

# Ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen – komplettering juli 2016

## Följebrev

### Bilaga SFR-U K:4

Motiv till förvarsdjup

### Bilaga SFR-U K:5

Motivering av vald utformning för 2-5BLA

### Bilaga SFR-U K:6

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

### Bilaga SFR-U K:7

Alternativa utformningar av bergssal för reaktortankar - konsekvensanalys

### Bilaga SFR-U K:8

Avgränsning till 200 m djup vid lokalisering

### Bilaga SFR-U K:9

Jämförelse mellan sökt placering och en alternativ placering i den tektoniska linsen i Forsmark

### Bilaga SFR-U K:10

Malmpotential

## Toppdokument

Ansökan om tillstånd enligt Kärntekniklagen för utbyggnad och fortsatt drift av SFR

## Bilaga Begrepp och definitioner

Begrepp och definitioner för ansökan om utbyggnad och fortsatt drift av SFR

## Bilaga F-PSAR SFR

Första preliminär säkerhetsredovisning för ett utbyggt SFR

### Allmän del 1

Anläggningsutformning och drift

### Allmän del 2

Säkerhet efter förslutning

### Typbeskrivningar

- Preliminär typbeskrivning för hela BWR reaktortankar exklusive interndelar.
- Preliminär typbeskrivning för skrot i fyrkokill
- Preliminär typbeskrivning för hårdkomponenter i ståltankar

## Bilaga AV PSU

Avvecklingsplan för ett utbyggt SFR  
Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall

## Bilaga VOLS-Ansökan PSU

Verksamhet, organisation, ledning och styrning för utbyggnad av SFR – Ansökans- och systemhandlingskede

## Bilaga VOLS-Bygg PSU

Verksamhet, organisation, ledning och styrning för utbyggnad av SFR – Tillståndsprövnings- och detaljprojekteringskedet samt byggskedet.

## Bilaga MKB PSU

Miljökonsekvensbeskrivning för utbyggnad och fortsatt drift av SFR

## Bilaga BAT

Utbyggnad av SFR ur ett BAT-perspektiv

## Kapitel 1

Inledning

## Kapitel 2

Förläggningsplats

## Kapitel 3

Konstruktionsregler

- Tolkning och tillämpning av krav i SSMFS
- Principer och metodik för säkerhetsklassning – Projekt
- SFR utbyggnad
- Säkerhetsklassning för projekt SFR-utbyggnad
- Acceptanskriterier för avfall, PSU

## Kapitel 4

Anläggningens drift

## Kapitel 5

Anläggnings- och funktionsbeskrivning

- Preliminär plan för fysiskt skydd för utbyggt SFR
- SFR Förslutningsplan
- Metod och strategi för informations- och IT-säkerhet, PSU

## Kapitel 6

Radioaktiva ämnen

- Radionuclide inventory for application of extension of the SFR repository - Treatment of uncertainties.
- Låg- och medelaktivt avfall i SFR.
- Referensinventarium för avfall 2013

## Kapitel 7

Strålskydd

- Dosprognos vid drift av utbyggt SFR

## Kapitel 8

Säkerhetsanalys för driftskedet

- SFR – Säkerhetsanalys för driftskedet

## Kapitel 9

Mellanlagring av långlivat avfall

- Ansökansinventarium för mellanlagring av långlivat avfall i SFR

## Huvudrapport

Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR  
Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU

### FHA report

Handling of future human actions in the safety assessment

### FEP report

FEP report for the safety assessment

### Waste process report

Waste process report for the safety assessment

### Geosphere process report

Geosphere process report for the safety assessment

### Barrier process report

Engineered barrier process report for the safety assessment

### Biosphere synthesis report

Biosphere synthesis report for the safety assessment

### Climate report

Climate and climate related issues for the safety assessment

### Model summary report

Model summary report for the safety assessment

### Data report

Data report for the for the safety assessment

### Input data report

Input data report for the safety assessment

### Initial state report

Initial state report for the safety assessment

### Radionuclide transport report

Radionuclide transport and dose calculations for the safety assessment

### SDM-PSU Forsmark

Site description of the SFR area at Forsmark on completion of the site investigation

## Bilaga SFR-U K:2

Konsekvensbedömning för vattenmiljöer vid utbyggnad av SFR

## Samrådsredogörelse

Konsekvensbedömning av vattenmiljöer vid utbyggnad av SFR **Ersatt av K:2**

Naturmiljöutredning inför utbyggnad av SFR, Forsmark, Östhammar kommun.

## Bilaga SFR-U K:3

Marin inventering av vegetation och fauna på havsbottenarna vid SFR, Forsmark 2012.

## Bilaga SFR-U K:11

Redovisning av alternativ för mellanlagring av långlivat låg- och medelaktivt avfall





**DokumentID**  
1535980, (1.0 Godkänt)  
**Reg nr**

**Sekretess**  
Öppen  
**Dokumenttyp**  
Promemoria (PM)

**Sida**  
1(19)

**Författare**  
2016-01-20 Magnus Odén  
Eva Andersson  
Jenny Brandefelt  
Kent Werner

**Kvalitetssäkring**  
2016-06-15 Therese Adusjö (Kvalitetsgranskning)  
2016-06-15 Peter Larsson (Godkänd)

**Kommentar**  
Granskning har skett enligt granskningsprotokoll SKBdoc 1548798

## Motiv till förvarsdjup

Motiv till försvarsdjup

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Val av analyserade djup</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Djupalternativ</b>	<b>5</b>
3.1	Djupalternativ A (70 m)	6
3.2	Djupalternativ B (120 m)	7
3.3	Djupalternativ C (230 m)	8
<b>4</b>	<b>Säkerhet efter förslutning</b>	<b>9</b>
4.1	Vattenflöde	9
4.2	Permafrost	10
4.3	Oavsiktligt mänskligt intrång – sannolikhet att brunnsborrning når försvarsdjup	11
<b>5</b>	<b>Kostnad och tid för uppförande</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Miljöpåverkan</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Sammanfattande utvärdering</b>	<b>16</b>
7.1	Säkerhet efter förslutning	16
7.2	Kostnad och tid för uppförande	16
7.3	Miljöpåverkan	16
<b>8</b>	<b>Val av försvarsdjup</b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>Sammanfattning</b>	<b>18</b>
<b>10</b>	<b>Referenser</b>	<b>19</b>

Motiv till försvarsdjup

# 1 Inledning

För att kunna slutförvara kortlivat rivningsavfall från kärnkraftverken planerar Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) att bygga ut det befintliga slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR). SKB:s val av försvarsdjup för utbyggnaden beskrivs kortfattat i utredningen av bästa möjliga teknik (Segerstedt et al. 2014). I detta dokument ger SKB en motivering till valet av 230 m som djupaste studerade alternativ, samt en samlad motivering till det valda djupet för utbyggnaden. Bedömningen har baserats på:

- Säkerhet efter förslutning
- Miljöpåverkan
- Kostnad och tid för uppförande

Tre alternativ, förlagda på olika djup, presenteras för utbyggnaden av SFR. Utifrån dessa djupalternativ diskuteras konsekvens för säkerhet efter förslutning såsom vattenflöden, oavsiktliga intrång via brunnsborrning och risk för permafrostnedträngning. Även miljöaspekter och kostnader för de olika alternativen tas upp. I analysen har djup under framtida markyta ovan utbyggd del av SFR angetts, det vill säga nivån för dagens havsbotten ovan anläggningen. De tre alternativen är förlagda på följande djup (där djupet är avståndet mellan bergssalarnas tak och havsbotten, dvs framtida markyta när landhöjningen passerat förvaret):

- 70 m
- 120 m
- 230 m

## 2 Val av analyserade djup

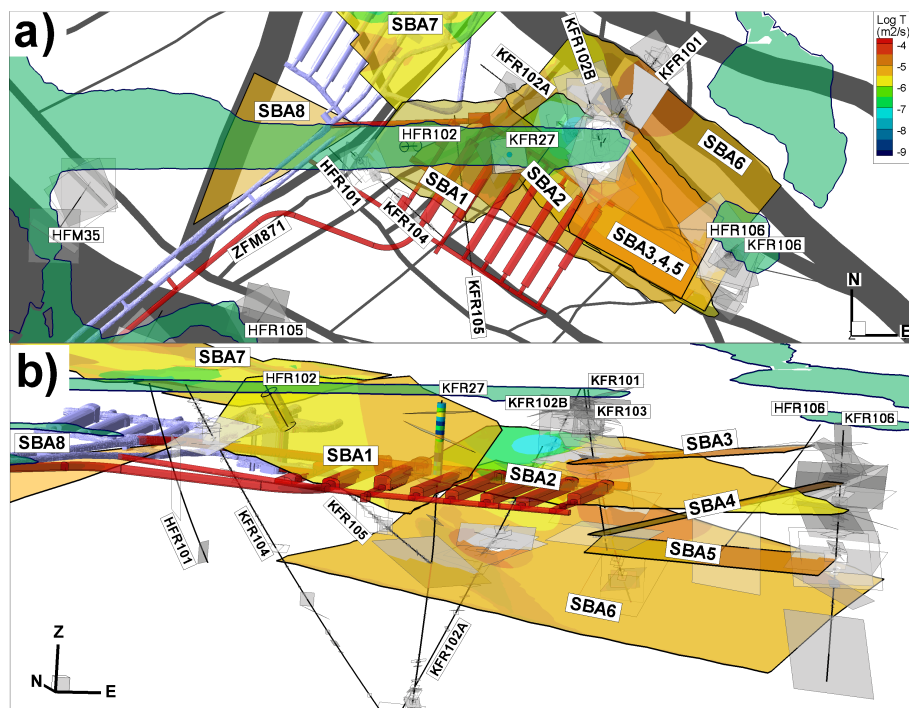
För slutförvaring av kortlivat rivningsavfall gäller likartade förutsättningar som för det kortlivade driftavfallet som deponeras i befintligt SFR. SKB har i tidigare säkerhetsanalyser för befintligt SFR, t ex SAR-08 (SKB 2008a), visat att ett förvar avsett för kortlivat avfall lämpligen kan placeras i den övre delen av berggrunden. Prioritet för det geovetenskapliga undersökningsprogrammet för utbyggnaden av SFR (SKB 2008b) var därför att samla in data inom samma djupintervall (0-150 m) som befintligt SFR. Inom SFR området finns därmed, efter det geovetenskapliga undersökningsprogrammet genomfördes, omfattande dataunderlag som beskriver bergets egenskaper ner till ca 300 m, se Figur 4-1.

Utifrån resultat från det geovetenskapliga undersökningsprogrammet har en platsbeskrivande modell tagits fram (SKB 2011a). Baserat på de platsspecifika egenskaper som presenteras i den platsbeskrivande modellen valdes de tre olika djupalternativen för vidare jämförelse. De tidigare genomförda säkerhetsanalyserna, samt goda erfarenheter från byggnation och drift av SFR, visar att ett förvar för kortlivat avfall lämpligen kan förläggas i den övre delen av berggrunden. Därför är de två ytligaste alternativen placerade inom samma djupintervall som den befintliga anläggningen. För att inte utesluta bra berg som ligger något djupare än befintligt SFR, samt för att utreda effekten av att förlägga utbyggnaden djupare, inkluderades även ett djupare alternativ i jämförelsen. Med anledning av att det befintliga dataunderlaget i SFR området framförallt beskriver de översta 300 m av berggrunden, valdes 230 m som det djupaste alternativet att analysera.

Motiv till försvarsdjup

### 3 Djupalternativ

Vid framtaganden av de olika djupalternativen beaktades inte avstånd mellan bergssalarna och vertikala deformationszoner, utan de tre layouterna befinner sig rakt under varandra med samma XY-koordinater. Layouterna bedöms dock vara tillräckliga för att analysera val av djup utifrån säkerhet efter förslutning, miljöpåverkan samt kostnad och tid för uppförande. I den platsbeskrivande modell som tagits fram inom projekt SFR utbyggnad har ett antal subhorisontella (flacka) vattenförande (SBA, Shallow Bedrock Aquifer) strukturer tolkats utifrån transmissivitetsdata, sprickriktningar och interferenstester, se Figur 3-1. Djupalternativ A (70 m) är en direkt vidareutveckling av Layout L0 (Linde 2011) och togs fram innan data från platsundersökningen hade utvärderats. De två djupare alternativen B (120m) och C (230 m) anpassades så att ingen SBA struktur korsas.

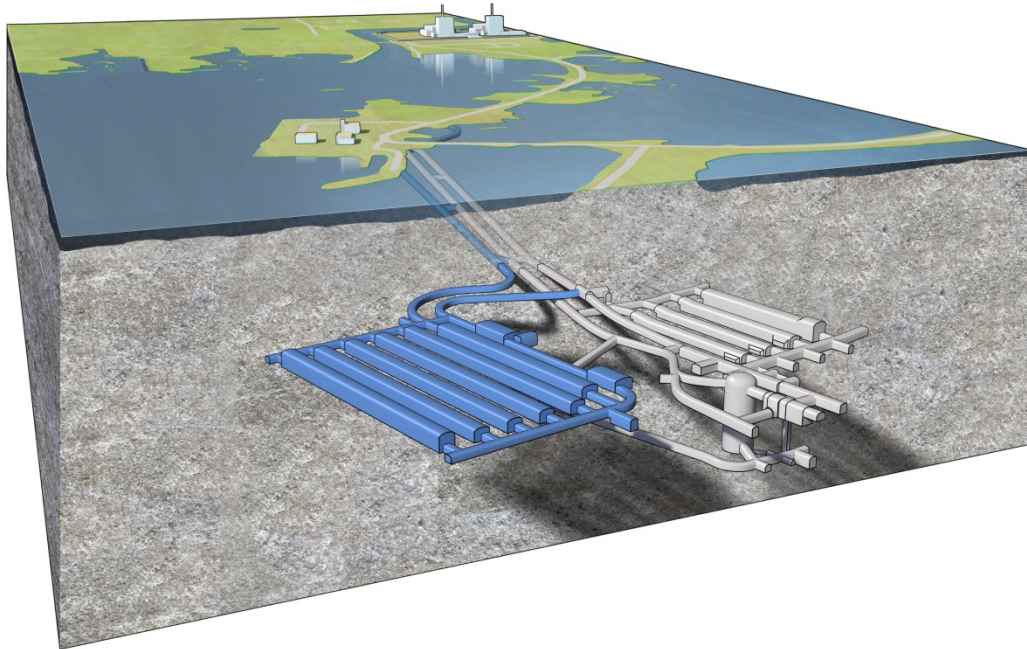


**Figur 3-1.** De åtta SBA strukturerna som de presenteras i den hydrogeologiska modellen tillsammans med försvarslayout L0. Figur a) uppifrån, b) från sidan mot nordost. Färgen på SBA strukturerna återspeglar deras antagna transmissivitet utifrån borrhålstransmissivitet.

Motiv till försvarsdjup

### 3.1 Djupalternativ A (70 m)

I detta alternativ (Figur 3-2) är försvarsutrymmena förlagda på samma nivå som bergssalarna i befintligt SFR och anslutningstunnlarna är så korta som möjligt. Bergssalarna skärs i detta alternativ av SBA1 och SBA2.



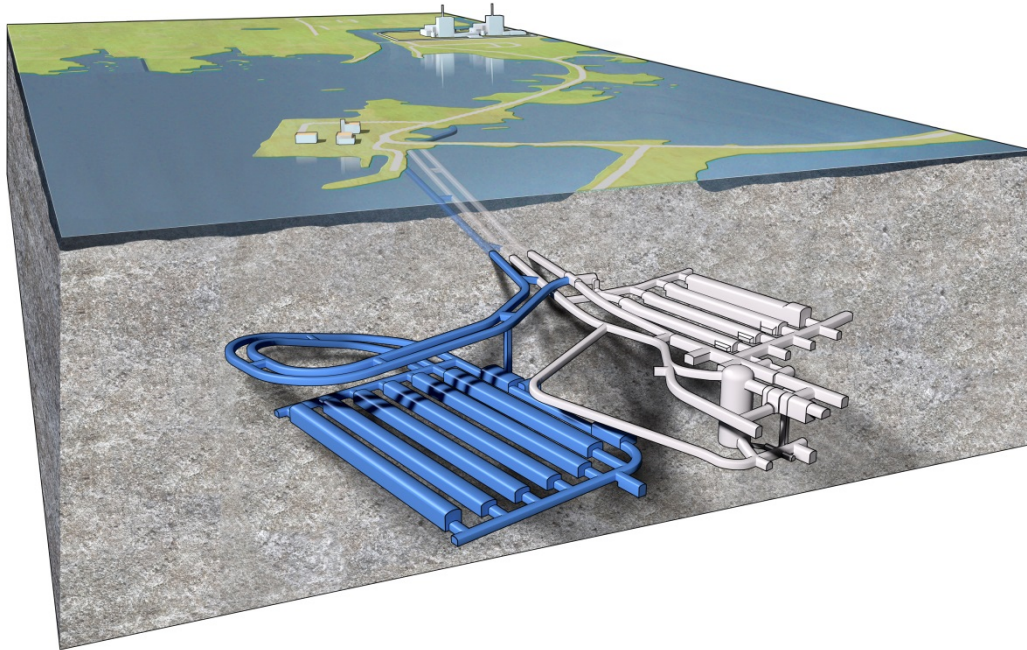
*Figur 3-2. Djupalternativ A.*



Motiv till försvarsdjup

### 3.2 Djupalternativ B (120 m)

I detta alternativ (Figur 3-3) förläggs utbyggnaden på ett djup där försvarsdelarna ej skärs av de ytliga vattenförande strukturer som tolkats deterministiskt i SDM (SKB 2011a) (SBA1 och SBA2 i Figur 3-1). Samtidigt visar även hydrogeologiska data från borrhål på en lägre frekvens av vattenförande sprickor inom intervallet jämfört med intervallet för alternativ A, se Figur 4-1. För att inte överskrida den maximala lutningen hos anslutningstunnlar (10 %) måste rampen förlängas för att nå ner till försvarsdjup.

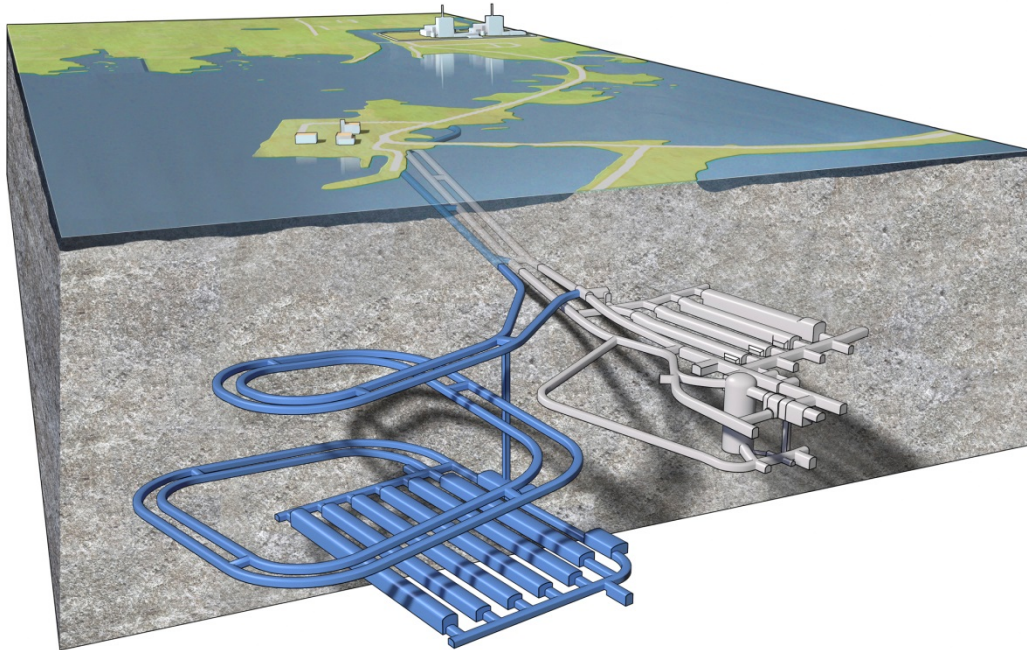


Figur 3-3. Djupalternativ B.

Motiv till förvarsdjup

### 3.3 Djupalternativ C (230 m)

I den platsbeskrivande modellen har ett flertal subhorisontella vattenförande strukturer tolkats. Förvaret placeras i detta alternativ (Figur 3-4) under den vattenförande struktur, SBA 6, som inom platsmodelleringen ansågs vara den SBA struktur med högst konfidens. Djupalternativet C belyser konsekvensen av att välja ett djup där risken för framtida brunnborrning och permafrost är lägre.



Figur 3-4. Djupalternativ C.

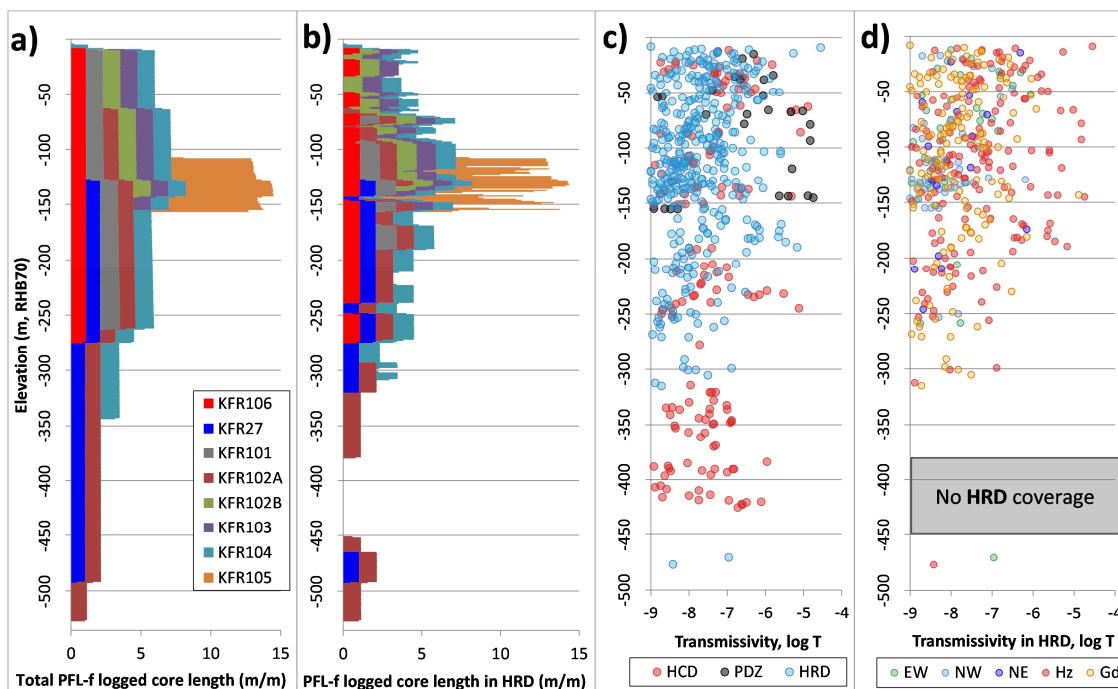
Motiv till försvarsdjup

## 4 Säkerhet efter förslutning

Försvarsdjupet påverkar säkerhet efter förslutning av flera orsaker. Vattenflödet förändras beroende på djup, risken för att permafrost når försvarsdjup minskar med djupet, och risken för oavsiktligt mänskligt intrång minskar med djupet. Vattenflöde genom bergssalarna styr uttransporten av radionuklider och barriärernas degraderingstakt (kemisk). För att uppnå långsam barriärdegradering och långsam uttransport av radionuklider bör vattenflödet vara lågt; detta uppnås genom att bergssalarna placeras med hänsyn taget till strukturer med hög vattenföring. I detta kapitel diskuteras vattenflöden, permafrost och risken för oavsiktligt mänskligt intrång för de tre valda djupen.

### 4.1 Vattenflöde

Data från platsundersökningen visar att det hydrogeologiska systemet i området där utbyggnaden av SFR är tänkt att ligga huvudsakligen styrs av flöden i flacka, transmissiva strukturer (dvs, uppmätta flödesanomalier som tolkats tillhöra sprickgrupperna "Gd" och "Hz"; se Figur 4-1d). Notera att både datatäckning (total borrhålslängd per djupintervall) och hydrauliska data (uppmätta med Posiva Flow Log, PFL) är uppdelade i brantstående deterministiska strukturer/deformationszoner (ZFM), vars geometrier anses vara kända, strukturer med deformationszons-liknande egenskaper (PDZ), vilka antas ha begränsad utsträckning, och övrig bergmassa som saknar deterministiska strukturer (HRD). Den hydrogeologiska datatäckningen i området sträcker sig ner till ca 540 m djup men minskar under ca 275 m djup och saknas helt i djupintervallet ca 380-450 m för bergmassan mellan de deterministiskt modellerade deformationszonerna. Värt att notera är den ökade borrhålstäckningen inom djupintervallet 105-157 m som beror på det flacka borrhålet KFR105.

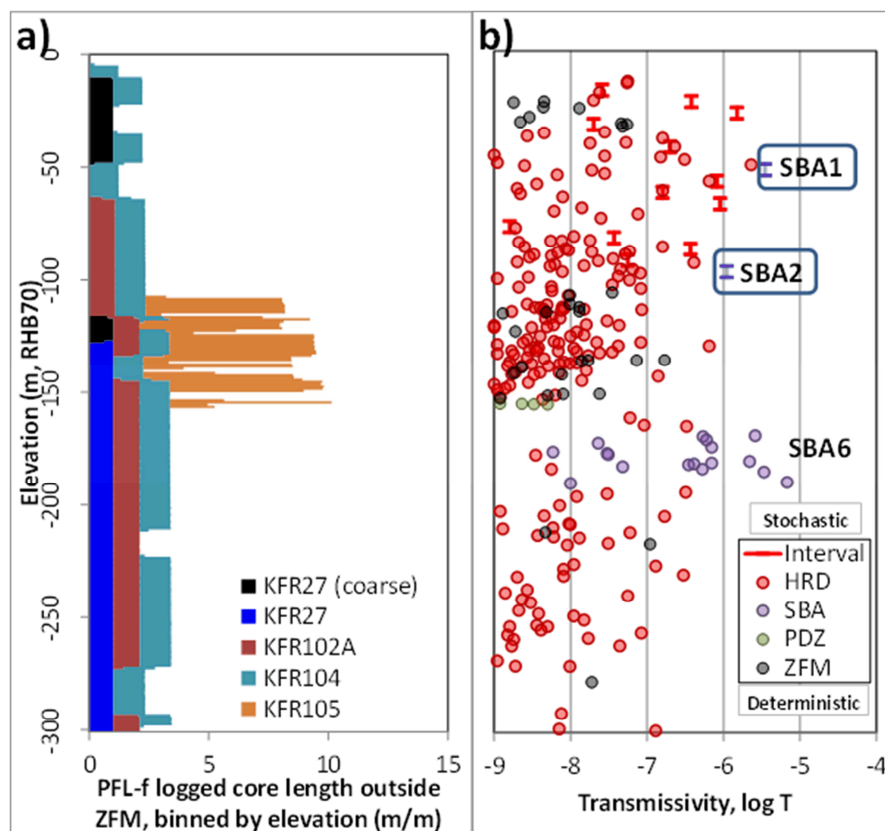


**Figur 4-1.** Borrhålstäckning och tolkad PFL transmissivitet, a) total borrhålstäckning, b) borrhålstäckning i HRD, c) transmissivitetsdata tolkad tillhöra deterministiska strukturer (ZFM), strukturer med deformationszons-liknande egenskaper (PDZ) eller bergmassan (HRD) d) transmissivitetsdata i HRD uppdelat efter sprickset (sprickgrupp).

Figur 4-2 visar borrhål i direkt anslutning till området där utbyggnaden av SFR är tänkt att ligga. Djupintervallet för alternativ A (mellan SBA1 och SBA2), uppvisar fler höga transmissiviteter än intervallet för alternativ B (mellan SBA2 och SBA6), trots den lägre datatäckningen (färre antal borrhålsmeter) i det övre intervallet. Med andra ord är det

Motiv till försvarsdjup

sannolikt att ytterligare hög-transmissiva data skulle ha påträffats i det övre intervallet om borrhålstäckningen varit likvärdig. Även intervallet för alternativ C (ca -230 till -240) indikerar lägre transmissivitetvärden än alternativ A.



Figur 4-2. Borrhål i direkt anslutning till området där utbyggnaden av SFR är tänkta att placeras, samt data från både PFL och injektionstester (intervall), a) antal borrhålsmeter utanför tolkade ZFM, b) tolkad transmissivitet m.a.p. strukturtillhörighet.

Sammanfattningsvis kan konstateras att förekomsten av horisontella sprickor med hög vattengenomsläpplighet är störst för alternativ A, medan tillgängliga data indikerar att djupintervallen för alternativ B och C är mer likvärdiga. På grund av att bergspänningarna ökar med djupet minskar generellt vattenflödet med djupet. Därmed kan möjligen något lägre vattenflöden genom försvarsutrymmena förväntas för alternativ C i förhållande till alternativ B.

## 4.2 Permafrost

Med utgångspunkt från de studier som gjorts inom säkerhetsanalyserna för kärnbränsleförvaret (SKB 2011b) kan det inte uteslutas att vattnet i berggrunden på djup ner till ca 460 m i Forsmark fryser vid platsen för Kärnbränsleförvaret under de kommande 1 miljon åren (SKB 2010, 2011b). Då radioaktiviteten hos avfallet i SFR avtar till låga nivåer inom de första 10 000 åren efter förslutning, har en grundlig utredning gjorts av den första möjliga framtida tidpunkten för permafrosttillväxt och frysning av barriärkonstruktionerna i SFR (Brandefelt et al. 2013, SKB 2014a). För valet av försvarsdjup kan dessa resultat sammanfattas enligt följande:

- Vid tidpunkten för den första förekomsten av periglaciala klimatförhållanden i *klimatfallet med tidigt periglacialt klimat*, omkring 17 500 e Kr, är inte frysning av försvars-konstruktionerna i betong trolig för något av de föreslagna försvarsdjupen. Vid denna tidpunkt kan dock frysning av grundvatten ( $\sim 0$  °C) ske i den omgivande berggrunden för försvarsdjup 70 m och 120 m, men inte 230 m. Frysning av

Motiv till förvarsdjup

grundvatten i den omgivande berggrunden har dock ingen negativ påverkan på säkerheten efter förslutning.

- Vid tidpunkten för den första förekomsten av periglaciala klimatförhållanden i *klimatfallet med global uppvärmning*, omkring 52 000 e Kr, kan inte frysning av förvarskonstruktionerna i betong (-3 °C) uteslutas för förvarsdjup 70 m, 120 m eller 230 m. En eventuell frysning av förvarskonstruktionerna vid denna tidpunkt väntas dock inte ha någon effekt på uttransport av radionuklider från förvaret, då den kemiska degraderingen av betongen redan gått så långt att denna barriär inte längre kan antas fungera som flödesbarriär (se SKB 2014b, kapitel 10).
- Om förvaret skulle placeras på ett tillräckligt stort djup (> ca 350 m) skulle frysning av förvarskonstruktionerna i betong (-3 °C) kunna undvikas. Detta bedöms dock inte vara motiverat då frysning av förvarskonstruktionerna i betong sker först efter att barriärerna till stor del degraderat för samtliga jämförda förvarsdjup.

### 4.3 Oavsiktligt mänskligt intrång – sannolikhet att brunnborrning når förvarsdjup

Det är inte möjligt att förutsäga människors framtida handlande för de långa tidsperioder som är relevanta för slutförvar av radioaktivt avfall (hundratusentals till miljontals år). Om man i framtiden har kännedom om förvaret och dess innehåll men ändå bestämmer sig för att göra intrång i förvaret förväntas man vidta tillräckliga skyddsåtgärder för att skydda människor och miljön mot exponering av avfallet. På de långa tidskalorna som är relevanta för ett slutförvar är det troligt att kännedom om förvaret och dess innehåll går förlorat och man kan då, även om sannolikheten är låg, tänka sig att det sker oavsiktligt intrång i förvaret. Det finns internationella rekommendationer att oavsiktliga framtida mänskliga intrång ska inkluderas i säkerhetsutvärderingar för slutförvar (IAEA 2011a, b, OECD/NEA 2012, ICRP 2013). Detta har gjorts i säkerhetsanalysen för ett utbyggt SFR och olika scenarier för framtida oavsiktliga mänskliga intrång i SFR, av vilket borrning är ett, utvärderas i SKB (2014a).

#### **Oavsiktligt intrång – olika typer av brunnar**

Borrning i berg kan ske för olika ändamål, såsom borrning av vattenförsörjnings- eller energibrunnar, borrhål för värmelagring samt för prospektering och utvinning av geotermisk energi, gas eller olja. Sannolikheten för att ett framtida borrhål ovan SFR ska penetrera anläggningen och konsekvensen av intrånget med avseende på exponering för joniserande strålning beror på borrhålets syfte och de lokala förutsättningarna. Till exempel innebär temperaturkraven (150–200 °C) att borrhål för utvinning av geotermisk energi i Forsmark inte är tänkbara av praktiska och ekonomiska skäl, eftersom de skulle behöva borras till mycket stora djup (cirka 10 km). Vattenförsörjnings- och energibrunnar är däremot vanligt förekommande och borras typiskt till cirka 50–200 m djup vilket innebär att en brunn skulle kunna penetrera SFR, både dess befintliga del och den utbyggda delen.

Borrningen av en vattenförsörjningsbrunn i berg pågår till dess borrningen ger en brunn med tillräcklig kapacitet. Bergborrhållade brunnar för enskilda hushåll uppförs typiskt till 50–100 m djup eftersom grundvattenförande sprickor normalt brukar påträffas ovanför 100 meters djup om borrningen sker på rätt plats. På större djup ökar dessutom risken för saltvattenpåverkan i brunnen. Om borrhålet inte har tillräcklig kapacitet på rimligt djup avbryts därför normalt borrningen och återupptas på en annan plats. Även om de är ovanligare förekommer det dock dricksvattensbrunnar som är djupare än 100 m.

Den dominerande andelen av energibrunnar i Sverige är så kallade lågtemperatursystem med ”bergvärme”, där värmeenergin i berget överförs från borrhål till byggnad via en sluten slinga (kollektor med köldbärarvätska) och en värmepump. I öppna system (”grundvattenvärme”) pumpas grundvatten från ett borrhål till en värmeväxlare och återförs därefter till ett annat

Motiv till förvarsdjup

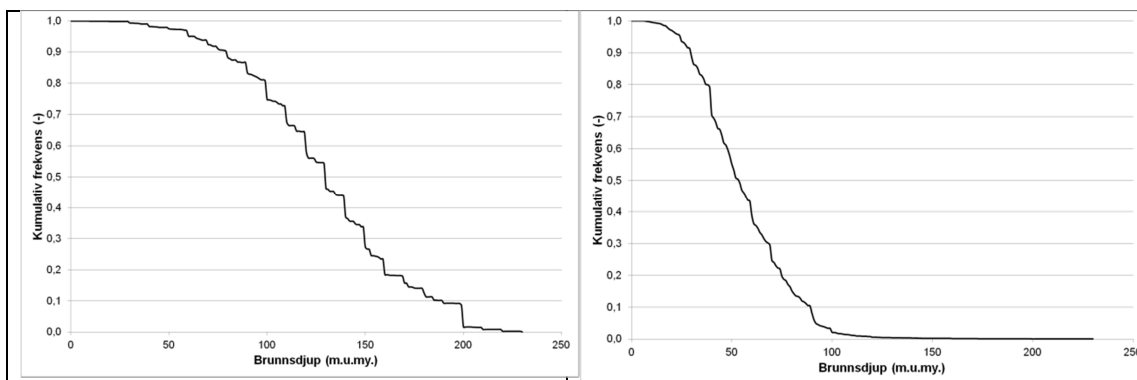
borrhål (eller släpps till ytvatten). Detta innebär att grundvattenvärme endast är aktuell i geologiska formationer med hög grundvattenföring, till exempel sand- och grusåsar. För en energibrunn som borrar ovanför SFR skulle det alltså vara aktuellt med ett lågtemperatursystem där man inte pumpar upp grundvatten utan utvinnet värme i ett slutet system. Djupet på en bergvärmebrunn beror bland annat på energibehovet och ska även matcha värmepumpens effektivitet. Energitillbehovet för ett enskilt hushåll innebär att en bergvärmebrunn typiskt uppförs till 100–200 m djup. Vid större energibehov borrar normalt fler borrhål istället för att borra djupare.

### Statistik för brunnsdjup

En analys har gjorts av borrhålsdjup utifrån data från SGU:s Brunnsarkiv (© Sveriges geologiska undersökning, SGU) som levererades till SKB 2011. Vid den aktuella tidpunkten innehöll arkivet uppgifter om totalt 408 048 brunnar i Sverige, varav majoriteten (398 510 stycken) utgörs av bergborrade brunnar och 9 538 stycken (cirka 2 %) är jordbrunnar. Ungefär hälften av de bergborrade brunnarna (196 525 stycken) används som energibrunnar. Utifrån uppgifterna i arkivet har dessa ett medeldjup på 139 m under markytan (median 140 m). De resterande 201 985 bergborrade brunnarna, som mer eller mindre uteslutande används för enskild vattenförsörjning, har ett medeldjup på 73 m under markytan (median 70 m). Analysen illustrerar vad som sagts ovan om skillnader i typiska borrhålsdjup för vattenförsörjningsbrunnar (50–100 m) respektive bergvärmebrunnar (100–200 m).

Datasetet innehåller uppgifter om totalt 5 164 bergborrade brunnar inom det aktuella området i norra Uppland. Medeldjupet för dessa är 76 m under markytan (median 64 m). Vattenförsörjningsbrunnar (3 790 stycken) har ett medeldjup på 56 m under markytan (median 54 m). Medeldjupet för de resterande bergborrade brunnar, som används som energibrunnar (1 374 stycken), är 130 m under markytan (median 130 m). Man kan notera att både energibrunnar och vattenförsörjningsbrunnar i norra Uppland i medeltal är något grundare än i landet i övrigt.

Figur 4-3 visar kumulativa frekvensfördelningar för borrhålsdjup (meter under markytan) i norra Uppland, uppdelat på energibrunnar (Figur 4-3a) och vattenförsörjningsbrunnar (Figur 4-3b). Tabell 4-1 visar hur stor andel (%) av de bergborrade brunnarna som når djupare än de tre olika förvarsdjupen (70 m, 120 m och 230 m). Det är få av dagens brunnar som når djupet 230 m. För vattenförsörjande brunnar kan man se att det är stor skillnad mellan 70 m och de djupare förvarsdjupen på 120 m och 230 m. Skillnaden är dock marginell (andelen minskar från 1 % till 0 %) om förvarsdjupet ökas från 120 m till 230 m. För energibrunnar däremot är skillnaden mellan 120 m och 230 m förvarsdjup stor, då 67 % av dessa når 120 m djup men endast 0,2 % når 230 m.



Figur 4-3. Andelen borrhål som når olika djup (meter under markytan) för norra Uppland, a) bergborrade energibrunnar, och b) för vattenförsörjningsbrunnar i berg. Kurvorna bygger på empiriska data och visar komplementär kumulativ frekvensfördelning.

Motiv till försvarsdjup

**Tabell 4-1. Andel av bergborrade brunnar i norra Uppland som når de olika försvarsdjupen 70, 120, och 230 m.**

Brunnskategori	Försvarsdjup (m)		
	70	120	230
Samtliga bergborrade brunnar	48 %	18 %	0,06 %
Vattenförsörjningsbrunnar	31 %	1 %	Nära 0 %
Bergborrade energibrunnar	94 %	67 %	0,2 %

### **Exponering**

Exponering för joniserande strålning vid användning av en vattenförsörjningsbrunn inkluderas i analysen av säkerhet efter förslutning i det mindre sannolika scenariot intrångsbrunnar som beskrivs i avsnitt 7.6.8 Huvudrapporten för säkerhetsanalysen SR-SPU (SKB 2015). Exponering via drickvattenintag inkluderas därmed i riskutvärderingen för SFR.

Exponering av en bergvärmepump diskuteras i analysen av framtida mänskliga handlingar (SKB 2014a, avsnitt 4.4.5). Exponering från en energibrunn av typ ”bergvärmebrunn” förväntas bli låg eftersom grundvatten i den typ av energibrunn som skulle kunna bli aktuell i Forsmark inte pumpas upp då värme utvinns i ett slutet system. Därför inkluderas inte bergvärmepumpar vidare i SR-PSU, däremot inkluderas själva borrhningen i analysen av framtida mänskliga handlingar.

Vid borrhning av en brunn tas borrhkax upp till markytan. Borrhkax från en intrångsbrunn kan innehålla radioaktivt material från förvaret och exponera de personer som genomför borrhningen. Tredje person kan även exponeras om borrhkaxet läggs på deponi som sedan används för till exempel bygge eller odling. Exponeringen via radioaktivt borrhkax har analyserats i SKB (2014a) där den övergripande slutsatsen är att exponeringen via borrhkax inte ger upphov till doser som överskrider de referensnivåer som fastställts av ICRP (ICRP 2013).

### **Slutsatser om oavsiktligt intrång**

Med avseende på framtida intrång genom brunnsborrhning kan man utifrån dagens brunnsstatistik dra slutsatsen att sannolikheten för att en vattenförsörjningsbrunn ska penetrera den utbyggda delen av SFR minskar till cirka 1/30 om man väljer djupet 120 m istället för 70 m och att sannolikheten minskar ytterligare om man väljer försvarsdjupet 230 m. Energibrunnar borrar djupare än vattenförsörjningsbrunnar och sannolikheten att en energibrunn ska nå 120 m är högre än för en vattenförsörjningsbrunn, men sannolikheten för att en energibrunn ska penetrera förvaret minskar också med ökat försvarsdjup. Exponering för joniserande strålning från en energibrunn av typ ”bergvärmebrunn” förväntas dock bli låg eftersom grundvatten inte pumpas upp utan värme utvinns i ett slutet system. Med tanke på den relativt lilla arean av förvaret är sannolikheten för att en brunn ska placeras precis ovanför (och penetrera) förvaret liten oavsett försvarsdjup.

Motiv till förvarsdjup

## 5 Kostnad och tid för uppförande

Byggskedet för SFR-utbyggnad beräknas ha en varaktighet mellan 5-6 år. För det i ansökan beskrivna alternativet B beräknas total uttagen bergvolym uppgå till cirka 1 270 000 m<sup>3</sup> lösa bergmassor. Skillnaden i kostnad och byggtid mellan de tre beskrivna alternativen A (70 m), B (120 m) och C (230m) har uppskattats med fokus på de större kostnadsdrivande posterna. I denna uppskattning förutsätts förvarsområdet ha samma utformning och vara placerad på samma XY-koordinater oavsett djup. Oavsett alternativ kommer läget i XY-planet att justeras bl a utifrån avstånd till deformationszonerna. Detta har dock ingen betydelse för denna uppskattning.

De avgörande skillnaderna vad gäller byggtid och byggkostnad är relaterade till nedfartstunnlarnas längd, samt längden på kabelvägar och ventilationskanaler. De olika djupen bedöms inte föranleda någon skillnad i entreprenadindelning av arbetena. Byggherrekostnaden, SKB:s egen personal och lokaler, ökar med ökad byggtid men bedöms i dessa fall vara jämförelsevis små i förhållande till den totala entreprenadkostnaden.

Det ökade djupet med cirka 50 m för alternativ B ger i jämförelse med alternativ A en högre kostnad där entreprenadkostnaderna för bergarbetena står för den större delen av kostnadsökningen. Även en förlängd byggtid erhålls i alternativ B i jämförelse med alternativ A där den förlängda byggtiden kan härledas dels till bergarbetena men även till arbetena inom teknikområde ventilation samt el, tele, styr och övervakning. Vid uppskattning av kostnaderna och byggtid mellan alternativ B och alternativ A erhålls en kostnadsökning för uppförandet på cirka 10 % och en förlängd byggtid med ca 1 år. När motsvarande jämförelse görs mellan alternativ C och alternativ A erhålls en kostnadsökning på cirka 40 % samt att byggtiden förlängs med cirka 2,5 år.



Motiv till förvarsdjup

## 6 Miljöpåverkan

Den miljöpåverkan som är alternativskiljande mellan alternativ A, B och C kopplar främst till längden på byggskedet och volymen bergmassor som tas ut. I denna utredning förutsätts att utformningen på förvarsdjup är densamma i samtliga alternativ medan de djupare alternativen innebär att längden på nedfartstunnlarna ökar. För alternativ B beräknas total uttagen bergvolym uppgå till cirka 1 270 000 m<sup>3</sup> lösa bergmassor. En uppskattning av skillnaden i volymen bergmassor som behöver tas ut visar att alternativ A medför cirka 15 % mindre bergmassor i förhållande till alternativ B. Motsvarande jämförelse mellan alternativ B och alternativ C visar att volymen bergmassor ökar med cirka 25 % för det djupare alternativet. Alternativ A innebär också 1 års kortare byggtid jämfört med alternativ B medan alternativ C innebär cirka 1,5 år längre byggtid än alternativ B.

En förlängd byggtid och ökad volym bergmassor innebär att drift av arbetsmaskiner och transporter ökar i motsvarande omfattning. Arbetsmaskiner, hantering av bergmassor och transporter förbrukar energi samt ger upphov till buller och utsläpp till luft. En ökad volym bergmassor kan också innebära att en större yta behöver tas i anspråk för anläggande av bergupplaget alternativt att borttransport av bergmassor behöver intensifieras. Vid utsprängning av en större volym bergmassor behöver mer sprängmedel användas. Sprängmedelsrester, som bland annat innehåller kväve, kan transporteras till recipienten via länshållningsvatten från tunnlar och lakvatten från bergupplaget. Utsläppen av kväve till vattenmiljön riskerar därmed att öka eller alternativt genomförs om möjligt ytterligare skyddsåtgärder.

Under driftskedet medför en större anläggning att det åtgår mer energi och i samband med förslutning krävs mer material och transporter för att försluta anläggningen.

Baserat på ovanstående bedöms alternativ A vara mest gynnsamt ur miljösynpunkt medan alternativ B medför något större miljöpåverkan och alternativ C den klart största miljöpåverkan.

## 7 Sammanfattande utvärdering

Utvärdering av de valda djupalternativen baseras på de olika faktorerna som redovisats i tidigare kapitel.

### 7.1 Säkerhet efter förslutning

Alternativ B bedöms vara säkrare efter förslutning än alternativ A utifrån de kunskaper som erhållits under platsundersökningarna, detta pga att förekomsten av horisontella sprickor med hög vattengenomsläpplighet är lägre för alternativ B. Förekomsten av horisontella sprickor med hög vattengenomsläpplighet bedöms utifrån de tillgängliga platsdata vara likvärdiga mellan alternativ C och alternativ B. På grund av det större djupet förväntas något lägre vattenflöden genom förvarsutrymmena för alternativ C i förhållande till alternativ B. Risken för att brunnar borrar ner på förvarsdjup bedöms också vara till alternativ B:s fördel (i förhållande till alternativ A). Alternativ C är något bättre än alternativ B utifrån risk för att brunnar borrar in i förvaret. Det är dock främst sannolikheten för energibrunnar som skiljer alternativ B och C medan sannolikheten för dricksvattenbrunnar är låg för båda alternativen och energibrunnar förväntas inte leda till exponering för joniserande strålning. Påverkan av permafrost på säkerhet efter förslutning bedöms vara likvärdig för de tre studerade djupen.

### 7.2 Kostnad och tid för uppförande

Kostnad och tid för uppförande för de olika djupalternativen har studerats. Slutsatserna är att:

- Alternativ B får i jämförelse med alternativ A en kostnadsökning för uppförandet på ca 10 % och en förlängd byggtid med ca 1 år.
- Alternativ C får i jämförelse med alternativ A en kostnadsökning för uppförandet på ca 40 % samt en förlängd byggtid med ca 2,5 år.

### 7.3 Miljöpåverkan

Miljöpåverkan av valt alternativ ökar med förvarets djup då större djupgående föranleder större volym berguttag. Ur ett miljöpåverkansperspektiv är minsta möjliga uttag av bergmassor att föredra även vid beaktandet av en framtida förslutning. Därför bedöms alternativ A vara mest gynnsamt ur miljösynpunkt medan alternativ B medför något större miljöpåverkan och alternativ C den största miljöpåverkan.

Motiv till försvarsdjup

## 8 Val av försvarsdjup

Efter utvärdering av djupalternativen valde SKB att gå vidare med alternativ B. Detta trots att detta alternativ är mindre fördelaktigt sett till miljöbelastning, tid för genomförande och kostnader än alternativ A. Alternativ A innebär även driftsrelaterade fördelar då utbyggnaden och den befintliga anläggningen ligger i nära anslutning till varandra. Skälet till att alternativ B ändå förordas är att alternativ B bedöms ha bättre förutsättningar att kunna uppfylla SSM:s krav rörande säkerhet efter förslutning än alternativ A. Motivet till denna bedömning är att framtida vattenflöden genom försvarsutrymmena anses vara lägre för alternativ B än för alternativ A. Med det borrhål som borrats från nedre byggtunneln, KFR105, finns ytterligare borrhålsinformation i det aktuella djupintervallet, 300 m borrhålslängd med låga konduktivitetsvärden, vilket stödjer antagandet att framtida vattenflöden genom försvarsutrymmena bedöms vara lägre för alternativ B. Risken för intrång till följd av brunnsborrning är också till fördel för alternativ B jämfört med alternativ A.

På grund av den ökade miljöbelastningen, kostnaderna och tidsåtgången som alternativ C medför jämfört med alternativ B, krävs det för att alternativ C ska vara aktuellt att det finns uppenbara fördelar för förvarets säkerhet efter förslutning, samt att kostnaderna för detta inte är orimliga i förhållande till den minskning av radionuklidutsläpp och dess effekt på människor och miljö detta skulle medföra. Det finns en minskad sannolikhet för borring till försvarsdjup för alternativ C jämfört med alternativ B men detta rör främst energibrunnar som inte förväntas bidra till exponering. För vattenflöden genom försvarsutrymmen, som har störst påverkan på förvarets säkerhet efter förslutning, indikerar de hydrogeologiska data i området på marginella skillnader mellan alternativ B och C. Av ovanstående resonemang framkommer att alternativ B, dvs en utbyggnad på 120 m djup, i en samlad bedömning ses som det mest fördelaktiga alternativet.

Motiv till förvarsdjup

## 9 Sammanfattning

I detta dokument redovisas hur olika förläggningsdjup för ett förvar vid SFR påverkar säkerhet efter förslutning, miljöaspekter och kostnader. I analysen framgår att en utbyggnad på 120 m djup bedöms ha bättre förutsättningar att kunna uppfylla SSM:s krav rörande säkerhet efter förslutning än en utbyggnad på 70 m djup. De små fördelar som ett djup på 230 m medför vad gäller lägre vattenflöden genom förvaret, lägre risk för framtida intrång genom brunnsborring, samt lägre risk att permafrost når förvaret, kan inte motiveras med tanke på den större miljöpåverkan och högre kostnader som ett djupare alternativ innebär. Följaktligen ses alternativ B, dvs en utbyggnad på 120 m djup, i en samlad bedömning som det mest fördelaktiga alternativet.

## 10 Referenser

**Brandefelt J, Näslund J-O, Zhang Q, Hartikainen J, 2013.** The potential for cold climate conditions and permafrost in Forsmark in the next 60,000 years. SKB TR-13-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**IAEA, 2011a.** Disposal of radioactive waste. Vienna: International Atomic Energy Agency. (IAEA Safety Standards Series SSR-5)

**IAEA, 2011b.** Geologic disposal facilities for radioactive waste. Vienna: International Atomic Energy Agency. (IAEA Safety Standards Series SSG-14)

**ICRP, 2013.** Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste. Amsterdam: Elsevier. (ICRP Publication 122; Annals of the ICRP 42)

**Linde B, 2011.** PSU – Preliminär Systemhandling, Anläggningsbeskrivning referensutformning L0. SKBdoc 1262902 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**OECD/NEA, 2012.** Methods for safety assessment of geological disposal facilities for radioactive wastes: outcomes of the NEA MeSA initiative. Paris: OECD/NEA.

**Segerstedt H, Ahlbom K, Pettersson A, 2014.** Utbyggnaden av SFR ur ett BAT-perspektiv. SKBdoc 1415420 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2008a.** Safety analysis SFR 1. Long-term safety. SKB R-08-130, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2008b.** Geovetenskapligt undersökningsprogram för utbyggnad av SFR. SKB R-08-67, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2010.** Climate and climate-related issues for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-49. Svensk kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2011a.** Site description of the SFR area at Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-PSU Forsmark. TR-11-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2011b.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2014a.** Handling of future human actions in the safety assessment SR-PSU. SKB TR-14-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2014b.** Data report for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-14-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2015.** Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR. Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.