



DokumentID  
1572230

Ärende  
SSM2015-725-39

Handläggare  
Per-Gustav Åstrand  
Maria Lindgren  
Er referens  
Shulan Xu

Datum  
2016-12-12

Ert datum  
2016-10-05

Sida  
1(13)

**Kvalitetssäkring**

2017-05-05 Klas Källström (TS)

2017-05-05 Peter Larsson (Godkänd)

**Kommentar**

Strålsäkerhetsmyndigheten  
Att: Georg Lindgren  
171 16 Stockholm

## Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR - data och förtydligande av radionuklidtransportberäkningar

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, skickat en begäran om komplettering avseende ansökan om utökad verksamhet vid SFR. Begäran om komplettering som är daterad 2016-10-05 (SSM2015-725-39) avser data och förtydligande av radionuklidtransportberäkningar i SR-PSU.

SKB översänder härmed begärda data och förtydliganden. Leveransen består av detta brev, PM tillhörande fråga 1 (bilaga 1) och PM tillhörande fråga 11 (bilaga 2) samt datafiler. Datafilerna levereras separat på ett usb-minne till SSM. Följande text förtydligar leveransen för respektive fråga. Vid behov bistår SKB gärna med ytterligare förtydliganden, förslagsvis genom möten där genomgång av frågorna sker.

### 1. Var god ange dimensionerna på kompartementen för 2BMA inklusive det omgivande berget.

Nedan beskrivs dimensioner för kompartiment i närzonsmodellen för 2BMA. För berget används inte kompartimentdimensioner (i form av längd, bredd och höjd) direkt i modellen (se även svar på fråga 2). I stället anges bergkompartimentens dimensioner i termer av gångtid och flödesvätt yta per volym flödande vatten. Geosfärsmodellen beskrivs i radionuklidtransportrapporten (SKB 2015a, avsnitt 9.4 och bilaga C) och använda flödesparametrar ges i svaret på fråga 15.

### Barriärsystemet

Dimensioner i närzonen presenteras i initialtillståndsrapporten (SKB 2014b, tabell 5-1) och dataleveransen till radionuklidtransportberäkningarna är dokumenterad i AMF 85 (SKB 2014c, avsnitt 3.17) (se datafilen "BMA2\_Dimensioner.xlsx" i mappen "fråga 1"). Utifrån dessa mått beräknas dimensioner på kompartiment i närzonsmodellen. Dimensioner som beräknas i modellen anges nedan med *kursiv* text, dimensioner som representeras av parametrar som ges till modellen anges i *fet kursiv* text.

<i>cs_height</i>	= 8,4 m (Kassunernas höjd)
<i>box_wall_thickness</i>	= 0,5 m (Kassunernas vägg tjocklek, samma mått används för sidoväggar, golv och tak)
<i>cs_width</i>	= 15,2 m (Kassunernas bredd)
<i>box_length</i>	= 15,2 m (Kassunernas längd)
<i>space_between_boxes</i>	= 1,5 m (Avstånd mellan kassunerna)
<i>tunnel_width</i>	= 16,8 m (Tunnelns bredd)
<i>tunnel_height_max</i>	= 16,8 m (Tunnelns maximala höjd)

***tunnel\_height\_wall*** = 12,4 m (Tunnelns höjd vid sidan (upp till den höjd där det krökta taket börjar)  
***north\_gravel\_length*** = 24 m (Inlastningszonens längd)

Tunnelns medelhöjd beräknas som:

$$\begin{aligned} \text{tunnel\_height} &= (\text{tunnel\_height\_max} + \text{tunnel\_height\_wall})/2 \\ \text{tunnel\_height} &= (16,8+12,4)/2 = 14,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Eftersom tunneltaket är böjt kommer detta mått att något underskatta den genomsnittliga höjden och därmed volymen.

Totala volymen av en sektion (en kassun och den återfyllnad som omger den) beräknas som:

$$\begin{aligned} \text{total\_volume} &= \text{tunnel\_height} \cdot \text{tunnel\_width} \cdot (\text{box\_length} + \text{space\_between\_boxes}) \\ \text{total\_volume} &= 14,6 \cdot 19,2 \cdot (15,2+1,5) = 4681 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

För att få volymen av endast återfyllnaden för en sektion subtraheras volymen av kassunen.

$$\text{backfill\_volume} = \text{total\_volume} - \text{caisson\_volume} = 4681 - 1941 = 2740 \text{ m}^3$$

där kassunens yttre volym är:

$$\text{caisson\_volume} = \text{cs\_height} \cdot \text{cs\_width} \cdot \text{box\_length} = 8,4 \cdot 15,2 \cdot 15,2 = 1941 \text{ m}^3$$

Eftersom alla väggar, golv och tak är 0,5 m tjocka är kassunens innervolym:

$$\text{caisson\_inner} = 7,4 \cdot 14,2 \cdot 14,2 = 1492 \text{ m}^3$$

Dimensionerna för inlastningszonen i tunnelns norra ände beräknas som:

$$\text{north\_gravel\_length} \cdot \text{tunnel\_height} \cdot \text{tunnel\_width}$$

Således är volymen av inlastningszonen:

$$24 \cdot 14,6 \cdot 19,2 = 6728 \text{ m}^3$$

Återfyllnaden i tunnelns södra ände försummas i modellen.

Den totala volymen av betongkonstruktionen i varje kassun har beräknats approximativt som:

$$\text{box\_wall\_thickness} \cdot (2 \cdot \text{box\_length} \cdot \text{cs\_width} + 2 \cdot \text{box\_length} \cdot \text{cs\_height} + 2 \cdot \text{cs\_width} \cdot \text{cs\_height})$$

Således är betongkonstruktionens volym i varje kassun:

$$0,5 \cdot (2 \cdot 15,2 \cdot 15,2 + 2 \cdot 15,2 \cdot 8,4 + 2 \cdot 15,2 \cdot 8,4) = 486 \text{ m}^3$$

Betongkonstruktionen i varje kassun representeras av 5 kompartiment i radiell riktning. Totala volymen delas således upp i 5 lika delar för de 5 kompartiment som representerar betongkonstruktionens väggar, golv och tak (d.v.s. varje kompartiment får en volym på 97 m<sup>3</sup>).

Kompartimentdimensionerna för barriärsystemet sammanfattas i tabell 1.

**Tabell 1. Kompartimentdimensioner för barriärsystemet.**

	Längd [m]	Bredd [m]	Höjd [m]
Återfyllnad (en för varje kassun)	16,7	19,2	14,6
Betongkonstruktionen (5 st för varje kassun)	0,1	31,2	31,2
Kringgjutning (en för varje kassun)	14,2	14,2	7,4
Inlastningszon	24	19,2	14,6

*Notera att för betongkonstruktionens fem kompartiment anges här längden i radiell riktning och bredd och höjd motsvarar sidorna på en kvadratisk area (tvärs transportriktningen) som motsvarar arean på kassunens totala yta.*

## Avfallet

I de modeller som använts i SR-PSU (och som även levererats till SSM) har felaktiga avfallsvolymer använts. Modelleringsresultatet är, med den aktuella modelleringsansatsen, inte speciellt känsligt för variationer av volymen på avfallspaketet i 2BMA. I bilaga 1 visas att effekten av felet i avfallsvolymer är mycket liten. Nedan presenteras avfallsdimensioner där detta fel rättats.

Avfallet i 2BMA modelleras med hjälp av olika modellavfallspaket som representerar tunnor, plåtkokiller eller betongkokiller. Dessa kan vara fyllda med antingen cementkonditionerat avfall eller betongkringgjutet avfall. Modellavfallspaketet representerar alla avfallstyper som deponeras i 2BMA. Beskrivning av de olika modellavfallspaketet ges i tabell 2. I 2BMA förekommer betongkringgjutet avfall i plåtkokill i 2 olika storlekar (vanliga plåtkokiller och fyrkokiller), plåtfat med cementkonditionerat avfall förekommer inte i 2BMA. Således blir det totalt 6 olika modellavfallstyper. Mappningen mellan verkliga avfallstyper och modellavfallstyper ges i tabell 3. Mappningen är gjord utifrån beskrivningen av avfallstyper i inventarierapporten (SKB 2015b). Antal kollin per modellavfallstyp totalt och i varje kassun redovisas i tabell 4.

**Tabell 2. Beskrivning av modellavfallstyper i 2BMA-modellen.**

Modellavfallstyp	Beskrivning
wasteConcreteContainer	Betongkringgjutet avfall i plåtkokill
wasteConcreteMould	Betongkringgjutet avfall i betongkokill
wasteConcreteDrum	Betongkringgjutet avfall i plåtfat
wasteConcrete412	Betongkringgjutet avfall i fyrkokiller
wasteCementContainer	Cementkonditionerat avfall i plåtkokill
wasteCementMould	Cementkonditionerat avfall i betongkokill

**Tabell 3. Mappning av verkliga avfallstyper till modellavfallstyper.**

Avfallstyp	Antal i 2BMA	Modellavfallstyp
B.23:D	608	wasteConcreteContainer
C.23	98	wasteConcreteMould
C.4K23:D	3	wasteConcrete412
F.23	250	wasteConcreteContainer
F.4K23:D	237	wasteConcrete412
F.4K23C:D	70	wasteConcrete412
O.23	100	wasteConcreteMould
O.4K23:D	198	wasteConcrete412
O.4K23C:D	82	wasteConcrete412
O.4K23S:D	15	wasteConcrete412
R.15	68	wasteCementContainer
R.23 (S?)	96	wasteConcreteContainer
R.23:D	153	wasteConcreteContainer
R.4K23: D	314	wasteConcrete412
R.4K23C:D	149	wasteConcrete412
R.29	192	wasteCementMould
S.23	605	wasteConcreteMould
S.23:D	164	wasteConcreteMould
S.25:D	2384	wasteConcreteDrum
Å.4K23:D	45	wasteConcrete412
Å.4K23C:D	5	wasteConcrete412
<b>Totalt</b>	<b>5836</b>	

**Tabell 4. Totalt antal avfallspaket per modellavfallstyp.**

Modellavfallstyp	Antal i 2BMA	Antal per kassun
wasteConcreteContainer	1107	79,1
wasteConcreteMould	967	69,1
wasteConcreteDrum	2384	170,3
wasteConcrete412	1118	79,9
wasteCementContainer	68	4,9
wasteCementMould	192	13,7
<b>Totalt</b>	<b>5836</b>	<b>417</b>

Dimensionerna för de olika modellavfallspaketerna ges i tabell 5. Data för avfallspaketerna kommer från initialtillståndsrapporten (SKB 2014b, avsnitt 3.6).

I modellen delas avfallskollin, förutom fyrkokiller, upp i ytterligare två eller tre kompartiment vardera, en yttre och en inre kompartiment med konditionerat avfall samt en kompartiment för betongkokillens vägg. Dimensionerna för avfallskompartiment ges i tabell 6. Notera att eftersom ett modellavfallspaket representerar flera verkliga avfallspaket så skall modellavfallskompartimentens volymer multipliceras med antalet verkliga avfallspaket som representeras av modellavfallspaketet. För att få korrekt diffusionsmotstånd skalas även diffusionsarean på samma sätt (SKB 2015a, ekvation 9-11).

**Tabell 5. Dimensioner för modellavfallstyper.**

Modellavfallstyp	Höjd [m]	Bredd[m]	Längd[m]	Yttre Volym [m <sup>3</sup> ]	Inner Volym
wasteConcreteContainer	1,2	1,2	1,2	1,728	1,7
wasteConcreteMould	1,2	1,2	1,2	1,728	1,0
wasteConcreteDrum	0,88	0,59 (diam.)	-	0,241	0,238
wasteConcrete412	1,2	2,4	2,4	6,912	6,8
wasteCementContainer	1,2	1,2	1,2	1,728	1,7
wasteCementMould	1,2	1,2	1,2	1,728	1,0

**Tabell 6. Dimensioner för avfallskompartiment.**

Kompartiment	Yttre	Yttre	Yttre	Volym[m <sup>3</sup> ]
	Höjd [m]	Bredd[m]	Längd[m]	
wasteConcreteContainer_outer	1,2	1,2	1,2	0,4
wasteConcreteContainer_inner	1,1	1,1	1,1	1,3
wasteConcreteMould_mould	1,2	1,2	1,2	0,728
wasteConcreteMould_outer	1,0	1,0	1,0	0,2
wasteConcreteMould_inner	0,93	0,93	0,93	0,8
wasteConcreteDrum_outer	0,88	0,59 (diameter)	-	0,048
wasteConcreteDrum_inner	0,83	0,54 (diameter)	-	0,19
wasteConcrete412	1,2	2,4	2,4	6,8
wasteCementContainer_outer	1,2	1,2	1,2	0,4
wasteCementContainer_inner	1,1	1,1	1,1	1,3
wasteCementMould_mould	1,2	1,2	1,2	0,728
wasteCementMould_outer	1,0	1,0	1,0	0,2
wasteCementMould_inner	0,93	0,93	0,93	0,8

**2. Var god förklara angreppssättet som används för att beräkna överföringsraten för radionuklider från bergkompartimenten till geosfärmodellen. Var god ange även relevanta tillhörande data, t.ex. flödesraterna genom bergkompartimenten.**

För alla förvarsdelar, utom för silon, tas endast hänsyn till advektiv transport från närzonen till det omgivande berget. För dessa förvarsdelar förväntas advektiv transport till det omgivande berget dominera över diffusion under det tidsintervall som är mest relevant för säkerhetsanalysen (d.v.s. hela analysperioden förutom en mycket kort period på några hundra år efter förslutning). Närzonsmodellerna innehåller inga bergkompartiment, i stället beräknas överföringen som en advektiv transport direkt från återfyllnaden till det omgivande berget (SKB 2015a, avsnitt 9.3.11, ekvation 9-7). Vattenflöden från återfyllnaden är beräknade separat för varje sektion av förvarsdelarna, för de olika strandlinjepositionerna och betongdegraderingstillstånden som inträffar under de 100 000 år som simuleringen avser (Abarca et al. 2013, 2014). Fullständiga listor med dessa vattenflöden (och övriga vattenflöden i närzonsmodellerna) levereras som svar på fråga 9. Dataleveranserna från den hydrologiska modelleringen av närzonen till radionuklidtransportberäkningarna i närzonen är dokumenterade i AMF 50 (SKB 2014c, avsnitt 3.11).

Radionuklidtransport ut från silon till det omgivande berget förväntas domineras av diffusion på grund av det låga vattenflödet genom silon och därmed måste diffusionen tas med i beräkningen. Detta görs genom att lägga till en diffusiv transport parallellt med den advektiva transporten ut från silon till det omgivande berget. Den diffusiva transporten modelleras med hjälp av konceptet ekvivalent flöde (Qeq) (SKB 2015a, avsnitt 9.3.11). Modelleringen för att beräkna Qeq beskrivs i bilaga E i Abarca et al. (2014).

**3. Var god tillhandahåll radionuklidinventariedata för de olika typerna av avfallskollin som är tänkta att deponeras i 2BMA, det vill säga det totala radionuklidinventariet i de olika betongbehållarna m.m.**

Radionuklidinventariet för de olika avfallstyperna har beräknats genom att ta aktiviteten i ett medelkollin enligt inventarierapporten (SKB 2013) och multiplicera med antalet kollin som redovisats i initialtillståndsrapporten (SKB 2014b, bilaga A) och som även redovisas i svaret på nästa fråga (tabell 7). Det totala radionuklidinventariet i de olika avfallstyperna redovisas i datafilen

”Radionuklidaktivitet per avfallstyp i 2BMA.xlsx” i mappen ”fråga3”. Denna leverans är dokumenterad i AMF 86 (SKB 2014c, avsnitt 2.4).

#### 4. Var god detaljera vilken fördelning av olika typer av avfallskollin mellan betongkassunerna som antas i modelleringen.

Fördelningen av olika typer av avfallskollin gjordes genom att ta det totala antalet avfallskollin av de olika avfallstyperna enligt prognosen som redovisats i initialtillståndsrapporten (SKB 2014b, bilaga A) och fördela jämnt mellan de 14 kassunerna, se tabell 7.

**Tabell 7. Totala antalet avfallskollin och antal avfallskollin per kassun i 2BMA.**

Avfallstyp	Totalt antal deponerade kollin 2075-12-31	Antal per kassun
B.23:D	608	43,429
C.23	98	7,000
C.4K23:D	3	0,214
F.23	250	17,857
F.4K23:D	237	16,929
F.4K23C:D	70	5,000
O.23	100	7,143
O.4K23:D	198	14,143
O.4K23C:D	82	5,857
O.4K23S:D	15	1,071
R.15	68	4,857
R.23	96	6,857
R.23:D	153	10,929
R.4K23: D	314	22,429
R.4K23C:D	149	10,643
R.29	192	13,714
S.23	605	43,214
S.23:D	164	11,714
S.25:D	2384	170,286
Å.4K23:D	45	3,214
Å.4K23C:D	5	0,357
<b>Totalt</b>	<b>5836</b>	<b>416,9</b>

#### 5. Var god förtydliga ifall SKB TR-14-09 tabell 4-1 relaterar till avfallstyper, behållare, injektering och kassuner; endast kassunerna eller ett urval av cementmaterial.

Eftersom hydrologiska beräkningar inte gjorts i området med avfallspaket så har hela det vattenflöde som passerar genom kassunväggarna ansatts som flöde genom kringgjutningen och *varje* modellavfallspaket, d.v.s. ett totalt sett mycket större flöde än vad som är sannolikt har applicerats genom avfallspaketen, detta har gjorts för att säkerställa att inte flödet genom någon avfallstyp underskattas. Flödet genom avfallspaketen följer samma förändring med tiden som flödet genom kassunväggarna (SKB 2015a, tabell 4-1).

#### 6. Var god förtydliga vilken form täthetsfunktionen (eng. probability density funktion) för porositeten av konstruktionsbetongen har.

Ingen probabilistisk hantering har gjorts av porositeten i konstruktionsbetongen och således har ingen täthetsfunktion ansatts.

## 7. Var god förtydliga vilka värden som antas för den effektiva diffusiviteten, porositeten och densiteten av de cementbaserade avfallsformerna.

I tabell 8 redovisas indata för effektiv diffusivitet, porositeten, densitet samt fraktion cementpasta för de cementbaserade avfallsformerna. Densiteterna och fraktionen cementpasta är fiktiva. De två fiktiva värdena ger tillsammans mängden cement som finns i avfallsformerna. Dessa data ingår i AMF 75 (SKB 2014c, avsnitt 3.15).

**Tabell 8. Indata för effektiv diffusivitet, porositet, densitet samt fraktion cementpasta för de cementbaserade avfallsformerna.**

Tidsperiod	Effektiv diffusivitet (m <sup>2</sup> /s)	Porositet (-)	Fiktiv* densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Fiktiv* fraktion cementpasta
<b>Cementsolidifierat avfall</b>				
0-100	3,00E-10	0,33	560	1
100-500	3,50E-10	0,33	560	1
500-1000	5,00E-10	0,33	560	1
1000-	1,00E-09	0,33	560	1
<b>Betongkringgjutet avfall</b>				
0-100	3,00E-10	0,34	75	1
100-500	3,50E-10	0,34	75	1
500-1000	5,00E-10	0,34	75	1
1000-	1,00E-09	0,34	75	1

\* De två fiktiva värdena ger tillsammans mängden cement som finns i avfallsformerna.

## 8. Var god förtydliga ifall de densiteter som ges i SKB TR-14-09 avsnitt 4.1 är bulkdensiteter eller ballastens densitet. Om det handlar om det senare, multipliceras värdena med (1 – porositeten) i modellen med tidsberoende porositet?

Densiteter som ges i SKB TR-14-09 avsnitt 4.1 avser de fasta materialens densiteter utan hänsyn tagen till porositet, varför de i modellen multipliceras med (1-porositeten) för att få torr bulkdensitet (enligt ekvation 9-2 i TR-14-09).

Värdet för kringgjutningsbetong (2250 kg/m<sup>3</sup>) (SKB 2015a, avsnitt 4.1) är en låg skattning. Det borde snarare vara samma som eller åtminstone nära konstruktionsbetongens (2592 kg/m<sup>3</sup>). Denna underskattning medför att sorptionskapaciteten för kringgjutning underskattas och det kan således betraktas som ett försiktigt antagande.

## 9. Var god tillhandahåll grundvattenflödesdata för de olika kontrollytorna.

Bifogade datafiler (i mappen ”fråga9”, med en undermapp för varje förvarsdel) innehåller vattenflöden som beräknats för de olika kontrollytorna.

För varje förvarsdel beräknades vattenflöden för tre olika strandlinjehpositioner, motsvarande år 2000 AD, 3000 AD och 5000 AD och för alla dessa beräknades vattenflöden för fyra olika betongdegraderingstillstånd:

1. Base case
2. Moderately degraded concrete
3. Severely degraded concrete
4. Completely degraded concrete.
- 5.

För närzonzmodeller med betongbarriärer ansattes vattenflöden för “Moderately degraded concrete” vid början av simuleringen av radionuklidtransport (eftersom



perioden med intakt betong endast antas vara under en mycket kort period gjordes denna förenkling, som kan betraktas som ett försiktigt antagande). Vattenflöden under perioden med "Moderately degraded concrete" interpolerades linjärt mellan de olika strandlinjeperioderna. Vid senare tidpunkter i simuleringen ansattes flöden för "Severely degraded" och "Completely degraded". För BLA, som inte har betongbarriärer, ansattes vattenflöden för "Base case" för hela den analyserade perioden. Beräkningarna av vattenflöden som används i radionuklidtransportberäkningarna finns beskrivna i Abarca et. al. (2013) utom för 1BMA. För 1BMA gjordes en uppdatering av vattenflödesberäkningarna, för att på ett bättre sätt ta hänsyn till dräneringen under betongkonstruktionen, vilken redovisas i Abarca et. al. (2014).

Bifogade Excelark innehåller vattenflödesdata för alla kontrolltytor som används i beräkningsfallet för huvudscenariot (global uppvärmning). Varje Excelark innehåller en tidsserie med tidpunkterna 2000 AD, 3000 AD och 5000 AD. För varje förvarsdel finns det tre Excelark motsvarande de tre betongdegraderingstillstånd som använts i modelleringen av huvudscenariot.

**10. Var god förtydliga hur interpolationen i tiden av flödena genom kontrolltytorna genomförs. I SKB TR-14-09 avsnitt A.2 förklaras att flödena är linjärt interpolerade mellan steady state simuleringarna som representerar olika strandlinjepositioner och betongdegraderingsförhållanden. Samtidigt uppvisar modelleringsresultaten för radionuklidutsläpp från närområdet stegvisa förändringar vid 22000 år e.Kr (SKB TR-14-09 figur 5-1) och detta tillskrivs ökning av grundvattenflödeshastigheter och effektiva diffusiviteter när barriärerna degraderar. Detta innebär att det är stegvisa förändringar i närområdesflödena när barriärerna degraderar istället för kontinuerliga förändringar.**

Linjär interpolering av vattenflödet görs för att beskriva landhöjningen, eftersom det är en långsam kontinuerlig process.

För vattenflödesförändringar (och andra egenskaper) som är beroende av betongnedbrytning har endast en kort övergångstid på 100 år använts. Den verkliga övergångstiden förväntas vara längre, men en exakt uppskattning av denna övergångstid är svår att göra. Därför har en underskattning av denna övergångstid gjorts, vilket kan betraktas som en pessimistisk approximation.

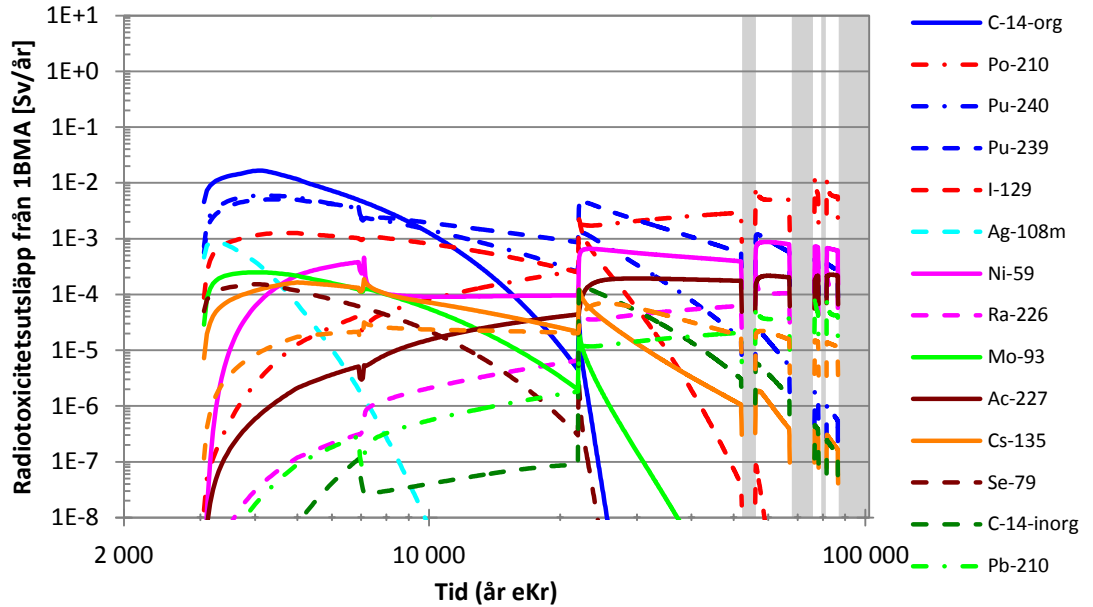
Förändringen vid 22 000 år e.Kr. är ett exempel på en förändring som görs för att beskriva övergången från ett betongdegraderingstillstånd till ett annat. Övergången är modellerad med endast en kort övergångstid på 100 år och alltså inte som en kontinuerlig förändring. Således kan en stegvis förändring ses i radionuklidutsläpp från närzonen i anslutning till förändringarna vid denna tidpunkt.

**11. Var god förtydliga ifall den stegvisa förändringen från moderat till svårt degraderad betong vid 22000 år e.Kr. och den relaterade förändringen från en transportmodell som antar ett poröst medium till en modell som antar flöde genom sprickor har en betydande påverkan på radionuklidflödeshastigheterna.**

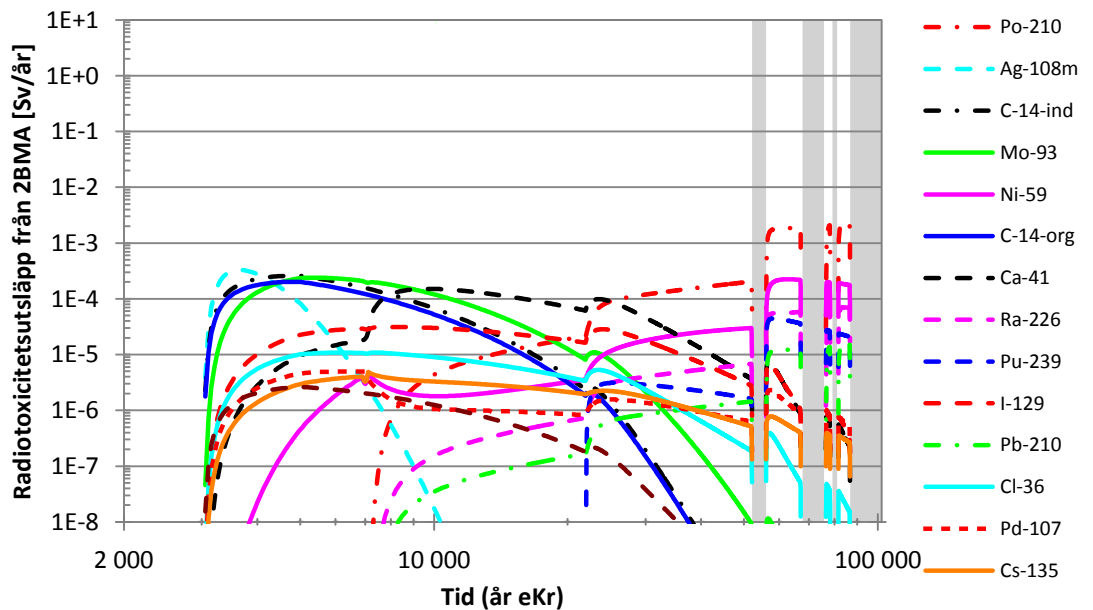
En stegvis ökning av utsläpp från närzonen kan förväntas vid 22 000 år e.Kr., detta kan ses i utsläppskurvor för 1BMA (figur 1) och 2BMA (figur 2). Dock har ett misstag gjorts vid implementeringen som fått till följd att denna effekt undertryckts i utsläppskurvorna för 2BMA. Den felaktiga implementeringen påverkar utsläppskurvorna för både 1BMA och 2BMA, påverkan på utsläppskurvorna från 1BMA är obetydlig. För 2BMA ger dock en korrekt implementation en mycket



kraftigare ökning av utsläppet vid 22 000 år e.Kr. Effekten och konsekvensen av den felaktiga implementeringen utreds i detalj i bilaga 2. Slutsatsen av analysen i bilaga 2 är att en upprättning av felet ger en viss ökning av total risk. Risken som beräknades i SR-PSU var  $9,0 \cdot 10^{-7}$  och i den korrigerade beräkningen fås en risk på  $9,4 \cdot 10^{-7}$ . Ökningen är alltså inte så stor att riskkriteriet ( $1 \cdot 10^{-6}$ ) överskrids.



Figur 1. Radiotoxicitetsutsläpp<sup>1</sup> från 1BMA närzonen enligt beräkningen i SR-PSU.



Figur 2. Radiotoxicitetsutsläpp från 2BMA närzonen enligt beräkningen i SR-PSU.

<sup>1</sup> Aktivitetsutsläpp [Bq/år] är omräknat till radiotoxicitetsutsläpp [Sv/år] genom att multiplicera med dosfaktorn för förtäring av den aktuella radionukliden.

**12. Var god förtydliga vilka värden av andelen cementpasta (SKB TR-14-09 tabell 4-5) som används för betongbehållarna och cementbaserade avfallsformerna.**

Betongbehållare är tillverkade av konstruktionsbetong, varför samma andel cementpasta används för dessa som för övrig konstruktionsbetong, d.v.s. 0,219 (SKB 2015a, tabell 4-5).

För de cementbaserade avfallsformerna har inte andelen cementpasta angivits direkt utan den ingår i den fiktiva densiteten som beräknats för de cementbaserade avfallsformerna, se vidare i svaret på fråga 7.

**13. Var god förtydliga vilka  $K_d$  värden som används för makadam/krossat berg. I SKB TR-14-10 avsnitt 8.10 står att "The suggestion to use equation 1 to estimate the gravel  $K_d$  values is accepted, however, without any addition of the porosity and density terms, simplifying the equation". Denna ekvation anges inte och det är inte tydligt för SSM vilken av ekvationerna i de underliggande referenser som detta relaterar till.**

De  $K_d$ -värden som användes för makadam/krossat berg redovisas i tabell 9. Data har valts för högt pH och redox enligt tabell 8-7 i datarapporten (SKB 2014a).  $K_d$ -värdena följer en log-normalfördelning. Inga korrelationer har använts. Indata ges i form av geometriskt medelvärde ( $10^H$ ) respektive geometrisk standardavvikelse ( $10^S$ ). Indata finns även bifogad som datafil (i mappen "fråga13"). (Notera att i indatafilen finns möjlighet att ange olika  $K_d$ -värden för olika betongdegraderingstillstånd, detta används inte för återfyllnaden och därför upprepas samma värden fyra gånger.)

Meningen som citerats i frågan har av misstag blivit kvar i datarapporten (SKB 2014a). Meningen borde ha tagits bort eftersom texten inklusive ekvationen som den refererade till togs bort. Den text som togs bort innehöll text och ekvationer som återfinns i bilagor i Crawford (2013).

**Tabell 9. Kd-värden som användes för makadam/krossat berg. Data för högt pH och redox enligt tabell 8-7 i datarapporten (SKB 2014a).**

Radionuklid (redox)	Bästa uppskattning K <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> /kg)	μ	σ	Lägsta K <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> /kg)	Högsta K <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> /kg)
H	0,0	-	-	0,0	0,0
C, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0	-	-	0,0	0,0
C, CH <sub>4</sub>	0,0	-	-	0,0	0,0
C, -CO <sub>2</sub> H	0,0	-	-	0,0	0,0
Cl(-I)	0,0	-	-	0,0	0,0
Ca(II)	0,0	-	-	0,0	0,0
Co(II)	7,4·10 <sup>-4</sup>	-3,13	0,79	2,1·10 <sup>-5</sup>	2,7·10 <sup>-2</sup>
Ni(II)	7,4·10 <sup>-4</sup>	-3,13	0,79	2,1·10 <sup>-5</sup>	2,7·10 <sup>-2</sup>
Se(-II, IV, VI)	0,0	-	-	0,0	0,0
Sr(II)	1,5·10 <sup>-5</sup>	-4,83	0,6	9,7·10 <sup>-7*</sup>	2,2·10 <sup>-4</sup>
Mo(VI)	0,0	-	-	0,0	0,0
Nb(V)	2,0·10 <sup>-2</sup>	-1,70	0,64	1,1·10 <sup>-3</sup>	3,5·10 <sup>-1</sup>
Zr(IV)	2,1·10 <sup>-2</sup>	-1,67	0,35	4,5·10 <sup>-3</sup>	1,0·10 <sup>-1</sup>
Tc(IV)	5,3·10 <sup>-2</sup>	-1,28	0,65	2,8·10 <sup>-3</sup>	9,8·10 <sup>-1</sup>
Ag(I)	0,0	-	-	0,0	0,0
Cd(II)	7,4·10 <sup>-4</sup>	-3,13	0,79	2,1·10 <sup>-5</sup>	2,7·10 <sup>-2</sup>
Sn(IV)	1,6·10 <sup>-4</sup>	-3,80	0,28	4,5·10 <sup>-5</sup>	5,6·10 <sup>-4</sup>
I(-I)	0,0	-	-	0,0	0,0
Ba(II)	1,0·10 <sup>-3</sup>	-3,00	0,46	1,3·10 <sup>-4</sup>	8,0·10 <sup>-3</sup>
Cs(I)	8,8·10 <sup>-4</sup>	-3,05	0,58	6,6·10 <sup>-5</sup>	1,2·10 <sup>-2</sup>
Sm(III)	1,5·10 <sup>-2</sup>	-1,83	0,72	5,7·10 <sup>-4</sup>	3,8·10 <sup>-1</sup>
Eu(III)	1,5·10 <sup>-2</sup>	-1,83	0,72	5,7·10 <sup>-4</sup>	3,8·10 <sup>-1</sup>
Ho(III)	1,5·10 <sup>-2</sup>	-1,83	0,72	5,7·10 <sup>-4</sup>	3,8·10 <sup>-1</sup>
U(IV)	1,1·10 <sup>-4</sup>	-3,97	0,66	5,5·10 <sup>-6*</sup>	2,1·10 <sup>-3</sup>
Np(IV)	4,1·10 <sup>-4</sup>	-3,38	0,74	1,5·10 <sup>-5</sup>	1,2·10 <sup>-2</sup>
Pu(III/IV)	1,5·10 <sup>-5</sup>	-4,83	0,72	5,7·10 <sup>-7*</sup>	3,8·10 <sup>-4</sup>
Am(III)	1,5·10 <sup>-2</sup>	-1,83	0,72	5,7·10 <sup>-4</sup>	3,8·10 <sup>-1</sup>
Cm(III)	1,5·10 <sup>-2</sup>	-1,83	0,72	5,7·10 <sup>-4</sup>	3,8·10 <sup>-1</sup>
Ac(III)	1,5·10 <sup>-2</sup>	-1,83	0,72	5,7·10 <sup>-4</sup>	3,8·10 <sup>-1</sup>
Pa(V)	5,9·10 <sup>-2</sup>	-1,23	0,48	6,8·10 <sup>-3</sup>	5,1·10 <sup>-1</sup>
Th(IV)	5,3·10 <sup>-2</sup>	-1,28	0,65	2,8·10 <sup>-3</sup>	9,8·10 <sup>-1</sup>
Ra(II)	1,0·10 <sup>-3</sup>	-3,00	0,46	1,3·10 <sup>-4</sup>	8,0·10 <sup>-3</sup>
Pb(II)	2,5·10 <sup>-2</sup>	-1,60	0,56	2,0·10 <sup>-3</sup>	3,1·10 <sup>-1</sup>

\* Detta värde har använts som indata i beräkningarna. Det kan skilja något från värden rapporterade i datarapporten (SKB 2014a) och/eller Crawford (2013). Avsikten är dock med samtliga angivna värden att de ska representera försumbar sorption även om det exakta värdet skiljer.

#### 14. Var god ange matrisdiffusionskoefficienten för berg som hänvisas till i AMF87 (SKB TR-14-12).

Effektiva diffusiviteter, D<sub>e</sub>, för alla radionuklider i bergmatrisen beskrivs av en log-normalfördelning med ett geometriskt medelvärde på 3,2·10<sup>-14</sup> m<sup>2</sup>/s och en geometrisk standardavvikelse på 1,77 (Löfgren 2014).

I Löfgren (2014) anges olika fördelningar för olika specieringar, men i radionuklidtransportmodelleringen används fördelningen med det lägsta medelvärdet (som gäller för anjoner) för samtliga radionuklider, för att undvika att överskatta matrisdiffusionen i fall där specieringen kan vara osäker.

**15. Var god tillhandahåll de korrelerade täthetsfunktionerna (eng. probability density function) för advektiva gångtider och relaterade transportmotstånd som används i modelleringen av radionuklidtransport och som hänvisas till i AMF 11(SKB TR-14- 12).**

Bifogade datafiler (i mappen ”fråga15”, med en undermapp för varje förvarsdel) innehåller de par av gångtid (travel\_time) och flödesvätt yta (a\_w) som användes i beräkningsfallen för huvudscenariot (Odén et al. 2014, SKB 2015a, bilaga A).

Det finns en datafil för varje förvarsdel. Varje datafil innehåller fyra kolumner, enligt följande:

Kolumn 1: Iterationsnummer i den probabilistiska simuleringen.

Kolumn 2: Tidpunkt (AD) för det aktuella parameterparet.

Kolumn 3: travel\_time [år]

Kolumn 4: a\_w [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>].

Det finns värden för tidpunkterna 2000 AD, 2500 AD, 3000AD, 3500AD, 5000 AD samt 9000 AD. I simuleringen tillämpades linjär interpolation mellan dessa värden. Värdet för 9000 AD användes för alla tidpunkter efter 9000 AD.

Med vänlig hälsning

**Svensk Kärnbränslehantering AB**  
Projekt SFR Utbyggnad

Peter Larsson  
Projektledare PSU

## Bilagor

1. *Corrected waste volumes in radionuclide transport models used in SR-PSU.* SKBdoc 1585177 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
2. *Corrected implementation of barrier degradation in 1BMA and 2BMA models used in SR-PSU.* SKBdoc 1585173 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Alla dokument och datafiler levereras till SSM på ett usb-minne. Dokumenten och datafilerna finns lagrade hos SKB på följande plats: [svn://svn.skb.se/ PSU/ Tillståndsansökan/kompletteringar inkomna oktober 2016/Radionuklidtransport och data](svn://svn.skb.se/PSU/Tillståndsansökan/kompletteringar_inkomna_oktober_2016/Radionuklidtransport_och_data)

## Referenser

**Abarca E, Idiart A, de Vries L M, Silva O, Molinero J, von Schenck H, 2013.** Flow modelling on the repository scale for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-13-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Abarca E, Silva O, Idiart A, Nardi A, Font J, Molinero J, 2014.** Flow and transport modelling on the vault scale. Supporting calculations for the safety assessment SR-PSU. SKB R-14-14, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Crawford J, 2013.** Quantification of rock matrix  $K_d$  data and uncertainties for SR-PSU. SKB R-13-38, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Löfgren M, 2014.** Recommendation of rock matrix effective diffusivities for SR-PSU. Based on formation factor logging in situ by electrical methods in KFR102B and KFR105. SKB R-13-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Odén M, Follin S, Öhman J, Vidstrand P, 2014.** SR-PSU Bedrock hydrogeology. Groundwater flow modelling methodology, setup and results. SKB R-13-25, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2013.** Låg- och medelaktivt avfall i SFR. Referensinventarium för avfall 2013. SKB R-13-37, Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

**SKB, 2014b.** Initial state report for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-14-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2014c.** Input data report for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-14-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2015a.** Radionuclide transport and dose calculations for the safety assessment SR-PSU. Revised edition. SKB TR-14-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2015b.** Low and intermediate level waste in SFR. Reference inventory for waste 2013. SKB R-15-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

### Revisionsförteckning

Ver	Datum	Revideringen omfattar	Utförd av	Kvalitetssäkrad	Godkännare