

**P-08-18**

# **Beräkning av radonhalter och radonavgång från ett slutförvar för använt kärnbränsle**

Cecilia Jelinek, Sveriges Geologiska Undersökning

Januari 2008

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co  
Box 250, SE-101 24 Stockholm  
Tel +46 8 459 84 00



ISSN 1651-4416

SKB P-08-18

# **Beräkning av radonhalter och radonavgång från ett slutförvar för använt kärnbränsle**

Cecilia Jelinek, Sveriges Geologiska Undersökning

Januari 2008

*Nyckelord:* Radon, Radonavgång, Radonhalt, Slutförvar, Upplag.

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från [www.skb.se](http://www.skb.se).

# Sammanfattning

I berganläggningar avgår radon från alla bergytor, krossat berg på sulor<sup>1</sup> och i upplag, samt från inläckande grundvatten. Radonavgången är så pass stor att det alltid finns risk att exponeringen för radon utgör en hälsorisk. En tillräcklig ventilation är den främsta åtgärden för att begränsa radonhalten.

I denna rapport har radonhalter i det planerade slutförvaret beräknats utifrån antaganden om förvarets dimensioner, grundvattenbildning och uranhalt i berget.

Radonhalter har beräknats dels för ett förvar i Oskarshamn, dels för ett förvar i Forsmark. Förhållanden för två stadier under byggskedet (år 2015 och 2018) och två stadier under driftsskedet (år 2030 och 2075) har beaktats. Beräkningarna har gjorts för normal respektive hög uranhalt i berget samt normal respektive hög radonhalt i inläckande grundvatten, samt olika mängder vatteninläckage.

Tillgänglig ventilationskapacitet är tillräcklig för att hålla radonhalterna på acceptabla nivåer. Om förvaret inte ventileras blir dock radonhalterna för höga.

För att radonhalten i hela förvaret ska understiga gränsvärdet 400 Bq/m<sup>3</sup>, med konservativa antaganden för uranhalt i berg, radonhalt i inläckande vatten och mängd inläckande grundvatten, krävs ett maximalt luftflöde på 73 m<sup>3</sup>/s för Oskarshamn och 52 m<sup>3</sup>/s i Forsmark, detta gäller år 2075, avslutande drift, då förvaret har maximal volym. Med realistiska antaganden blir nödvändiga luftflöden mindre.

Upplaget av krossat berg i närheten av anläggningen beräknas kunna ge ett tillskott till radonhalten i uteluften på 1–3 Bq/m<sup>3</sup>, med realistiska antaganden, och 7–16 Bq/m<sup>3</sup> med konservativa antaganden, vid en luftomsättning per timme i en antagen kontrollvolym runt upplaget.

Den totala effekten på radonhalten i utomhusluften runt förvaret har också uppskattas, där tillskottet från förvaret och från upplaget av krossat berg har slagits ihop. Vid realistiska förhållanden har radontillskottet beräknats till 10 Bq/m<sup>3</sup> (Oskarshamn) respektive mindre än 6 Bq/m<sup>3</sup> (Forsmark), vid en luftomsättning per timme i uteluften. Detta kan jämföras med en normal ursprungshalt av radon i atmosfärsluft på 10 Bq/m<sup>3</sup> och gränsvärdet för radon i inomhusluft, 200 Bq/m<sup>3</sup>. Konservativa antaganden leder till ett maximalt radontillskott till uteluften runt förvaret på 36 respektive 28 Bq/m<sup>3</sup>. Vid helt stillastående luft blir förhållandena annorlunda, med höga radonhalter i luften utanför ventilationsöppningarna. Alldeles stillastående luft är dock mycket sällsynt, speciellt som ventilationen av förvaret i sig rör om luften.

Så länge luften inte är fullkomligt stillastående omkring bergupplag och ventilationsöppningar förväntas påverkan på radonhalten i utomhusluften kring förvaret vara liten. Friskluftsintag till byggnader ovan mark bör dock inte placeras bredvid en ventilationsöppning. Radonhalterna i inomhusluft bör lämpligen kontrolleras regelbundet, likaväl som radonhalterna i luften under mark i bergrum.

---

<sup>1</sup> Sula = botten eller golv i bergrum och gångar i gruvor.

## Summary

In an underground repository, radon is released to the air from rock surfaces, from crushed rock on repository floors (road base), from crushed rock that has not yet been transported out of the repository, and from ground water that flows into the repository. Radon exposure can cause health effects. Adequate ventilation is the main tool for keeping the radon concentration below regulated limits.

Radon concentrations in the repository air have been calculated using a set of assumptions on repository dimensions, groundwater formation, uranium concentrations in the rock, and radon concentrations in inflowing groundwater.

Radon concentrations have been calculated for two possible locations, Oskarshamn and Forsmark. Calculations have been made for two stages during construction (2015 and 2018), one stage during operation (2030), and a pre-closure phase (2075). For each case, a realistic and a conservative assumption has been made regarding uranium content in rock and radon concentration in groundwater. High, medium and low inflows of groundwater have also been considered.

The available (as planned) ventilation capacity is sufficient for keeping acceptable radon levels. If the repository is not ventilated, the radon levels will, however, be above regulated limits.

To keep the whole repository below the limit  $400 \text{ Bq/m}^3$ , with conservative assumptions for uranium content in rock, radon concentration in inflowing water, and amount of groundwater inflow, maximum air-flows of  $73 \text{ m}^3/\text{s}$  in Oskarshamn and  $52 \text{ m}^3/\text{s}$  in Forsmark are required. This applies to the pre-closure phase 2075, when the repository is at its maximum volume. With realistic assumptions, requested airflows will be smaller.

The heap of crushed rock near the repository is calculated to give an addition of radon to the outdoor air in a volume around the repository of  $1\text{--}16 \text{ Bq/m}^3$ , assuming an outdoor air exchange rate of one exchange per hour.

Calculations have also been made regarding the total effect on the radon concentration in outdoor air from the addition of radon from ventilated air from the repository, and from radon that emerges from the heap of crushed rock on the ground level. With realistic assumptions, the addition to the outdoor radon concentration was calculated to at most  $10 \text{ Bq/m}^3$ , assuming an outdoor air exchange rate of one exchange per hour. This can be compared with a normal outdoor radon concentration of  $10 \text{ Bq/m}^3$ , and the limit for radon concentration in indoor air, which is  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Conservative assumptions gave a calculated addition of radon to outdoor air of  $36 \text{ Bq/m}^3$ . If the outdoor air is completely immobile, radon concentrations in the air close to ventilation openings will be high. This situation is extremely unusual, and around the repository the ventilation itself will cause the air to move.

As long as the outdoor air is not completely still around the ventilation openings and the heap of crushed rock, the resulting increase in the outdoor radon concentration is expected to be small. Ventilation openings from the repository should however be placed away from above-ground buildings. Radon concentrations in indoor air of above-ground buildings should be controlled as well as radon concentrations in areas below ground.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	7
<b>2</b>	<b>Syfte och mål</b>	9
<b>3</b>	<b>Bakgrund</b>	11
3.1	Information om radon	11
3.2	Radioaktiva ämnen i berggrunden	13
3.3	Radon från grundvatten	14
3.4	Strålning	14
3.5	Stråldoser	15
3.5.1	Beräkning av dosen vid radonexponering	15
3.6	Hälsorisker	16
<b>4</b>	<b>Gränsvärden för radon och strålning</b>	17
4.1	Strålning	17
4.2	Radon	17
<b>5</b>	<b>Förutsättningar för beräkning av radonhalter i slutförvaret</b>	19
5.1	Bergyta i förvaret och volym	19
5.2	Ventilation (luftomsättning)	20
5.2.1	Luftflöden under driftsskede	21
5.3	Mängd krossat berg i förvaret	21
5.4	Bärlager (yta, tjocklek)	22
5.5	Uranhalt i omgivande berg	22
5.6	Mängden vatteninläckage	23
5.7	Radonhalten i inläckande vatten	24
5.8	Omfattningen av täckta bergytor, samt radonavgång från material som ytorna täckts med	25
<b>6</b>	<b>Beräkningsgrunder</b>	27
6.1	Radonavgång från bergytor	27
6.2	Radonavgång från krossat berg	27
6.3	Radonavgång från inläckande vatten	28
6.4	Totalt radonbidrag per ytenhet från bergyta, vatteninläckage, krossat berg i bärlager och i bergssilo	29
6.5	Minsta luftflöden	30
6.6	Radonhalt	30
6.7	Utsläpp av dotternuklider	30
<b>7</b>	<b>Radonhalter i slutförvaret</b>	33
7.1	2015 – Byggskede, tidsperiod, år 3–4	33
7.1.1	Förutsättningar	33
7.1.2	Antaganden	34
7.1.3	Radonhalter och ventilationsbehov för rampen	34
7.1.4	Radonhalter och ventilationsbehov för skipschakt och berglaststation	34
7.2	2018 – Byggskede, tidsperiod år 60	35
7.2.1	Förutsättningar	35
7.2.2	Antaganden	35
7.2.3	Radonhalter och ventilationsbehov för hela förvaret 2018	35

7.3	Driftskede, 2030 och 2075	35
7.3.1	Förutsättningar	35
7.3.2	Antaganden 2030	36
7.3.3	Antaganden 2075	37
7.3.4	Ventilationsbehov för förvarets delar 2030 och 2075	37
7.3.5	Radonhalter i förvarets delar 2030 och 2075	38
7.3.6	Radonhalt i deponeringstunnel	38
7.4	Avbrott i ventilationen	40
7.4.1	Uppbyggnad av radonkoncentration	40
7.4.2	Sänkning av radonkoncentration	40
<b>8</b>	<b>Beräkning av radontillskott till omgivningen</b>	41
8.1	Radon som ventileras ut från förvaret	41
8.1.1	2015	42
8.1.2	2018	42
8.1.3	2030	43
8.1.4	2075	43
8.2	Radon som avgår från upplag av krossat berg ovan jord	44
8.3	Totalt tillskott av radon	45
8.4	Dos till en person som går förbi en ventilationstrumma	46
8.5	Utsläpp av dotternuklider	47
<b>9</b>	<b>Osäkerheter</b>	49
9.1	Uranhalt i berg	49
9.2	Inläckande grundvatten	49
9.3	Radonhalter i grundvatten	49
9.4	Ventilation	49
<b>10</b>	<b>Platsspecifika skillnader</b>	51
<b>11</b>	<b>Slutsatser</b>	53
	<b>Referenser</b>	55
<b>Bilaga 1</b>	2015 – Byggskede, tidsperiod, år 3–4	57
	2018 – Byggskede, tidsperiod år 6	58
	Driftskede, 2030 och 2075	59
<b>Bilaga 2</b>	Radon som ventileras ut från förvaret	65
<b>Bilaga 3</b>	Utsläpp av dotternuklider	69

# 1 Introduktion

I berganläggningar avgår radon från alla bergytter, krossat berg på sulor och i upplag, samt från inläckande grundvatten. Radonavgången är så pass stor att det alltid finns risk att exponeringen för radon utgör en hälsorisk. En tillräcklig ventilation är den främsta åtgärden för att begränsa radonhalten. Vid stora mängder inläckande grundvatten minskar radonhalten avsevärt om berget tätas. Tätning minskar både radonavgången från inläckande vatten och från bergytan.

I denna rapport har radonhalter i det planerade slutförvarets undermarksdelar beräknats utifrån antaganden om förvarets dimensioner, grundvattenbildning och uranhalt i berget. Radonhalter har beräknats dels för ett förvar i Oskarshamn, dels för ett förvar i Forsmark. Förhållanden för två stadier under byggskedet (år 2015 och 2018) och två stadier under driftsskedet (år 2030 och 2075) har beaktats.

Beräkningar har också gjorts för radonavgången från ett upplag av utsprängt berg som kommer att placeras i förvarets närhet.

## 2 Syfte och mål

Syftet med denna rapport är att redogöra för beräknade radonhalter i och från ett slutförvar för använt kärnbränsle och relatera halterna till gällande gränsvärden för radon. Rapporten ska även beskriva var utsläpp av radon sker från slutförvaret och i vilken omfattning. Radonhalterna beräknas för båda platserna (Forsmark och Oskarshamn) och platsspecifika skillnader ska specificeras.

Utredningen ska beskriva generella hälsorisker förknippade med radon.

Radonutsläppens storleksordning ska sättas i relation till bakgrundsstrålningen, det vill säga radonhalten i utomhusluften.

Rapporten utgör underlag till projektering av slutförvaret, men även till miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) och den preliminära säkerhetsredovisningen (PSAR) för drifttiden som kommer att ingå i kommande tillståndsansökan för slutförvaret.



## 3 Bakgrund

I gruvor och undermarkskonstruktioner kan radonhalterna bli höga, speciellt om bergets uranhalt är hög. Radon avgår dels direkt från bergväggarna, dels från krossat berg i upplag och i bärlager<sup>2</sup>, och dels från inläckande grundvatten.

Dessutom blir gammastrålningen större när man befinner sig i ett bergrum eftersom den strålade ytan blir större än när man står på en häll ovan mark.

En beräkningsmodell för radonhalter i utrymmen under mark togs fram av /Åkerblom och Lindén 1994/ när de beräknade radonhalter i ett tänkt slutförvar i Storuman. Modellen beskrivs i kapitel 6.

### 3.1 Information om radon

Radon är en radioaktiv gas som förekommer naturligt och bildas när radium sönderfaller. Gasen är luktlös, färglös och ungefär åtta gånger tyngre än luft.

Den viktigaste radonisotopen är Rn-222. Den bildas i sönderfallskedjan efter uran-238 (tabell 3-1), och har en halveringstid på 3,8 dygn. Efter radon i sönderfallskedjan kommer de så kallade radondöttrarna, 218-polonium, bly-214, 214-vismut och 214-polonium. Radondöttrarna är metalliska partiklar, och fastnar lätt på dammkorn och dylikt. De har alla halveringstider på mindre än 30 minuter. Det är framförallt halten av alfastrålade radondöttrar i luft som har betydelse från hälsosynpunkt.

I sönderfallskedjan efter torium-232 (tabell 3-2) finns radonisotopen radon-220. Halveringstiden för denna isotop är endast 55 sekunder, vilket gör att man i normala fall inte behöver bekymra sig för denna radonisotop. I gruvor och undermarkskonstruktioner kan dock halterna bli höga.

Radonhalten mäts i enheten becquerel per kubikmeter (Bq/m<sup>3</sup>). En högre radonhalt innebär högre exponering och därmed ökad hälsorisk. I bostäder i Sverige ligger radonhalten i genomsnitt på cirka 100 Bq/m<sup>3</sup>. Det finns radon i större eller mindre mängd i alla byggnader, både över och under mark. I trähus på lermark är radonhalten cirka 50 Bq/m<sup>3</sup> men i ett ”radonhus” på en grusås kan den vara över 1 000 Bq/m<sup>3</sup> (Arbetsmiljöverket). Även i uteluften finns det radon, men här är halten normalt under 10 Bq/m<sup>3</sup> /Clavensjö och Åkerblom 1992/, men halten kan nå upp till 30 Bq/m<sup>3</sup> /Arbetsmiljöverket/.

Mellan radonhalt och radondotterhalt råder följande samband:

Radonhalt · jämviktsfaktorn = radondotterhalt

Om den aktuella jämviktsfaktorn inte har bestämts kan värdet 0,5 användas (AFS 2003:02). Dock används hellre jämviktsfaktorn 0,7 i underjordsanläggningar, beroende på högre fuktighet och inverkan av damm i gruvor enligt muntlig uppgift från Gustav Åkerblom (Åkerblom & Åkerblom HB).

Mängden bildat radon är direkt proportionell mot radiumhalten. I kristallint berg är mängden radium, i sin tur, proportionell mot mängden uran.

---

<sup>2</sup> Bärlager = Ett lager av (oftast) grovt grus som ska fördela belastningen från trafik på vägytan.

**Tabell 3-1. Sönderfallsserie för uran-238.**

Isotop	Halveringstid	Sönderfallstyp	Kommentar
$^{238}_{92}\text{U}$ (uran)	$4,48 \cdot 10^9$ år	$\alpha$	
$^{234}_{90}\text{Th}$ (torium)	24,1 dagar	$\beta$	
$^{234}_{91}\text{Pa}$ (protaktinium)	1,17 min	$\beta$	
$^{234}_{92}\text{U}$ (uran)	$2,47 \cdot 10^5$ år	$\alpha$	
$^{230}_{90}\text{Th}$ (torium)	$8,0 \cdot 10^4$ år	$\alpha$	
$^{226}_{88}\text{Ra}$ (radium)	1 600 år	$\alpha$	
$^{222}_{86}\text{Rn}$ (radon)	3,82 dagar	$\alpha$	gas
$^{218}_{84}\text{Po}$ (polonium)	3,05 min	$\alpha$	radondotter <sup>1)</sup>
$^{214}_{82}\text{Pb}$ (bly)	26,8 min	$\beta, \gamma$	radondotter
$^{214}_{83}\text{Bi}$ (vismut)	19,7 min	$\beta, \gamma$	radondotter <sup>2)</sup>
$^{214}_{84}\text{Po}$ (polonium)	$1,64 \cdot 10^{-4}$ s	$\alpha$	radondotter
$^{210}_{82}\text{Pb}$ (bly)	21,3 år	$\beta$	
$^{210}_{83}\text{Bi}$ (vismut)	5,01 dagar	$\beta$	<sup>3)</sup>
$^{210}_{84}\text{Po}$ (polonium)	138 dagar	$\alpha$	
$^{206}_{82}\text{Pb}$ (bly)	stabil		

<sup>1)</sup> En liten andel av  $^{218}\text{Po}$  sönderfaller till  $^{218}\text{At}$  ( $\beta\beta$ ), som i sin tur sönderfaller till  $^{214}\text{Bi}$  ( $\alpha\alpha$ , 2 s).

<sup>2)</sup> En liten andel av  $^{214}\text{Bi}$  sönderfaller till  $^{210}\text{Tl}$  ( $\alpha\alpha$ ), som i sin tur sönderfaller till  $^{210}\text{Pb}$  ( $\beta\beta$ , 1,3 min).

<sup>3)</sup> En liten andel av  $^{210}\text{Bi}$  sönderfaller till  $^{206}\text{Tl}$  ( $\alpha\alpha$ ), som i sin tur sönderfaller till  $^{206}\text{Pb}$  ( $\beta\beta$ , 4,2 min).

**Tabell 3-2. Sönderfallsserie för torium-232.**

Isotop	Halveringstid	Sönderfallstyp	Kommentar
$^{232}_{90}\text{Th}$ (torium)	$1,41 \cdot 10^{10}$ år	$\alpha$	
$^{228}_{88}\text{Ra}$ (radium)	5,75 år	$\beta$	
$^{228}_{89}\text{Ac}$ (aktinium)	6,15 h	$\beta, \gamma$	
$^{228}_{90}\text{Th}$ (torium)	1,91 år	$\alpha$	
$^{224}_{88}\text{Ra}$ (radium)	3,66 dagar	$\alpha$	
$^{220}_{86}\text{Rn}$ (radon)	55,6 s	$\alpha$	gas (toron)
$^{216}_{84}\text{Po}$ (polonium)	0,145 s	$\alpha$	
$^{212}_{82}\text{Pb}$ (bly)	10,6 h	$\beta, (\gamma)$	
$^{212}_{83}\text{Bi}$ (vismut)	60,6 min	$\alpha, \beta, (\gamma)$	
$^{208}_{84}\text{Po}$ (polonium)	299 ns	$\alpha$	36 %
$^{208}_{81}\text{Tl}$ (tallium)	3,07 min	$\beta, \gamma$	64 %
$^{208}_{82}\text{Pb}$ (bly)	stabil		

## 3.2 Radioaktiva ämnen i berggrunden

Halten kalium, uran och torium varierar i olika typer av bergarter på grund av olika bildningsätt och mineralogisk sammansättning.

Kalium är det sjunde vanligaste elementet på jordens yta, men av detta utgörs endast 0,012 % av kalium-40. Kaliumhalten varierar mycket lite inom en och samma bergart, eftersom kalium ofta ingår i bergartsbildande mineral.

Halten uran i berggrunden är i allmänhet låg. Vanliga halter är 1–5 gram per ton berg (1 ppm = 1 gram per ton) vilket motsvarar 12–60 Bq/kg. Uran förekommer alltså normalt enbart som ett spårämne i berggrunden.

Toriumhalten är genomsnittligt cirka tre gånger högre än uranhalt, men stora variationer kan förekomma.

Normalt är uran- och även toriumhalterna låga för sedimentära bergarter som innehåller mycket kvarts, som i kvartssandstenar, eller för bergarter med hög halt av kalciumkarbonat, som i kalkstenar. Likaså är uran- och toriumhalterna oftast låga i basiska bergarter, som är fattiga på kiselsyra ( $\text{SiO}_2$ ), som gabbro, diorit, diabas och basiska vulkaniter.

Djup- och gångbergarter som är rika på kiselsyra, till exempel graniter och pegmatiter, har ofta betydligt högre halter av uran, och i många fall även torium, än andra bergarter.

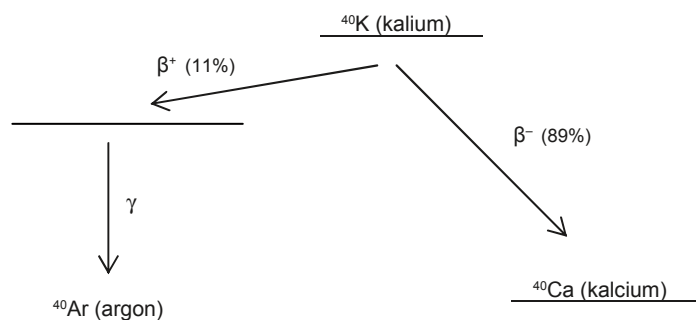
Tidigare ansågs det att det var främst yngre, ofta pegmatitförande, graniter som innehöll höga halter av uran. Senare undersökningar har dock visat att även äldre granitiska bergarter också kan innehålla mycket uran.

Alunskiffer, som är en svart lerskiffer med hög halt av organiskt material (bitumen), har nästan genomgående höga uranhalter och låga toriumhalter. Alunskiffer har använts för tillverkning av lättbetong, så kallad blåbetong.

Riktigt höga halter av uran och radium kan förekomma i vissa typer av graniter och pegmatiter samt lokalt där uran koncentrerats, till exempel i uranmineraliseringar och uranmalmer.

**Tabell 3-3. Vanliga halter av kalium, uran och torium i svenska graniter.**

Element	Halt	Aktivitet
K	3–6 %	900–1 800 Bq/kg ( $^{40}\text{K}$ )
U	2–10 ppm	25–125 Bq/kg ( $^{238}\text{U}$ )
Th	5–20 ppm	20–80 Bq/kg ( $^{232}\text{Th}$ )



**Figur 3-1.** Kalium-40 sönderfaller till kalcium och argon. Vid sönderfallet till argon avges gammastrålning.

### 3.3 Radon från grundvatten

Radonrikt grundvatten förekommer för det mesta i områden med uranrik berggrund, till exempel vissa uranrika graniter, syeniter, vulkaniter och pegmatiter. Ett undantag utgör den uranrika alunskiffern, som sällan ger upphov till höga radonhalter i grundvattnet. Det finns exempel på mycket höga radonhalter i grundvatten trots att berggrunden har låga eller normala halter av uran. Brunnarna är då borrade i berggrund med små uranförande sprickor, som transporterar radonrikt vatten till borrhålet. Till och med i områden med kalksten kan höga radonhalter förekomma. Då rör det sig om grundvatten som under lång tid transporterat uran och radium från underliggande berggrund, som sedan utfällts på sprickytor nära det ställe där vattnet tas ifrån. Variationen inom ett område med likartad berggrund kan dock vara mycket stor. Radonhalten i närliggande brunnar kan variera från 100 till flera tusen Bq/l. Radonhalten i vatten från bergborrade brunnar är vanligen 50–1 000 Bq/l med maximala halter i Sverige på ca 60 000 Bq/l.

### 3.4 Strålning

Vid radioaktivt sönderfall bildas förutom ett nytt grundämne också joniserande strålning, alfa-beta- och/eller gammastrålning.

Den strålning som normalt förekommer genomsnittligt inom ett område brukar kallas bakgrundsstrålning. Bakgrundsstrålningen kommer från bergrunden, jordtäcket, från rymden (kosmisk strålning) mm, och varierar beroende på lokala förhållanden. Lokalt kan den naturliga strålningen vara så hög att åtgärder mot den kan bli nödvändiga. Exempel på förhållanden där mänsklig verksamhet lett till högre stråldoser är radon i bostäder och i gruvor.

Extern bestrålning kommer från gammastrålande radioaktiva ämnen utanför kroppen. Intern bestrålning kommer från alfa- och betastrålande radioaktiva ämnen som hamnat inuti kroppen.

Arbetstagare i undermarkskonstruktioner utsätts för strålning från olika källor:

- Extern bestrålning av gammastrålning från ämnen ur uran-238- och torium-232 serierna från förvarets väggar och krossat berg i förvaret (gammastrålning).
- Intern bestrålning vid inandning av uran-(torium-)haltigt bergdamm.
- Intern bestrålning vid inandning av luft innehållande radon och radondöttrar.

Stråldosen givet en viss koncentration av uran, torium och kalium i marken kan uppskattas från tabell 3-4.

**Tabell 3-4. Omvandlingsfaktorer för att räkna om halt i marken till dosrat<sup>a)</sup> 1 m ovan mark /Andersson m fl 2007/.**

Element	Dosrat per aktivitetskoncentration	Aktivitetskoncentration per "halt"	F <sub>nuklid/serie</sub> <sup>b)</sup>
K	11,8 pGy/s per kBq/kg	313 Bq/kg per 1 %	116,6 µGy/år per 1 %
Th	158 pGy/s per kBq/kg	4,06 Bq/kg per 1 ppm	20,2 µGy/år per 1 ppm
U	149 pGy/s per kBq/kg	12,35 Bq/kg per 1 ppm	58,1 µGy/år per 1 ppm

<sup>a)</sup> Dosrat = miljödosekvivalentrat; en operativ storhet för att uppskatta den effektiva dosen när man inte säkert vet energi- och riktningfördelningen hos strålfältet (storheten överskattar oftast den effektiva dosekvivalentraten).

<sup>b)</sup> F<sub>nuklid/serie</sub> är en omvandlingsfaktor från halt i marken till dosrat (µGy/år per % respektive ppm).

Under mark blir gammastrålningen större eftersom man är omgiven av berget. Om man jämför en situation där man står på en perfekt platt häll med oändlig utsträckning, med en situation där man är omgiven av berg (som i mitten på ett klot) är strålningen i det senare fallet 60 % högre. Hur mycket mer det blir i normala fall kan dock variera, enligt muntlig uppgift från Gustav Åkerblom (Åkerblom & Åkerblom HB) brukar strålningen vara 30–60 % högre i de fall man är omgiven av strålande material, jämfört med när man står på en strålande yta (till exempel marken).

De mest betydelsefulla gammastrålarna är radondöttrarna vismut-214 och bly-214.

### 3.5 Stråldoser

Alla sorters strålning bidrar till den sammanlagda stråldosen. Det finns olika enheter för att ange strålningens intensitet.

Absorberad dos (D) är mängden strålning som absorberas i materia, den anges i enheten gray (Gy). 1 gray = 1 joule/kg.

Ekvivalent dos (H) beaktar hur joniserande strålning påverkar biologisk materia. Ekvivalent dos anges i enheten sievert (Sv) är absorberad dos gånger en viktningsfaktor, som är 1 för gammastrålning och 20 för alfastrålning.

Den effektiva dosen (E) beaktar olika vävnaders känslighet för strålning, och beräknas genom att den ekvivalenta dosen multipliceras med en viktningsfaktor för vävnader och organ,  $w_T$ . Den effektiva dosen anges också i Sv.

De stråldoser människor utsätts för brukar ofta anges i enheten millisievert (mSv) per år. I Sverige får vi i genomsnitt en årlig stråldos på drygt 4 mSv. Större delen av den årliga stråldosen kommer från naturliga strålkällor. Nästan hälften, två mSv per år, orsakas av radon i inomhusluften. Strålning från mark och byggnadsmaterial ger ungefär 0,6 mSv, kosmisk strålning cirka 0,3 mSv och radioaktivt kalium i kroppen cirka 0,2 mSv /Andersson m fl 2007/.

Gränsvärden för stråldoser finns i avsnitt 4.1.

#### 3.5.1 Beräkning av dosen vid radonexponering

I marknära bostäder är radon från marken den vanligaste orsaken till förhöjda radonhalter inomhus. Baserat på nationella mätprogram /Swedjemark m fl 1993, Pershagen m fl 1994/ har det beräknats att den genomsnittliga radonhalten i bostäder i Sverige är ca 100 Bq/m<sup>3</sup>, vilket motsvarar en stråldos av ca 2 mSv per år eller ca 60 % av kollektivdosen till befolkningen.

Ett beräkningsexempel från finska strålsäkerhetscentralen /STUK 2000/ visar hur radonexponering kan räknas om till effektiv dos:

En arbetstagares effektiva dos vid radonexponeringen 1 Bq·h/m<sup>3</sup> är  $4 \cdot 10^{-9}$  Sv när jämviktsfaktorn mellan radonets kortlivade sönderfallsprodukter och radon är 0,5.

En arbetstagare som under en period arbetat 300 timmar i radonhalten 500 Bq/m<sup>3</sup> och 100 timmar i halten 1 000 Bq/m<sup>3</sup> får följande radonexponering:

$$(300 \text{ h} \cdot 500 \text{ Bq/m}^3) + (100 \text{ h} \cdot 1\,000 \text{ Bq/m}^3) = 250\,000 \text{ Bq h/m}^3$$

vilken leder till följande effektiva dos:

$$250\,000 \text{ Bq h/m}^3 \cdot (4 \cdot 10^{-9} \text{ Sv} / (\text{Bq} \cdot \text{h/m}^3)) = 0,001 \text{ Sv} = 1 \text{ mSv}.$$

### 3.6 Hälsorisker

Då en organism utsätts för joniserande strålning överförs energin helt eller delvis till de berörda cellerna. Detta förlopp ger upphov till skador. Man skiljer på de skador som orsakas av att strålningen träffar biomolekyler, såsom cellens DNA, och på kemiska skador orsakade av radikaler bildade ur det vatten som cellen innehåller. Graden av skada är beroende av strålningstyp.

Gammastrålning har stor genomträngningsförmåga, men ger i gengäld upphov till ett begränsat antal skador per längdenhet.

Alfastrålning har en räckvidd på  $< 0,1$  mm i kroppsvävnad och strålningen förmår därför inte att tränga igenom hudens yttre lager av döda celler. Situationen är en helt annan om det alfastrålande ämnet kommit in i organismen. Radon sönderfaller till så kallade radondöttrar. Radondöttrarna är metalljoner som lätt fastnar på dammpartiklar och följer med inandningsluften till lungorna.

Radondöttrarna sönderfaller med alfa-sönderfall, dvs i samband med sönderfallet frigörs en alfapartikel (heliumkärna). Om radon eller radondöttrar befinner sig inuti luftvägarna och sönderfaller där kan alfapartikeln orsaka skada. Radondöttrarna har också så kort sönderfallstid att om en radondotter kommer in i luftvägarna, antingen genom att radon sönderfaller eller genom att en dammpartikel med adsorberad radondotter andas in, så följer flera sönderfall på varandra.

Efter långvarig exponering för radon finns det risk för lungcancer. Statens strålskyddsinstitut uppskattar att cirka 500 personer dör årligen i radoninducerad lungcancer. De allra flesta av dessa är rökare.

## 4 Gränsvärden för radon och strålning

Syftet med rikt- och gränsvärden är att människor inte ska utsättas för hälsofarliga stråldoser. De rikt- och gränsvärden som finns för radon och andra naturligt förekommande radioaktiva ämnen har fastställts i samråd mellan olika berörda myndigheter. Gränsvärden hittar man i föreskrifter, som är bindande. Riktvärden hittar man i allmänna råd.

### 4.1 Strålning

Enligt 5 § strålskyddslagen (*SFS 1988:220*) avses följande som verksamhet med strålning:

1. tillverkning, införsel, utförsel, transport, saluförande, överlåtelse, upplåtelse, förvärv, innehav och användning av eller annan därmed jämförlig befattning med radioaktiva ämnen,
2. användning av eller annan därmed jämförlig befattning med tekniska anordningar som kan alstra strålning.

Om man till exempel sysslar med uranprospektering som innebär hantering av mineralprover vilka innehåller uran är det verksamhet med strålning. Undantagsnivån för uran-238 i radioaktiv jämvikt med sina sönderfallsprodukter är 1 kBq/kg, vilket motsvarar 80 ppm uran. Ovanför denna nivå är hanteringen tillståndspliktig (enligt 2 § strålskyddsförordningen (*SFS 1988:293*)). Uranhalten i slutförvaret ligger dock långt under denna nivå (ca 5 ppm), vilket innebär att uranhalten i berget i sig inte gör byggnationen av slutförvaret tillståndspliktigt.

En arbetstagares maximala stråldos regleras i Föreskrifter om dosgränser vid verksamhet med joniserande strålning (*SSI FS 1998:4*, tabell 4-1). Där anges den dos som arbetstagaren får ta emot, utöver bakgrundsstrålningen.

### 4.2 Radon

Inandning av radon i luft ger en intern stråldos. Radongas kommer att avgå från väggarna i förvaret, från krossat berg och från grundvatten. Dosen från radon räknas inte in i dosgränsvärdet enligt tabell 4-1. Hälsorisen begränsas istället av Arbetsmiljöverkets föreskrifter om hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar (*AFS 2005:17*), enligt tabell 2-I av Arbetsmiljöverkets föreskrifter om bergarbete (*AFS 2003:2*) finns definition av underjordsarbete och regler för mätning av radon i utrymmen under jord.

**Tabell 4-1. Dosgränser för arbetstagare i verksamhet med joniserande strålning (*SSI FS 1998:4*).**

Period	Högsta effektiva dos (mSv)
1 år	50
Samtidigt gäller under fem på varandra följande år	100

**Tabell 4-2. Gränsvärden för radon i luft på arbetsplatser enligt AFS 2005:17.**

Gäller inom området	Gränsvärde för radongashalt
Arbetsplatser, inomhusluft	400 Bq/m <sup>3</sup> , får tillämpas som årsmedelvärde
Arbetsplatser, arbete under jord	2,5 MBqh/m <sup>3</sup> och år, motsvarar 1 500 Bq/m <sup>3</sup> , vid arbete 1 600 h/år

Underjordsarbete, enligt AFS 2003:2, är allt arbete under jord i gruvor och liknande arbetsplatser där berg bryts eller bearbetas. För radon i övriga arbetslokaler gäller AFS 2005:17. Gränsvärdet får även i lokaler ovan jord tillämpas som årsmedelvärde. Omräknat till årsdos (1 800 timmar) motsvarar gränsvärdet 0,9 MBqh/m<sup>3</sup>. Mätning bör utföras enligt Statens Strålskyddsinstitutets rekommendationer, Metodbeskrivning 2004:01.

För färdigställda berggrum, det vill säga centralområdet under driftskedet, gäller gränsvärdet 400 Bq/m<sup>3</sup>. I de delar av slutförvaret där bergarbeten pågår för att gräva ut och färdigställa nya deponeringstunnlar gäller det högre gränsvärdet.

I AFS 2003:02 står att ventilationssystemet skall dimensioneras så att luftkvaliteten i vistelsezonen blir tillfredsställande (10 §). Radonhalten ska mätas så snart nytt bergutrymme skapats där personer vistas varaktigt, samt vid ändrade förhållanden som kan påverka radon- eller radondotterhalten (21 §). En undersökning enligt 21 § skall innefatta mätning av radon- eller radondotterhalt om det inte klart framgår att radonhalten understiger 400 Bq/m<sup>3</sup> luft eller att radondotterhalten understiger 200 Bq/m<sup>3</sup> luft. Återkommande mätningar skall därefter utföras med högst ett års mellanrum. Härvid skall mätprotokoll upprättas.



## 5 Förutsättningar för beräkning av radonhalter i slutförvaret

Vid planering av skyddsåtgärder är det viktigt att radonkällornas art och belägenhet är kända, i såväl byggskedet som i det färdiga utrymmet. De faktorer som främst påverkar radonhalten är ventilation, vattentillrinning och förekomsten av radioaktiva mineral i berget.

Högre halter än genomsnittet kan förväntas där berget är särskilt trasigt, har högre uranhalter eller där inläckaget av radonförande grundvatten är stort /Åkerblom och Lindén 1994/.

Beräkningarna av radonhalter i förvaret påverkas av följande parametrar:

- Bergyta i förvaret och volym.
- Ventilation (luftomsättning).
- Mängd krossat berg i förvaret.
- Bärlager (yta, tjocklek).
- Uranhalt i omgivande berg.
- Mängden vatteninläckage.
- Radonhalten i inläckande vatten.
- Omfattningen av täckta bergytor, samt radonavgång från material som ytorna täckts med.

Dessutom påverkas radonavgången av andra faktorer som till exempel bergets sprickighet, som i sin tur beror av sprickzoner i berget, men också av om man spränger eller borrar (där sprängning ger mer sprickor och följaktligen större radonavgång).

Nedan redovisas vilka värden på parametrar som använts vid beräkningarna och grunderna för dessa. I vissa fall har antaganden gjorts. I kapitel 7 förs en diskussion om hur dessa har påverkat beräkningarna. Antaganden har gjorts för ett realistiskt fall och ett konservativt fall.

### 5.1 Bergyta i förvaret och volym

Beräkningar av bergytor och volymer i förvaren har grundats på *Preliminär anläggningsbeskrivning – layout D, Oskarshamn, delområde Laxemar, R-06-32 /SKB 2006a/* och *Preliminär anläggningsbeskrivning – layout D, Forsmark R-06-33 /SKB 2006b/*, samt en uppskattning av bergmassor och volymer för läge Oskarshamn, Laxemar läge Oxhagen (arbetsversion 2007-05-07).

Volymer har i de flesta fall tagits direkt från respektive referens, medan bergytan har räknats fram efter angivna mått på bredd-höjd-djup. För hallar i flera plan har dimensioner baserats på figurer i R-06-32 och R-06-33.

Använda värden framgår av tabell 5–1.

**Tabell 5-1. Bergytor och volymer.**

	Oskarshamn (Torporhorvan)			Forsmark (Infarten)		
	Bergyta (m <sup>2</sup> )	varav sula (m <sup>2</sup> )	Volym (m <sup>3</sup> )	Bergyta (m <sup>2</sup> )	varav sula (m <sup>2</sup> )	Volym (m <sup>3</sup> )
Ramp	119 488	27 500	180 962	96 230	22 000	144 770
<b>Schakt</b>						
Skipschakt	9 676		13 400	7 948		11 000
Hisschakt	8 652		11 700	6 955		9 300
Tilluftsschakt	5 498		4 800	4 398		3 800
Frånluftsschakt	3 927		2 500	3 142		2 000
<b>Centralområde</b>						
Omlastningshall	3 910	750	11 550	3 910	750	11 550
Förråds- och verkstadshall	3 144	790	7 900	3 144	790	7 900
Hisshall	2 676	790	5 200	2 676	790	5 200
Ventilationshall	3 770	860	10 000	3 770	860	10 000
Elhall	2 949	860	4 500	2 949	860	4 500
Bergdränagehall	4 000	790	11 000	4 000	790	11 000
Skiphall	2 822	860	5 800	2 822	860	5 800
Fordonshall	2 822	860	5 500	2 822	860	5 500
Berglaststation	3 751	964	7 869	3 751	964	7 869
<b>Tunnlar centralområde</b>						
A-B-gata	16 800	4 200	28 000	16 800	4 200	28 000
Tvärgata, 2 st	5 600	1 400	9 200	5 600	1 400	9 200
Gångtunnel	1 080	270	800	1 080	270	800
Servicetunnel	8 100	1 800	8 000	8 100	2 250	8 000
Anslutning AB-gator	7 028	1 757	12 299	7 028	1 757	12 299
<b>Förvar 2030</b>						
Deponeringstunnel 300 m inkl. 35 hål, per styck <sup>a)</sup>	7 804	1 386	8 611	7 804	1 386	8 611
Stamtunnel deponering	29 580	8 700	60 900	29 580	8 700	60 900
Stamtunnel bergbyggdel	29 580	8 700	60 900	29 580	8 700	60 900
Transporttunnel	23 100	5 775	40 425	23 100	5 775	40 425
Transporttunnel	23 100	5 775	40 425	23 100	5 775	40 425
Frånluftsschakt	4 712		3 500	3 770		2 800
<b>Förvar 2075</b>						
Summa stam- och transporttunnlar	351 200	96 500	675 500	351 200	96 500	675 500
Frånluftsschakt, per styck, 3 st	4 712		3 500	3 770		2 800

<sup>a)</sup> Det antas vidare att 10 stycken deponeringstunnlar står öppna i vardera bergbyggdelen och deponeringsdelen.

## 5.2 Ventilation (luftomsättning)

I de flesta fall har en beräkning gjorts av vilket inflöde av frisk luft som kommer att krävas för att erhålla radonkoncentrationen 400 Bq/m<sup>3</sup> respektive 1 500 Bq/m<sup>3</sup>. Det beräknade luftflödet som krävs för att erhålla dessa radonkoncentrationer är i många fall väldigt litet. Den dimensionerande luftflödet under driftsskedet, enligt ventilationsbeskrivningen V744SB0001<sup>3</sup> /Larsson 2007/, är i många fall mångdubbelt större. I vissa fall har därför en beräkning gjorts av

<sup>3</sup> SKB Slutförvar för använt kärnbränsle – System 744, Ventilationssystem för undermarksdelen, version 2007-05-11, upprättad av Gert Larsson.

vilka radonhalter som blir resultatet av exempelvis 75 % av dimensionerande luftflöde. Detta på grund av att luftflödet påverkar radonhalten i den luft som ventileras ut, och därmed hur mycket radon som kommer ut i omgivningen.

### 5.2.1 Luftflöden under driftsskede

Luftflöden i olika delar av förvaret har satts som en procentsats av dimensionerande luftflöden enligt ventilationsbeskrivning V744SB0001 (tabell 5–2). Enligt beskrivningen får man en sammanlagringsvinst på 75 %, vilket gör att maximalt dimensionerande flöde är 120 m<sup>3</sup>/s, 75 % av det luftflöde man får om man summerar de enskilda dimensionerande flödena för varje förvarsdel. På grund av detta har inga beräkningar gjorts för högre flöden än 75 % av dimensionerande luftflöde. Där inget dimensionerande luftflöde angivits har flöden ansatts. För tunnarna i centralområdet har ansatts ett maximalt totalflöde av 10 m<sup>3</sup>/s (jämfört med 4+4+1 m<sup>3</sup>/s, dimensionerande). I många fall räcker ett litet luftflöde för att erhålla önskade radonhalter i förvaret, därför har beräkningar även gjorts för 10 % av dimensionerande luftflöde.

## 5.3 Mängd krossat berg i förvaret

I normalfallet ligger inte krossat berg löst i förvaret, det transporteras genast till berglaststationen. I bergsilo kommer alltid en viss mängd krossat berg att ligga. Enligt Leif Lagerstedt, SKB (muntlig uppgift) ligger alltid minst 150 m<sup>3</sup> krossat berg i bergsilon, i normalfallet 400 m<sup>3</sup>. Den senare volymen har antagits i beräkningarna.

**Tabell 5-2. Dimensionerande luftflöden enligt ventilationsbeskrivning V744SB0001 /Larsson 2007/, samt luftflöden använda i beräkningar.**

Luftflöde (m <sup>3</sup> /s):	Dimensio- nerande	Ansatt	75 % av dimensionerande	75 % av ansatt	10 % av dimensionerande	10 % av ansatt
Ramp	25		18,75		2,5	
Skipschakt		2		1,5		0,2
Hisschakt		2		1,5		0,2
Tilluftsschakt		160		120		16
Frånluftsschakt		105		78,75		10,5
Omlastningshall	4		3		0,4	
Förråds/verkstadshall	6		4,5		0,6	
Hisshall	5		3,75		0,5	
Ventilationshall		5		3,75		0,5
Eihall	18		13,5		1,8	
Bergdränagehall	13		9,75		1,3	
Skiphall	9		6,75		0,9	
Fordonshall	5		3,75		0,5	
Berglaststation	5		3,75		0,5	
Summa tunnlar		10		7,5		1
Stamtunnel (berguttag)	25		18,8		2,5	
Stamtunnel (deponering)	20		15		2,0	
Transporttunnel	3		2,25		0,3	
Transporttunnel	3		2,25		0,3	
Totalt luftflöde	160		120		16	

## 5.4 Bärlager (yta, tjocklek)

Enligt muntlig uppgift från Leif Lagerstedt, SKB, kommer rampens sula att täckas av ett bärlager med tjockleken 0,2 m, innan asfaltering. Asfaltering utförs i omgångar om 1 000 m.

Sulan är golvet i en tunnel, gruva eller annan undermarks konstruktion. Ett bärlager är ett lager av grovt grus som ska fördela vikten av tyngre fordon på vägen.

I beräkningarna har det antagits att ett bärlager med denna tjocklek har använts både i rampen och i andra tunnlar, samt i centralområdets hallar under byggskedet. Antaganden om detta redovisas separat i varje beräkningsfall.

Bärlagrets bredd har antagits vara samma som tunnelns/hallens bredd.

## 5.5 Uranhalt i omgivande berg

Uranhalter i berget påverkar radonavgången från bergytor och från krossat berg.

I Forsmark förekommer två bergmassedomäner inom förvarsvolymen, RFM029 och RFM045. Dessa domineras av olika graniter enligt tabell 5–3. Uranhalterna baseras på gammamätningar i borrhål. Medelhalterna i respektive bergart har räknats om till ett viktat medelvärde för respektive bergmassevolym. För RFM029 är det viktade medelvärdet 5,5 ppm, för RFM045 är det 5,8 ppm.

Variationerna är inte stora, endast pegmatiten sticker av med högre halter. Den representerar cirka 13 % av den totala volymen. Om ett större område med pegmatit påträffas kan radonhalterna bli högre.

Som realistisk uranhalt har ansatts 6 ppm uran för hela förvarsvolymen. Som konservativt antagande har ansatts 10 ppm uran.

Antaganden för Forsmark baseras på ”Site descriptive modellering, Forsmark stage 2.2 – Geology” /Stephens m fl manuskript/.

**Tabell 5-3. Bergarter och uranhalter, Forsmark /Stephens m fl manuskript/. Dominerande bergart i respektive domän med fetstil.**

Domän/Bergart	Bergartskod (SKB)	Andel av resp. bergart i domän	Uranhalt (ppm)		
			Intervall	Medel	Std.avv.
<b>RFM029</b>					
<b>Granit till granodiorit, metamorf</b>	<b>101057</b>	<b>74 %</b>	<b>2,2–6,5</b>	<b>4,7</b>	<b>1,2</b>
Pegmatit, pegmatitisk granit	101061	13 %	1,1–61,7	13,7	12,6
Granitoid, metamorf, fin- till medelkornig	101051	5 %	2,0–7,5	4,6	1,8
Amfibolit	102017	4 %	0,2–2,4	1,4	0,8
			viktat medelvärde		<b>5,5</b>
<b>RFM045</b>					
<b>Granit, metamorf, aplitisk</b>	<b>101058</b>	<b>49 %</b>	<b>2,4–9,0</b>	<b>5,2</b>	<b>2,4</b>
Granit till granodiorit, metamorf	101057	18 %	2,2–6,5	4,7	1,2
Pegmatit, pegmatitisk granit	101061	14 %	1,1–61,7	13,7	12,6
Granitoid, metamorf, fin- till medelkornig	101051	9 %	2,0–7,5	4,6	1,8
Amfibolit	102017	6 %	0,2–2,4	1,4	0,8
			viktat medelvärde		<b>5,8</b>

För Oskarshamn har mindre detaljerade uppgifter använts för haltuppskattning, Appendix 5, Preliminary site description, Laxemar subarea – version 1.2 /SKB 2006c/ (tabell 5-4). Bergmassedomäner i det aktuella förvarsområdet är RSMA01, RSMD01 och RSMM01. Uppgifter om uranhalter i vissa bergarter saknas, dock finns uppgifter vad gäller de dominerande bergarterna i respektive domän.

Här har en realistisk uppskattning av uranhalten i förvaret antagits vara 4 ppm. En konservativ uppskattning har också här satts till 10 ppm uran.

## 5.6 Mängden vatteninläckage

Vatteninläckaget har uppskattats från beräknad grundvattenbildning från /Ridderstolpe och Stråe 2007ab/ enligt tabell 5-5 och 5-6.

Mängden inläckande vatten har sedan räknats om till vatteninläckage per kvadratmeter bergyta i förvaret (tabell 5-7), baserat på ett fullt utbyggt centralområde och förvaret år 2075. Som normalfall har antagits ett medelvärde mellan angivet max- och min-värde.

**Tabell 5-4. Bergarter och uranhalter, Oskarshamn /SKB 2006c/. Dominerande bergart i respektive domän med fetstil.**

Domän/Bergart	Bergartskod (SKB)	Andel av resp. bergart i domän	Uranhalt (ppm)	
			Medel	Std.avv.
<b>RSMA01</b>				
<b>Ävrögranit</b>	<b>501044</b>	<b>54–92 %</b>	<b>4</b>	<b>1,4</b>
Fin- till medelkornig granit	-511058	1–22 %		
Pegmatit	-501061	0–1 %		
Finkornig dioritoid	-501030	2–21 %	4	1,7
Diorit till gabbro	-501033	0–12 %		
Finkornig diorit till gabbro	-505102	0–5 %		
Kvartsmonzodiorit	-501036	1–14 %	3,1	0,6
<b>RSMD01</b>				
<b>Kvartsmonzodiorit</b>	<b>-501036</b>	<b>95 %</b>	<b>3,1</b>	<b>0,6</b>
Fin- till medelkornig granit	-511058	4 %		
Pegmatit	-501061	0,3 %		
<b>RSMM01</b>				
<b>Ävrögranit</b>	<b>-501044</b>	<b>38–73 %</b>	<b>4</b>	<b>1,4</b>
<b>Kvartsmonzodiorit</b>	<b>-501036</b>	<b>0–27 %</b>	<b>3,1</b>	<b>0,6</b>
<b>Diorit till gabbro</b>	<b>-501033</b>	<b>1–36 %</b>	<b>1,9</b>	<b>0,8</b>
Fin- till medelkornig granit	-511058	1–16 %		
Pegmatit	-501061	0–0,3 %		
Finkornig diorit till gabbro	-505102	0–3 %		
Granit	-501058	0–26 %		
Finkornig dioritoid	-501030	1–3 %	4	1,7

**Tabell 5-5. Grundvattenbildning Oskarshamn /Ridderstolpe och Stråe 2007b/.**

	Flöde (l/s)	Flöde (m <sup>3</sup> /h)	Flöde (m <sup>3</sup> /år)	Ramp och centralområde (m <sup>3</sup> /år)	Förvar (m <sup>3</sup> /år)
Max	37	67	1 166 832	583 416	583 416
Min	14	25	441 504	220 752	220 752

50–50 % fördelning ramp/förvar.

**Tabell 5-6. Grundvattenbildning Forsmark /Ridderstolpe och Stråe 2007a/.**

	Flöde (l/s)	Flöde (m <sup>3</sup> /h)	Flöde (m <sup>3</sup> /år)	Ramp och centralområde (m <sup>3</sup> /år)	Förvar (m <sup>3</sup> /år)
Max	8,5	15	268 056	134 028	134 028
Min	2,5	4,5	78 840	39 420	39 420

50–50 % fördelning ramp/förvar.

**Tabell 5-7. Beräknat vatteninläckage beräknad på grundvattenbildning och bergyta.**

	Oskarshamn			Forsmark		
	Min	Normal	Max	Min	Normal	Max
<b>Vatteninläckage (m<sup>3</sup>/h)</b>						
Ramp och centralområde	25	45	70	5	10	15
Förvar	25	45	70	5	10	15
<b>Bergyta (m<sup>2</sup>)</b>						
Ramp och centralområde	215 692			187 125		
Förvar 2075	365 337			362 510		
<b>Vatteninläckage per kvadratmeter bergyta (m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> h))</b>						
Ramp och centralområde	0,000116	0,000209	0,000325	2,67E-05	5,34E-05	8,02E-05
Förvar 2075	6,84E-05	0,000123	0,000192	1,38E-05	2,76E-05	4,14E-05

Maximalt tillåtet vatteninläckage för olika tunnlar är enligt /Emmelin m fl 2007/:

- Deponeringsort: 10 l/min 300 m; punktläckage  $\leq 1$  l/min.
- Schakt och ramp: 10 l/min 100 m.
- Övriga utrymmen: 10 l/min 100 m.

En uppskattning har gjorts som visar att hela mängden beräknat vatteninläckage får läcka in i Forsmark, medan mängderna måste begränsas betydligt i Oskarshamn. Beräkningar som avser max-värdet för inläckage i Oskarshamn redovisas därför ej.

## 5.7 Radonhalten i inläckande vatten

Radonhalter i grundvatten kan variera mycket även över små avstånd, och halterna kan också variera över tiden. En normalhalt och ett konservativt antagande görs vid beräkningarna av radonhalter i slutförvaret. Om man träffar på grundvatten där radonhalterna närmar sig de som maximalt uppmätts kommer radonhalten i luften lokalt att bli högre än beräknat.

Aritmetiskt medelvärde i svenskt grundvatten i berg (borrade brunnar) är 208 Bq/l. Vid provtagning av radon under mark så gäller att så fort vattnet kommer ut ur berget avgasas kväve från vattnet, varvid radonet följer med. Tryckförändring vid sprängning ger att radongas avgasas från vattnet redan ett par meter in i berget. I vissa fall är radonanalyserna från SKB:s databaser (utdrag med hjälp av SICADA) orimligt låga. Då det är svårt att veta hur alla prover tagits har alla prover med radonhalter under 80 Bq/l sällats bort från analysen.

De tillgängliga analyser av radon i vatten, med halter över 80 Bq/l, sammanfattas i tabell 5-8 (Oskarshamn) och tabell 5-9 (Forsmark). De halter som använts för beräkningar (tabell 5-10) har baserats på medianhalter (normalhalt) respektive 75:e percentilens halter (konservativt antagande).

## 5.8 Omfattningen av täckta bergytter, samt radonavgång från material som ytorna täckts med

Sprutbetong och betong minskar avgången av radon, förutsatt att den ballast som ingår i betongen är kvartssand och inte uppkrossat berg från förvaret.

Beroende på vilket ballastmaterial som används kommer en viss radonavgång att ske även från betongen. Uranhalten (radiumhalten) i betong varierar, liksom radonavgången, beroende på ingående material. Radonboken /Clavensjö och Åkerblom 1992/ anger att betong normalt har en radiumhalt på 20–200 Bq/kg (vilket motsvarar en uranhalt på 1,6–16 ppm), med en radonavgång på 2–20 Bq/(m<sup>2</sup> h). En liten mängd radon kan också diffundera från väggytan igenom sprutbetongen, beroende på dess täthet.

I beräkningarna har inverkan av sprutbetong och betong inte tagits med. Troligtvis överskattas härmed radonhalterna i de delar av förvaret som har hög täckningsgrad.

**Tabell 5-8. Radonhalter i grundvatten (Bq/l), Oskarshamn. Observera att radonhalter under 80 Bq/l sällats.**

	Min	10perc	25perc	Median	75perc	90perc	Max	Antal
Alla djup	80	102	201	320	422	683	2 265	110
0–550 m	80	100	194	320	421	711	2 265	92

**Tabell 5-9. Radonhalter i grundvatten (Bq/l), Forsmark. Observera att radonhalter under 80 Bq/l sällats bort.**

	Min	10perc	25perc	Median	75perc	90perc	Max	Antal
Alla djup	85	114	149	296	669	1 412	3 529	53
0–450 m	85	110	144	193	368	622	725	32

**Tabell 5-10. Antagna halter för radon i vatten (Bq/l).**

Oskarshamn	Forsmark		
Normal	Hög	Normal	Hög
320	420	200	370

## 6 Beräkningsgrunder

Beräkningar har gjorts enligt Radon i djupförvar – Förstudie Storuman, PR 44-94-039, /Åkerblom och Lindén 1994/. Formler och antaganden om storlekar på radonexhalation vid olika uranhalt är baserade på denna rapport.

### 6.1 Radonavgång från bergytor

Bergarter med hög uranhalt avger proportionellt sett mer radon. Vid en uranhalt på över 6–8 ppm tenderar uran att bilda små korn av uranmineral i korngränser mellan de bergartsbildande mineralen.

Radonavgången (exhalationen av radon) från bergytan beräknas från radiumaktiviteten och hur mycket radon som avges från ytan per Bq radium, det vill säga den specifika radonexhalationen. Den specifika exhalation av radon från bergytor,  $E_{s,a}$ , är för normal granit (5 ppm uran), 0,5 Bq Rn/(m<sup>2</sup> h) per Bq Ra/kg, medan man för uranrik granit kan räkna med 1,0 Bq Rn/(m<sup>2</sup> h) per Bq Ra/kg.

$$E_a = A_m \cdot E_{s,a},$$

där  $E_m$  = exhalationen av radon (Bq/(m<sup>2</sup> h))

$A_m$  = aktiviteten av Ra (Bq/kg)

$E_{s,a}$  = specifik exhalation per yta och tidsenhet (Bq Rn/(m<sup>2</sup> h) per Bq Ra/kg)

Aktiviteten av radium i Bq/kg är, vid radiologisk jämvikt<sup>4</sup>,  $12,35 \cdot$  koncentrationen av uran i ppm. I Oskarshamn är normal uranhalt 4 ppm, hög 10 ppm. I Forsmark är normal uranhalt satt till 6 ppm, och hög till 10 ppm (avsnitt 5.5).

Radonavgången från bergytan blir:

	Oskarshamn		Forsmark		Bq Rn/(m <sup>2</sup> h)
	Normal	Hög	Normal	Hög	
$E_a$	25	120	37,5	120	

### 6.2 Radonavgång från krossat berg

Även för krossat berg är radonavgången proportionellt sett större för uranrika graniter än för normala graniter. Från krossade bergarter med normal uranhalt (ca 5 ppm) avgår 5–10 % av bildat radon, från uranrika bergarter 15–25 %. Detta gör att radonavgången från en uppkrossad normal granit kan uppskattas till 0,0005–0,001 Bq Rn/(kg h) per Bq Ra/kg, medan en uranrik granit kan ha en radonavgång på 0,0011–0,0015 Bq Rn/(kg h) per Bq Ra/kg.

<sup>4</sup> Radiologisk jämvikt innebär att inget element i sönderfallskedjan tillförts eller bortförts. När radiologisk jämvikt råder i en sönderfallskedja kan sönderfallet från en godtycklig dotterisotop användas för bestämning av de övriga isotoperna.



Radonavgång från ett tunt lager krossmaterial, där allt radon som avgått till porluften även avgår till luften i förvaret beräknas enligt:

$$E_{\text{bärlager}} = A_m \cdot E_{s_m} \cdot K_d \cdot (1-p) \cdot d$$

där

$E_{\text{bärlager}}$  radonavgång per ytenhet av bärlagret (Bq/(m<sup>2</sup> h))

$A_m$  aktivitet för Ra-226 (Bq/kg)

$E_{s_m}$  specifik exhalation per vikts- och tidsenhet (Bq Rn/(kg h) per Bq Ra/kg)

$K_d$  kompaktdensitet (kg/m<sup>3</sup>) = 2 700 kg/m<sup>3</sup>

$p$  porositet (porvolym/total volym) = 0,35

$d$  mäktigheten på lagret av krossmaterial (m) = 0,2 m.

Radonavgången från lagret av krossat berg på sulan blir:

	Oskarshamn		Forsmark		Bq Rn/(m <sup>2</sup> h)
	Normal	Hög	Normal	Hög	
$E_{\text{bärlager}}$	18	63	26	63	

I berglaststationens bergsilo finns alltid en minsta mängd krossat berg om 150 m<sup>3</sup>. Som normalvolym har ansatts 400 m<sup>3</sup> (avsnitt 5.3). I och med att luftflöde kan gå igenom bergsilon kan i värsta fall allt radon som emanerar (dvs kommer ut i porluften i volymen av krossat berg) frigöras till luften i förvaret.

Radonavgång från krossat berg i bergsilon beräknas på liknande sätt som radonavgång från krossat berg på sulan, enligt:

$$E_{\text{volym}} = A_m \cdot E_{s_m} \cdot K_d \cdot (1-p)$$

där  $E_{\text{volym}}$  är radonavgång per volymsenhet krossat berg (Bq/(m<sup>3</sup> h)).

Radonavgången från löst krossat berg i bergsilon blir:

	Oskarshamn		Forsmark		Bq Rn/(m <sup>3</sup> h)
	Normal	Hög	Normal	Hög	
$E_{\text{volym}}$	87	325	130	325	

### 6.3 Radonavgång från inläckande vatten

Radonavgång från inläckande vatten beräknas från mängden inläckande vatten (avsnitt 5.6) och radonhalten i inläckande vatten (avsnitt 5.7). Radonavgången från inläckande vatten blir vid normala respektive höga radonhalter i vatten enligt tabell 6-1 och 6-2.

**Tabell 6-1. Radonavgången från inläckande vatten vid normala radonhalter i vatten.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
Ramp och centralområde	37	67	5,3	11	16	Bq/(m <sup>2</sup> h)
Förvar 2075	22	39	2,8	5,5	8,3	Bq/(m <sup>2</sup> h)

**Tabell 6-2. Radonavgången från inläckande vatten vid höga radonhalter i vatten.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
Ramp och centralområde	49	88	10	20	30	Bq/(m <sup>2</sup> h)
Förvar 2075	29	52	5,1	10	15	Bq/(m <sup>2</sup> h)

## 6.4 Totalt radonbidrag per ytenhet från bergyta, vatteninläckage, krossat berg i bärlager och i bergssilo

Totalt radonbidrag från bergyta och vatteninläckage per kvadratmeter bergyta vid normal radonhalt i vatten och normal uranhalt i berg summeras i tabell 6-3, medan bidraget vid hög radonhalt i vatten och hög uranhalt i berg summeras i tabell 6-4.

**Tabell 6-3. Radonbidrag från bergyta och vatteninläckage per kvadratmeter bergyta vid normal radonhalt i vatten och normal uranhalt i berg.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
Ramp och centralområde	62	92	43	48	54	Bq/(m <sup>2</sup> h)
Förvar 2075	47	64	40	43	46	Bq/(m <sup>2</sup> h)

**Tabell 6-4. Radonbidrag från bergyta och vatteninläckage per kvadratmeter bergyta vid hög radonhalt i vatten och hög uranhalt i berg.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
Ramp och centralområde	169	208	130	140	150	Bq/(m <sup>2</sup> h)
Förvar 2075	149	172	125	130	135	Bq/(m <sup>2</sup> h)

Förutom radon som avges från bergytan tillkommer också radon från krossat berg i bärlagret på sulan. Radonbidrag från bärlager, 0,2 m, vid normal respektive hög uranhalt i berg, beräknas till:

	Oskarshamn		Forsmark		
	Normal	Hög	Normal	Hög	
Bärlager	18	63	26	63	Bq/(m <sup>2</sup> h)

Dessutom tillkommer radon som avges från krossat berg i bergssilon. Radonbidrag från 400 m<sup>3</sup> krossat berg i bergssilon, vid normal respektive hög uranhalt i berg, beräknas till:

	Oskarshamn		Forsmark		Bq Rn/h
	Normal	Hög	Normal	Hög	
Bergssilo	34 679	130 046	52 018	130 046	

## 6.5 Minsta luftflöden

Tillskottet av radon beräknas för de olika volymerna som mängden radon som frigörs per timme (Bq/h). Sedan beräknas det inflöde av frisk luft som krävs för att radonkoncentrationen i respektive volym ska understiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> respektive 400 Bq/m<sup>3</sup>, genom att radontillskottet divideras med önskad målkoncentration, enligt:

$$\text{(nödvändigt luftflöde, m}^3/\text{s)} = \frac{\text{(radontillskott, Bq/h)}}{\text{(önskad radonhalt, Bq/m}^3\text{)}} / 3\ 600.$$

## 6.6 Radonhalt

Vid beräkning av radonhalten i ett utrymme tas hänsyn till radontillskottet, luftomsättningen och utrymmets volym. Dessutom tas hänsyn till radonets sönderfallskonstant, den är dock ofta försumbar i förhållande till luftomsättningen om utrymmet ventileras.

Luftomsättningen (eller luftväxlingen) i utrymmet beräknas som tillflödet av frisk luft (m<sup>3</sup>/h) dividerat med volymen (m<sup>3</sup>).

Radonhalten i utrymmet beräknas enligt:

$$\text{(radonhalten i volymen, Bq/m}^3\text{)} = \frac{1}{((\lambda, \text{h}^{-1}) + \text{(luftväxling i volymen, h}^{-1}\text{)})} \cdot \text{(radontillskott, Bq/h)} / \text{(volymen, m}^3\text{)}$$

där  $\lambda$  är sönderfallskonstanten för radon-222 = 0,00755 h<sup>-1</sup> = 0,693/T<sub>1/2</sub>. T<sub>1/2</sub> är halveringstiden för radon-222, räknad i timmar.

## 6.7 Utsläpp av dotternuklider

Radon sönderfaller till radondöttrar. För att beräkna mängder och fördelningen av dessa görs beräkningar med sönderfallsekvationen.

Hur mycket av det radon som avgått till luften i förvaret som hunnit sönderfalla innan luften ventileras ut avgörs av luftens uppehållstid i förvaret.

Här ansätts uppehållstiden som tiden t i sönderfallsekvationen. Det radon som ventileras ut ur förvaret är alltså radonmängden vid tiden t.

Sönderfallsekvationen:

$$N_1(t) = N_1(0) \cdot e^{(-\gamma_1 \cdot t)}$$

Där N är antalet atomer av isotopen 1 vid tiden t, respektive tiden 0,  $\gamma$  är sönderfallskonstanten och t är tiden.

Sönderfallskonstanten,  $\gamma$ , beräknas från halveringstiden ( $t_{(1/2)}$ ) enligt:

$$t_{(1/2)} = \ln 2 / \gamma$$

Aktiviteten beräknas från antal atomer enligt:

$$A(t) = \gamma \cdot N(t),$$

vilket gör att antal atomer kan ersättas med aktiviteten i sönderfallsekvationen:

$$A_1(t) = A_1(0) \cdot e^{(-\gamma_1 \cdot t)}$$

Denna formel kan också skrivas

$$A_1(t) = A_1(0) \cdot E_1(t)$$

där  $E_1(t) = e^{(-\gamma_1 \cdot t)}$

Aktiviteter av radonets dotternuklider kan sedan beräknas med rekursiva funktioner enligt:

$$A_2(t) = A_1(0) \cdot \gamma_2 \cdot E_{1,2}(t)$$

$$A_3(t) = A_1(0) \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot E_{1,2,3}(t)$$

och så vidare:  $A_m(t) = A_1(0) \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \dots \gamma_m \cdot E_{1,2,3 \dots m}(t)$

De rekursiva formlerna beräknas enligt tabell 6-5.

Problemet med de rekursiva formlerna är att beräkningar med många differenser och tal som är nästan lika stora kräver stor precision för att det inte ska bli fatala avrundningsfel någonstans på vägen.

De rekursiva funktionerna har använts för att beräkna de fyra första aktiviteterna, det vill säga, Rn-222, Po-218, Pb-214 och Bi-214. För resterande (Po-214, Pb-210, Bi-210 och Po-210) har beräkningar skett med hjälp av en sönderfallsräknare /WISE Uranium Project 2007, internet/, som kontrollerats såtillvida att överensstämmelsen för de fyra första aktiviteterna är perfekt.

Begynnelsekoncentrationen av radon-222,  $A_1(0)$ , beräknas från den radonkoncentration som gäller vid utsläppet till uteluften,  $A_1(t)$  enligt:  $A_1(0) = A_1(t) / e^{(-\gamma_1 \cdot t)}$ .

**Tabell 6–5. Rekursiva funktioner för radioaktivt kedjesönderfall.**

$E_1(t) = e^{(-\gamma_1 \cdot t)}$			
	$E_{1,2} = (E_1 - E_2) / (\gamma_2 - \gamma_1)$		
$E_2(t) = e^{(-\gamma_2 \cdot t)}$		$E_{1,2,3} = (E_{1,2} - E_{2,3}) / (\gamma_3 - \gamma_1)$	
	$E_{2,3} = (E_2 - E_3) / (\gamma_3 - \gamma_2)$		$E_{1,2,3,4} = (E_{1,2,3} - E_{2,3,4}) / (\gamma_4 - \gamma_1)$
$E_3(t) = e^{(-\gamma_3 \cdot t)}$		$E_{2,3,4} = (E_{2,3} - E_{3,4}) / (\gamma_4 - \gamma_2)$	
	$E_{3,4} = (E_3 - E_4) / (\gamma_4 - \gamma_3)$		
$E_4(t) = e^{(-\gamma_4 \cdot t)}$			

## 7 Radonhalter i slutförvaret

Radonhalterna och de luftflöden som krävs för en acceptabel radonhalt i förvaret har beräknats för fyra tidpunkter.

- 2015 (byggskede år 3)
- 2018 (byggskede år 6)
- 2030 (driftsskede, ca 30 % av förvaret antas vara utbyggt)
- 2075 (avslutande drift)

Tillgänglig ventilationskapacitet är mer än tillräcklig för att hålla radonhalterna på acceptabla nivåer. Vid normala nivåer på uran i berg och radonhalt i vatten behövs endast små luftflöden (jämfört med dimensionerande flöden) för att hålla radonhalterna nere. Om förvaret inte ventileras blir dock radonhalterna för höga.

Eftersom det luftflöde som krävs för att hålla radonhalterna under gällande gränsvärden ofta är lågt, har även de radonhalter som skulle bli följden av högre luftflöden uppskattats, detta för att sedan kunna beräkna den mängd radon som avges till uteluften.

I det första fallet, rampen i byggskede år 2015, har de beräknade värdena för nödvändig ventilation och radonhalter vid andra ventilationsfall redovisats i tabellerna 7-1 och 7-2. Beräkningarna har gjorts för normal respektive hög uranhalt i berget samt normal respektive hög radonhalt i inläckande grundvatten, samt olika mängder vatteninläckage (min och medel för Oskarshamn; min, medel och max för Forsmark).

För resterade fall (berglaststation och skipschakt år 2015, år 2018, år 2030 och år 2075) redovisas resultat i tabeller i bilaga 1.

### 7.1 2015 – Byggskede, tidsperiod, år 3–4

#### 7.1.1 Förutsättningar

Förutsättningar enligt ventilationsbeskrivning V744SB0002 /Andersson 2007/ och principschema nr V744AA000002:

Systemets betjäningsområde utgörs av del av skipschakt, berglaststation samt del av rampen.

Systemets utformning:

- Tilluftsfläkt(ar) tillför uteluft via en plåtkanal till botten av skipschaktet.
- Frånluft evakueras via övertrycksventilation, genom att luften avleds via skipschaktet och ut genom skipschaktets öppning.
- Tilluftsfläkt(ar) tillför uteluft till borrarat frånluftsschakt.
- Via en tunnel som har anslutning med rampen så överförs luften till en position inom rampen där en kompletterande fläkt via en plastvävskanal tillför luften på rampens lägsta nivå.
- Frånluften avleds via rampen ut till det fria via tunnelmynningen.

## 7.1.2 Antaganden

- Rampen är färdig till 60 %.
- 1 000 m av rampens sula har ett bärlager om 0,2 m, resten av sulan är asfalterad.

## 7.1.3 Radonhalter och ventilationsbehov för rampen

För att radonhalten ska understiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> behövs ett luftflöde till rampen av 1,2 m<sup>3</sup>/s i Oskarshamn och 0,5 m<sup>3</sup>/s i Forsmark (tabell 7-1), detta gäller vid normal uranhalt i berget, normal radonhalt i inläckande vatten, och medelstort inläckage av grundvatten.

Om ingen ventilation sker blir radonhalterna i rampen under normala förhållanden (enligt ovan) drygt 8 000 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och cirka 4 500 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark (tabell 7-2). Om luftflödet är 5 m<sup>3</sup>/s blir radonhalten cirka 360 Bq/m<sup>3</sup> respektive 160 Bq/m<sup>3</sup>.

## 7.1.4 Radonhalter och ventilationsbehov för skipschakt och berglaststation

För att radonhalten ska understiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> behövs ett luftflöde till volymen av 0,2 m<sup>3</sup>/s i Oskarshamn och 0,1 m<sup>3</sup>/s i Forsmark (tabell A1-3, bilaga 1), detta gäller vid normal uranhalt i berget, normal radonhalt i inläckande vatten, och medelstort inläckage av grundvatten.

Om ingen ventilation sker blir radonhalterna i volymen under normala förhållanden (enligt ovan) drygt 8 000 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och drygt 4 500 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark (tabell A1-4, bilaga 1). Om luftflödet är 5 m<sup>3</sup>/s blir radonhalten 69 Bq/m<sup>3</sup> respektive 35 Bq/m<sup>3</sup>.

**Tabell 7-1. Beräkning av den totala mängd uteluft som behövs för att radonhalten inte på något ställe ska överstiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> respektive 400 Bq/m<sup>3</sup>.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
<b>&lt; 1 500 Bq/m<sup>3</sup></b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	0,8	1,2	0,5	0,5	0,6	m <sup>3</sup> /s
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	2,3	2,8	1,5	1,6	1,7	m <sup>3</sup> /s
<b>&lt; 400 Bq/m<sup>3</sup></b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	3,2	4,7	1,8	2,0	2,2	m <sup>3</sup> /s
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	8,7	10,6	5,4	5,8	6,2	m <sup>3</sup> /s

**Tabell 7-2. Radonhalt i rampen vid olika luftflöden.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
<b>Radonhalt utan ventilation</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	5 584	8 197	3 993	4 463	4 934	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	15 275	18 703	11 965	12 836	13 706	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 1 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	1 036	1 520	615	688	760	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	2 833	3 469	1 844	1 978	2 112	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 5 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	243	357	140	157	173	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	665	815	421	451	482	Bq/m <sup>3</sup>

## **7.2 2018 – Byggskede, tidsperiod år 60**

### **7.2.1 Förutsättningar**

Förutsättningar enligt ventilationsbeskrivning V744SB0002 /Andersson 2007/ och princip-schema nr V744AA000004.

Systemets betjäningsområde utgörs av tilluftsschakt, centralområdet, skipschaktet och rampen.

Systemets utformning:

- Tilluftsfläkt(ar) tillför uteluft via tilluftsschaktet.
- Kompletterande tilluftsfläktar i centralområdet och plastvävskanaler transporterar luften till centralområdets berggrum, samt till A- och B-gata.
- Frånluft avleds dels via rampen och dels via skipschaktet.

### **7.2.2 Antaganden**

- Hela rampen färdig, sulan asfalterad.
- Hela centralområdet färdigt och öppet (hallarna i förbindelse med varandra), bärlager (0,2 m) på alla golvytor.
- Frånluften leds genom förvaret – för att ingen del av förvaret ska få mer än tillåten radonhalt räknas alla ytor ihop för att beräkna nödvändig lufttillförsel.

Ytor som bidrar till radonhalten i förvaret är centralområdets hallar och tunnlar, samt rampen, skipschaktet och tilluftsschaktet.

### **7.2.3 Radonhalter och ventilationsbehov för hela förvaret 2018**

För att radonhalten ska understiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> behövs ett luftflöde till volymen av 3,5 m<sup>3</sup>/s i Oskarshamn och 1,7 m<sup>3</sup>/s i Forsmark (tabell A1-5, bilaga 1), detta gäller vid normal uranhalt i berget, normal radonhalt i inläckande vatten, och medelstort inläckage av grundvatten.

Om ingen ventilation sker blir radonhalterna i volymen under normala förhållanden (enligt ovan) cirka 7 700 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och drygt 4 100 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark (tabell A1-6, bilaga 1). Om luftflödet är 10 m<sup>3</sup>/s blir radonhalten 494 Bq/m<sup>3</sup> respektive 236 Bq/m<sup>3</sup>.

Halter i förvaret har beräknats vid luftflödena 4, 10 och 30 m<sup>3</sup>/s. Luftflödena 4 respektive 10 m<sup>3</sup>/s valdes utifrån att radonhalter vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten skulle komma under 1 500 Bq/m<sup>3</sup>. Luftflödet 30 m<sup>3</sup>/s är med som jämförelse vid beräkning av hur mycket radon som avgår till uteluften.

## **7.3 Driftskede, 2030 och 2075**

Under driftskedet är centralområdet färdigt och där pågår inga bergarbeten, därför redovisas även nödvändiga luftflöden för att hålla radonhalterna under 400 Bq/m<sup>3</sup> i texten.

### **7.3.1 Förutsättningar**

Förutsättningar enligt ventilationsbeskrivning V744SB0001 /Larsson 2007/ och principschema nr V744AA0000012 och V744AA0000013, gäller både år 2030 och år 2075.

Systemets betjäningsområde utgörs av undermarknanläggningens olika delar, vilka utgörs av nedanstående anläggningsdelar på –500-meters nivån i Oskarshamn, alternativt –400-metersnivån i Forsmark:

- **Centralområde**  
med hisshall, berglaststation för skipschakt, bränsleförråd, elhall (transformator och ställverk), fordonshall, verkstadshall, omlastningshall och en reservposition. Inom centralområdet finns en driftgata på vardera sidan om berghallar samt på kortsidorna en berghall med dränagebas-säng på ena sidan och på den andra sidan en tvärförbindelse med injekteringsförråd.
- **Förvarsdelen**  
utgörs av två stamtunnlar (vilka har en förbindelse längst in, men då via en port i en begränsande vägg) och deponeringstunnlar.
- **Rampen**
- **Hisschaktet**
- **Skipschaktet**  
inklusive skipschaktets skiphall och schaktbotten betjänas av ventilationssystemet.

Systemets utformning:

- **Hisschaktet** frånluftsventileras normalt via en frånluftsfläkt placerad i hissbyggnaden ovan mark.
- **Skipschaktet** frånluftsventileras via en frånluftsfläkt placerad i skipbyggnaden ovan mark.
- Mellan fläktrumbyggnaden ovan mark och centralområdet finns två borrhål, ett för tilluft och ett för frånluft.
- Till- och frånluftskanaler utgörs således av schakt och tunnlar. Därutöver finns kanalförbindelser mellan rampen och frånluftschaktet.
- **Centralområdet:** Tryckkammare för tilluften på nivå ovanför bergsalarna, och i hela centralområdets längd. Sugkammare för frånluften på nivå ovanför bergsalarna, och i hela centralområdets längd. För respektive berghall och tunnel finns en tilluftsdel, och en frånluftsdel. Vardera utgörande en kortare borrhål kanal.
- Hisshallens entré skall förses med tilluft för övertryckssättning mot omgivande utrymmen. Frånluft avleds via hisschaktet. Övrig del av hisshall skall förses med till- och frånluft.
- Skipschaktets mellanplan och schaktbotten ventileras via hjälpfläktar och konstantflödesdon som säkerställer dimensionerande luftomsättning. Avser såväl tillufts- som frånluftssystem. Anslutningar utförs för både tillufts- och frånluftssystemets tryck- respektive sugkammare.
- Till- och frånluft för **Driftgator** tillförs, respektive bortförs via kanaler från tryckkammare (tilluft), respektive sugkammare (frånluft).
- Tilluft till **stamtunnlarna (två)** tillförs via borrhål kanaler från tryckkammaren. Frånluft avleds från stamtunnlarna (två) via frånluftsfläktar (lokalt placerade inom deponeringsområdet) och det yttre frånluftschaktet.
- **Deponeringstunnlarna** förses med flyttbart ventilationssystem för ventilation. Systemet utgörs av en överluftsfläkt och en plastvävkanal som transporterar luft från stamtunneln och till längst in i deponeringstunneln.
- **Rampen**  
Tilluft till rampen tillförs via borrhål kanal från tryckkammaren. Frånluft från rampen avleds normalt via den högst belägna frånluftsanslutningen till rampen.

### 7.3.2 Antaganden 2030

Centralområdet

- Alla sulor/golvtytor belagda med asfalt eller betong, inga bärlager. Inget hänsyn tas vid beräkningarna till att ytorna är täckta, det vill säga det beräknade radontillskottet minskas inte för att ytorna är täckta och inget tillskott från radonavgång från betong adderas.



## Förvarsdelen

- I jämnt tempo är förvaret utbyggt till knappt 30 % år 2030, det vill säga, stamtunnlar och transporttunnlar har 30 % av sin maximala längd. Samma antaganden gäller för Oskarshamn och Forsmark vad gäller tunnellängder (utom för frånluftsschakt; 500 m Oskarshamn, 400 m Forsmark). Vid 30 % utbyggnad är varje stamtunnel 1 740/2 m, alltså 870 m lång.
- Ena sidan av förvaret ägnas åt bergarbete för nya deponeringshåll, med maximalt 10 deponeringstunnlar öppna samtidigt. Andra sidan av förvaret ägnas åt deponering, med cirka 10 deponeringstunnlar öppna samtidigt.
- Transporttunnlar stängs inte av, i slutet på driftsskedet har man alla transporttunnlar i öppen förbindelse. Transporttunnlarna har körbanor av betong /SKB 2006ab/ (här räknas inte med något bärlager).
- Det antas att även stamtunnlarna kommer att stå öppna och att golven täckta av asfalt eller betong.
- En deponeringstunnel är 100–300 m, med maximalt 35 deponeringshåll per tunnel. Vid beräkningarna har antagits att öppna deponeringstunnlar är 300 m långa och har 35 deponeringshåll. Deponeringstunnlarna har ett bärlager om 0,2 m på sulan.
- I slutet av stamtunnlarna ligger vardera 10 stycken öppna deponeringstunnlar. Tilluft till deponeringstunnlar kommer från stamtunneln. I beräkningarna av radonhalt i deponeringstunnlar har ett ”värsta fall” antagits, där halten radon i den sista (tionde) öppna deponeringstunneln är påverkad av hela längden av respektive stamtunnel, samt de nio första deponeringstunnlarna.

### 7.3.3 Antaganden 2075

- År 2075 är förvaret färdigt att stängas, transporttunnlar och stamtunnlar har maximal längd och alla deponeringstunnlar är förslutna.
- Alla transport- och stamtunnlar är öppna med förbindelse emellan.

### 7.3.4 Ventilationsbehov för förvarets delar 2030 och 2075

För att radonhalten ska understiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> behövs år 2030 ett totalt luftflöde till volymen av 7 m<sup>3</sup>/s i Oskarshamn och 4 m<sup>3</sup>/s Forsmark (tabell 7-3), detta gäller vid normal uranhalt i berget, normal radonhalt i inläckande vatten, och medelstort inläckage av grundvatten, både år 2030. År 2075 blir motsvarande luftflöden 8 m<sup>3</sup>/s respektive 4,5 m<sup>3</sup>/s. Vilka luftflöden som krävs till förvarets enskilda delar framgår av tabell A1-7 (bilaga 1).

Totalt luftflöde som krävs för att radonhalten i hela förvaret ska understiga 400 Bq/m<sup>3</sup> är för Oskarshamn 26 m<sup>3</sup>/s år 2030 och 29 m<sup>3</sup>/s år 2075, och för Forsmark 15 m<sup>3</sup>/s år 2030 och 17 m<sup>3</sup>/s år 2075 (tabell 7-4). Vilka luftflöden som krävs till förvarets enskilda delar framgår av tabell A1-8 (bilaga 1).

Observera att deponeringstunnlarna behandlas separat i avsnitt 7.3.6.

**Tabell 7-3. Sammanlagt luftflöde (m<sup>3</sup>/s) som krävs för att hela förvaret ska erhålla radonhalter under 1 500 Bq/m<sup>3</sup>, vid normala respektive höga antagna halter på uran i berg och radon i vatten.**

	Oskarshamn		Forsmark							
	Normal	Hög	Normal	Hög						
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
Summa 2030	4,8	6,8	14	17	3,5	3,9	4,2	11	11	12
Summa 2075	5,5	7,8	16	19	4,1	4,4	4,8	13	13	14

**Tabell 7-4. Sammanlagt luftflöde (m<sup>3</sup>/s) som krävs för att hela förvaret ska erhålla radonhalter under 400 Bq/m<sup>3</sup>, vid normala respektive höga antagna halter på uran i berg och radon i vatten.**

	Oskarshamn				Forsmark						
	Normal		Hög		Normal		Hög				
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15	
Summa 2030	18	26	53	63	13	14	16	41	43	45	
Summa 2075	21	29	61	72	15	17	18	47	50	52	

### 7.3.5 Radonhalter i förvarets delar 2030 och 2075

För deponeringstunnlarna, där den inflödande luften redan har en viss radonhalt, måste det inflödande radonet tas med i ”radontillskotts”-termen. Radonhalterna kommer att bero både på luftflödet in i stamtunneln och luftflödet in i respektive deponeringstunnel. Deponeringstunnlarna behandlas därför separat i avsnitt 7.3.6. För övriga volymer följer en sammanfattning här. Radonhalter för samtliga beräkningsfall återfinns i bilaga 1, tabell A1-9 (ingen ventilation), tabell A1-10 (10 % av dimensionerande luftflöde) och tabell A1-11 (75 % av dimensionerande luftflöde).

Om ingen ventilation sker i Oskarshamn kommer de högsta radonkoncentrationerna bli knappt 9 000 Bq/m<sup>3</sup> (i skip- och hisschakt), medan halterna i centralområdets hallar beräknas till 4 000–8 000 Bq/m<sup>3</sup>, med realistiska antaganden vad gäller radon- och uranhalter. I rampen och centralområdets tunnlar blir radonhalterna över 8 000 Bq/m<sup>3</sup> (tabell A1-9, bilaga 1). I Forsmark beräknas halterna i centralområdets hallar till 2 300–4 200 Bq/m<sup>3</sup>, medan radonhalterna i ramp och schakt ligger mellan 3 400 och 3 800 Bq/m<sup>3</sup>. Högsta beräknade radonhalt utan ventilation är i stamtunnlarna, nästan 4 500 Bq/m<sup>3</sup>, med realistiska antaganden vad gäller radon- och uranhalter.

Vid 10 % av dimensionerande luftflöde (enligt tabell 5-2) blir radonhalterna vid normala förhållanden i samtliga utrymmen under 1 500 Bq/m<sup>3</sup> (tabell A1-10, bilaga 1). I centralområdets hallar blir halterna under 250 Bq/m<sup>3</sup>. Detta gäller för både Oskarshamn och Forsmark vid normala förhållanden. I ramp och schakt blir halterna cirka 1 000 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och knappt 500 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark. I centralområdets tunnlar 880 Bq/m<sup>3</sup> respektive 460 Bq/m<sup>3</sup>. Detta innebär att om hela centralområdet skall ha en radonhalt som understiger 400 Bq/m<sup>3</sup> krävs en ventilation som ligger lite högre.

I Oskarshamns förvarsdel (vid normala förhållanden) ligger radonhalterna mellan 860 Bq/m<sup>3</sup> och 1 080 Bq/m<sup>3</sup> år 2030, i Forsmark mellan 490 Bq/m<sup>3</sup> och 720 Bq/m<sup>3</sup>. Halterna för år 2075 är 960 Bq/m<sup>3</sup> respektive 640 Bq/m<sup>3</sup>.

### 7.3.6 Radonhalt i deponeringstunnel

Om ingen ventilation sker i en deponeringstunnel med längden 300 meter och med 35 stycken deponeringshåll blir radonhalten enligt tabell 7-5.

**Tabell 7-5. Radonhalt i deponeringstunnel utan ventilation (300 m lång, 35 deponeringshåll).**

	Oskarshamn				Forsmark						
	Normal		Hög		Normal		Hög				
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15	
Radonhalt (Bq/m <sup>3</sup> )	6 003	8 106	19 199	21 959	5 393	5 724	6 055	16 362	16 975	17 587	

Deponeringstunnlarna ventileras med luft som tillförs från stamtunneln, luften innehåller alltså radon redan när den kommer in i deponeringstunneln.

Radonhalten i en volym vid inflöde av en viss mängd frisk luft räknas ut enligt:

$$\text{Radonhalten i volymen} = \frac{1}{(\text{sönderfallskonstanten} + \text{luftväxling i volymen})} \cdot \text{radontillskott/volymen}$$

För deponeringstunnlarna, där den inflödande luften redan har en viss radonhalt, måste det inflödande radonet tas med i "radontillskotts"-termen. Radonhalterna kommer att bero både på luftflödet in i stamtunneln och luftflödet in i respektive deponeringstunnel.

Här beräknas halterna för ett "värsta fall", där halten radon i den sista öppna deponeringstunneln är påverkad av hela längden av resp. stamtunnel, samt de nio första deponeringstunnlarna.

Radonhalten i stamtunneln beräknas först enligt ovan med följande förutsättningar:

- Luftväxlingen (omsättningar per timme) är då inflödet av luft till stamtunneln delat med hela volymen (en stamtunnel + 10 deponeringstunnlar).
- Radontillskottet och volymen räknas på (en stamtunnel + nio deponeringstunnlar).

Radonhalten i den tionde deponeringstunneln beräknas sedan enligt:

$$\text{Radonhalten i volymen} = \frac{1}{(\text{sönderfallskonstanten} + \text{luftväxlingen})} \cdot (\text{radontillskottet från deponeringstunneln} + \text{radontillskott från stamtunneln}) / (\text{volymen}).$$

- Luftväxlingen är då inflödet av luft till deponeringstunneln delat med volymen av en deponeringstunnel.
- Radontillskott från stamtunneln räknas ut genom att multiplicera radonkoncentrationen i stamtunneln med inflödet i deponeringstunneln, där inflödet i deponeringstunneln antas vara 1/10 av luftflödet i stamtunneln.
- Volymen är deponeringstunnelns volym.

Beräkningen förutsätter för övrigt att luften är omblandad så att luften i slutet på stamtunneln fått tillkott av radon från de nio andra deponeringstunnlarna. Deponeringstunnlarna förutsätts alltså vara öppna.

Det dimensionerande luftflödet i bergbyggdelen är högre, radonhalterna i bergbyggdelens "värsta" deponeringstunnel blir alltså lägre där än i deponeringsdelen. Här redovisas radonhalter för deponeringsdelen under normala förhållanden, övriga beräknade värden återfinns i bilaga 1, tabell A1-12 och A1-13.

Vid 10 % av dimensionerade luftflöde blir radonhalten i stamtunneln i deponeringsdelen av förvaret i Oskarshamn cirka 630 Bq/m<sup>3</sup>, det är alltså ingående radonhalt i den tionde deponeringstunneln, där resulterande radonhalt blir cirka 1 070 Bq/m<sup>3</sup>. I Forsmark blir motsvarande halter 850 Bq/m<sup>3</sup> och 1 450 Bq/m<sup>3</sup>. Om luftflödet sätts till 75 % av dimensionerande flöde blir radonhalten i stamtunneln i Oskarshamn 130 Bq/m<sup>3</sup>, vilket leder till 220 Bq/m<sup>3</sup> i deponeringstunneln. Motsvarande halter i Forsmark blir 90 Bq/m<sup>3</sup> och 160 Bq/m<sup>3</sup>.

## 7.4 Avbrott i ventilationen

### 7.4.1 Uppbyggnad av radonkoncentration

Om ventilationen stängs av kommer radonhalten i förvarets delar att närma sig de halter som gäller för luftflödet 0. Detta är dock inget som sker ögonblickligen.

En exempelberäkning har gjorts för stam- och transporttunnlar i Oskarshamn år 2075. I beräkningen avses normala förhållanden vad gäller uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, samt vatteninläckaget 25 m<sup>3</sup>/h.

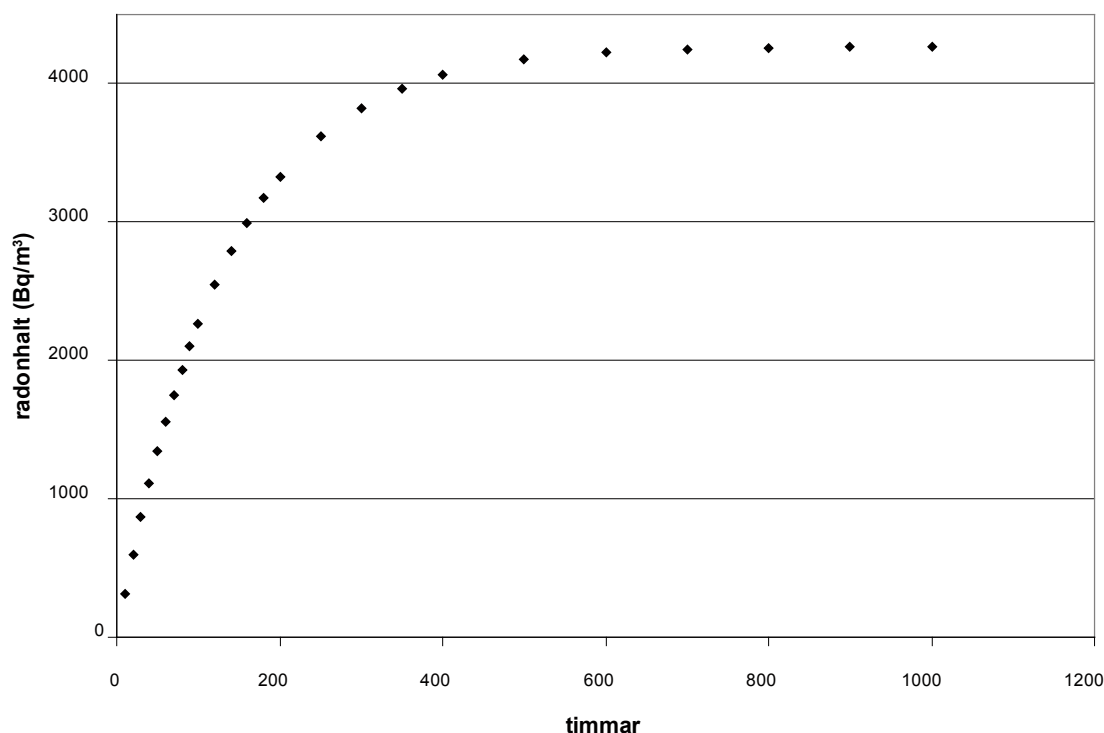
Varje timme frigörs 22,6 MBq radon. Detta fördelas på volymen 675 500 m<sup>3</sup>. Bidraget till koncentrationen första timmen blir då ungefär 33,2 Bq/m<sup>3</sup>. Nästa timme frigörs lika mycket, men en liten del av det som bildades första timmen har hunnit sönderfalla. Koncentrationen efter andra timmen blir ungefär 66,2 Bq/m<sup>3</sup>. Ökningstakten minskar allteftersom mer och mer av det radon som bildades i början hinner sönderfalla. Efter 100 timmar är ökningstakten halverad, efter 100 timmar till är den halverad en gång till.

Radonhalten i stam- och transporttunnlar vid 0-flöde och nämnda förutsättningar är 4 436 Bq/m<sup>3</sup>. Om man börjar på 0 Bq/m<sup>3</sup>, tar det cirka 370 timmar att nå 4 000 Bq/m<sup>3</sup>, resterande 400 Bq/m<sup>3</sup> tar ytterligare några hundra timmar att uppnå, se figur 7-1.

### 7.4.2 Sänkning av radonkoncentration

Vid 75 % av dimensionerande flöde är omsättningstiden för luft i förvaret som helhet ungefär 2 timmar (2030 och 2075). Tiden blir lite längre i ”svåråtkomliga” delar av förvaret. Vid 10 % av dimensionerande luftflöde är omsättningstiden för luften istället cirka 12 timmar (2030) respektive 18 timmar (2075). Värdena gäller för både Oskarshamn och Forsmark.

Om ventilationen varit avstängd bör man alltså ventileras med högt luftflöde ett antal timmar innan arbete ska utföras i förvaret.



Figur 7-1. Uppbyggnad av radonkoncentration. Exempel från förvardsdelen 2075.

## 8 Beräkning av radontillskott till omgivningen

Utspädningen av luftföroreningarna varierar med väderleken. Ju lugnare och klarare väder, desto sämre blandas och späds luftföroreningarna ut. Vid sidan av vädret påverkas luftkvaliteten också avsevärt av terrängens former. Väderleksförhållandena kan förhindra att föroreningarna blandas och späds ut.

Inga spridningsberäkningar ingår i denna rapport. En uppskattning av effekten av radonutsläppen på radonhalterna i utomhusluften har gjorts med hjälp av uppmätta vindhastigheter.

Enligt vindmätare vid respektive platsunderökning (tabell 5–1) är det ytterst sällan som det är helt stilla. Vindhastigheterna är dock ofta ganska små.

Beräkningar har gjorts för den antaget låga luftomsättningen en omsättning per timme i utomhusluft, samt för helt stillastående luft. Vid helt stillastående luft uppnås i vissa fall höga radonhalter. I och med att luften ventileras ut från förvaret med en viss hastighet, och därmed sätter i gång en viss omblandning, är det dock i det närmaste osannolikt att halterna beräknade för noll luftomsättningar per timme ska realiseras.

Man bör se till att friskluftsintag till byggnader ovan mark inte ligger alltför nära ventilationsöppningen och bevaka radonhalter i inomhusluften i förvarets ovanjordsdelar, likaväl som man bevakar radonhalten i luften i förvarets underjordsdelar.

### 8.1 Radon som ventileras ut från förvaret

För att beräkna hur mycket radon som kommer ut från förvaret multipliceras radonhalten i utgående luft med luftflödet.

Luften kommer ut från förvaret med en viss hastighet, exempelvis strömmar luften ut från rampen med hastigheten (luftflödet · rampens tvärsnittsarea, 33 m<sup>2</sup>), alltså 0,61 m/s (2,2 km/h). I och med att luften pressas ut från förvaret kommer en omrörning att ske så att luften blandas med omgivande atmosfärsluft, även om luften i övrigt är stillastående (vindstill). Atmosfärsluft kan uppskattas ha en radonhalt på 10 Bq/m<sup>3</sup>.

Vid bedömning av hur utventilerat radon påverkar radonhalterna i utomhusluften har en **kontrollvolym** runt utsläppet ansatts med ytan 250 · 250 m och höjden 50 m. Kontrollvolymen har en volym av 3 125 000 m<sup>3</sup>. Om man räknar med att vinden blåser homogent så byts luften i kontrollvolymen ut drygt fjorton gånger per timme vid en vindhastighet på en meter per sekund.

Tabell 8-1. Vindhastighet (m/s). 21 november 2006 – 21 november 2007 (Inga uppgifter efter 20 september 2007 från Forsmark, Storskäret) /SMHI 2007ab internet/.

	Min	25:e percentil	Median	75:e percentil	Max	Antal	Antal = 0
Oskarshamn, Äspö	0	0,966	1,57	2,30	7,35	17 299	86
Forsmark, Storskäret	0	1,03	1,72	2,56	10,3	14 550	36
Forsmark, Forsmarksverket	0	0,987	1,62	2,38	7,36	17 519	83

Radonhalten i kontrollvolymen beräknas enligt

$$A_{v,n} = 1 / (\text{sönderfallskonstanten} + \text{luftväxling i volymen}) \cdot \text{radontillskott/volymen}$$

Små luftflöden i förvaret ger att små volymer av luft med hög radonhalt kommer ut från förvaret. Stora luftflöden i förvaret ger att större volymer luft med låg radonhalt kommer ut ur förvaret. Vid små luftflöden blir omsättningstiden för luft i förvaret längre och större andel av det bildade radonet hinner sönderfalla innan det ventileras ut.

Ett beräkningsexempel:

Vid normala förhållanden i förvaret (med avseende på uranhalt i berg, radonhalt i vatten och inläckage av grundvatten) och vid luftflödet 4 m<sup>3</sup>/s är radonkoncentrationen i utgående luft från förvaret i Oskarshamn år 2018 under byggskedet 1 123 Bq/m<sup>3</sup>. 4 m<sup>3</sup>/s motsvarar 14 400 m<sup>3</sup>/h. Denna luftvolym blandas ut med atmosfärluften, som har radonhalten 10 Bq/m<sup>3</sup> och (i kontrollvolymen) volymen 3 125 000 m<sup>3</sup>. I beräkningarna har antagits en luftomsättning i uteluften på en omsättning per timme, vilket antas vara mycket lågt räknat.

Halten (eller tillskottet av radon från förvaret) blir:

$$1 / (\text{sönderfallskonstanten} + \text{luftväxling i volymen}) = 1 / (0,007555 + 1) \approx 1$$

$$\text{multipliserat med radontillskottet} = 1\,123 \text{ Bq/m}^3 \cdot 14\,400 \text{ m}^3/\text{h} = 16\,171\,200 \text{ Bq/h}$$

$$\text{vilket ska delas på kontrollvolymen} = 3\,125\,000 \text{ m}^3$$

Vid normala förhållanden i förvaret fås då en radonhalt i kontrollvolymens uteluft på 5,2 Bq/m<sup>3</sup>, där tillskottet från förvaret i detta fall är 5,2 Bq/m<sup>3</sup>.

Vid ett högre luftflöde, 10 m<sup>3</sup>/s, och i övrigt samma förutsättningar, blir tillskottet till radonhalten i kontrollvolymen 5,6 Bq/m<sup>3</sup>. Vid luftflödet 30 m<sup>3</sup>/s fås ett tillskott på 5,9 Bq/m<sup>3</sup>. Ju mer ventilation desto lägre radonhalter i förvaret, men radonhalterna utomhus blir något högre. Det har dock ingen stor betydelse då tillskottet till radonkoncentrationen i utomhusluften redan vid låga vindhastigheter blir litet.

Nedan följer en sammanfattning av beräkningarna för de olika årtalen. Samtliga beräkningsfall finns redovisade i tabellform i bilaga 2.

### 8.1.1 2015

Vid en luftomsättning per timme i kontrollvolymen och normala förhållanden i förvaret (med avseende på uranhalt i berg, radonhalt i inläckande vatten och mängd inläckande vatten) och luftflöde 5 m<sup>3</sup>/s i förvaret, är tillskottet från förvaret 2,4 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och 1,1 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark. Vid samma låga luftomsättning, hög uranhalt i berget, hög radonhalt i inläckande vatten och stort vatteninläckage (45 m<sup>3</sup>/h Oskarshamn, 15 m<sup>3</sup>/h i Forsmark), samt luftflödet 5 m<sup>3</sup>/s i förvaret blir tillskottet till radonhalten i kontrollvolymen 5,6 respektive 3,4 Bq/m<sup>3</sup>.

Vid **helt** stillastående luft hamnar radonhalten i kontrollvolymen i Oskarshamn på 325 Bq/m<sup>3</sup>, medan radonhalten i Forsmarks kontrollvolym blir 150 Bq/m<sup>3</sup>, vid normala förhållanden och ett luftflöde på 5 m<sup>3</sup>/s.

Alla beräkningsfall redovisas i tabellerna A2-1 och A2-2 (bilaga 2), här redovisas även totala utsläpp av radon via ramp och skipschakt. För år 2015 gäller att radonhalterna i utgående luft är desamma som radonhalterna i respektive förvarsdel, se tabell A1-2 och A1-4 (bilaga 1).

### 8.1.2 2018

Vid en luftomsättning per timme i kontrollvolymen och normala förhållanden i förvaret (med avseende på uranhalt i berg, radonhalt i inläckande vatten och mängd inläckande vatten) och luftflöde 4–10 m<sup>3</sup>/s i förvaret, är tillskottet från förvaret till radonhalten i kontrollvolymen

drygt 5 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och cirka 2,5 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark. Vid samma låga luftomsättning, hög uranhalt i berget, hög radonhalt i inläckande vatten och stort vatteninläckage (45 m<sup>3</sup>/h Oskarshamn, 15 m<sup>3</sup>/h i Forsmark), samt luftflödet 10 m<sup>3</sup>/s i förvaret blir tillskottet till radonhalten i kontrollvolymen 13 respektive 8 Bq/m<sup>3</sup>.

Vid **helt** stillastående luft hamnar radonhalten i kontrollvolymen i Oskarshamn på 750 Bq/m<sup>3</sup>, medan radonhalten i Forsmarks kontrollvolym blir 360 Bq/m<sup>3</sup>, vid normala förhållanden och ett luftflöde i förvaret på 10 m<sup>3</sup>/s.

Alla beräkningsfall redovisas i tabellerna A2-3 och A2-4 (bilaga 2), här redovisas även totala utsläpp av radon. För år 2018 gäller att radonhalterna i utgående luft är desamma som radonhalterna i förvaret, se tabell A1-6 (bilaga 1).

### 8.1.3 2030

Vid en luftomsättning per timme i kontrollvolymen och normala förhållanden i förvaret (med avseende på uranhalt i berg, radonhalt i inläckande vatten och mängd inläckande vatten) och 75 % av dimensionerande luftflöde i förvaret, är tillskottet till radonhalten i kontrollvolymen från förvaret 8 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och drygt 3 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark. Vid samma låga luftomsättning, hög uranhalt i berget, hög radonhalt i inläckande vatten och stort vatteninläckage (45 m<sup>3</sup>/h Oskarshamn, 15 m<sup>3</sup>/h i Forsmark) blir tillskottet till radonhalten i kontrollvolymen 17 respektive 10 Bq/m<sup>3</sup>.

För ett luftflöde i förvaret på 10 % av dimensionerande flöde blir tillskottet vid normala förhållanden knappt 6 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och drygt 3 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark, medan tillskottet vid höga halter i förvaret blir 14 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och 10 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark.

Vid **helt** stillastående luft ute och 75 % av dimensionerande luftflöde i förvaret hamnar radonhalten i kontrollvolymen i Oskarshamn på knappt 1 100 Bq/m<sup>3</sup>, medan radonhalten i Forsmarks kontrollvolym blir 440 Bq/m<sup>3</sup>, vid normala förhållanden. Vid 10 % av dimensionerande luftflöde i förvaret blir halterna lägre (700 Bq/m<sup>3</sup> respektive 390 Bq/m<sup>3</sup>).

Alla beräkningsfall redovisas i tabellerna A2-5–A2-10 (bilaga 2), här redovisas även totala utsläpp av radon och radonhalter vid respektive utsläppspunkt (skipschakt, hisschakt, frånluftschakt).

### 8.1.4 2075

Vid en luftomsättning per timme i kontrollvolymen och normala förhållanden i förvaret (med avseende på uranhalt i berg, radonhalt i inläckande vatten och mängd inläckande vatten) och 75 % av dimensionerande luftflöde i förvaret, är tillskottet till radonhalten i kontrollvolymen från förvaret 9 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och knappt 4 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark. Vid samma låga luftomsättning, hög uranhalt i berget, hög radonhalt i inläckande vatten och stort vatteninläckage (45 m<sup>3</sup>/h Oskarshamn, 15 m<sup>3</sup>/h i Forsmark) blir tillskottet till radonhalten i kontrollvolymen 20 respektive 12 Bq/m<sup>3</sup>.

För ett luftflöde i förvaret på 10 % av dimensionerande flöde blir tillskottet vid normala förhållanden 5 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och knappt 3 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark, medan tillskottet vid höga halter i förvaret blir 13 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn och 9 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark.

Vid **helt** stillastående luft ute och 75 % av dimensionerande luftflöde i förvaret hamnar radonhalten i kontrollvolymen i Oskarshamn på drygt 1 200 Bq/m<sup>3</sup>, medan radonhalten i Forsmarks kontrollvolym blir 500 Bq/m<sup>3</sup>, vid normala förhållanden. Vid 10 % av dimensionerande luftflöde i förvaret blir halterna lägre (770 Bq/m<sup>3</sup> respektive 430 Bq/m<sup>3</sup>).

Alla beräkningsfall redovisas i tabellerna A2-5–A2-10 (bilaga 2), här redovisas även totala utsläpp av radon och radonhalter vid respektive utsläppspunkt (skipschakt, hisschakt, frånluftschakt).

## 8.2 Radon som avgår från upplag av krossat berg ovan jord

Sprängsten som läggs upp på upplag vid förvaret beräknas vara i normalfallet cirka 200 000 m<sup>3</sup>. Om inga lösa massor kan avyttras fås ett maximalt upplag om 3 000 000 m<sup>3</sup> (muntlig uppgift, Leif Lagerstedt, SKB).

Radonavgång från markyta (eller upplag som här) kan beräknas enligt /Åkerblom och Lindén 1994/:

$$E = \lambda_{Rn} \cdot e \cdot \chi_{Ra} \cdot (\text{diff}_k / \lambda_{Rn})^{0,5}$$

där

E = radonexhalation<sup>5</sup> (Bq/(m<sup>2</sup> s))

$\lambda_{Rn}$  = radonets sönderfallskonstant ( $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ )

e = radonemanation, antas vara 0,2 (dvs 20 % av bildat radon avgår till porerna mellan stenarna).

$\chi_{Ra}$  = radiumkoncentration i marken, dvs radiumkoncentrationen vid jordens/bergets kompaktdensitet  $\cdot$  (1-porositeten) (Bq/cm<sup>3</sup>). Uranhalterna 4 och 10 ppm (Oskarshamn), respektive 6 och 10 ppm (Forsmark) ger vid en antagen porositet på 0,35 följande värden på  $\chi_R$ : 0,020872; 0,052179; 0,031307; 0,052179 (Bq/cm<sup>3</sup>).

$\text{diff}_k$  = diffusionskoefficienten för radon (cm<sup>2</sup>/s), i luft och i sprängsten gäller 0,1 cm<sup>2</sup>/s. Om sprängstenen täcks med jord minskar radonavgången.

Formeln gäller under förutsättning att radonets transport endast sker med diffusion. Enligt /Åkerblom och Lindén 1994/ ökar radonavgången om det blåser, när det sedan slutar blåsa blir radonavgången sedan istället under genomsnittet, vilket gör att den totala radonavgången är relativt konstant.

Exhalationen blir då för respektive uranhalt:

	Oskarshamn		Forsmark	
Uranhalt (ppm)	4	10	6	10
Exhalation (Bq/(m <sup>2</sup> s))	0,0191	0,0478	0,0287	0,0478

Den totala radonavgången beror på arealen av sprängstensupplaget. Enligt de preliminära anläggningsbeskrivningarna R-06-32 /SKB 2006a/ och R-06-33 /SKB 2006b/ beräknas ett upplag på 500 000 m<sup>3</sup> ha ytan 100 000 m<sup>2</sup>, medan ett upplag på 1 000 000 m<sup>3</sup> har ytan 150 000 m<sup>2</sup>. Detta representerar tjocklekar på 5 respektive 6,7 m.

Ett upplag på 200 000 m<sup>3</sup> antas här ha ytan 50 000 m<sup>2</sup> (tjockleken 4 m), medan upplaget på 3 000 000 m<sup>3</sup> antas ha ytan 300 000 m<sup>2</sup> (tjockleken 10 m).

Radonavgång från upplag med sprängsten, Bq/s.

	Oskarshamn		Forsmark	
Uranhalt (ppm)	4	10	6	10
Upplag 200 000 m <sup>3</sup>	956	2 391	1 435	2 391
Upplag 3 000 000 m <sup>3</sup>	5 739	14 347	8 608	14 347

<sup>5</sup> Exhalation = avgång av radon från markytan, anges i enheten Bq/(m<sup>2</sup> s).



Radonhalterna i luften på 1-2 meters höjd över ett hypotetiskt sprängstenlager i Storuman /Åkerblom och Lindén 1994/ beräknades till 2–10 Bq/m<sup>3</sup>, med maximala värden på 20–30 Bq/m<sup>3</sup> under vindstilla förhållanden. Där var radonavgången 8 400–16 800 Bq/s, det vill säga högre än från Oskarshamn och Forsmark (beroende på högre uranhalter i berget i Storuman). Halterna ovanför ett sprängstenslager i Oskarshamn eller Forsmark torde alltså vara lägre än de som uppskattades för Storuman.

Om man på samma sätt som för radonavgång från förvaret använder sig av en kontrollvolym, så fås värden enligt nedan för helt stillastående luft ute, respektive luftomsättningen en omsättning per timme i kontrollvolymen.

Tillskott till radonhalten i en kontrollvolym om 250 · 250 · 50 m, då radon avgår från upplag med sprängsten (Bq/m<sup>3</sup>). Ingen luftomsättning i kontrollvolymen.

	Oskarshamn		Forsmark	
Uranhalt (ppm)	4	10	6	10
Upplag 200 000 m <sup>3</sup>	146	365	219	365
Upplag 3 000 000 m <sup>3</sup>	876	2 189	1 313	2 189

Tillskott till radonhalten i en kontrollvolym om 250 · 250 · 50 m, då radon avgår från upplag med sprängsten (Bq/m<sup>3</sup>). Luftomsättningen i kontrollvolymen är en omsättning per timme.

	Oskarshamn		Forsmark	
Uranhalt (ppm)	4	10	6	10
Upplag 200 000 m <sup>3</sup>	1,1	2,7	1,6	2,7
Upplag 3 000 000 m <sup>3</sup>	6,6	16	10	16

De beräknade radonhalterna vid ett maximalt stort upplag och alldeles vindstilla förhållanden är höga. Det är dock extremt sällsynt att luften inte rör sig alls. Även en luftomsättning på en omsättning per timme är mycket låg, jämfört med normala förhållanden (jämför avsnitt 8.1).

### 8.3 Totalt tillskott av radon

Det totala radontillskottet till kontrollvolymen i Oskarshamn blir då uteluftsomsättningen är en omsättning per timme:

	2015	2018	2030	2075	
Normala	2,4 + 1,1 = 3,5	5,6 + 1,1 = 6,7	8,0 + 1,1 = 9,1	9,1 + 1,1 = 10	Bq/m <sup>3</sup>
Höga	5,6 + 4,1 = 9,7	13 + 8,2 = 21	17 + 12 = 29	20 + 16 = 36	Bq/m <sup>3</sup>

Normala förhållanden definieras här av normal uranhalt i berg, normal radonhalt i inläckande vatten, samt medelflöde vad gäller inläckage av grundvatten. ”Höga” är hög uranhalt i berg, hög radonhalt i inläckande vatten och maximal mängd inläckande vatten (vilken är medelflöde för Oskarshamn eftersom en uppskattning baserad på maximal grundvattenbildning skulle resultera i mer vatteninläckage än som kan godkännas). Angivna halter är beräknade vid luftflöden i förvaret på 5 m<sup>3</sup>/s år 2015, 10 m<sup>3</sup>/s år 2018, och 75 % av dimensionerade luftflöden år 2030 och 2075.

Normala förhållanden innefattar också normal volym av krossat berg i upplag ovan mark. ”Höga” innefattar maximalt upplag av krossat berg. Eftersom den maximala volymen representerar ett läge där inget material kunnat avyttras antas att den maximala upplagsvolymen inte kan uppnås förrän i slutet av förvarets drifttid. Här antas därför att maximalt upplag är 25 % av 3 000 000 m<sup>3</sup> år 2015, 50 % år 2018, 75 % år 2030 och 100 % år 2075.

Det totala radontillskottet till kontrollvolymen i Forsmark blir vid uteluftsomsättningen en omsättning per timme:

	2015	2018	2030	2075	
Normala	1,1 + 1,6 = 2,7	2,7 + 1,6 = 4,3	3,3 + 1,6 = 4,9	3,8 + 1,6 = 5,4	Bq/m <sup>3</sup>
Höga	3,4 + 4,1 = 7,5	8,3 + 8,2 = 17	10 + 12 = 22	12 + 16 = 28	Bq/m <sup>3</sup>

Normala tillskott till radonhalten i kontrollvolymens utomhusluft ligger på 3–10 Bq/m<sup>3</sup> för Oskarshamn och 3–6 Bq/m<sup>3</sup> för Forsmark, vilket ska jämföras med den naturliga radonhalten i atmosfärsluft på 10 Bq/m<sup>3</sup> och gällande gränsvärde för radon i inomhusluft som är 200 Bq/m<sup>3</sup>.

En konservativ beräkning ger ett maximalt tillskott till radonhalten i kontrollvolymen på 36 Bq/m<sup>3</sup> i Oskarshamn år 2075, och 28 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark samma år.

Spridningen av radonhaltig luft från förvaret och upplaget av krossat berg uppskattas inte ge höga radonhalter i luften utanför förvaret, så länge utomhusluften inte är fullkomligt stillastående. Friskluftsintag till byggnader ovan mark bör dock inte placeras bredvid en ventilationsöppning. Radonhalterna i inomhusluft bör lämpligen kontrolleras regelbundet, likaväl som radonhalterna i luften under mark.

## 8.4 Dos till en person som går förbi en ventilationstrumma

En person som går förbi precis utanför den plats där ventilationsluft från förvaret kommer ut får ungefär samma stråldos som en person i förvaret, eftersom halten radon i utluften är ungefär lika stor som halten radon i förvaret.

Om radonhalten i utluften är 1 500 Bq/m<sup>3</sup>, och personen tillbringar 1 timme vid ventilationsstrumman, blir radonexponeringen:

$$1\text{h} \cdot 1\,500\text{ Bq/m}^3 = 1\,500\text{ Bq h/m}^3$$

vilket leder till följande effektiva dos

$$1\,500\text{ Bq h/m}^3 \cdot (4 \cdot 10^{-9}\text{ Sv} / (\text{Bq} \cdot \text{h/m}^3)) = 0,000006\text{ Sv} = 0,006\text{ mSv}.$$

Samma beräkningsformel som i avsnitt 3.5.1 har använts /STUK 2000/. Där beräknas en persons effektiva dos vid radonexponeringen 1 Bq·h/m<sup>3</sup> till 4·10<sup>-9</sup> Sv, då jämviktsfaktorn mellan radonets kortlivade sönderfallsprodukter och radon är 0,5.

Om radonhalten i utluften istället är 400 Bq/m<sup>3</sup> blir den effektiva dosen 0,0016 mSv.

## 8.5 Utsläpp av dotternuklider

Att beräkna hur mycket av radonets dotternuklider som lämnar förvaret är inte alldeles okomplicerat.

En viss andel av radondöttrarna kommer att fästa vid ytor i förvaret, men vid utsläppsberäkningarna antas radiologisk jämvikt, vilket är ett konservativt antagande vad gäller utsläpp till uteluften.

Mängden och fördelningen av dotternuklider påverkas av luftflödet i förvaret, det vill säga, av hur mycket av radonet som hinner sönderfalla innan det vädras ut.

Eftersom radon hela tiden nybildas kommer den luft som ventileras ut innehålla radon (och dess sönderfallsprodukter) av olika "åldrar". Om en genomsnittlig uppehållstid för luft i förvaret är 5 timmar, kan det dels hända att en del av luften (centralt i tunnlar) byts ut snabbare, medan luften i delar som är mindre tillgängliga byts ut långsammare. Radon som förs med luften kan dessutom vara nybildat när det ventileras ut (om det tillförs luften nära utflödet), eller "äldre" (om det tillförs den strömmande luften nära tillflödet).

Mängderna av de olika dotternukliderna som tillförs uteluften kan därför bara uppskattas. Detta görs med antagandena att:

- All luft antas vistas i förvaret den genomsnittliga uppehållstiden.
- Det radon-222 som ventileras ut är i radiologisk jämvikt med sina döttrar.
- Tiden  $t$  i sönderfallsekvationen är luftens uppehållstid i förvaret och den tidpunkt när luften släpps ut till uteluften. Den mängd radon som vädras ut antas vara aktiviteten vid tiden  $t$ .

Dotternuklidkoncentrationer har beräknats för ett luftflöde per år, och för ett normalfall och ett konservativt fall. Normalfallet representeras av normal uranhalt i berg, normal radonhalt i inläckande vatten och medelstort vatteninläckage (45 m<sup>3</sup>/h i Oskarshamn och 10 m<sup>3</sup>/h i Forsmark). Det konservativa (höga) fallet representeras av hög uranhalt i berg, hög radonhalt i inläckande vatten och stort vatteninläckage (45 m<sup>3</sup>/h i Oskarshamn och 15 m<sup>3</sup>/h i Forsmark). Beräkningar har gjorts för följande utsläppspunkter och luftflöden (se också tabell A3-1, bilaga 3):

- 2015 – ramp och skipschakt, luftflöde i respektive förvarsdel är 5 m<sup>3</sup>/s.
- 2018 – ramp och skipschakt, luftflöde i förvaret är 5 m<sup>3</sup>/s.
- 2030 och 2075 – skipschakt, hisschakt, frånluftsschakt centralområde, frånluftsschakt förvarsdel, 75 % av dimensionerande luftflöde i förvaret.

För 2018 har tidigare endats beräknats ett totalutsläpp av radon, här har antagits att 30 % av luften avgår via skipschaktet och 70 % via rampen.

För 2030 och 2075 är luftens omsättningstid räknad på förvarsvolymen som helhet. Samma uppehållstider i förvaret har ansatts för 2030 och 2075, vilket innebär en liten överskattning för 2030 och en liten underskattning för 2075 (se tabell A3-1, bilaga 3), förutsatt att antaget luftflöde används.

Antagna luftflöden ger relativt korta uppehållstider i förvaret (1–9 timmar). De kortaste leder till att radiologisk jämvikt bara hinner uppnås mellan radon-222 och polonium-218, men inte mellan radon och de följande stegen, bly-214, vismut-214 och polonium-214.

Vid de längre uppehållstiderna är koncentrationerna av radon-222, polonium-218, bly-214, vismut-214 och polonium-214 ungefär desamma.

De tre sista stegen innan den stabila slutpunkten bly-206 nås, är bly-210, vismut-210 och polonium-210. De utsläppta aktiviteterna för dessa är låga i förhållande till radonutsläppen,

- 0,5–816 Bq/h för bly-210,
- 0,0008–18 Bq/h för vismut-210,
- 0,00000003–0,01 Bq/h för polonium-210.

Med hänsyn till de osäkra antagandena om uppehållstiden i förvaret, och att beräkningarna dessutom bygger på osäkra antaganden om luftflöden i förvaret, är uppskattningar om utsläppta aktiviteter av dotternuklider också osäkra.

Beräkningarna redovisas i tabell A3-2 – A3-5, bilaga 3.

## 9 Osäkerheter

### 9.1 Uranhalt i berg

För båda förvarsområdena har det antagits att uranhalt är densamma i hela förvaret. Den antagna ”normalhalten” är troligen en liten överskattning av den medelhalt som kommer att gälla i respektive förvar. Vid genomgång av berg med lokalt högre uranhalt blir också radonhalten lokalt högre. I Forsmark beräknas 13–14 % av bergmassan utgöras av pegmatit, som beräknas ha en uranhalt på 14 ppm (Stephens m fl, manuskript). Högsta uppmätta uranhalt i en pegmatit i Forsmark är 62 ppm, så höga halter förekommer dock i mycket begränsade volymer.

Vid beräkningar har inte tagits hänsyn till att stora delar av förvarets bergytor kommer att vara täckta av betong. De täckta ytorna kommer att avge mindre mängd radon än beräknat.

### 9.2 Inläckande grundvatten

Mängderna grundvatten som läcker in i förvaret är baserade på uppskattningar av grundvattenbildning. Då många ytor kommer att vara täckta kan vatteninläckaget minska, och därmed avgången av radon från inläckande grundvatten. Vid genomgång av vattenförande sprickzoner kan radonhalterna lokalt bli mycket höga innan området hunnit tätas.

### 9.3 Radonhalter i grundvatten

Uppmätta radonhalter i grundvatten i Oskarshamn och Forsmark varierar mycket. Många rapporterade värden var mycket låga, varför värden under 80 Bq/l sållats bort inför analysen. Osäkerhet kvarstår dock huruvida rapporterade halter är representativa. Antagna värden baseras på medianhalter och 75:e-percentiler i respektive område och djupintervall. De verkliga halterna kan vara både högre och lägre.

### 9.4 Ventilation

Inflödet av frisk luft är det som påverkar radonhalten allra mest. De beräknade radonhalterna är starkt beroende av de antagna luftflödena.

## 10 Platsspecifika skillnader

Den största skillnaden i förutsättningarna för radonhalter mellan ett slutförvar i Oskarshamn och Forsmark är att vatteninläckaget beräknas vara större i Oskarshamn.

Vatteninläckaget antas vara mindre i Forsmark, som har en betydligt mindre grundvattenbildning, vilket leder till ett betydligt större behov av tätning i Oskarshamn.

De antagna halterna för radon i inläckande vatten är högre i Oskarshamn, normalhalt 320 Bq/l, konservativ halt 420 Bq/l, jämfört med normalhalt 200 Bq/l och konservativ halt 370 Bq/l i Forsmark.

Uranhalterna i Forsmark är något högre (antaget 6 ppm jämfört med 4 ppm i Oskarshamn).

Förvarets volym är något större i Oskarshamn, eftersom ett framtida förvar där planeras till ett större djup. Bergytan är dock större i samma omfattning, så denna skillnad har ingen betydelse ur radonhänseende.

I tabell 10-1 ges ett exempel där storleken på radonbidraget från olika källor redovisas för förvaret år 2018.

Sammantaget blir radonhalterna, alternativt, den luftomsättning som kommer att krävas, betydligt högre i Oskarshamn än i Forsmark. De radonhalter som beräknats för det högsta flödet i Forsmark (15 m<sup>3</sup>/h) är lägre eller lika med de halter som beräknats för det minsta flödet i Oskarshamn (25 m<sup>3</sup>/h), vid antaganden om normala uranhalter i berg och normala radonhalter i inläckande vatten. Skillnaden blir mindre vid antaganden om höga uranhalter i berg och höga radonhalter i inläckande vatten, eftersom radonbidraget från bergytan då är större än bidraget från inläckande vatten.

Från ett upplag av krossat berg i anslutning till slutförvaret kommer mer radon avges från ett slutförvar placerat i Forsmark, eftersom uranhalterna i berget är högre. Vid normal uranhalt i berget och ett upplag på 200 000 m<sup>3</sup> blir den beräknade skillnaden i radontillskott till utomhusluften dock bara 0,5 Bq/m<sup>3</sup> (1,1 Bq/m<sup>3</sup> tillskott i Oskarshamn, 1,6 Bq/m<sup>3</sup> i Forsmark).

**Tabell 10-1. Radonbidrag från olika källor, för hela förvaret år 2018, vid normala respektive höga antagna värden på uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder inläckande grundvatten.**

	Oskarshamn				Forsmark					
	Normal		Hög		Normal		Hög			
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
Bergyta (MBq/h)	5,1	5,1	24	24	6,6	6,6	6,6	21	21	21
0,2 m krossgrus på sulan (MBq/h)	0,3	0,3	1,1	1,1	0,5	0,5	0,5	1,1	1,1	1,1
400 m <sup>3</sup> krossat berg i bergssilon (MBq/h)	0,03	0,03	0,13	0,13	0,05	0,05	0,05	0,13	0,13	0,13
Radon i inläckande grundvatten (MBq/h)	7,5	14	9,9	18	0,9	1,9	2,8	1,8	3,5	5,3
<b>Totalt radonbidrag (MBq/h)</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>35</b>	<b>43</b>	<b>8,0</b>	<b>9,0</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>28</b>

## 11 Slutsatser

Tillgänglig ventilationskapacitet är tillräcklig för att hålla radonhalterna på acceptabla nivåer. Om förvaret inte ventileras blir dock radonhalterna för höga.

För att radonhalten i hela förvaret ska understiga gränsvärdet  $400 \text{ Bq/m}^3$ , med konservativa antaganden för uranhalt i berg, radonhalt i inläckande vatten och mängd inläckande grundvatten, krävs ett maximalt luftflöde på  $73 \text{ m}^3/\text{s}$  för Oskarshamn och  $52 \text{ m}^3/\text{s}$  i Forsmark, detta gäller år 2075, avslutande drift, då förvaret har maximal volym. Med realistiska antaganden blir nödvändiga luftflöden mindre.

Radonbidraget från bergytan är viktigast, utom vid stora mängder inläckande vatten när uranhalt i berg samtidigt är låg. Radonbidraget från grus i sulans bärlager och krossat berg i bergssilon är i stort sett försumbart (mindre än 2 %).

Sammantaget blir radonhalterna, alternativt, den luftomsättning som kommer att krävas, betydligt högre i Oskarshamn än i Forsmark. De radonhalter som beräknats för det högsta vattenflödet i Forsmark ( $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ) är lägre eller lika med de halter som beräknats för det minsta vattenflödet i Oskarshamn ( $25 \text{ m}^3/\text{h}$ ), vid antaganden om normala uranhalter i berg och normala radonhalter i inläckande vatten. Skillnaden blir mindre vid antaganden om höga uranhalter i berg och höga radonhalter i inläckande vatten, eftersom radonbidraget från bergytan då är större än bidraget från inläckande vatten.

Upplaget av krossat berg i närheten av anläggningen beräknas kunna ge ett tillskott till radonhalten i uteluften på  $1\text{--}3 \text{ Bq/m}^3$ , med realistiska antaganden, och  $7\text{--}16 \text{ Bq/m}^3$  med konservativa antaganden, vid en luftomsättning per timme i en antagen kontrollvolym runt upplaget.

Det totala tillskottet till radonhalten i utomhusluften runt förvaret har vid realistiska förhållanden beräknats till  $10 \text{ Bq/m}^3$  (Oskarshamn) respektive mindre än  $6 \text{ Bq/m}^3$  (Forsmark), vid en luftomsättning per timme i uteluften. Detta kan jämföras med en normal ursprungshalt av radon i atmosfärsluft på  $10 \text{ Bq/m}^3$  och gränsvärdet för radon i inomhusluft,  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Konservativa antaganden leder till ett maximalt radontillskott till uteluften runt förvaret på 36 respektive  $28 \text{ Bq/m}^3$ . Vid helt stillastående luft blir förhållandena annorlunda, med höga radonhalter i luften utanför ventilationsöppningarna. Alldeles stillastående luft är dock mycket sällsynt, speciellt som ventilationen av förvaret i sig rör om luften.

Så länge luften inte är fullkomligt stillastående omkring bergupplag och ventilationsöppningar förväntas påverkan på radonhalten i utomhusluften kring förvaret vara små. Friskluftsintag till byggnader ovan mark bör dock inte placeras bredvid en ventilationsöppning. Radonhalterna i inomhusluft bör lämpligen kontrolleras regelbundet, likaväl som radonhalterna i luften under mark.

## Referenser

- Andersson L G, 2007.** SKB Slutförvar – System 744, Ventilationssystem byggskede, version 2007-05-11. V744SB0002. Ramböll Sverige AB.
- Andersson P, Carlsson M, Falk R, Hubbard L, Leitz W, Mjönes L, Möre H, Nyblom L, Söderman A L, Lasson K Y, Åkerblom G, Öhlén E, 2007.** Strålmiljön i Sverige. Statens strålskyddsinstitut, Rapport: 2007:02.
- Arbetsmiljöverket.** Radon – en hälsorisk på arbetsplatser. Broschyr, 4 s. [http://www.av.se/dokument/publikationer/adi/adi\\_486.pdf](http://www.av.se/dokument/publikationer/adi/adi_486.pdf).
- Clavensjö B, Åkerblom G, 1992.** Radonboken. Åtgärder mot radon. Byggforskningsrådet, Stockholm, 131 s.
- Emmelin A, Brantberger M, Eriksson M, Gustafson G Stille H, 2007.** Rock grouting – Current competence and development for the final repository. SKB R-07-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Larsson G, 2007.** SKB Slutförvar för använt kärnbränsle - System 744, Ventilationssystem för undermarksdelen, version 2007-05-11. V744SB0001. Ramböll Sverige AB.
- Pershagen G, Åkerblom G, Axelson O, Clavensjö B, Damber L, Desai G, Enflo A, Lagarde F, Mellander H, Svartengren M, Swedjemark G A, 1994.** Residential radon exposure and lung cancer in Sweden. *New England Journal of Medicine* 330:159-164.
- Ridderstolpe P, Stråe D, 2007a.** Omhändertagande av förorenade vattenflöden från ett slutförvar i Forsmark. SKB R-07-147, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Ridderstolpe P, Stråe D, 2007b.** Omhändertagande av förorenade vattenflöden från ett slutförvar i Oskarshamn. SKB R-07-148, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SMHI, 2007a.** [www.airviro.smhi.se/forsmark](http://www.airviro.smhi.se/forsmark) [20071122]. Data från vindmätare vid Forsmarksverket respektive Storskäret.
- SMHI, 2007b.** [www.airviro.smhi.se/oskarshamn](http://www.airviro.smhi.se/oskarshamn) [20071122]. Data från vindmätare vid Äspö.
- Stephens M, Fox A, La Pointe P, Isaksson H, Simeonov A, Hermansson J, Öhman J (manuskript).** Site descriptive modelling, Forsmark stage 22 – Geology.
- STUK, 2000.** Radiation safety in practices causing exposure to natural radiation. Strålsäkerhetscentralen (Finland), Guide ST 12.1.
- Swedjemark G, Melander H, Mjönes L, 1993.** Radon. I: Norlén, U. och Andersson, K. (red). Bostadsbeståndets inneklimat. ELIB-rapport nr 7. Statens Institut för Byggnadsforskning, Gävle.
- SKB, 2006a.** Preliminär anläggningsbeskrivning – layout D, Oskarshamn, delområde Laxemar. SKB R-06-32, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2006b.** Preliminär anläggningsbeskrivning – layout D, Forsmark. SKB R-06-33, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2006c.** Preliminary site description, Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-06-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.



**WISE Uranium Project, 2007.** <http://www.wise-uranium.org/rcc.html> [2008-02-04].

**Åkerblom G, Lindén A, 1994.** Förstudie Storuman - Radon i djupförvar.  
Svensk Kärnbränslehantering AB, PR 44-94-039.

### **Lagar, förordningar och föreskrifter**

Statens strålskyddsinstitut

- Strålskyddslagen *SFS 1988:220*
- Strålskyddsförordningen *SFS 1988:293*
- Föreskrifter om dosgränser vid verksamhet med joniserande strålning *SSI FS 1998:4*

### **Arbetsmiljöverkets föreskrifter**

- Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar *AFS 2005:17*
- Bergarbete *AFS 2003:2*

## 2015 – Byggskede, tidsperiod, år 3–4

### Radonhalter och ventilationsbehov för rampen

**Tabell A1-1. Beräkning av den totala mängd uteluft som behövs för att radonhalten inte på något ställe ska överstiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> respektive 400 Bq/m<sup>3</sup>, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
<b>&lt; 1,500 Bq/m<sup>3</sup></b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	0,8	1,2	0,5	0,5	0,6	m <sup>3</sup> /s
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	2,3	2,8	1,5	1,6	1,7	m <sup>3</sup> /s
<b>&lt; 400 Bq/ m<sup>3</sup></b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	3,2	4,7	1,8	2,0	2,2	m <sup>3</sup> /s
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	8,7	10,6	5,4	5,8	6,2	m <sup>3</sup> /s

**Tabell A1-2. Radonhalt i rampen vid olika luftflöden, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
<b>Radonhalt utan ventilation</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	5 584	8 197	3 993	4 463	4 934	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	15 275	18 703	11 965	12 836	13 706	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 1 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	1 036	1 520	615	688	760	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	2 833	3 469	1 844	1 978	2 112	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 5 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	243	357	140	157	173	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	665	815	421	451	482	Bq/m <sup>3</sup>

### Radonhalter och ventilationsbehov för skipschakt och berglaststation

**Tabell A1-3. Beräkning av den totala mängd uteluft som behövs för att radonhalten inte på något ställe ska överstiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> respektive 400 Bq/m<sup>3</sup>, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
<b>&lt; 1 500 Bq/m<sup>3</sup></b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	m <sup>3</sup> /s
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	m <sup>3</sup> /s
<b>&lt; 400 Bq/m<sup>3</sup></b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	0,6	0,9	0,4	0,4	0,5	m <sup>3</sup> /s
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	1,7	2,0	1,2	1,2	1,3	m <sup>3</sup> /s

**Tabell A1-4. Radonhalt i volymen vid olika luftflöden, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
<b>Radonhalt utan ventilation</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	5 578	8 088	4 116	4 561	5 005	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	15 475	18 769	12 167	12 990	13 812	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 1 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	231	335	152	168	184	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	642	778	448	478	508	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 5 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	48	69	31	35	38	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	133	161	92	98	105	Bq/m <sup>3</sup>

## 2018 – Byggskede, tidsperiod år 6

### Radonhalter och ventilationsbehov för hela förvaret 2018

**Tabell A1-5. Beräkning av den totala mängd uteluft som behövs för att radonhalten inte på något ställe ska överstiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup> respektive 400 Bq/m<sup>3</sup>, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
<b>&lt;1 500 Bq/m<sup>3</sup></b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	2,4	3,5	1,5	1,7	1,8	m <sup>3</sup> /s
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	6,5	8,0	4,5	4,8	5,1	m <sup>3</sup> /s
<b>&lt; 400 Bq/m<sup>3</sup></b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	9,0	13	5,6	6,2	6,9	m <sup>3</sup> /s
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	25	30	17	18	19	m <sup>3</sup> /s

**Tabell A1-6. Radonhalt i volymen vid olika luftflöden, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage.**

	Oskarshamn		Forsmark			
Vid vatteninläckage	25	45	5	10	15	m <sup>3</sup> /h
<b>Radonhalt utan ventilation</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	5 232	7 675	3 709	4 146	4 582	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	14 321	17 527	11 112	11 919	12 726	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 4 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	765	1 123	485	543	600	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	2 095	2 564	1 454	1 560	1 665	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 10 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	336	492	211	236	260	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	919	1 124	631	677	723	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Radonhalt vid 30 m<sup>3</sup>/s</b>						
Normal radonhalt vatten/uranhalt berg	117	171	73	82	90	Bq/m <sup>3</sup>
Hög radonhalt vatten/uranhalt berg	320	391	219	235	250	Bq/m <sup>3</sup>

## Driftskede, 2030 och 2075

### Ventilationsbehov för förvarets delar 2030 och 2075

Tabell A1-7. Inflöde av frisk luft (m<sup>3</sup>/s) som krävs för att radonkoncentrationen i respektive volym ska understiga 1 500 Bq/m<sup>3</sup>, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage.\*

	Oskarshamn		Hög		Forsmark			Hög		
	Normal				Normal					
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
<b>Ramp</b>	1,4	2,0	3,7	4,6	0,8	0,9	1,0	2,3	2,5	2,7
<b>Schakt</b>										
Skipschakt	0,1	0,2	0,3	0,4	0,06	0,07	0,08	0,2	0,2	0,2
Hisschakt	0,1	0,1	0,3	0,3	0,06	0,06	0,07	0,2	0,2	0,2
<b>Centralområde</b>										
Omlastningshall	0,04	0,07	0,12	0,15	0,03	0,03	0,04	0,09	0,10	0,11
Förråds- och verkstadshall	0,04	0,05	0,10	0,12	0,02	0,03	0,03	0,08	0,08	0,09
Hisshall	0,03	0,05	0,08	0,10	0,02	0,02	0,03	0,06	0,07	0,07
Ventilationshall	0,04	0,06	0,12	0,14	0,03	0,03	0,04	0,09	0,10	0,10
Elhall	0,03	0,05	0,09	0,11	0,02	0,03	0,03	0,07	0,08	0,08
Bergdränagehall	0,05	0,07	0,12	0,15	0,03	0,04	0,04	0,10	0,10	0,11
Skiphall	0,03	0,05	0,09	0,11	0,02	0,03	0,03	0,07	0,07	0,08
Fordonshall	0,03	0,05	0,09	0,11	0,02	0,03	0,03	0,07	0,07	0,08
Berglaststation	0,05	0,07	0,14	0,17	0,04	0,04	0,05	0,11	0,12	0,13
Tunnlar centralområde	0,4	0,7	1,2	1,5	0,3	0,3	0,4	0,9	1,0	1,1
<b>Förvarsområde 2030</b>										
Stamtunnel, inkl. 10 deponeringstunnlar	1,0	1,3	3,1	3,6	0,9	0,9	1,0	2,7	2,8	2,9
Transporttunnel	0,2	0,3	0,6	0,7	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	0,6
<b>Förvarsområde 2075</b>										
Stam- och transporttunnlar	3,1	4,2	9,7	11,2	2,6	2,8	3,0	8,1	8,5	8,8

\*Deponeringstunnlarna förses med luft via stamtunnlarna. Beräkning av radonhalter i deponeringstunnlar, se nedan.

**Tabell A1-8. Inflöde av frisk luft (m<sup>3</sup>/s) som krävs för att radonkoncentrationen i respektive volym ska understiga 400 Bq/m<sup>3</sup>, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage.\***

	Oskarshamn				Forsmark					
	Normal	Hög			Normal	Hög				
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
<b>Ramp</b>	5,2	7,6	14	17	2,9	3,2	3,6	8,7	9,3	10
<b>Schakt</b>										
Skipschakt	0,4	0,6	1,1	1,4	0,2	0,3	0,3	0,7	0,8	0,8
Hisschakt	0,4	0,6	1,0	1,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,7	0,7
<b>Centralområde</b>										
Omlastningshall	0,2	0,2	0,5	0,6	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4
Förråds- och verkstadshall	0,1	0,2	0,4	0,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3
Hisshall	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
Ventilationshall	0,2	0,2	0,4	0,5	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,4
Elhall	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3
Bergdränagehall	0,2	0,3	0,5	0,6	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4
Skiphall	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3
Fordonshall	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3
Berglaststation	0,2	0,3	0,5	0,6	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5
Tunnlar centralområde	1,7	2,5	4,5	5,6	1,1	1,3	1,4	3,5	3,7	4,0
<b>Förvarsområde 2030</b>										
Stamtunnel, inkl. 10 deponeringstunnlar	3,7	5,0	12	13	3,3	3,5	3,7	10	10	11
Transporttunnel	0,8	1,0	2,4	2,8	0,6	0,7	0,7	2,0	2,1	2,2
<b>Förvarsområde 2075</b>										
Stam- och transporttunnlar	11	16	36	42	10	10	11	31	32	33

\*Deponeringstunnlarna förses med luft via stamtunnlarna. Beräkning av radonhalter i deponeringstunnlar, se nedan.

## Radonhalter i förvarets delar 2030 och 2075

Tabell A1-9. Radonhalt i volymen utan luftflöde, normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage.\*

	Oskarshamn				Forsmark					
	Normal	Hög			Normal	Hög				
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
<b>Ramp</b>	5 430	8 025	14 752	18 158	3 018	3 394	3 770	9 148	9 845	10 541
Schakt										
Skipschakt	5 938	8 776	16 133	19 858	3 366	3 786	4 206	10 204	10 981	11 758
Hisschakt	6 081	8 988	16 521	20 336	3 374	3 794	4 215	10 227	11 006	11 784
<b>Centralområde</b>										
Omlastningshall	2 784	4 114	7 563	9 310	1 921	2 161	2 400	5 824	6 267	6 710
Förråds- och verkstadshall	3 273	4 837	8 891	10 944	2 258	2 540	2 822	6 847	7 368	7 889
Hisshall	4 232	6 255	11 497	14 152	2 920	3 285	3 649	8 853	9 527	10 201
Ventilationshall	3 100	4 582	8 423	10 367	2 139	2 406	2 673	6 486	6 979	7 473
Eihall	5 389	7 965	14 641	18 021	3 719	4 183	4 646	11 274	12 132	12 990
Bergdränagehall	2 990	4 419	8 123	9 999	2 063	2 321	2 578	6 255	6 731	7 207
Skiphall	4 001	5 913	10 870	13 380	2 761	3 105	3 450	8 370	9 008	9 645
Fordonshall	4 220	6 236	11 463	14 110	2 912	3 275	3 638	8 827	9 499	10 171
Berglaststation	4 504	6 377	12 838	15 297	3 580	3 918	4 255	10 389	11 013	11 637
Tunnlar centralområde	5 446	8 049	14 796	18 212	3 758	4 227	4 696	11 393	12 260	13 127
<b>Förvarsområde 2030</b>										
Stamtunnel, inkl. 10 deponeringstunnlar	4 766	6 464	15 210	17 439	4 232	4 499	4 767	12 918	13 413	13 908
Transporttunnel	3 549	4 875	11 258	12 998	3 047	3 256	3 465	9 469	9 855	10 241
<b>Förvarsområde 2075</b>										
Summa stam - och transporttunnlar	3 229	4 436	10 243	11 826	2 772	2 962	3 152	8 615	8 966	9 318

\*Deponeringstunnlarna förses med luft via stamtunnlarna. Beräkning av radonhalter i deponeringstunnlar, se nedan.

**Tabell A1-10. Radonhalt i volymen vid 10 % av dimensionerande luftflöde, normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage. Deponeringstunnlarna förses med luft via stamtunnlarna. Beräkning av radonhalter i deponeringstunnlar, se tabell A1-12.**

	Oskarshamn				Forsmark						
	Normal		Hög		Normal		Hög				
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15	
<b>Ramp</b>	716	1 058	1 944	2 393	398	447	497	1 206	1 298	1 389	
<b>Schakt</b>											
Skipschakt	732	1 081	1 988	2 447	415	466	518	1 257	1 353	1 449	
Hisschakt	665	982	1 805	2 222	369	415	461	1 118	1 203	1 288	
<b>Centralområde</b>											
Omlastningshall	159	235	432	532	110	123	137	333	358	383	
Förräds- och verkstadshall	88	130	239	294	61	68	76	184	198	212	
Hisshall	90	134	245	302	62	70	78	189	203	218	
Ventilationshall	125	184	339	417	86	97	108	261	281	301	
Elhall	28	42	76	94	19	22	24	59	63	68	
Bergdränagehall	52	77	142	174	36	40	45	109	117	126	
Skiphall	53	79	145	178	37	41	46	112	120	129	
Fordonshall	95	141	258	318	66	74	82	199	214	229	
Berglaststation	144	204	410	489	114	125	136	332	352	372	
Tunnlar centralområde	593	877	1 612	1 984	409	460	512	1 241	1 336	1 430	
<b>Förvarsområde 2030</b>											
Stamtunnel deponering, inkl. 10 deponeringstunnlar	637	863	2 032	2 329	565	601	637	1 725	1 792	1 858	
Stamtunnel bergbyggdel, inkl. 10 deponeringstunnlar	523	710	1 670	1 915	465	494	523	1 418	1 473	1 527	
Transporttunnel	782	1 074	2 480	2 864	671	717	763	2 086	2 171	2 256	
Transporttunnel	782	1 074	2 480	2 864	671	717	763	2 086	2 171	2 256	
<b>Förvarsområde 2075</b>											
Stam- och transporttunnlar	702	964	2 227	2 571	603	644	685	1 873	1 949	2 026	

**Tabell A1-11. Radonhalt i volymen vid 75 % av dimensionerande luftflöde, normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage. Deponeringstunnlarna förses med luft via stamtunnlarna. Beräkning av radonhalter i deponeringstunnlar, se tabell A1-12.**

	Oskarshamn				Forsmark						
	Normal		Hög		Normal		Hög				
Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15	
<b>Ramp</b>	108	159	293	360	60	68	75	182	196	210	
<b>Schakt</b>											
Skipschakt	109	161	297	365	62	70	78	188	203	217	
Hisschakt	98	145	266	327	54	61	68	165	178	190	
<b>Centralområde</b>											
Omlastningshall	22	33	61	75	15	17	19	47	50	54	
Förråds- och verkstadshall	12	18	33	40	8	9	10	25	27	29	
Hisshall	12	18	33	41	8	10	11	26	28	30	
Ventilationshall	17	25	47	58	12	13	15	36	39	42	
Elhall	3,8	5,6	10	13	2,6	2,9	3,2	7,9	8,5	9,1	
Bergdränagehall	7,1	10	19	24	4,9	5,5	6,1	15	16	17	
Skiphall	7,2	11	20	24	5,0	5,6	6,2	15	16	17	
Fordonshall	13	19	35	43	8,9	10	11	27	29	31	
Berglaststation	20	28	56	67	16	17	19	46	48	51	
Tunnlar centralområde	87	129	237	292	60	68	75	183	197	211	
<b>Förvarsområde 2030</b>											
Stamtunnel deponering, inkl. 10 deponeringstunnlar	96	130	306	351	85	91	96	260	270	280	
Stamtunnel bergbyggdel, inkl. 10 deponeringstunnlar	77	105	246	282	68	73	77	209	217	225	
Transporttunnel	129	177	409	472	111	118	126	344	358	372	
Transporttunnel	129	177	409	472	111	118	126	344	358	372	
<b>Förvarsområde 2075</b>											
Stam- och transporttunnlar	115	158	366	422	99	106	113	308	320	333	



## Radonhalt i deponeringstunnel

**Tabell A1-12. Radonhalter i 10:e deponeringstunneln vid olika luftflöden (Bq/m<sup>3</sup>), normal uranhalt i berg och normal radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage.**

	Luftflöde			Oskarshamn		Forsmark		
	% av dim.	oms/h	m <sup>3</sup> /s	vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )		vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )		
				25	45	5	10	15
<b>Bergbyggdel</b>								
Deponeringstunnel	75	0,78	1,875	132	179	118	125	133
Stamtunnel *		0,46	18,75	76	103	67	72	76
Deponeringstunnel	10	0,1	0,25	885	1 198	789	839	888
Stamtunnel *		0,06	2,5	515	699	457	486	515
<b>Deponeringsdel</b>								
Deponeringstunnel	75	0,63	1,5	165	223	147	156	165
Stamtunnel *		0,37	15	94	128	84	89	94
Deponeringstunnel	10	0,08	0,2	1 072	1 451	956	1 016	1 076
Stamtunnel *		0,05	2	626	850	556	591	626

\*) Stamtunnel inklusive inverkan från 9 stycken deponeringshål.

**Tabell A1-13. Radonhalter i 10:e deponeringstunneln vid olika luftflöden (Bq/m<sup>3</sup>), hög uranhalt i berg och hög radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage.**

	Luftflöde			Oskarshamn		Forsmark		
	% av dim.	oms/h	m <sup>3</sup> /s	vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )		vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )		
				25	45	5	10	15
<b>Bergbyggdel</b>								
Deponeringstunnel	75	0,78	1,875	423	484	360	373	387
Stamtunnel *		0,46	18,75	242	278	206	213	221
Deponeringstunnel	10	0,1	0,25	2 825	3 236	2 403	2 494	2 586
Stamtunnel *		0,06	2,5	1 643	1 884	1 395	1 448	1 502
<b>Deponeringsdel</b>								
Deponeringstunnel	75	0,63	1,5	526	603	447	464	481
Stamtunnel *		0,37	15	301	346	256	266	276
Deponeringstunnel	10	0,08	0,2	3 423	3 921	2 911	3 022	3 132
Stamtunnel *		0,05	2	1 998	2 292	1 697	1 762	1 827

\*) Stamtunnel inklusive inverkan från 9 stycken deponeringshål.

## Radon som ventileras ut från förvaret

2015

**Tabell A2-1. Total utsläpp av radon och resulterande radonhalt i kontrollvolymen vid luftomsättningen ingen respektive en omsättning per timme utomhus, vid olika luftflöden i förvaret och normal uranhalt i berg, normal radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage.**

Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	Oskarshamn		Forsmark		
	25	45	5	10	15
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 1 m<sup>3</sup>/s</b>					
Utsläpp Rn (MBq/h) – ramp	1,9	2,7	1,1	1,2	1,4
Utsläpp Rn (MBq/h) – skipschakt	0,42	0,60	0,27	0,30	0,33
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	193	283	117	131	144
1 oms/h utomhus	1,4	2,1	0,9	1,0	1,1
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 5 m<sup>3</sup>/s</b>					
Utsläpp Rn (MBq/h) – ramp	4,4	6,4	2,5	2,8	3,1
Utsläpp Rn (MBq/h) – skipschakt	0,86	1,2	0,64	0,70	0,77
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	222	325	134	150	165
1 oms/h utomhus	1,7	2,4	1,0	1,1	1,2

**Tabell A2-2. Total utsläpp av radon och resulterande radonhalt i kontrollvolymen vid luftomsättningen ingen respektive en omsättning per timme utomhus, vid olika luftflöden i förvaret och hög uranhalt i berg, hög radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage.**

Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	Oskarshamn		Forsmark		
	25	45	5	10	15
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 1 m<sup>3</sup>/s</b>					
Utsläpp Rn (MBq/h) – ramp	5,1	6,2	3,3	3,6	3,8
Utsläpp Rn (MBq/h) – skipschakt	1,2	1,4	0,8	0,9	0,9
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	530	648	350	375	400
1 oms/h utomhus	4,0	4,9	2,6	2,8	3,0
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 5 m<sup>3</sup>/s</b>					
Utsläpp Rn (MBq/h) – ramp	12,0	14,7	7,6	8,1	8,7
Utsläpp Rn (MBq/h) – skipschakt	2,4	2,9	1,9	2,0	2,1
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	609	744	400	429	458
1 oms/h utomhus	4,6	5,6	3,0	3,2	3,4

## 2018

**Tabell A2-3. Total utsläpp av radon och resulterande radonhalt i kontrollvolymen vid luftomsättningen ingen respektive en omsättning per timme utomhus, vid olika luftflöden i förvaret och normal uranhalt i berg, normal radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage.**

Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	Oskarshamn		Forsmark		
	25	45	5	10	15
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 4 m<sup>3</sup>/s</b>					
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	11	16	21	22	24
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	467	685	296	331	366
1 oms/h utomhus	3,5	5,1	2,2	2,5	2,7
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 10 m<sup>3</sup>/s</b>					
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	12	18	7,6	8,5	9,4
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	512	751	322	359	397
1 oms/h utomhus	3,8	5,6	2,4	2,7	3,0
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 30 m<sup>3</sup>/s</b>					
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	13	19	7,9	8,8	9,7
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	535	785	334	373	413
1 oms/h utomhus	4,0	5,9	2,5	2,8	3,1

**Tabell A2-4. Total utsläpp av radon och resulterande radonhalt i kontrollvolymen vid luftomsättningen ingen respektive en omsättning per timme utomhus, vid olika luftflöden i förvaret och hög uranhalt i berg, hög radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage.**

Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	Oskarshamn		Forsmark		
	25	45	5	10	15
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 4 m<sup>3</sup>/s</b>					
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	30	37	21	22	24
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	1 278	1 565	888	952	1 016
1 oms/h utomhus	10	12	6,7	7,1	7,6
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 10 m<sup>3</sup>/s</b>					
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	33	40	23	24	26
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	1 401	1 715	963	1 033	1 103
1 oms/h utomhus	11	13	7,2	7,7	8,3
<b>Luftflöde i förvarsdelarna 30 m<sup>3</sup>/s</b>					
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	35	42	24	25	27
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )					
0 oms/h utomhus	1 464	1 792	1 001	1 074	1 147
1 oms/h utomhus	11	13	7,5	8,0	8,6

## 2030 och 2075

**Tabell A2-5. Radonkoncentrationer vid respektive utflöde av luft från förvaret, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage. 75 % av dimensionerande luftflöden.**

Radonhalt vatten/uranhalt berg Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	Luftflöde (m <sup>3</sup> /s)	Oskarshamn				Forsmark					
		Normal		Hög		Normal			Hög		
		25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
Skipschakt	1,5	109	161	297	365	62	70	78	188	203	217
Hisschakt	1,5	98	145	266	327	54	61	68	165	178	190
Frånluft C	78,75	42	62	115	141	26	29	32	78	84	89
Frånluft F30	38,25	93	125	294	337	81	86	92	248	258	268
Frånluft F75/st	12,75	121	165	381	440	102	109	116	318	331	344

C = Frånluftsschakt Centralområde, F30= Frånluftsschakt Förvarsdel år 2030, F75 = Frånluftsschakt Förvarsdel år 2075, antas vara 3 st.

**Tabell A2-6. Totalt utsläpp av radon (MBq/h) vid respektive utflöde av luft från förvaret, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage. 75 % av dimensionerande luftflöden i förvaret.**

Radonhalt vatten/uranhalt berg Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	Luftflöde (m <sup>3</sup> /s)	Oskarshamn				Forsmark					
		Normal		Hög		Normal			Hög		
		25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
Skipschakt	1,5	0,59	0,87	1,6	2,0	0,34	0,38	0,42	1,0	1,1	1,2
Hisschakt	1,5	0,53	0,78	1,4	1,8	0,29	0,33	0,37	0,89	0,96	1,0
Frånluft C	78,75	12	18	33	40	7,3	8,2	9,1	22	24	25
Frånluft F30	38,25	13	17	41	47	11	12	13	34	36	37
Frånluft F75/st	12,75	5,6	7,6	18	20	4,7	5,0	5,3	15	15	16

**Tabell A2-7. Totalt utsläpp av radon (MBq/h) från förvaret, samt resulterande radonhalt i kontrollvolymen, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage. 75 % av dimensionerande luftflöden.**

Radonhalt vatten /uranhalt berg Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	Oskarshamn				Forsmark						
	Normal		Hög		Normal			Hög			
	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15	
<b>2030</b>											
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	26	50	76	108	19	21	22	58	61	64	
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )											
0 oms/h utomhus	1 098	1 062	1 613	2 289	404	440	476	1 232	1 298	1 364	
1 oms/h utomhus	8,2	8,0	12	17	3,0	3,3	3,6	9,2	10	10	
<b>2075</b>											
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	30	58	88	125	22	24	26	68	71	75	
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )											
0 oms/h utomhus	1 261	1 221	1 867	2 644	466	507	548	1 435	1 511	1 587	
1 oms/h utomhus	9,4	9,1	14	20	3,5	3,8	4,1	11	11	12	

**Tabell A2-8. Radonkoncentrationer vid respektive utflöde av luft från förvaret, normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage. 10 % av dimensionerande luftflöden.**

Radonhalt vatten/uranhalt berg Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h) Luftflöde m <sup>3</sup> /s	Oskarshamn				Forsmark					
	Normal		Hög		Normal			Hög		
	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
Skipschakt 0,2	732	1 081	1 988	2 447	415	466	518	1 257	1 353	1 449
Hisschakt 0,2	665	982	1 805	2 222	369	415	461	1 118	1 203	1 288
Frånluft C 10,5	288	425	783	963	175	196	218	529	569	609
Frånluft F30 5,1	616	829	1 945	2 233	537	571	605	1 643	1 707	1 770
Frånluft F75/st 1,7	744	1 014	2 341	2 703	627	670	713	1 950	2 029	2 109

C = Frånluftsschakt Centralområde, F30= Frånluftsschakt Förvarsdel år 2030, F75 = Frånluftsschakt Förvarsdel år 2075, antas vara 3 st.

**Tabell A2-9. Totalt utsläpp av radon (MBq/h) vid respektive utflöde av luft från förvaret, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, samt olika mängder vatteninläckage. 75 % av dimensionerande luftflöden i förvaret.**

Radonhalt vatten/uranhalt berg Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h) Luftflöde (m <sup>3</sup> /s)	Oskarshamn				Forsmark					
	Normal		Hög		Normal			Hög		
	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
Skipschakt 1,5	0,53	0,78	1,4	1,8	0,30	0,34	0,37	0,91	0,97	1,0
Hisschakt 1,5	0,48	0,71	1,3	1,6	0,27	0,30	0,33	0,80	0,87	0,93
Frånluft C 78,75	11	16	30	36	7	7	8	20	22	23
Frånluft F30 38,25	11	15	36	41	10	10	11	30	31	33
Frånluft F75/st 12,75	4,6	6,2	14	17	3,8	4,1	4,4	12	12	13

C = Frånluftsschakt Centralområde, F30= Frånluftsschakt Förvarsdel år 2030, F75 = Frånluftsschakt Förvarsdel år 2075, antas vara 3 st.

**Tabell A2-10. Totalt utsläpp av radon (MBq/h) från förvaret, samt resulterande radonhalt i kontrollvolymen, vid normal respektive hög uranhalt i berg och radonhalt i inläckande vatten, och olika mängder vatteninläckage. 10 % av dimensionerande luftflöden.**

Radonhalt vatten /uranhalt berg Vid vatteninläckage (m <sup>3</sup> /h)	Oskarshamn				Forsmark					
	Normal		Hög		Normal			Hög		
	25	45	25	45	5	10	15	5	10	15
<b>2030</b>										
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	23	33	68	81	17	19	20	52	55	57
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )										
0 oms/h utomhus	492	695	1 442	1 711	361	393	425	1 099	1 159	1 218
1 oms/h utomhus	3,7	5,2	11	13	2,7	2,9	3,2	8,2	8,7	9,1
<b>2075</b>										
Summa utsläpp Rn (MBq/h)	26	36	75	89	19	20	22	58	61	64
Radonhalt i kontrollvolymen (Bq/m <sup>3</sup> )										
0 oms/h utomhus	541	766	1 596	1 894	396	432	467	1 219	1 284	1 350
1 oms/h utomhus	4,1	5,7	12	14	3,0	3,2	3,5	9,1	10	10

## Utsläpp av dotternuklider

**Tabell A3-1. Bakgrundsdata för beräkningar av dotternuklidutsläpp. Luftflöden och luftens omsättningstid i förvaret.**

År	Utsläppspunkt	Luftflöde i förvaret	Oskarshamn Uppehållstid (h)			Forsmark Uppehållstid (h)		
			Beräknad 2015, 2018, 2030	2075	Ansatt	Beräknad 2015, 2018, 2030	2075	Ansatt
2015	Ramp	5 m <sup>3</sup> /s	6,0		6	4,8		5,0
2015	Skipschakt	5 m <sup>3</sup> /s	1,1		1	1,0		1
2018	Ramp 70 %	10 m <sup>3</sup> /s	9,1		9,0	8,0		8
2018	Skipschakt 30 %	10 m <sup>3</sup> /s	9,1		9,0	8,0		8
2030, 2075	Hisschakt	75% av dim,	1,7	2,4	2,0	1,6	2,3	2
2030, 2075	Skipschakt	75% av dim,	1,7	2,4	2	1,6	2,3	2
2030, 2075	Frånluftschakt centralområde	75% av dim,	1,7	2,4	2	1,6	2,3	2
2030	Frånluftsschakt förvarsdel	75% av dim,	1,7		2,0	1,6		2
2075	Frånluft förvarsdel, per styck, 3 st	75% av dim,		2,4	2,0		2,3	2

För 2030 och 2075 är luftens omsättningstid räknad på förvarsvolymen som helhet. För 2018 har endast en totalhalt i förvaret beräknats, eftersom det inte är avstängt någonstans. För utsläppsberäkningar har antagits att 30 % av luften avgår via skipschaktet och 70 % av luften avgår via rampen. Totala utsläpp för 2018 är för Oskarshamn normal, 12 MBq/h, Oskarshamn hög, 40 MBq/h, Forsmark normal, 8,5 MBq/h och Forsmark hög, 26 MBq/h.

**Tabell A3-2. Utsläpp av dotternuklider vid olika årtal och från olika utsläppspunkter. Oskarshamn, normala förhållanden\*.**

År	Utsläppspunkt	Utsläpp Rn-222 utluft (MBq/h)	Begynnelseaktivitet (MBq/h)	Rn-222 (Bq/h)	Po-218 (Bq/h)	Pb-214 (Bq/h)	Bi-214 (Bq/h)	Po-214 (Bq/h)	Pb-210 (Bq/h)	Bi-210 (Bq/h)	Po-210 (Bq/h)
2015	Ramp	6,43	6,72	6,14E+06	6,15E+06	6,17E+06	6,20E+06	6,19E+06	107,7	1,527	5,38E-04
2015	Skipschakt	1,25	1,26	1,25E+06	1,25E+06	9,53E+05	6,18E+05	6,18E+05	8,95E-01	1,41E-03	6,16E-08
2018	Ramp 70 %	12,4	13,3	1,24E+07	1,24E+07	1,25E+07	1,25E+07	1,25E+07	357,4	8,078	4,51E-03
2018	Skipschakt 30 %	5,32	5,69	5,32E+06	5,32E+06	5,34E+06	5,36E+06	5,36E+06	153,1	3,462	1,93E-03
2030, 2075	Hisschakt	0,78	0,793	7,81E+05	7,82E+05	7,45E+05	6,73E+05	6,73E+05	2,539	9,33E-03	9,06E-07
2030, 2075	Skipschakt	0,87	0,885	8,72E+05	8,72E+05	8,31E+05	7,51E+05	7,51E+05	2,833	1,04E-02	1,01E-06
2030, 2075	Frånluftsschakt C	17,7	18,0	1,77E+07	1,77E+07	1,69E+07	1,52E+07	1,52E+07	57,5	2,11E-01	2,05E-05
2030	Frånluftsschakt F	17,3	17,5	1,73E+07	1,73E+07	1,65E+07	1,49E+07	1,49E+07	56,12	2,06E-01	2,00E-05
2075	Frånluftsschakt F, per styck (3 st)	7,57	7,69	7,58E+06	7,58E+06	7,22E+06	6,53E+06	6,52E+06	24,62	9,05E-02	8,79E-06

\*) Normala förhållanden = Normal uranhalt i berg och normal radonhalt i inläckande vatten och medelstort vatteninläckage, det vill säga 25 m<sup>3</sup>/h.

**Tabell A3-3. Utsläpp av dotternuklider vid olika årtal och från olika utsläppspunkter. Forsmark, normala förhållanden\*.**

År	Utsläppspunkt	Utsläpp Rn-222 utluft (MBq/h)	Begynnelseaktivitet (MBq/h)	Rn-222 (Bq/h)	Po-218 (Bq/h)	Pb-214 (Bq/h)	Bi-214 (Bq/h)	Po-214 (Bq/h)	Pb-210 (Bq/h)	Bi-210 (Bq/h)	Po-210 (Bq/h)
2015	Ramp	2,82	2,93	2,82E+06	2,83E+06	2,84E+06	2,84E+06	2,84E+06	39,06	4,46E-01	1,27E-04
2015	Skipschakt	0,704	0,709	7,04E+05	7,04E+05	5,37E+05	3,48E+05	3,48E+05	5,04E-01	7,96E-04	3,47E-08
2018	Ramp 70 %	5,93	6,30	5,94E+06	5,94E+06	5,97E+06	5,99E+06	5,99E+06	148,5	2,938	1,44E-03
2018	Skipschakt 30 %	2,54	2,70	2,54E+06	2,55E+06	2,56E+06	2,57E+06	2,57E+06	63,65	1,259	6,16E-04
2030, 2075	Hisschakt	0,33	0,336	3,31E+05	3,31E+05	3,16E+05	2,85E+05	2,85E+05	1,075	3,95E-03	3,84E-07
2030, 2075	Skipschakt	0,38	0,383	3,77E+05	3,77E+05	3,60E+05	3,25E+05	3,25E+05	1,226	4,51E-03	4,38E-07
2030, 2075	Frånluftsschakt C	8,17	8,29	8,17E+06	8,17E+06	7,79E+06	7,04E+06	7,04E+06	26,56	9,76E-02	9,48E-06
2030	Frånluftsschakt F	11,9	12,1	1,19E+07	1,19E+07	1,13E+07	1,02E+07	1,02E+07	38,63	1,42E-01	1,38E-05
2075	Frånluftsschakt F, per styck (3 st)	5,02	6,00	5,02E+06	5,02E+06	4,79E+06	4,32E+06	4,32E+06	16,31	5,99E-02	5,82E-06

\*) Normala förhållanden = Normal uranhalt i berg och normal radonhalt i inläckande vatten och medelstort vatteninläckage, det vill säga 10 m<sup>3</sup>/h.



**Tabell A3-4. Utsläpp av dotternuklider vid olika årtal och från olika utsläppspunkter. Oskarshamn, höga förhållanden\*.**

År	Utsläppspunkt	Utsläpp Rn-222 utluft (MBq/h)	Begynnelseaktivitet (MBq/h)	Rn-222 (Bq/h)	Po-218 (Bq/h)	Pb-214 (Bq/h)	Bi-214 (Bq/h)	Po-214 (Bq/h)	Pb-210 (Bq/h)	Bi-210 (Bq/h)	Po-210 (Bq/h)
2015	Ramp	14,7	15,3	1,47E+07	1,47E+07	1,47E+07	1,48E+07	1,48E+07	257,1	3,645	1,28E-03
2015	Skipschakt	2,90	2,92	2,90E+06	2,90E+06	2,21E+06	1,43E+06	1,43E+06	2,075	3,27E-03	1,43E-07
2018	Ramp 70 %	28,3	30,3	2,83E+07	2,83E+07	2,85E+07	2,86E+07	2,86E+07	816,2	18,44	1,03E-02
2018	Skipschakt 30 %	12,1	13,0	1,21E+07	1,21E+07	1,22E+07	1,23E+07	1,22E+07	349,8	7,906	4,41E-03
2030, 2075	Hisschakt	1,77	1,79	1,77E+06	1,77E+06	1,69E+06	1,52E+06	1,52E+06	5,746	2,11E-02	2,05E-06
2030, 2075	Skipschakt	1,97	2,00	1,97E+06	1,97E+06	1,88E+06	1,70E+06	1,70E+06	6,411	2,36E-02	2,29E-06
2030, 2075	Frånluftsschakt C	40,0	40,7	4,01E+07	4,01E+07	3,82E+07	3,45E+07	3,45E+07	130,2	4,79E-01	4,65E-05
2030	Frånluftsschakt F	46,5	47,2	4,65E+07	4,65E+07	4,43E+07	4,00E+07	4,00E+07	151	5,55E-01	5,39E-05
2075	Frånluftsschakt F, per styck (3 st)	20,2	20,5	2,02E+07	2,02E+07	1,93E+07	1,74E+07	1,74E+07	65,65	2,41E-01	2,34E-05

\*) Höga förhållanden = Hög uranhalt i berg och hög radonhalt i inläckande vatten och stort vatteninläckage, det vill säga 45 m<sup>3</sup>/h.

**Tabell A3-5. Utsläpp av dotternuklider vid olika årtal och från olika utsläppspunkter. Forsmark, höga förhållanden\*.**

År	Utsläppspunkt	Utsläpp Rn-222 utluft (MBq/h)	Begynnelseaktivitet (MBq/h)	Rn-222 (Bq/h)	Po-218 (Bq/h)	Pb-214 (Bq/h)	Bi-214 (Bq/h)	Po-214 (Bq/h)	Pb-210 (Bq/h)	Bi-210 (Bq/h)	Po-210 (Bq/h)
2015	Ramp	8,67	9,00	8,67E+06	8,68E+06	8,71E+06	8,73E+06	8,73E+06	119,9	1,369	3,90E-04
2015	Skipschakt	2,13	2,15	2,13E+06	2,13E+06	1,63E+06	1,06E+06	1,06E+06	1,527	2,41E-03	1,06E-07
2018	Ramp 70 %	18,2	19,4	1,82E+07	1,82E+07	1,83E+07	1,84E+07	1,84E+07	455,9	9,019	4,41E-03
2018	Skipschakt 30 %	7,81	8,29	7,81E+06	7,81E+06	7,85E+06	7,88E+06	7,88E+06	195,3	3,865	1,89E-03
2030, 2075	Hisschakt	1,03	1,04	1,03E+06	1,03E+06	9,80E+05	8,85E+05	8,85E+05	3,34	1,23E-02	1,19E-06
2030, 2075	Skipschakt	1,17	1,19	1,17E+06	1,17E+06	1,12E+06	1,01E+06	1,01E+06	3,808	1,40E-02	1,36E-06
2030, 2075	Frånluftschakt C	25,3	25,7	2,53E+07	2,54E+07	2,42E+07	2,18E+07	2,18E+07	82,38	3,03E-01	2,94E-05
2030	Frånluftschakt F	36,9	37,4	3,69E+07	3,69E+07	3,51E+07	3,17E+07	3,17E+07	119,8	4,40E-01	4,27E-05
2075	Frånluftschakt F, per styck (3 st)	15,8	16,0	1,58E+07	1,58E+07	1,51E+07	1,36E+07	1,36E+07	51,31	1,89E-01	1,83E-05

\*) Höga förhållanden = Hög uranhalt i berg och hög radonhalt i inläckande vatten och stort vatteninläckage, det vill säga 45 m<sup>3</sup>/h.