



DokumentID
1418468

Sida
1(12)
Datum
2015-04-30

Handläggare
Allan Hedin
Ulrik Kautsky

Ärende

Er referens
SSM2011-2426-103

Ert datum
2013-02-11
Kvalitetssäkrad datum

Strålsäkerhetsmyndigheten
Att: Ansi Gerhardsson
171 16 Stockholm

Kvalitetssäkrad av
Helene Åhsberg

2015-05-13

Godkänd av
Martin Sjölund

Godkänd datum
2015-05-13

Kommentar
Granskning, se SKBdoc 1387259

Svar till SSM på begäran daterad 2013-02-11 om komplettering rörande radionuklidtransport och dos

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, begärt komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle angående radionuklidtransport och dos på följande tre områden:

1. *Motivering av hur pulsutsläpp hanteras i riskanalysen.*
2. *Hanteringen av radon inom konsekvensanalysen.*
3. *Förhållandet att biosfärsobjekten modelleras som homogena objekt oavsett deras storlek i förhållande till radionuklidens förväntade utspridning inom objektet.*

Begäran är daterad 2013-02-11 och har diarienummer SSM2011-2426-103. (En annan kompletteringsbegäran med samma rubrik, men med annat innehåll är daterad 2012-12-17.)

SKB:s svar på fråga 1 och 2 gavs i december 2013, nedan ges nu även svar på fråga 3. SKB anser sig i och med denna komplettering ha besvarat de frågor som SSM ställt i ovan nämnda kompletteringsbegäran.

1. *Motivering av hur pulsutsläpp hanteras i riskanalysen*

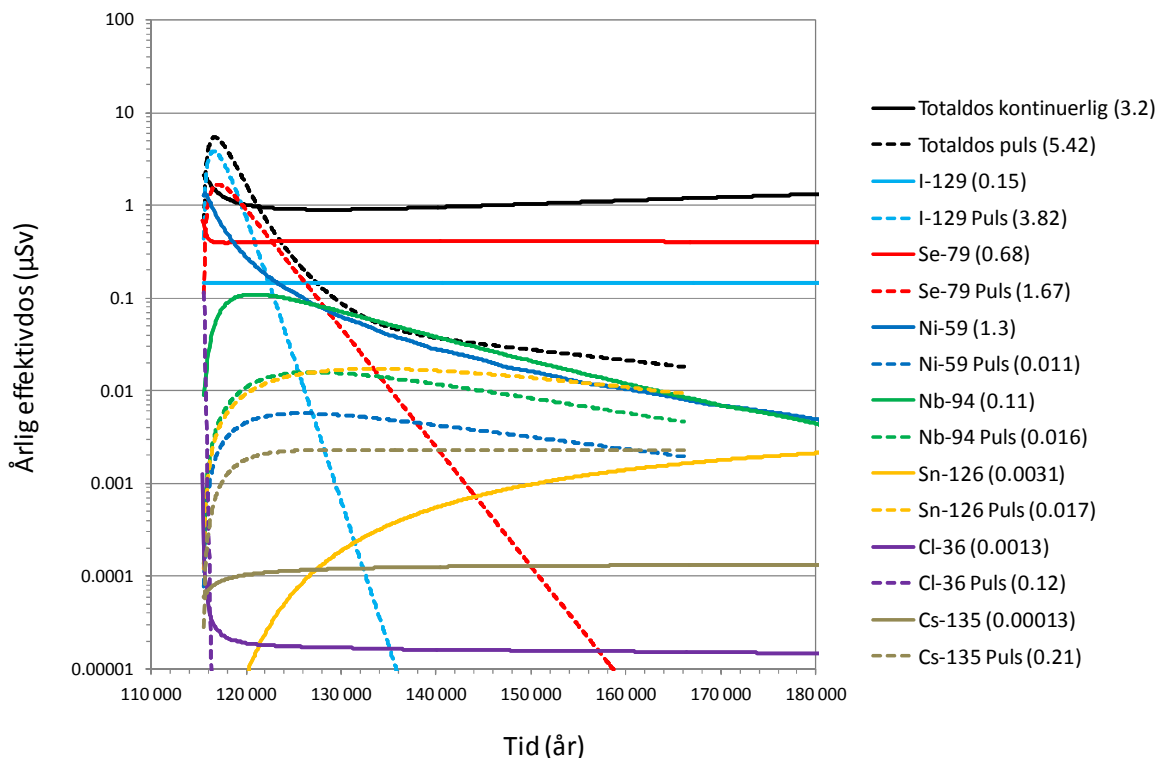
SKB:s svar (svar lämnades i december 2013)

1a) Redovisning av kontinuerligt utsläpp och pulsutsläpp i samma figur

SSM önskar en redovisning av tidsförloppet hos ett pulsutsläpp i biosfären tillsammans med det kontinuerliga utsläpp som redovisas för ett deterministiskt fall i Figur 4-3 i SKB (2010a), identisk med Figur 13-16, avsnitt 13.5.4 i SKB (2011). Figur 0-1 nedan visar denna kombination, för det begränsade tidsintervallet 110 000 år – 180 000 år. Som framgår av figuren, och av avsnitt 13.5.4 i SKB (2011), domineras dosen för vissa av IRF-nukliderna av pulsutsläppen.

Svensk Kärnbränslehantering AB

Box 250, 101 24 Stockholm
Besöksadress Blekholmstorget 30
Telefon 08-459 84 00 Fax 08-579 386 10
www.skb.se
556175-2014 Säte Stockholm



Figur 0-1. Årlig effektivdos för den deterministiska beräkningen av det centrala korrosionsfallet, dels för det kontinuerliga utsläppet (heldragna linjer), dels för pulsutsläpp (streckade linjer). Endast nuklider som har pulsutsläpp är medtagna i figuren; dock visar kurvan "Totaldos kontinuerlig" summan av samtliga nuklider som finns med i det kontinuerliga utsläppet. Siffrorna inom parenteser anger maxdosen för respektive nuklid; för det kontinuerliga utsläppet under tiden fram till en miljon år efter förslutning, för pulsutsläppet under de 50 000 år som pulsutsläppet beräknas för. Vissa maxdoser för pulsutsläppen är något lägre än värdena i Tabell 13-5 i SKB (2011) eftersom tabellen redovisar pulsdoser vid 100 000 år medan figuren visar resultat för utsläpp vid 114 000 år. Doskurvan för pulsutsläppet för Cl-36 är mycket kortvarig och syns därför inte tydligt i figuren.

1b) Frågor kring transport av radionuklider i gasfas

Delfråga om uteslutning av Cl-36, Se-79 och I-129

I processrapporten för buffert, återfyllning och förslutning (SKB 2010b, avsnitt 3.6.3), beskrivs bakgrunden till hanteringen av gasutsläpp i SR-Site. Där konstateras att C-14 och Rn-222 är de nuklider som i praktiken kan befinna sig i gasfas. I-129 och metylerade metalljoner diskuteras som osäkerheter i den mekanistiska förståelsen. Bakgrunden är att jod i huvudsak kommer att finnas som löst jodid i vattenfas och att de specier som skulle kunna gå över i gasfasen står för en ytterst liten andel av det totala inventariet. Samma resonemang skulle kunna ha tillämpats på Cl-36 och Se-79. För dessa nuklider kommer också specieringen att domineras av de vattentrogna anjonerna så att inte mer än en ytterst liten andel av det totala inventariet finns i gasfasen. Så förekommer t ex H₂Se(g) och HCl(g) bara vid mycket låga pH. Dessa ämnen blir då betydelselösa jämfört med C-14 och Rn-222.

Delfråga om inventarium av C-14 och Rn-222 samt om andel som omedelbart frigörs

Beräkningen av inventariet, liksom hanteringen av gasutsläppet i övrigt i SR-Site, är hämtade från säkerhetsanalysen SR-Can (SKB 2006a). Inventariedata är därför också hämtade från SR-Can. SSM:s konsult noterar korrekt att utsläppet för Rn-222 ska vara omkring 45 GBq vid 100 000 år (Little et al. 2012). Felet beror på en feltolkning av inventarierapporten för SR-Can, vilken baseras på inventariet i ett ton bränsle och inte det i en kapsel, som innehåller cirka två ton använt bränsle. För C-14 bör inventariet, med data enligt SR-Site, vara cirka 25 GBq vid 10 000 år och utsläppet således 12,5 GBq, vilket också påpekas av Little et al. (2012). Motiveringen till att halva inventariet frigörs omedelbart finns i texten (SKB 2011, avsnitt 13.8). Bentoniten antas öppna för gasflöde vid 20 MPa och stänga vid 10 MPa. Ur allmänna gaslagen följer att halva mängden gas därvid frigörs.

Det noteras också att antagandet att hela inventariet av Rn-222 från bränslematrisen skulle vara tillgängligt i gasfas är helt orealistiskt, vilket kommenteras vidare i svaret på fråga 2a nedan.

Delfråga om effektiv dos för C-14 och Rn-222

De effektivdoser som redovisas i Tabell 13-11 i SKB (2011) är delvis felaktiga. Dosererna bör vara de som redovisas i Tabellerna 7-2 och 7-3 i Avila (2006), identiska värden redovisas i SKB (2006b), dividerade med 50 för att ge en medellivstidsdos (SKB 2006b, avsnitt 8.2.4). Samma felaktigheter förekommer i SKB (2006a, Tabell 10-13).

Tabell 1 visar, i sista kolumnen, korrekta värden för SR-Site; de värden som korrigerats visas i fetstil.

Tabell 1. Beräknade doser från radionuklider i gasfas.

	Värden i Avila (2006) och i SKB (2006b)	Värden i SKB (2006a tabell 10-13, 2011 Tabell 13-11)	Värden i SKB (2006a, 2011), korrigerade för överensstämmelse med Avila (2006) och SKB (2006b)	Värden i SKB (2006a, 2011), korrigerade också enligt svar på delfråga om inventarier ovan
Dos C-14 inandning utomhus (Sv/y)	$2,2 \cdot 10^{-9}$ ($1,8 \cdot 10^{-10}$ - $9,0 \cdot 10^{-9}$)	$4,4 \cdot 10^{-11}$	$4,4 \cdot 10^{-11}$	$5,5 \cdot 10^{-11}$
Dos C-14 inandning inomhus (Sv/y)	$1,4 \cdot 10^{-7}$ ($3,8 \cdot 10^{-8}$ - $5,7 \cdot 10^{-7}$)	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$3,5 \cdot 10^{-9}$
Dos C-14 intag via föda (Sv/y)	$1,3 \cdot 10^{-6}$ ($1,1 \cdot 10^{-7}$ - $5,4 \cdot 10^{-6}$)	$3,6 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$
Dos Rn-222 inandning utomhus (Sv/y)	$5,3 \cdot 10^{-6}$ ($4,0 \cdot 10^{-7}$ - $2,0 \cdot 10^{-5}$)	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
Dos Rn-222 inandning inomhus (Sv/y)	$2,3 \cdot 10^{-4}$ ($6,0 \cdot 10^{-5}$ - $9,0 \cdot 10^{-4}$)	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$

Ett erratum för tabell 13-11 i TR-11-01 kommer att tas fram.

Delfråga om val av C-14-modell

När beräkningarna gjordes för SR-Can fanns ingen annan modell tillgänglig. Senare har Bioprota jämfört olika modeller och diskuterat skillnader vilket påpekas i SSM:s fråga, men Bioprotas rapport var inte klar när beräkningarna gjordes för SR-Site. Dessutom fanns feltolkningar i tidiga utkast av Bioprota-rapporten. SKB har besvarat en tidigare fråga från SSM (SKB 2013a, delfråga 1a) om hur modellen är uppbyggd och avser att detaljera denna beskrivning enligt protokoll från möte mellan SSM och SKB (SSM2011-1137-52). I säkerhetsanalysen för utbyggnaden av SFR¹, SR-PSU, är C-14 en viktig radionuklid och modellerna i biosfären har modifierats med nya kunskaper och resultaten av diskussionerna i bl a Bioprota. En detaljerad beskrivning av nya C-14-modeller kommer att lämnas med SR-PSU under våren 2014.

Delfråga om referenser till parametrar för beräkning av inhalationsdos i R-06-81

I SKB-rapporten R-06-81 (Avila 2006) härleds i kapitel 7 parametrar från litteraturdata där sådana finns, och i annat fall anges vilka antaganden som använts. För parametrarna *area*, *house volume*, *mixing height*, *wind speed*, *house ventilation rate* fanns inga litteraturvärden. Parametervärdena skattades i rimliga intervall, vilket beskrivs i kapitel 7 i Avila (2006) och återges i Tabell 2 här. Intervallen användes för att variera beräkningarna, vars resultat fick den variation som visas i första kolumnen i tabellen ovan (delfråga om effektiv dos för C-14 och Rn-222).

Tabell 2. Parameternamn, enhet och värden för dosberäkningar av gasutsläppsscenarioet. Intervallen i parentes anger osäkerheterna som använts i modellen, se vidare Avila (2006).

Parameternamn	enhet	värde
Area	m ²	10000
Radius of release area	m	56,4
Wind speed	m/s	2 (1-10)
Mixing height	m	20 (10-50)
Carbon content of air	g/m ³	0,13
Factor for local production	-	0,1
House volume	m ³	1000 (500-1500)
House ventilation rate	1/h	2(1-5)
DCC inh C-14	Sv/Bq	6,2 · 10 ⁻¹²
DCC inh Rn-222 outdoors	µSv/y per Bq/m ³	47
DCC inh Rn-222 indoors	µSv/y per Bq/m ³	32
DCC ingestion C-14	µSv per Bq C-14 per g C-12	52,9
Occupancy factor indoor	-	0,5

¹ Säkerhetsanalysen SR-PSU ingår i underlaget till ansökan om utbyggnad av SFR som lämnas till SSM våren 2014.

2. Hanteringen av radon inom konsekvensanalysen

SKB:s svar (svar lämnades i december 2013)

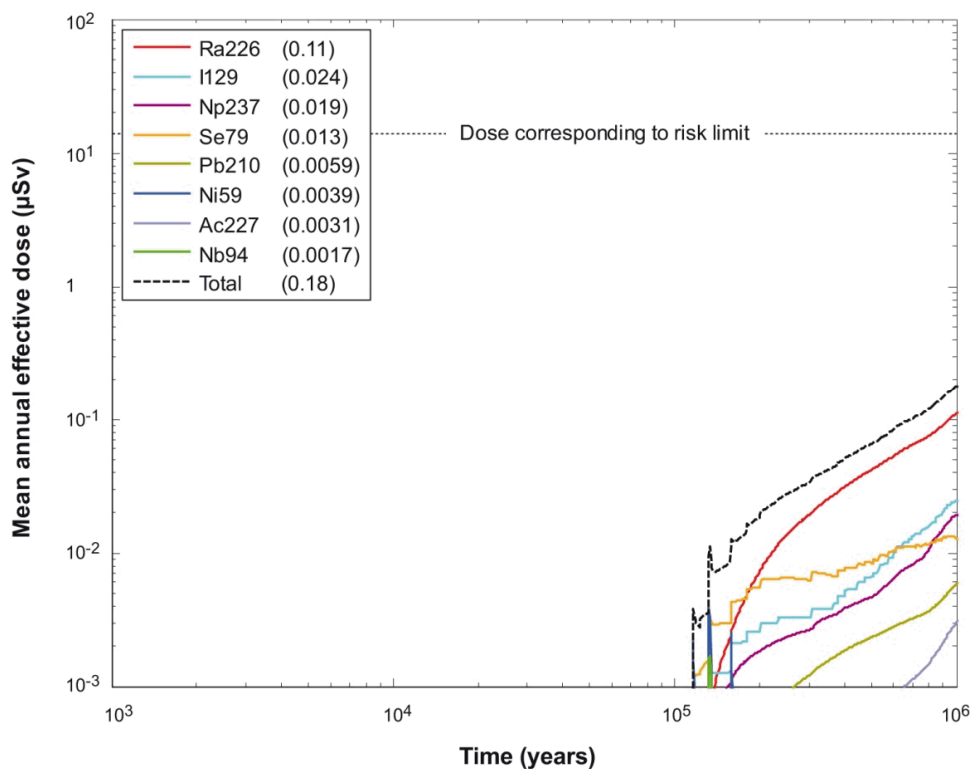
2a) Radon i bränslematrisen

I Pensado (2012) beräknas konsekvensen av att hela produktionen av Rn-222 i bränslematrisen ständigt släpps ut till kapselns närområde. Rn-222 sönderfaller under transporten i geosfären med en halveringstid av 3,8 dagar till Pb-210 och ger ett bidrag till Pb-210-dosen i biosfären. SKB har i beräkningar bekräftat att dosens storlek i detta fall blir ungefär det som Pensado (2012) rapporterar och noterar också att ett i det närmaste identiskt resultat fås genom att anta att samma molmassa släpps till närområdet i form av Pb-210, vilket visar att sönderfallet sker tidigt i transportvägen i geosfären.

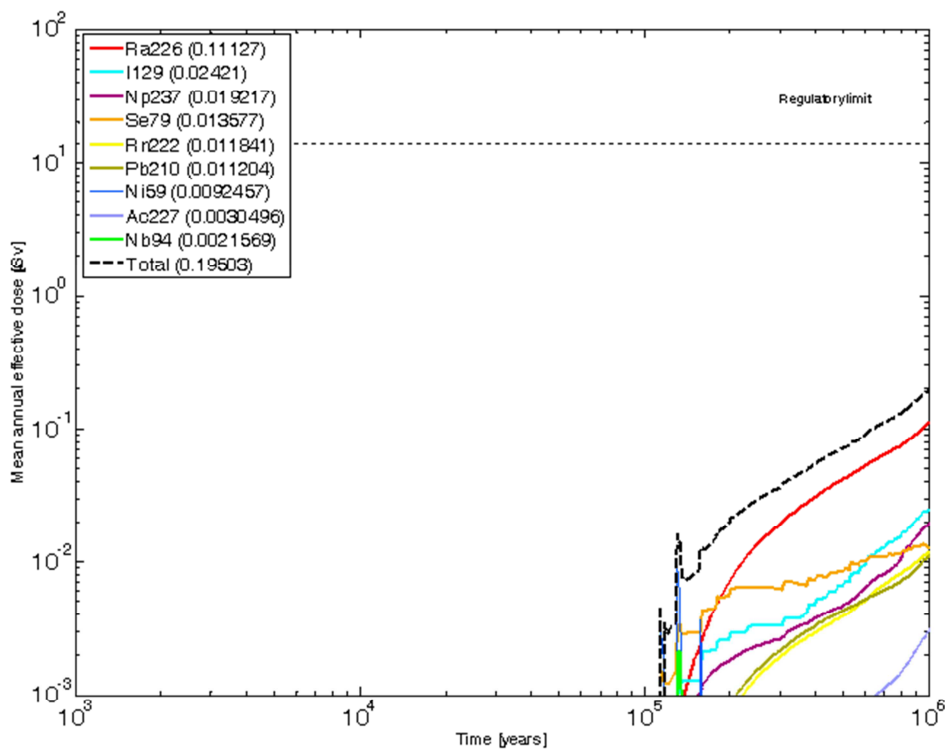
SKB menar dock att detta fall är helt orealistiskt. Rn-222 har en halveringstid av endast 3,8 dagar och det Rn-222 som bildas i bränslematrisen kommer aldrig att hinna diffundera till bränslekornens yta på denna korta tid, se t ex Matzke (1980), för diffusionsdata för Xe. Data i den referensen visar att en Xe-atom diffunderar i sammanhanget försumbara sträckor också på en miljon år vid 400 °C. Detta visar också att antagandet bakom SKB:s hantering av pulsutsläpp av Rn-222 i avsnitt 13.8 i SKB (2011), se svar på fråga 1b ovan, är kraftigt pessimistiskt; också här görs ju antagandet att hela inventariet av Rn-222 i bränslet är tillgängligt för uttransport.

2b) Rn-222 i transportberäkningar

SKB har genomfört en kompletterande beräkning för att belysa betydelsen av Rn-222 i transporten av radionuklider i geosfären. Resultatet av det centrala korrosionsfallet med Rn-222 inkluderat i transportkedjan visas i Figur 0-3, medan fallet där Ra-226 sönderfaller direkt till Pb-210 visas i Figur 0-2, som är identisk med Figur 13-18 i SKB (2011). SKB kan bekräfta slutsatsen i Pensado (2012) att transporten av Rn-222 i geosfären ger ett tillskott till dosen av Pb-210; maxdosen från Pb-210 ökar från 0,0059 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ till 0,011 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ då Rn-222 inkluderas i kedjan. Även Rn-222 ger ett dosbidrag av maximalt 0,012 $\mu\text{Sv}/\text{år}$. Dock är detta mindre än det Pensado (2012) beräknar, se vidare Not i) nedan. Den maximala totaldosen påverkas marginellt av dessa båda tillskott; den ökar från 0,18 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ till 0,195 $\mu\text{Sv}/\text{år}$.



Figur 0-2. Årlig effektivdos för den probabilistiska beräkningen av det centrala korrosionsfallet i SR-Site (Figur 13-18 i SKB 2011). Siffrorna inom parenteser anger maxdosen för respektive nuklid.



Figur 0-3 Årlig effektivdos för den probabilistiska beräkningen av det centrala korrosionsfallet i SR-Site, utökat med Rn-222 i beräkningskedjan för geosfären. Siffrorna inom parenteser anger maxdosen för respektive nuklid.

Noter

- i. Dosbidraget från Rn-222 är mindre än det som redovisas i Pensado (2012). Detta beror dels på att LDF för Rn-222 (se svar på fråga 2c nedan) är mindre än den som skattats av Pensado (2012), dels på att fördelningarna av transportparametrar som används av Pensado (2012) inte helt överensstämmer med de som användes i SR-Site.
- ii. Som redovisas i underlaget (bilaga 3, Appendix 1) till svaret (SKB 2013b) på SSM:s begäran om komplettering angående dokumentation och kvalitetssäkring av koder, är doserna i erosions/korrosionsscenarioet i SR-Site för höga med cirka en faktor 1,2 på grund av ett räknefel i korrosionsanalysen. Detta är inte korrekterat i ovanstående beräkningar, som alltså överskattar doserna med denna faktor.
- iii. I sönderfallskedjan för U-238 kan även Po-210 bidra till dosen. Dosen från Po-210 är medräknad i LDF för Pb-210 för fall där Pb-210 sprids i landskapet, men inte i fall där utsläpp sker till en brunn. Även Po-210 bör därför räknas med i transportkedjan (detta var dock inte efterfrågat i SSM:s kompletteringsbegäran). Som framgår av datarapporten för säkerhetsanalysen SR-PSU, som kommer att publiceras våren 2014, är sorptionsdata i geosfären för Po mycket osäkra. Samma rapport visar att brunnensdata indikerar att det är pessimistiskt att anta att Po-210 befinner sig i sekulär jämvikt med Pb-210 i en borrhållad brunn. LDF för Po-210 ($8,86 \cdot 10^{-12}$ Sv/Bq, SKB 2010a, Tabell 3-7) är cirka en faktor 1,75 högre än den för Pb-210 ($5,07 \cdot 10^{-12}$ Sv/Bq, SKB 2010a, Tabell 3-7) och för båda nukliderna dominerar dosen helt av bidraget från brunn. Om också dosen från Po-210 inräknas på detta sätt i Figur .0-3 tillkommer alltså ett årligt dosbidrag av maximalt $1,75 \cdot 0,011 \mu\text{Sv} \approx 0,0196 \mu\text{Sv}$, dvs den maximala årliga summadosen i Figur .0-3 ökar från $0,195 \mu\text{Sv}$ till $0,215 \mu\text{Sv}$.
- iv. Sammantaget innebär inkluderingen av Rn-222 och Po-210 i beräkningskedjan för U-238 att den maximala totaldosen ökar från $0,18 \mu\text{Sv}/\text{år}$ (Figur 0-2) till $0,215 \mu\text{Sv}$ (Figur .0-3 + Not iii), eller med en faktor cirka 1,2. Detta råkar vara ungefär den faktor med vilken de ursprungliga doserna är överskattade enligt Not ii), dvs de redovisade doserna i SR-Site ändras ytterst marginellt av den sammantagna effekten av de faktorer som diskuterats i detta svar till SSM:s fråga 2b. Siffrorna gäller det centrala korrosionsfallet; samma slutsats är giltig för samtliga beräkningsfall i erosions/korrosionsscenarioet. Detta redogörs ytterligare för i Appendix 1.

2c) Radondoser från borrhållad brunn

I bifogad bilaga 1 redovisas hur doskonverteringsfaktorn (LDF) för radon har beräknats och i fråga 2b) ovan (Rn-222 i transportberäkningar) redogörs för dosbidraget från radon. I enlighet med hur övriga LDF-värden valts i SR-Site, används i dosberäkningarna medianvärdet för Rn-222 i Tabell 2, bifogad bilaga, dvs $5,1 \cdot 10^{-14}$ Sv/Bq.

3. Förhållandet att biosfärobjekten modelleras som homogena oavsett deras storlek i förhållande till radionuklidens förväntade utspridning inom objektet

I bifogad bilaga 2 redovisas hur spridning och spädning hanterats i SR-Site. Dessutom redovisas ytterligare analyser av objekt 116 som har delats i tre hypotetiska delområden och resultaten från SR-PSU med varierande indelning av objekten. I korta drag visar analyserna att utströmningens läge och intensitet av djupt grundvatten normalt varierar över

ett objekt. Vi anser att antagandet av en homogen utströmning över hela objektet är en rimlig representation av ett LDF värde som baseras på ett medelvärde av delar av objekt med hög och låg grundvattenutströmning.

Med vänlig hälsning

Svensk Kärnbränslehantering AB
Avdelning Kärnbränsle

Helene Åhsberg
Projektledare Tillståndsprövning

Bilagor

1. Derivation of a dose factor for Rn-222 release to a well, SKBdoc 1418460 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
2. Reply to SSM question regarding homogeneous biosphere objects, SKBdoc 1480681 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Referenser

Referenser och dokument i ansökan

Avila R, 2006. The ecosystem models used for dose assessments in SR-Can. SKB R-06-81, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006a. Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project. SKB TR-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006b. The biosphere at Forsmark. Data assumptions and models used in the SR-Can assessment. SKB R-06-82, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2010a. Radionuclide transport report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-50, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2010b. Buffer, backfill and closure process report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-47, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2011. 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.

Övriga referenser

Little R, Maul P, Robinson P, Watson C, 2012. Review of SKB's Radionuclide Transport Methodology. SSM Technical note 2012:55, Strålsäkerhetsmyndigheten.

Matzke H, 1980. Gas release mechanisms in UO₂ – A critical review. Radiation Effects 53, 219–242.

Pensado O, 2012. Independent radionuclide transport modelling – Reproducing results for main scenario. Technical note addendum 1, SSM Dnr. 2012-142, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SKB, 2013a. Svar till SSM på begäran om komplettering rörande radionuklidtransport och dosberäkningar. SKBdoc 1387920 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2013b. Svar till SSM på begäran om komplettering rörande dokumentation och kvalitetssäkring av koder. SKBdoc 1396660 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

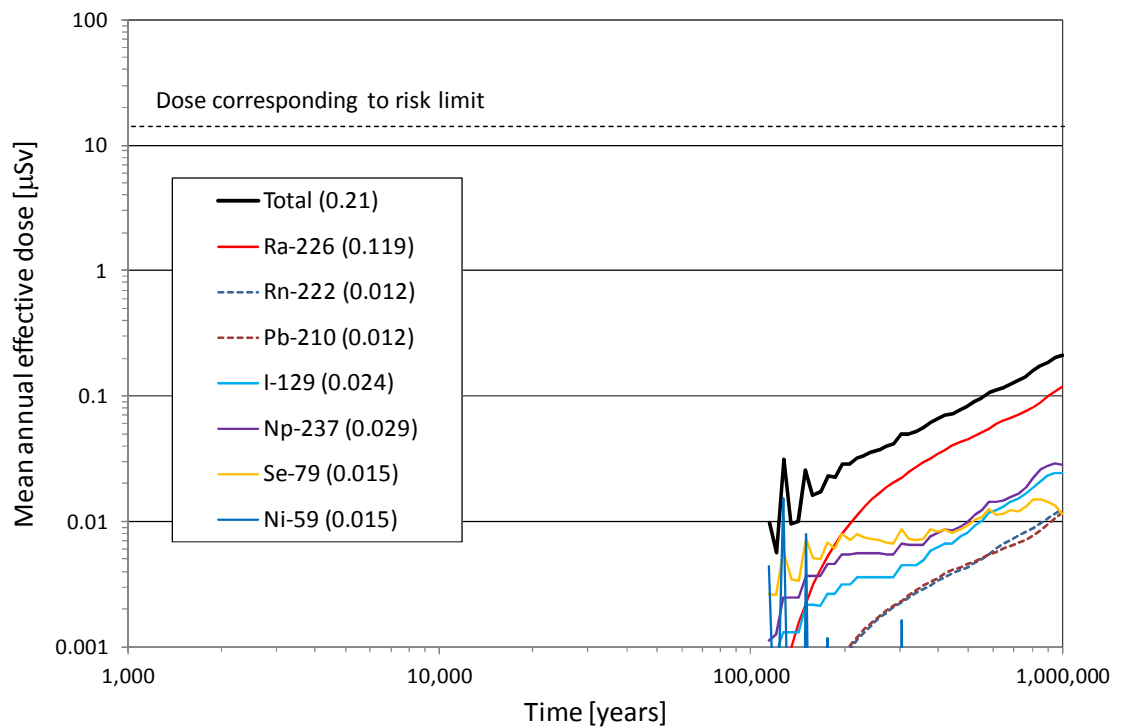
Revisionsförteckning

Version	Datum	Revideringen omfattar	Utförd av	Kvalitetssäkrad	Godkänd
2.0	Se sidhuvud	Kompletteras med svar på fråga 3 och bilaga 2.	Ulrik Kautsky	Se sidhuvud	Se sidhuvud
1.0	2013-12-20	Frågor 1 och 2 besvaras och bilaga 1 lämnas in.	Allan Hedin, Ulrik Kautsky	Helene Åhsberg	Martin Sjölund

Appendix 1. Korrigerade dosberäkningar

Som framgår av Noterna till svaret på fråga 2b har radionuklidtransport- och dosberäkningarna korrigerats på några punkter sedan redovisningen i SR-Site (SKB 2011). I detta Appendix redogörs för resultaten av dessa korrigeringar med hjälp av beräkningar med analytiska modeller. Dessa modeller visades i SR-Site ge resultat mycket nära dem beräknade med numeriska modeller (SKB 2011, avsnitt 13.5.10). Den analytiska modellen som användes i SR-Site har utvecklats till att nu också hantera kedjesönderfall i geosfären, varför de kan användas för de fall som diskuteras i svaret på fråga 2b.

Figur A1 visar samma fall som Figur 3 i svaret på fråga 2b, beräknat med analytisk modell. En jämförelse visar att resultaten är snarlika dem i Figur 3, vilka beräknats med numeriska modeller.

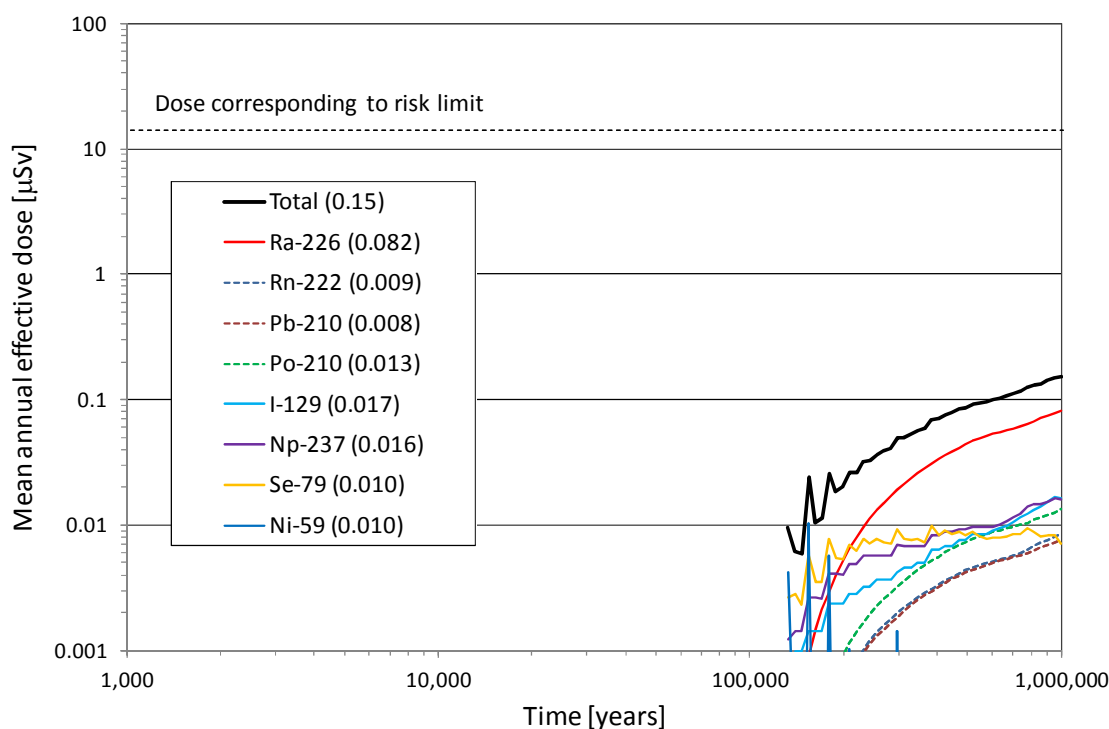


Figur A1. Årlig effektivdos för den probabilistiska beräkningen av det centrala korrosionsfallet i SR-Site, utökat med Rn-222 i beräkningskedjan för geosfären. Siffrorna inom parentes anger maxdosen för respektive nuklid. Analytisk modell. Samma fall beräknat med numeriska modeller visas i Figur 3.

Figur A2 visar den samlade effekten av de korrigeringar som diskuteras i Noterna till svaret på fråga 2b, det vill säga:

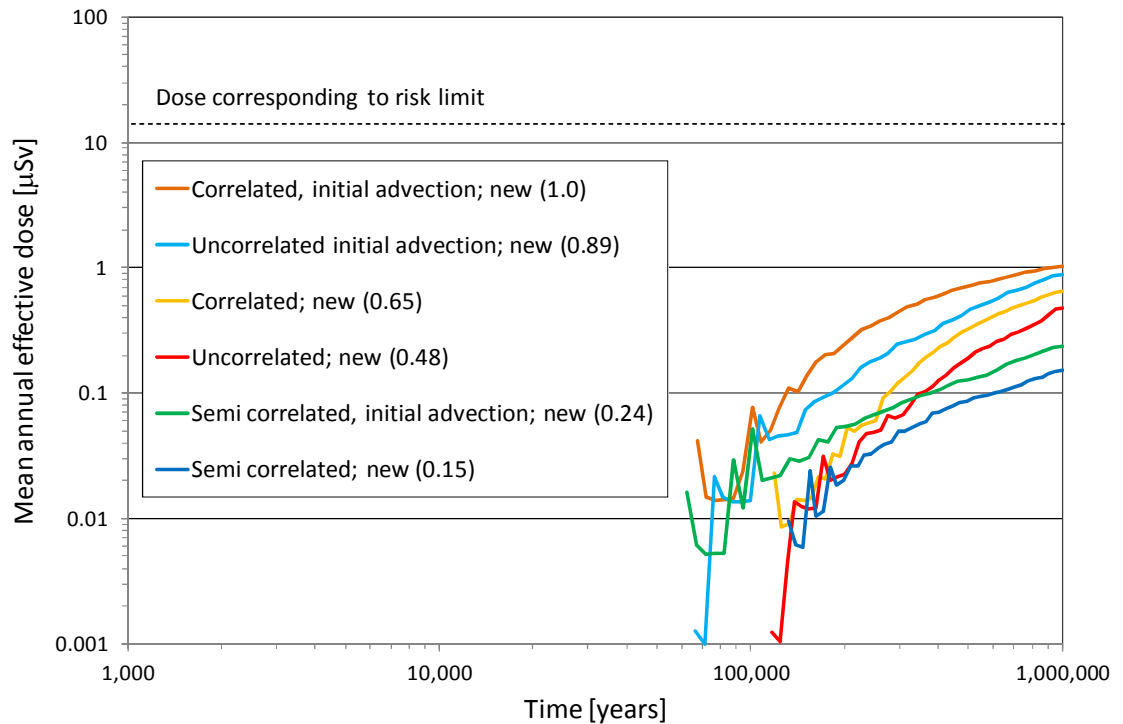
- Korrigerade indata från korrosionsberäkningar
- Tillägg av Rn-222 i transportkedjan (genomfört också i Figur A1)
- Tillägg av Po-210 med antagande om sekulär jämvikt med Pb-210

En jämförelse av Figurer A1 med Figur A2 visar den samlade effekten av korrigeringarna. Den största effekten fås av den första punkten och nettoeffekten är lägre totaldoser.



Figur A2. Årlig effektivdos för den probabilistiska beräkningen av det centrala korrosionsfallet i SR-Site, korrigerat enligt de tre punkterna i texten. Siffrorna inom parenteser anger maxdosen för respektive nuklid. Analytisk modell.

Figur A3 visar resultatet av de sex korrosionsfall som användes i diskussionen om kravuppfyllelse i SR-Site, här beräknade med analytiska modeller och med alla korrigeringar enligt ovan inkluderade. Figuren kan jämföras med motsvarande figur utan korrigeringar, figur 13-42 i SKB (2011). Som framgår av en sådan jämförelse är skillnaderna marginella och doserna för det korrigerade fallet blir i allmänhet något lägre än de som redovisades i SR-Site.



Figur A3. Årliga effektivdoser för probabilistiska beräkningar av sex korrosionsfall i SR-Site, korrigerade enligt de tre punkterna i texten. Siffrorna inom parenteser anger maxdosen för respektive nuklid. Analytisk modell. Figuren kan jämföras med figur 13-42 i huvudrapporten SR-Site (SKB 2011) som visar motsvarande beräkning utan korrektioner.