod för hantering av geometrisk osäkerhet vid tolkning av sprickor och sprickzoner. SKB TD-00-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Munier R, Sandstedt H, Niland L, 1997.** Förslag till principiella utformningar av förvar enligt KBS-3 för Aberg, Beberg och Ceberg. SKB R-97-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- OECD/NEA, 1995.** The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-lived Radioactive Wastes. A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee of the OECD Nuclear Energy Agency. OECD/NEA Paris.
- Ohlsson M, 2002.** Personlig kommunikation. OKG.
- Pedersen K, Motamedi M, Karnland O, 1995.** Survival of bacteria in nuclear waste buffer materials. The influence of nutrients, temperature and water activity. SKB TR 95-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Pettersson S, 1997.** Underlag för slutligt val av kapseldimension. SKB Projekt inkapsling, Projekt PM 97-3420-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Puigdomeneck I (ed), 2001.** Hydrochemical stability of groundwaters surrounding a spent nuclear fuel repository in a 100,000 year perspective. SKB TR-01-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Reed, van Konynenburg, 1991a.** Effect of ionizing radiation on the waste package environment. High Level Waste Management II, American Nuclear Society, La Grange Park, IL, 1396–1403.
- Reed, van Konynenburg, 1991b.** Progress in evaluating the corrosion of candidate HLW container metals in irradiated air-stream mixtures. Proceedings Nuclear Waste Packaging, Focus '91, American Society, La Grange Park, IL, 185–192.
- Rosborg B, Svensson B-M, 1994.** Spänningskorrosion av koppar i syntetiskt grundvatten. Studsvik Material AB, Report, Studsvik/M-94/73.
- SFS 1977:1160.** Arbetsmiljöförordningen.
- SFS 1982:821.** Lag om transport av farligt gods.
- SFS 1984:3.** Lag (1984:3) om kärnteknisk verksamhet.
- SFS 1984:847.** Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk.
- SFS 1986:1102.** Räddningstjänstlagen.
- SFS 1986:1107.** Räddningstjänstförordning.
- SFS 1987:10.** Plan- och bygglagen.
- SFS 1988:220.** Strålskyddslag.
- SFS 1988:868.** Lag om brandfarliga och explosiva varor.
- SFS 1994:847.** Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m m.

**SFS 1994:1215.** Förordning om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m m.

**SFS 1997:857.** Ellag.

**SFS 1998:808.** Miljöbalken.

**SFS 2000:140.** Lag om inspektioner enligt internationella avtal om förhindrande av spridning av kärnvapen.

**SKB, 1986.** FUD 86. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 1989.** FUD 89. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 1992.** FUD-Program 92 ISSN 1100-7923. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling, demonstration och övriga åtgärder. Underlagsrapport till FUD-program 92. Detaljerat FoU-program 1993–1998. Underlagsrapport till FUD-program 92. Lokalisering. Underlagsrapport till FUD-program 92. Äspölaboratoriet. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 1994.** FUD-Program 92 – Kompletterande redovisning ISSN 1100-7923. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Komplettering till 1992 års program sammanställd med anledning av regeringsbeslut. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 1995.** FUD-Program 95 – Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk djupförvaring samt forskning, utveckling och demonstration. Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

**SKB, 1998b.** Underlagsrapport till FUD-program 98. Detaljerat program för forskning och utveckling 1999–2004. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 1999a.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport Del I och II. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 1999b.** SR 97. Processer i förvarets utveckling. Underlagsrapport till SR 97. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 1999c.** SR 97. Avfall, förvarsutformning och platser. Underlagsrapport till SR 97. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2000.** Systemanalys. Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. SKB R-00-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2001a.** FUD-program 2001. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2001b.** Plan 2001. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

**SKB, 2001d.** Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E. Rak ramp med två driftområden. SKB R-01-57, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2002a.** Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E. Spiralramp med ett driftområde. SKB R-02-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2002b.** Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E. Schaktalternativ med ett driftområde. SKB R-02-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, September 2002.** Steel Section Cassette. Technical Specification No KTS021. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKBF/KBS, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Sammanfattning, I Allmänt, II Geologi, III Barriärer, IV Säkerhet.

**SKIFS 1998:1.** Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet i vissa kärntekniska anläggningar.

**SKIFS 2002:1.** Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall. Allmänna råd och tillämpningar av Statens kärnkraftinspektions föreskrifter enligt ovan.

**SKN, 1988.** Etik och kärnavfall – Rapport från ett seminarium om etiskt handlande under osäkerhet. SKN Rapport 28, mars 1988.

**SRVFS.** Statens räddningsverks författningssamling.

**SSI FS 1998:1.** Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av kärnavfall.

**UN, 1968.** Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons. INFCIRC/140.

**Werme L, 1998.** Konstruktionsförutsättningar för kapsel för använt kärnbränsle. SKB R-98-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.