

## Radiologisk påverkan på växter och djur från Clink under drift

Bengt Hallberg, Karin Aquilonius  
Sofie Skoog, Tommi Huutoniemi  
Studsvik Nuclear AB

Jesper Torudd, Facilia AB

Mars 2011

### **Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co

Box 250, SE-101 24 Stockholm  
Phone +46 8 459 84 00



ISSN 1402-3091

SKB R-10-53

## **Radiologisk påverkan på växter och djur från Clink under drift**

Bengt Hallberg, Karin Aquilonius

Sofie Skoog, Tommi Huutoniemi

Studsvik Nuclear AB

Jesper Torudd, Facilia AB

Mars 2011

*Nyckelord:* SKBdoc 1257509, Biota, Växter, Djur, Clink, Radiologisk påverkan, Radionuklid.

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna. SKB kan dra andra slutsatser, baserade på flera litteraturkällor och/eller expertsynpunkter.

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

## Sammanfattning

Denna rapport är underlag till den miljökonsekvensbeskrivning som lämnas in i samband med ansökningar om uppförande och drift av inkapslingsanläggningen och slutförvarsanläggningen.

I rapporten redovisas resultaten av beräkningarna av Clabs/Clinks bidrag till dosrat för biota i omgivningen runt Simpevarpshalvön. Med biota avses i denna rapport växter och djur exklusive människa. Beräkningarna avser rapporterade utsläpp från Clab till luft och vatten, samt uppskattade framtida utsläpp från Clab och Clink, både för normaldrift och eventuella missöden. För framtida utsläpp användes både sk realistiska och konservativa uppskattningar.

Ett antal naturtyper i omgivningarna till Simpevarpshalvön valdes för denna studie. För varje naturtyp beaktades skyddsvärda och/eller rödlistade arter och nyckelarter, som är arter med en nyckelfunktion i ekosystemet.

Beräkning av spridning i luft och nedfall på mark och vatten för normaldrift baserades på resultat från en spridningsmodell. Denna använde en flerårig serie väderdata från Oskarshamnsverkets mätmast. För missöde valdes det scenario som skulle kunna ge den högsta halten i varje ekosystem.

Omsättning i ekosystemen beräknades. Lokala data från SKB:s platsundersökning utnyttjades i möjligaste mån.

Bidraget till dosrat för olika biota beräknades med verktyget ERICA. Ett värde på 10  $\mu\text{Gy/h}$  anges i verktyget som en gräns för påvisbara effekter på biota, och används som jämförelsevärde, så kallat screening-värde.

I rapporten diskuteras även konservatism och osäkerheter i beräkningarna. En bedömning av graden av konservatism för beräkningarna visar att dosraten till biota är kraftigt överskattad.

Trots de konservativa antagandena ligger det beräknade bidraget från Clink till dosrat för biota i olika naturtyper i området omkring Simpevarpshalvön under, eller mycket under, screening-värdet på 10  $\mu\text{Gy/h}$ . De högsta dosraterna erhålls i de akvatiska ekosystemen. Detta beror på att radionuklider faller ned på en stor yta. För öppet hav summeras radionuklider som faller ned från luften med de som släpps ut direkt till vatten från Clink vid normal drift.

Vid de dosrater som har beräknats för utsläpp från Clink har inga påvisbara effekter kunnat konstateras. De organismer som beräknades utsättas för de högsta dosraterna är generellt fiskar, fåglar och däggdjur.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	7
1.1	Syfte	7
1.2	Avgränsningar	7
1.3	Rapportens upplägg	8
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	9
2.1	Befintliga analyser av halter i biota	9
2.2	Konsekvenser för biota av strålning	9
<b>3</b>	<b>Underlag</b>	11
3.1	Utsläpp	11
3.1.1	Normal drift	11
3.1.2	Missöde	11
3.2	Tidigare beräkningar av spridning i luft och vatten	12
3.2.1	Normal drift	12
3.2.2	Missöde	12
3.3	Växter och djur kring Simpevarpshalvön	13
<b>4</b>	<b>Metoder</b>	15
4.1	Val av naturtyper och biota	15
4.2	Omräkning till halter i ekosystem	16
4.2.1	Halt i luft och nedfall	16
4.2.2	Spridning i ekosystem	19
4.3	Beräkning av dosrat för biota	20
4.3.1	Beräkningsverktyg	20
4.3.2	Data	21
4.3.3	Beräkningsgång	21
4.3.4	Modifieringar av ERICA-verktyget	21
<b>5</b>	<b>Halter i ekosystem och dosrat för biota</b>	23
5.1	Halter i ekosystem	23
5.1.1	Normaldrift	23
5.1.2	Missöde	24
5.2	Dosrat för biota	25
5.2.1	Normaldrift	25
5.2.2	Missöde	25
<b>6</b>	<b>Konservatism och osäkerheter</b>	31
6.1	Konservatism	31
6.2	Osäkerheter	31
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b>	33
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	35
<b>Bilaga 1</b>	Förklaringar av begrepp	39
<b>Bilaga 2</b>	Utsläpp till luft och vatten från Clab respektive Clink	41
<b>Bilaga 3</b>	Metod för beräkning av nedfall på vattenobjekt för missöde	49
<b>Bilaga 4</b>	Naturtyper, rödlistade/hotade arter, nyckelarter samt representation i ERICA	51
<b>Bilaga 5</b>	Terrestra naturtyper – modellbeskrivning och parametervärden	53
<b>Bilaga 6</b>	Akvatiska naturtyper – modellbeskrivning och parametervärden	57
<b>Bilaga 7</b>	Beräkning av dosrat för biota med ERICA	67
<b>Bilaga 8</b>	Data avseende Fe-55 som använts för att beräkna parametervärden till ERICA	69

<b>Bilaga 9</b>	Ändringar av ERICA	71
<b>Bilaga 10</b>	Beräknade bidrag till halter i luft och jord	75
<b>Bilaga 11</b>	Beräknade bidrag till dosrat för biota	87
<b>Bilaga 12</b>	Jämförelse mellan spridningsparametrar	99

# 1 Inledning

Denna rapport är ett underlag till den miljökonsekvensbeskrivning som bifogas ansökningarna om uppförande och drift av inkapslingsanläggningen och slutförvarsanläggningen. Inkapslingsanläggningen kommer att uppföras intill Clab på Simpevarpshalvön och de båda anläggningarna ska drivas som en anläggning, Clink.

Driften av Clab och den framtida driften av Clink, inkapslingsanläggningen sammanbyggd med Clab, ger upphov till utsläpp av radioaktiva ämnen till luft och vatten. I samband med inlämnandet av SKB:s ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen för uppförande av inkapslingsanläggningen pekade SSI (numera SSM) i ett remissvar /SSI 2007/ på att bidraget till halter av radioaktiva ämnen i växter och djur (biota) i omgivningen ska uppskattas.

Beräknat bidrag från Clabs normaldrift till dos till människa (mest belastad individ i kritisk grupp) redogörs för i årliga rapporter till SSM, och för potentiella missöden i säkerhetsredovisningen. För Clink ges beräkningar av motsvarande uppgifter i den preliminära säkerhetsredovisning som lämnas in tillsammans med ansökan enligt kärntekniklagen.

I SSMFS 2008:37, som gäller för slutförvaring av använt bränsle och kärnavfall och alltså inte gäller för Clink, anges att effekter på skyddsvärda arter ska beaktas vid analys av säkerheten. Dock valdes att medta skyddsvärda arter även i denna studie.

I denna rapport används vissa data från platsundersökningen i Laxemar-Simpevarpsområdet för slutförvaret för använt kärnbränsle. Även vissa modeller för spridning i ekosystemen som tagits fram inom ramen för analysen av kärnbränsleförvarets långsiktiga säkerhet (SR-Site) används. SR-Site betraktar dock nuklider som når grundvattnet från stort djup, medan denna rapport avser utsläpp till luft och vatten. Modifieringar av modellerna har därför utförts.

En förklaring av begrepp ges i bilaga 1.

## 1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att uppskatta Clab/Clinks bidrag till halter av radionuklider i mark och vatten i omgivningen av Simpevarpshalvön, och konsekvenser i form av dosrat till biota.

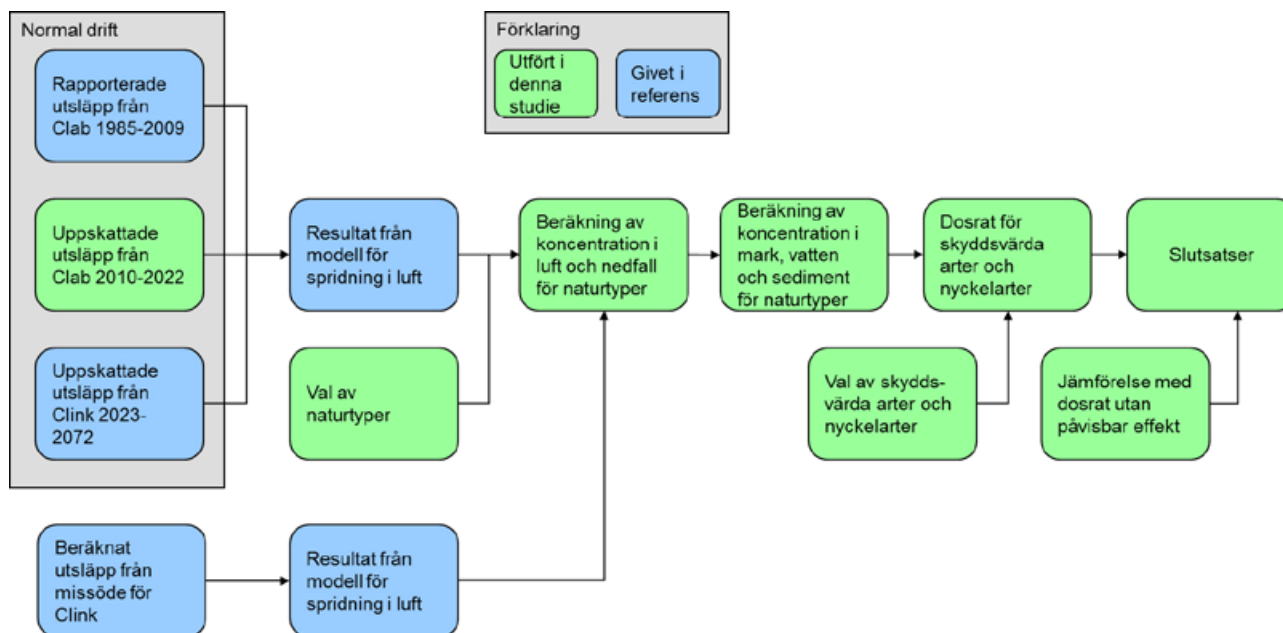
## 1.2 Avgränsningar

Denna studie har följande avgränsningar:

- Den behandlar inte effekter av strålning för människor, utan enbart för växter och djur.
- Den behandlar enbart driftsperioden för Clink, och inte några långsiktiga effekter, vilka hanteras inom ramen för SR-Site.
- Den berör enbart området kring Clab på Simpevarpshalvön.
- Den avser enbart bidraget från Clab/Clink; inga beräkningar görs för kumulativa effekter på grund av utsläpp från atombombsprov, Tjernobyl eller OKG:s verksamhet.

### 1.3 Rapportens upplägg

Denna rapport redogör för metoder och resultat av beräkningar av Clinks bidrag till dosrater för biota i omgivningen av Simpevarvshalvön. Beräkningar av dosratsbidrag till biota baserat på koncentration i ekosystemen genomfördes på samma sätt som i SR-Site, se /Torudd 2010/, med beräkningsverktyget ERICA /Brown et al. 2008/. Underlag var utsläpp av radioaktiva ämnen till luft och vatten vid normal drift och eventuella missöden, se kapitel 3. För Clabs del användes uppmätta och beräknade framtida utsläpp. För Clinks del nyttjades beräknade framtida utsläpp. För framtida utsläpp användes både realistiska och konservativa uppskattningar. Metoder redovisas i kapitel 4, och resultat i form av halter i ekosystemen och dosrat till biota ges i kapitel 5. En översikt av metoder och beräkningar ges i figur 1-1.



Figur 1-1. Översikt av metoder och beräkningar.

## 2 Bakgrund

Detta kapitel är avsett att ge bakgrundsinformation om halter av radioaktiva ämnen i omgivningen till Clab, och typer av konsekvenser på biota på grund av joniserande strålning.

### 2.1 Befintliga analyser av halter i biota

Några effekter på biota på grund av utsläpp av radioaktiva ämnen från Clab har inte påvisats. Provtagning och analyser av halter av radioaktiva ämnen i biota utförs regelbundet runt Simpevarpshalvön. Detta sker i enlighet med ett av SSM bestämt program, se t ex /Lindén 2004/. Av de radioaktiva ämnen som inte härrör från naturliga källor kommer den största delen från nedfall från Tjernobylyolyckan samt atombombsprov. I /Lüning 2005/ konstateras bl a ”Omgivningskontrollen runt de kärntekniska anläggningarna visar att utsläppen ger låga men mätbara halter av radionuklider i prov främst från den marina närmiljön. Halterna av radioaktiva ämnen i omgivningsprover är mycket låga.”.

### 2.2 Konsekvenser för biota av strålning

I detta avsnitt ges exempel på vad för slags konsekvenser joniserande strålning kan ha på olika organismer.

Effekter och konsekvenser för biota på grund av strålning är mest känd för höga strålningsdoser, som bland annat har kunnat studeras runt Tjernobyl eller under försök i laboratorieverksamhet. Däremot är forskningen för mycket låga och kroniska strålningsnivåer av mindre omfattning. Detta beror på att det är svårt att studera effekter och konsekvenser under lång tid, både för laboratorieförsök och ute i fält.

Exempel på påverkan vid olika nivåer av strålning är förändrad tillväxt (lägre eller högre), lägre andel avkomma, kortare livslängd, väsentligt minskad eller ingen reproduktionsförmåga och ökad dödlighet.

I ERICA-projektet /Brown et al. 2008/ gjordes en sammanställning av studier av strålningseffekter på biota. Sammanställningen finns redovisad i databasen FREDERICA (<http://www.frederica-online.org>). De organismer som uppvisar minst tålighet mot strålning är de högre djuren, t ex fiskar och däggdjur. Inga påvisbara effekter har kunnat konstateras vid dosrater under 10  $\mu\text{Gy/h}$  /Brown et al. 2008/. Detta värde används som ett jämförelsevärde, ”screening-värde” i programvaran ERICA, se avsnitt 4.3.



## 3 Underlag

### 3.1 Utsläpp

En beräkningsförutsättning för denna studie har varit att Clink tas i drift år 2023 och drivs tills år 2072. Utsläpp under avveckling har försumrats. Värden på historiska utsläpp från Clab baseras på till myndigheterna rapporterade värden under perioden från driftstart till och med år 2009. För driften av Clink har värden på det årliga utsläppet beräknats i PSAR kapitel 6, både realistiska och konservativa uppskattningar. För perioden fram tills inkapslingsdelen tas i drift har uppskattningar gjorts i denna studie. Vid missöden har utsläpp beräknats /Hallberg 2008, Isaksson et al. 2008/, och ett scenario valts ur denna studie.

#### 3.1.1 Normal drift

Utsläpp av radioaktiva ämnen från Clab till luft moniteras och utsläpp till vatten erhålls genom analys av prov från utgående vatten. Vid mätning och analys av strålning finns en möjlig minsta mängd aktivitet av en radionuklid som går att detektera, så kallat MDA-värde, som beror på mätmetoden. I vissa fall har inte någon aktivitet kunnat detekteras. Detta kan bero antingen på att det inte skett något utsläpp av den radionukliden, eller att utsläppet ligger under MDA-värdet. Vi utgår i denna rapport från de värden som redovisats till SSI/SSM under perioden 1985–2009. Endast värden över MDA-värdet har dock beaktats. Utsläpp till luft beräknades ske på 20 meters höjd över mark, vilket är lägre än Clabs huvudskorsten, men valdes vid beräkningar av dosomräkningsfaktorer /Hallberg 2001/ som en kompromiss för att representera samtliga utsläpp på låg höjd från kärntekniska anläggningar på Simpevarpshalvön. Ett utsläpp på lägre höjd ger en större koncentration vid marken än ett på högre höjd, så beräkningsförutsättningen ger en viss konservatism. Utsläpp till vatten sker till Hamnefjärden.

För Clink har realistiska och konservativa uppskattningar av framtida utsläpp vid normal drift redovisats i PSAR kapitel 6. Uppskattningarna baseras på utsläpp från Clab under perioden 1997–2006. För perioden från och med 2010 till och med 2022 har i denna studie i det konservativa fallet antagits att det årliga utsläppet för varje nuklid blir lika med det högsta värdet för den nukliden någon gång under perioden 1985–2009. I det realistiska fallet har medelvärdet för perioden 1997–2006 använts.

Tabeller med rapporterade historiska utsläpp från Clab och uppskattade realistiska och konservativa framtida utsläpp från Clab respektive Clink till luft respektive vatten redovisas i bilaga 2.

#### 3.1.2 Missöde

Utsläpp, spridning och dos till människa för missöden har beräknats för Clab i /Isaksson et al. 2008/ och för inkapslingsanläggningen i /Hallberg 2008/. De scenarier som betraktades avsåg händelser som skulle kunna ge utsläpp till luft. Inga händelser med utsläpp till vatten behandlades, eftersom frigörande av radionuklider till vatten i bassänger i Clab/Clink tas om hand i anläggningens reningsystem. Från /Hallberg 2008/ valdes det scenario som gav högsta uppskattad dos till människa: ”Tappad kapsel eller transportkassett” (i inkapslingsdelens hanteringscell) med BWR-bränsle. Det väderfall som gav den högsta dosen kallades extremväder B, och innebar en vindhastighet på 1 m/s och stabilitetsklass Pasquill F (mycket stabilt) /Pasquill och Smith 1983/. Det redovisades visserligen högre doser för ett missöde i Clab, men det domineras av externdos från Kr-85 och har inga utsläpp av cesium. Cesium sprids lätt i ekosystem, till skillnad från ädelgasen krypton som stannar i luften. Utsläppt mängd och andra data redovisas i tabell 3-1.

**Tabell 3-1. Data för missödesscenariot "Tappad kapsel eller transportkasset" /Hallberg 2008/.**

Bränsletyp	BWR	
Medelutbränning	60 MWd/kgU	
Avklingningstid	15 år	
Utsläppshöjd	20 m	
Utsläppets varaktighet	1 h	
Vindhastighet	1 m/s	
Stabilitet	F Pasquill-klass	
<b>Utsläpp till luft</b>	<b>Nuklid</b>	<b>Utsläppt mängd (Bq)</b>
	Kr-85	3,98E+13
	I-129	1,89E+08
	Cs-134	1,33E+08
	Cs-137	1,17E+10

## 3.2 Tidigare beräkningar av spridning i luft och vatten

### 3.2.1 Normal drift

För utsläpp vid normal drift rapporteras årligen till Strålsäkerhetsmyndigheten beräknade doser till människa med hjälp av uppmätta eller beräknade årliga utsläpp, som multipliceras med i förväg beräknade plats- och nuklidspecifika dosomräkningsfaktorer /Hallberg et al. 2002/. De senare togs fram i förväg med antagande om utsläpp av 1 Bq vardera av ett stort antal nuklider från Clab till luft och till vatten (Hamnefjärden), och med modeller för spridning i ekosystemen. Detta gav halter och nuklidspecifik dosintekning till mest belastad individ i kritisk grupp.

I denna rapport utnyttjas resultat från beräkningarna som utfördes för ovannämnda referens, men resultaten redovisades inte i text, utan på en med rapporten bilagd cd-skiva. I /Hallberg 2001/ redogörs för metoderna. Beräkningarna baserades på fem års meteorologiska data från Oskarshamnsverkets mätmast. Mellanresultaten i beräkningarna är i form av beräknad nuklidspecifik årsmedelhalt i luft och årligt nedfall på mark i ett rutnät med 250 meter mellan beräkningspunkterna. Ett exempel på isolinjer anpassade till värdena visas i figuren 3-1 och 3-2.

### 3.2.2 Missöde

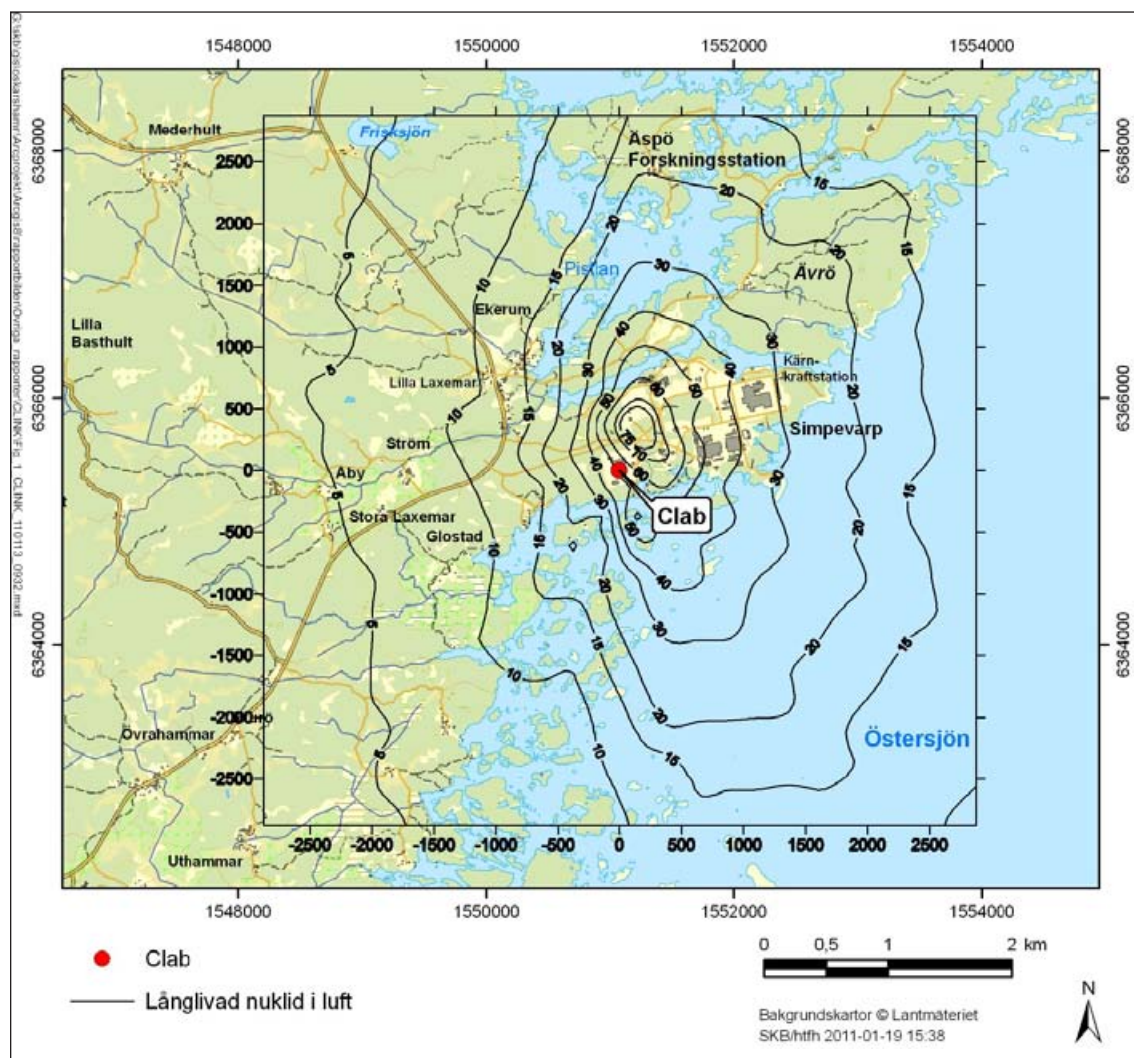
Konsekvenser av eventuella missöden redovisas i säkerhetsredovisningen för Clink. För missöden betraktas här det förväntade värsta fallet för varje naturtyp, se avsnitt 4.1. Halt och nedfall beräknas som om radionukliderna förs från anläggningen rakt till den betraktade punkten. I verkligheten om ett missöde skulle inträffa sprids de radioaktiva ämnena bara till de naturtyper som ligger i vindriktningen. Värden för beräkning av koncentration i luft redovisades i datafiler som använts för /Isaksson et al. 2008/ och /Hallberg 2008/, i form av så kallad relativ koncentration (koncentration genom utsläppstakt:  $c/Q$ , se bilaga 3 för en förklaring). Den relativa koncentrationen ges för fasta beräkningsavstånd, se tabell 3-2. Det väderfall som användes var ett fall som ska ge en hög koncentration. Förhållandena skiljer sig dock från de förhållanden som är vanligast på Simpevarpshalvön /Hallberg 2001/.

**Tabell 3-2. Relativ koncentration i luft.**

Avstånd (km)	Relativ koncentration (s/m <sup>3</sup> )
0,2	3,19E-08
0,5	1,00E-04
2	1,38E-04
3	8,89E-05
10	2,12E-05

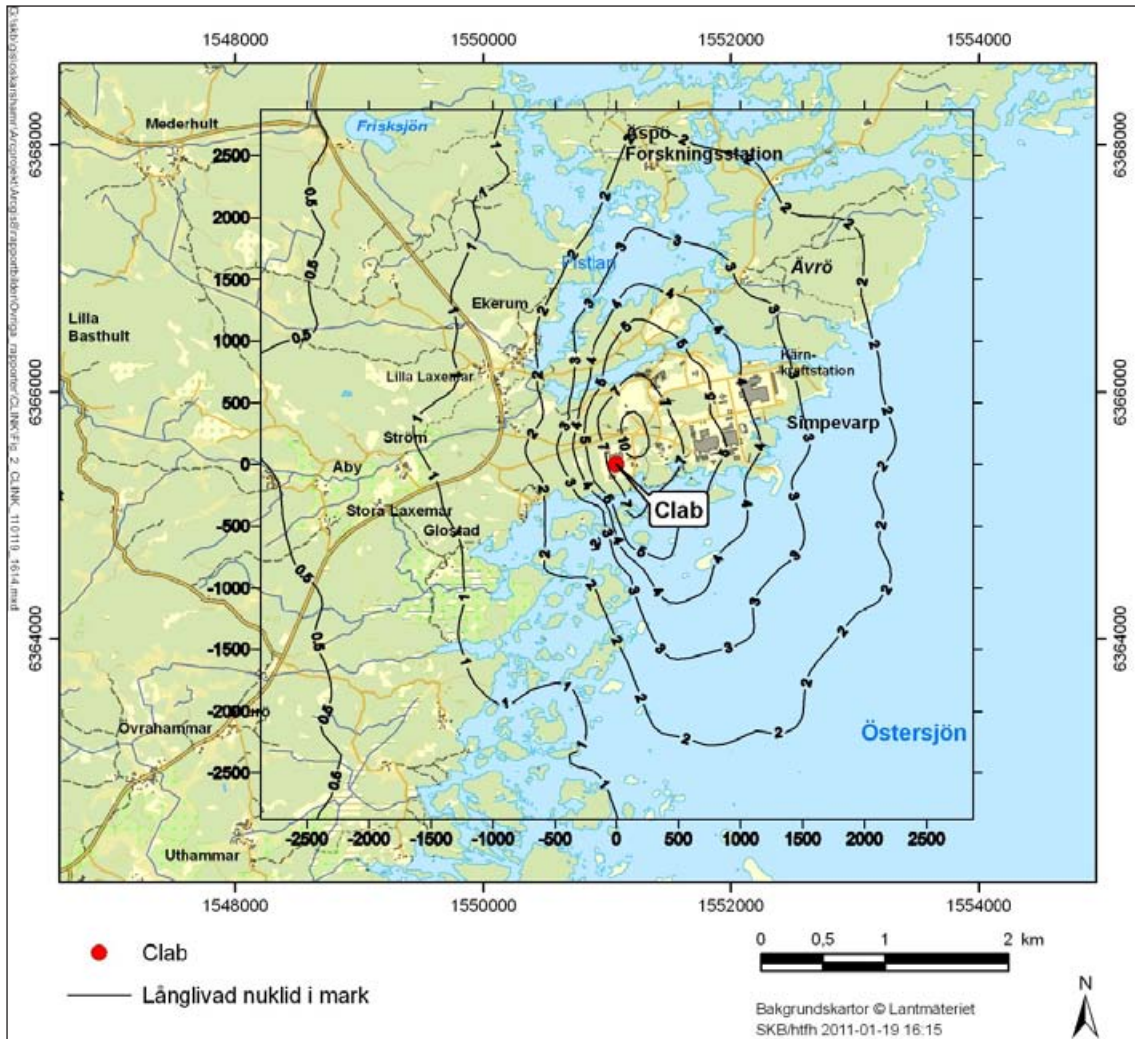
### 3.3 Växter och djur kring Simpevarpshalvön

Inventering av ekosystem samt växter och djur i omgivningen har genomförts inom ramen för SKB:s platsundersökningar i området, se t ex /Löfgren 2010, Andersson 2010, Aquilonius 2010/. Detta material användes för att välja ut olika naturtyper på och kring Simpevarpshalvön. Vidare användes data avseende arter från /Hamrén och Collinder 2010, Nilsson 2010, Artdatabanken/.



**Figur 3-1.** Exempel på årlig medelhalt i luft ( $\text{fBq}/\text{m}^3 = 10^{-15} \text{Bq}/\text{m}^3$ ) för utsläpp från Clab (röd punkt) av 1 Bq av en långlivad<sup>1</sup> nuklid. Spridningsmönstret baseras på fem års meteorologiska data från Oskarshamns-verkets mätmast /Hallberg 2001/.

<sup>1</sup> Långlivad innebär här att halveringstiden är mycket större än den tid det tar för nukliden att föras ut ur det aktuella området, vilket innebär att aktiviteten når alla mottagarpunkter utan nämnvärd avklingning.



**Figur 3-2.** Exempel på årlig deposition på mark ( $nBq/m^2 = 10^{-9} Bq/m^2$ ) för utsläpp från Clab (röd punkt) av 1 Bq av en långlivad<sup>2</sup> nuklid. Spridningsmönstret baseras på fem års meteorologiska data från Oskarshamn-verkets mätmast /Hallberg 2001/.

<sup>2</sup>Långlivad innebär här att halveringstiden är mycket större än den tid det tar för nukliden att föras ut ur det aktuella området, vilket innebär att aktiviteten når alla mottagarpunkter utan nämnvärd avklingning.



## 4 Metoder

### 4.1 Val av naturtyper och biota

För att beakta effekter för olika arter i olika typer av naturtyper, valdes i området runt Clab ut ett antal naturtyper, som skiljer sig avseende förhållanden och sammansättning av biota. Följande naturtyper identifierades:

- Terrestra ekosystem
  - Våtmark
  - Skog
  - Jordbruks- och gräsmark (odlings-/kulturlandskap)
- Akvatiska ekosystem
  - Havsvik (grund vik)
  - Skärgård
  - Öppet hav (öppen kust)
  - Sjö
  - Vattendrag

Aktuella naturtyper kan förekomma på många ställen runt Clab. För att inte underskatta konsekvenserna för biota valdes de platser som i spridningsberäkningarna för normaldrift /Hallberg 2001/ beräknades få de högsta koncentrationerna och nedfallet vid utsläpp från Clab, se figurerna 3-1 och 3-2. I figur 4-1 redovisas läget för naturtyperna av respektive kategori, och en lista ges i tabell 4-1. Borholmsfjärden antogs i beräkningarna representera både havsvik och skärgård.

**Tabell 4-1. Valda platser för naturtyper.**

Naturtyp	Namn
Våtmark	Halvön norr om Simpevarpshalvön
Skog	Halvön norr om Simpevarpshalvön
Jordbruksmark	Ekerum
Havsvik (grund vik)	Borholmsfjärden
Skärgård	Borholmsfjärden
Öppet hav	Bassäng 521*
Vattendrag	Laxemarån
Sjö	Söråmagasinet

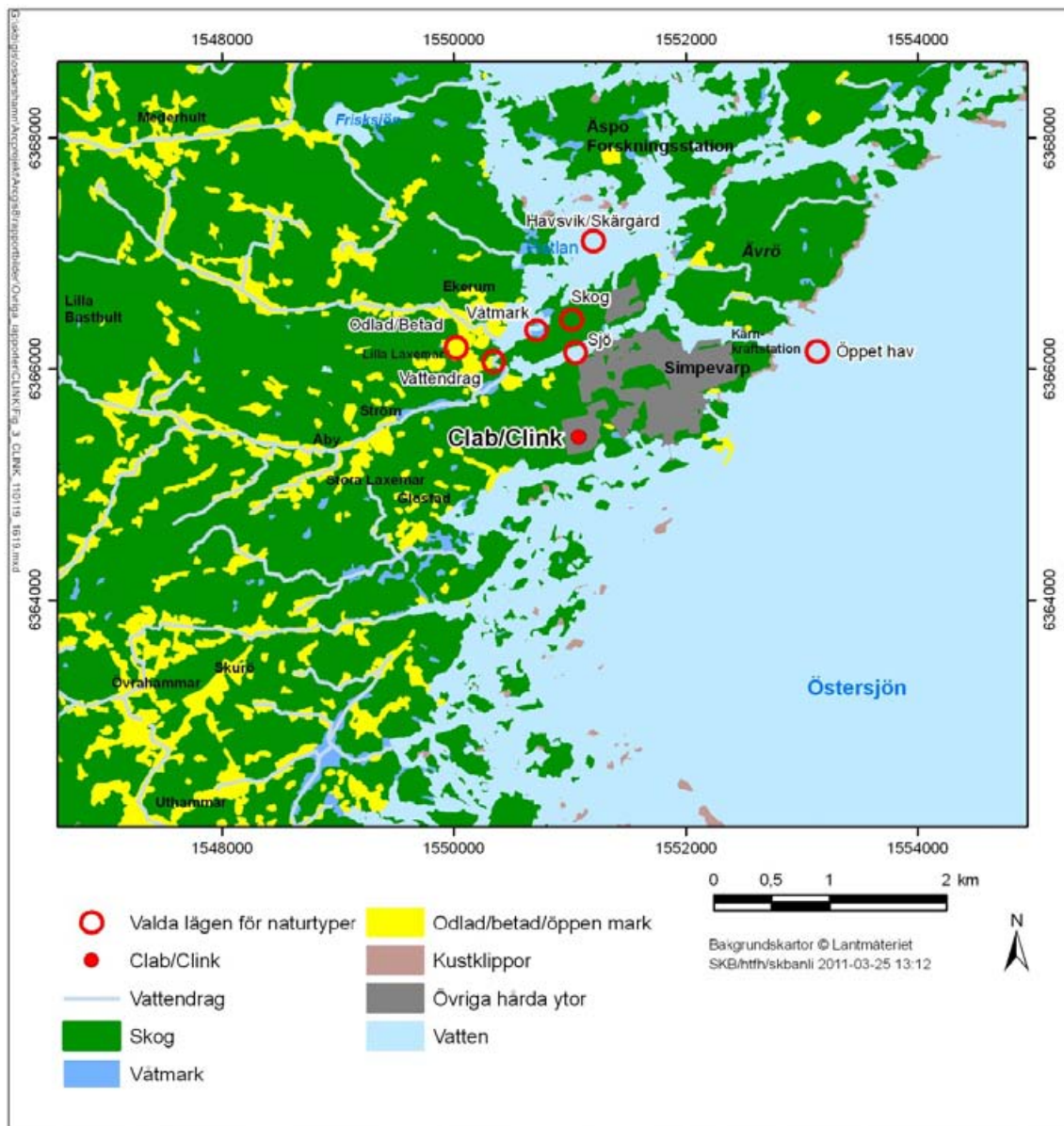
\* se kapitel 5 i /Aquilonius 2010/

De arter som beaktades var dels skyddsvärda/rödlistade, dels sådana arter som kan sägas inneha en nyckelfunktion inom ett ekosystem eller en miljö, s k nyckelarter. Exempel på nyckelarter kan vara ekar och blåstång som utgör substrat, skydd, föda etc för en mängd andra arter.

I analysen av de radiologiska omgivningskonsekvenserna gjordes det konservativa antagandet att rödlistade/hotade och av andra orsaker speciellt skyddsvärda arter som återfunnits någonstans inom hela platsundersökningsområdet Laxemar-Simpevarp antas befinna sig i något av de utvalda områdena.

Urvalet av rödlistade arter baserades på /Hamrén och Collinder 2010, Nilsson 2010, Artdatabanken/. Urvalet av nyckelarter baseras på kunskap och data insamlat under SKB:s platsundersökning i område /Löfgren 2010, Andersson 2010, Aquilonius 2010/.

Lämpliga närbesläktade referensorganismer i ERICA, se avsnitt 4.3, valdes att representera de betraktade arterna. I bilaga 4 anges naturtyp, rödlistade arter, nyckelarter samt dessas referensorganism i ERICA.



**Figur 4-1.** Röda ringar motsvarar de lokaler av respektive valt naturtyp som beräknats få den högsta koncentrationen och nedfall vid utsläpp till luft från Clab/Clink (röd punkt).

## 4.2 Omräkning till halter i ekosystem

### 4.2.1 Halt i luft och nedfall

#### **Normal drift**

Nuklidspecifik halt i luft och nedfall på mark för varje år under Clabs/Clinks drifttid erhöles genom att multiplicera halter för enhetsutsläpp med årliga rapporterade och beräknade framtida utsläpp. Nuklidspecifika värden för enhetsutsläpp togs från den beräkningspunkt som ligger närmast den representativa punkten för varje naturtyp, se exempel i tabell 4-2. Årlig medelhalt i luft erhöles sålunda för alla naturtyper. För de terrestra naturtyperna användes nedfallet per areaenhet som indata till beräkningsmodeller i ekosystem. För de akvatiska naturtyperna tillämpades speciella metoder.

Årligt nedfall per areaenhet på ytor för havsvik/skärgård och öppet hav användes för att beräkna det årliga ämnesspecifika nedfallet genom att multiplicera med objektets area, se tabell 4-2.

För sjön Söråmagasinet och vattendraget Laxemarån togs hänsyn till att nedfall sker på hela avrinningsområdet, se figur 4-2. Det antogs att alla nuklider som faller ner på sjöns avrinningsområde omedelbart når vattnet. I verkligheten sker en fördröjning innan radionuklider som faller ned på marken i avrinningsområdet når sjön. Därför kommer det maximala värdet på halten i vattnet att överskattas.

Samma förenklade antagande skulle för Laxemaråns avrinningsområde (41 km<sup>2</sup>) leda till orimliga halter i vattnet. Därför delades avrinningsområdet in i ett antal delar varefter transport mellan dessa och till vattnet i huvudfåran beräknades, se bilaga 6. Eftersom data för hela avrinningsområdet saknades ansattes för alla nuklider ett årligt nedfall på 0,5 nBq/m<sup>2</sup> per utsläppt Bq. Detta värde motsvarar nedfallet ca 3 km väster om Clab, se figur 3-2.

### Missöde

Halt i luft för missöde för varje naturtyp beräknades genom logaritmisk interpolation. För avståndet från Clab till varje naturtyp, givet i tabell 4-2, erhöles relativ koncentration från de två närmast liggande värdena i tabell 3-2. Nedfall för terrestra naturtyper erhöles på samma sätt. För missöde sker nedfall bara under missödets varaktighet, medan det för normaldriften antas ske jämnt fördelat under hela året. Resultaten redovisas tillsammans med resultat för vattenobjekten i tabell 4-3.



**Figur 4-2.** Avrinningsområden för Söråmagasinet (längst åt öster med streckad gräns) och Laxemarån (heldragen gräns). Laxemaråns huvudfåra är rödfärgad.

Tabell 4-2. Data för naturtyper och exempel på halt och nedfall för enhetsutsläpp.

Naturtyp	Namn	Avstånd från Clab (m)	Yta (m <sup>2</sup> )	Representativ halt för 1 Bq Cs-137-utsläpp (Bq·m <sup>-3</sup> )	Representativt årligt nedfall för 1 Bq Cs-137-utsläpp <sup>1)</sup> (Bq·m <sup>-2</sup> )
Våtmark	Halvön norr om Simpevarp	968	–	2,26E–14	2,72E–09
Skog	Halvön norr om Simpevarp	847	–	5,54E–14	6,44E–09
Jordbrukslandskap	Ekerum	1 275	–	1,35E–14	1,56E–09
Havsvik (grund vik)	Borholmsfjärden (Bassäng 508)	1 531	1,40E+06	3,04E–14	3,42E–09
Skärgård	Borholmsfjärden (Bassäng 508)	1 531	1,40E+06	3,04E–14	3,42E–09
Öppet hav	Bassäng 521*	1 788	3,80E+07	2,42E–14	2,77E–09
Vattendrag	Laxemarån (avrinningsområde)	923	4,10E+07	1,78E–14	0,50E–09
Sjö	Söråmagasinet (avrinningsområde)	779	5,23E+05	5,54E–14	6,44E–09

\*se kapitel 5 in /Aquilonius 2010/.

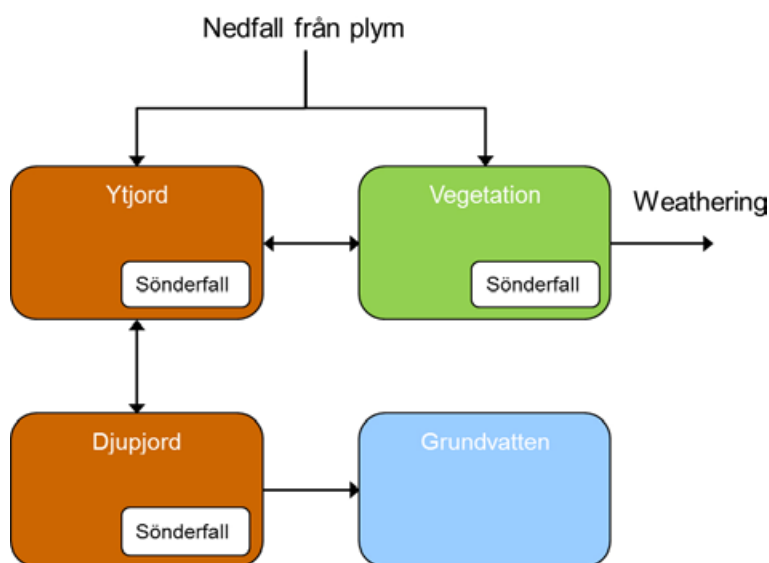
1) Depositionen är ämnesberoende.

Tabell 4-3. Missöde. Bidrag till halt i luft och nedfall för olika naturtyper. Observera att nedfall redovisas per ytenhet för terrestra naturtyper och totalt över hela ytan för akvatiska naturtyper.

Naturtyp	Avstånd från Clab (m)	Halt i luft (Bq/m <sup>3</sup> )				Nedfall (Bq/m <sup>2</sup> )			
		Kr-85	I-129	Cs-134	Cs-137	Kr-85	I-129	Cs-134	Cs-137
Skog	867	1,2E+06	5,9	4,2	3,7E+02	0	2,1	45,1	4,0E+03
Jordbruksmark	1 259	1,4E+06	6,5	4,6	4,0E+02	0	2,4	50	4,4E+03
Våtmark	969	1,3E+06	6,1	4,3	3,8E+02	0	2,2	46,5	4,1E+03

	Avstånd från Clab (m)	Halt i luft (Bq/m <sup>3</sup> )				Nedfall (Bq)			
		Kr-85	I-129	Cs-134	Cs-137	Kr-85	I-129	Cs-134	Cs-137
Vattendrag	974	1,3E+06	6,1	4,3	3,8E+02	0	3,6E+06	5,8E+07	5,1E+09
Sjö	725	1,2E+06	5,8	4,1	3,6E+02	0	6,8E+04	1,4E+06	1,3E+08
Havsvik (grund vik) /skärgård	1 531	1,4E+06	6,8	4,8	4,2E+02	0	4,0E+05	7,9E+06	7,0E+08
Öppet hav	1 788	1,5E+06	7,1	5,0	4,4E+02	0	2,4E+06	4,0E+07	3,5E+09



Figur 4-3. Blockdiagram för markmodellen.



För vattenobjekten fördelar sig nedfallet olika på olika delar. För att erhålla nedfallet över hela ytan måste en numerisk integration genomföras. Bidraget från nedfall erhöles genom att likna området vid en rektangel, för att underlätta den numeriska integreringen, se bilaga 3. För havsvik/skärgård och öppet hav användes arean, medan nedfallet på sjö och vattendrag (Söråmagasinet respektive Laxemarån) beräknades för hela avrinningsområdet. Nedfallet integrerades numeriskt över respektive rektangel, för att ge ett representativt medelvärde. I bilaga 3 redovisas metoderna, och resultaten ges i tabell 4-3.

#### **4.2.2 Spridning i ekosystem**

Radionuklider som släpps ut till omgivningen kommer att kvarhållas och transporteras olika beroende på hur de uppför sig kemiskt. Nuklider som är lösliga i vatten kommer att följa detta och slutligen blandas ut i havet, medan nuklider som i större grad binder till olika fasta material till stor del kvarhålls i jord och sediment. Givetvis sker hela tiden radioaktivt sönderfall.

##### **Modeller**

För beräkning av spridning av radionuklider i mark samt vatten användes modeller som beräknar överföring mellan de olika delarna. Detta utfördes med system av differentialekvationer. I detta avsnitt sammanfattas modellerna. För en noggrannare beskrivning se bilagorna 5 och 6.

##### **Markmodell**

Markmodellen beskriver överföring av deponerade nuklider mellan olika jordlager, som befinner sig i den omäta delen ovanför grundvattenytan.

Genom att använda modellen kan transport mellan de olika lagren (vegetation, ytjord samt djupjord) beräknas. Hänsyn togs till utförelse till grundvatten och ”weathering”, vilket är olika processer av utförelse från vegetation (t ex via vind och regn samt av betande djur) samt till radioaktivt sönderfall.

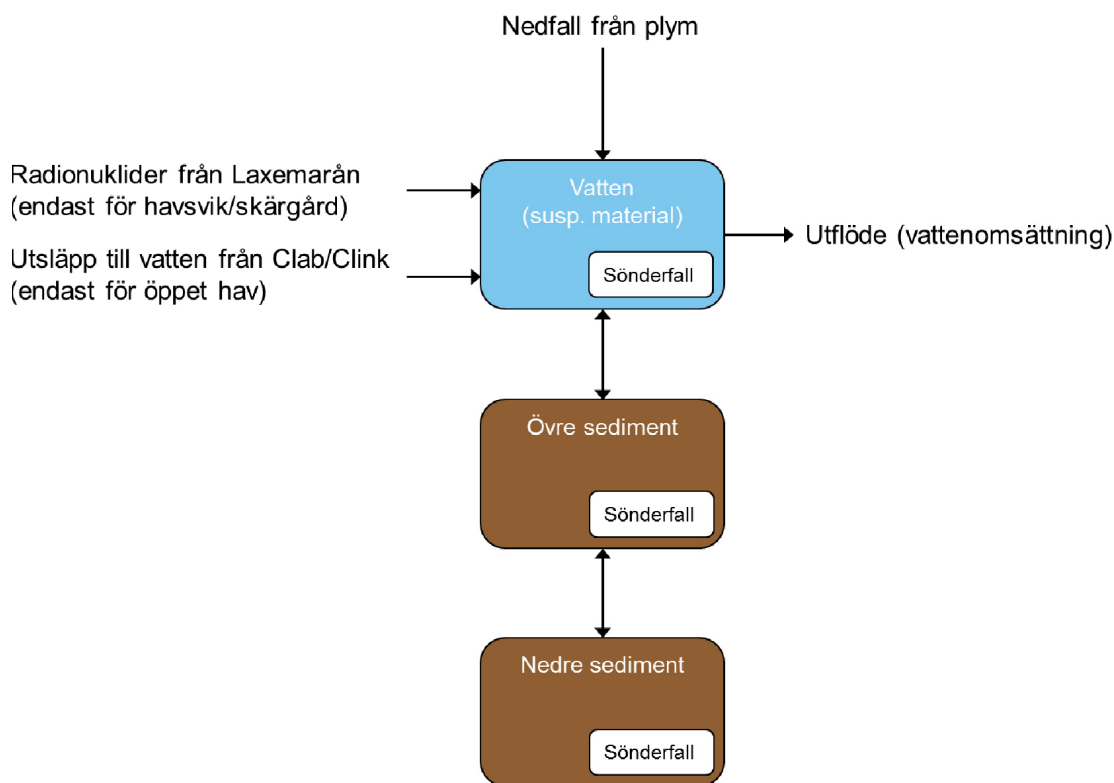
Ett blockdiagram för markmodellen ges i figur 4-3.

Indata och parametervärden för markmodellen presenteras i detalj i bilaga 5. Tillgång till platsspecifika data var inte fullständig, varför generiska värden användes för fördelningsfaktorn  $K_d$ , rotupptagningsfaktor, bioturbation samt weathering. I övrigt utnyttjades platsspecifika värden.

##### **Vattenmodell**

Vattenmodellen beskriver matematiskt överföringen av nuklider mellan vattenvolymen och dess sedimentlager, liksom utflödet från vattenvolymen. Ett blockdiagram ges i figur 4-4 för vattenmodellen som användes för naturtyperna sjö, havsvik, skärgård och öppet hav. För vattendrag användes en separat modell som är en kombination av markmodellen och vattenmodellen, för att modellera det stora avrinningsområdet, se bilaga 6. Söråmagasinets avrinningsområde har så liten andel mark att den kvarhållning som blir fallet för den andel av radionukliderna som faller ned på marken försummas vid modellberäkningarna. Allt nedfall över Söråmagasinets avrinningsområde antogs alltså nå vattnet.

Indata och parametervärden till vattenmodellen presenteras i detalj i bilaga 6. För de akvatiska objekten finns flertalet parametrar angivna med platsspecifika värden. Generiska värden har dock använts för  $K_d$ , och värden för jord har använts även för sediment.



**Figur 4-4.** Blockdiagram för vattenmodellen för naturtyperna sjö, havsvik, skärgård och öppet hav. För vattendrag används en separat modell, se bilaga 6.

## 4.3 Beräkning av dosrat för biota

### 4.3.1 Beräkningsverktyg

Beräkning av dosrat för biota gjordes med datorprogrammet ERICA /Brown et al. 2008/. En kort redogörelse ges här, och en längre beskrivning finns i bilaga 7. ERICA-verktyget är avsett för beräkning av kronisk exponering av joniserande strålning och redovisas som dosrat med enheten  $\mu\text{Gy/h}$ . Beräkningarna görs med antagandet att hela organismen exponeras likvärdigt, dvs inga hänsyn tas till påverkan på enskilda organ. På grund av att ERICA inte är avsett för kortvariga förlopp som vid missöden beräknas bara dosrat för normal drift.

I programmet finns inbyggt en stor mängd data kring ett stort antal radionuklider av vilka majoriteten finns beskrivna i /ICRP 1983/. Integrerat i verktyget finns också en sk effekt-databas och kallas FREDERICA. Databasen är uppbyggd kring data sammanställd från vetenskapliga tidskrifter (från 1945 och framåt). I FREDERICA beskrivs effekterna av strålning på biota.

Ett centralt begrepp i ERICA-verktyget som är avgörande för hur man bör uppskatta resultaten av dosrat till biota formuleras genom användandet av ett screening-värde med dosraten  $10 \mu\text{Gy/h}$ . Detta har fastställts eftersom man vid denna dosrat inte kunnat detektera några som helst skadliga effekter på de organismer man studerat.

Det finns en stor mängd biota med olika utseende och egenskaper. För att förenkla använde man vid utvecklingen av ERICA så kallade referensorganismer. Dessa är starkt förenklade:

- varje referensorganism har tilldelats enkla geometrier, antingen sfäriska eller ellipsoida,
- de är valda för att täcka in de största ordningarna, t ex däggdjur, fiskar eller växter,
- de ska kunna representera de tre ekosystemen, limniska, marina och terrestra.

### 4.3.2 Data

ERICA-verktyget innehåller även en nuklid databas med doskoefficienter för beräkning av dosbidrag från olika typer av joniserande strålning (alfa-, beta- och gammastrålning) för ett stort antal radionuklider /ICRP 1983/. Databaserna är direkt kopplade till ERICA:s referensorganismer /ICRP 2003/.

### 4.3.3 Beräkningsgång

ERICA-verktyget är uppbyggt kring tre olika nivåer (Tiers) och användaren kan välja att starta sin analys i någon av dessa tre. Vilken man väljer beror på hur frågeställningen ser ut, vad man har för data och vad man vill få ut av beräkningen.

Tier 1 är den första nivån, den mest användarvänliga och ger de mest konservativa uppskattningarna av dos. Här används till stor del inbyggda generella data. Resultatet redovisas som riskkvot, dvs man jämför med screening-värdet. Riskkvoten kan ligga antingen under eller över värdet 1. Ligger värdet över 1 har man överskridit screening-värdet.

I Tier 2 ges användaren större möjlighet att precisera analysen med bl a platsspecifika indata, och denna användes därför i denna rapport.

Tier 3 är den sista och mest komplexa nivån. Resultaten redovisas probabilistiskt i stället för deterministiskt och det krävs indata med medelvärden och sannolikhetsfördelningar. I resultatet redovisas de beräknade dosraterna tillsammans med värden av varianser, medel-, min- och maxvärden samt värden för percentiler. Det bedömdes inte nödvändigt att använda denna nivå, utan konservativa metoder och data utnyttjades i stället för att inte underskatta konsekvenserna.

### 4.3.4 Modifieringar av ERICA-verktyget

Eftersom data för radionukliden Fe-55 saknades för samtliga referensorganismer kompletterades dessa med värden från litteraturen i den mån det återfanns, se bilaga 8. Även vissa förändringar avseende biotas vistelse i olika delar av ekosystemet genomfördes, se bilaga 9.

## 5 Halter i ekosystem och dosrat för biota

I detta kapitel redovisas halter och dosrater som resultat av utsläpp från Clab/Clink, dvs det beräknade bidraget från Clab/Clink.

### 5.1 Halter i ekosystem

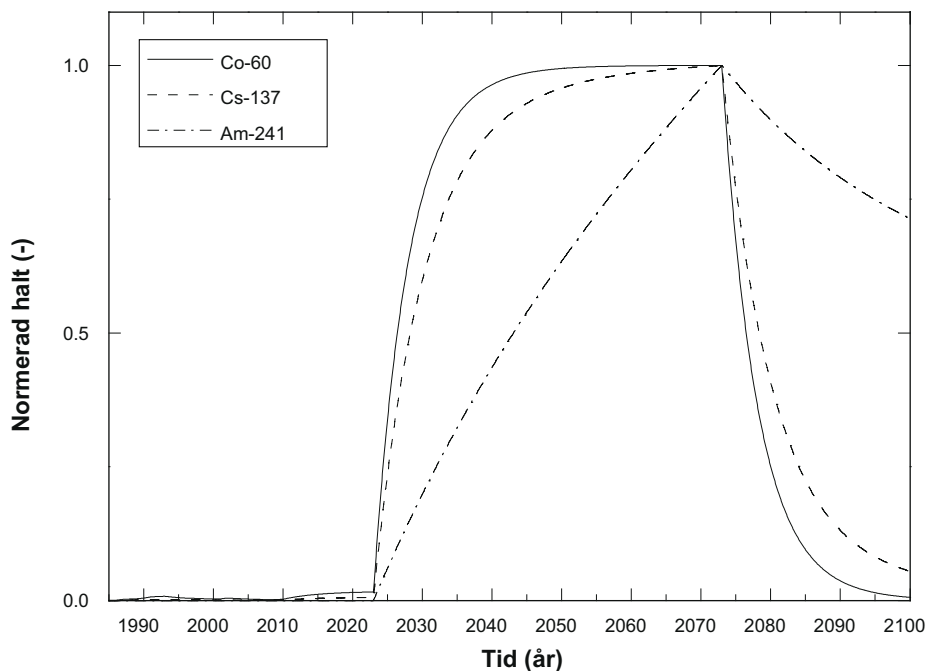
#### 5.1.1 Normaldrift

Beräknade bidrag till halt i luft respektive vatten för de olika naturtyperna och de med omsättningsmodeller beräknade halterna i jord respektive sediment ges i bilaga 10. Detta avser den maximala halten under Clinks livstid. Detta inträffar under det sista driftåret, både för realistiska och konservativa uppskattningar. Ett exempel på hur halten varierar med tiden ges i figur 5-1 för en relativt kortlivad nuklid (Co-60, 5,3 år), en medellånglivad nuklid (Cs-137, 30 år) och en långlivad (Am-241, 432 år).

Gemensamt för halten av de olika nukliderna är att maximum inträffar Clinks sista driftår. En kortlivad nuklid har hunnit till jämvikt mellan utsläpp och bortförel (inklusive avklingning), till skillnad från en mer långlivad. Halten i ytjorden beror förutom på avklingningen även på  $K_d$  och rotupptagsfaktor. Värderna på dessa ges i tabell 5-1. Eftersom  $K_d$  är relativt lika är det främst halveringstiden som ger ovanstående förhållande.

Tabell 5-1. Parametrar som styr halt i ytjord.

Nuklid	$K_d$ m <sup>3</sup> /kg torrsvikt	Rotupptagsfaktor -
Co-60	1	0,1
Cs-137	1	0,2
Am-241	2	0,001



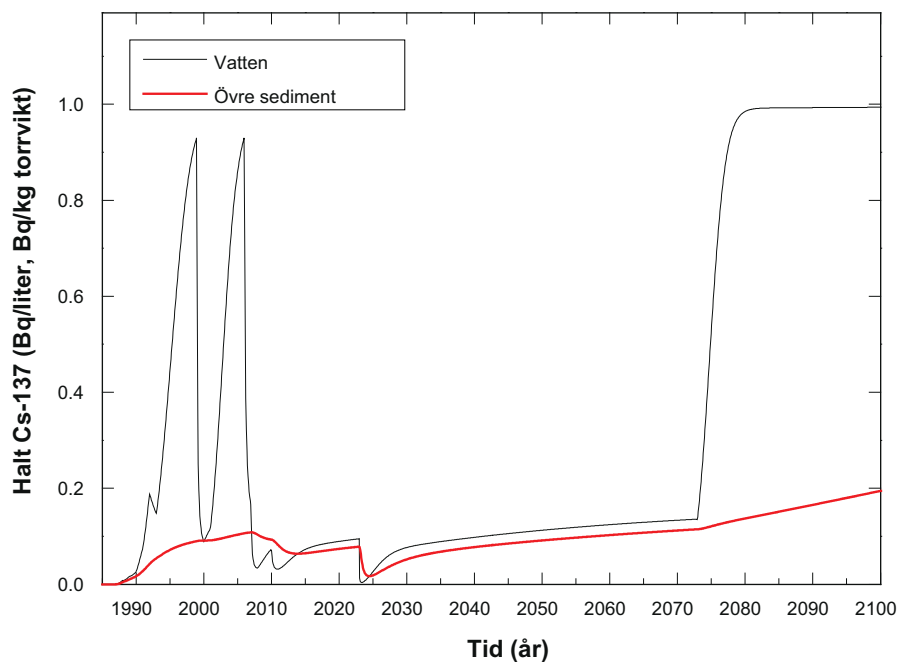
Figur 5-1. Jordbruksmark. Exempel på hur halten i ytjorden varierar med tiden. Halten är normerad med den maximala för varje nuklid för att underlätta jämförelsen.

Laxemarån mynnar i Borholmsfjärden. Den senare får alltså dels bidrag från nedfall från luft på fjärden, och bidrag från nedfall på Laxemaråns avrinningsområde. I figur 5-2 visas andelen bidrag från Laxemarån till halten av Cs-137 i Borholmsfjärden för normaldriftsutsläpp (konservativa). När driften upphör går bidraget från Laxemarån upp. Detta beror på att vattnet i Borholmsfjärden omsätts snabbt, och det gör att radioaktiva ämnen som faller ned på fjärden snabbt förs ut ur densamma. De radioaktiva ämnen som faller på Laxemaråns avrinningsområde kvarhålls och fördröjs på sin väg till huvudfåran och kommer senare till Borholmsfjärden. De ”spikar” som ses i diagrammet beror på att ett stort utsläpp ett år gör att det direkta bidraget dominerar, medan det fördröjda från Laxemarån dominerar i de fall då nästa års utsläpp är lägre.

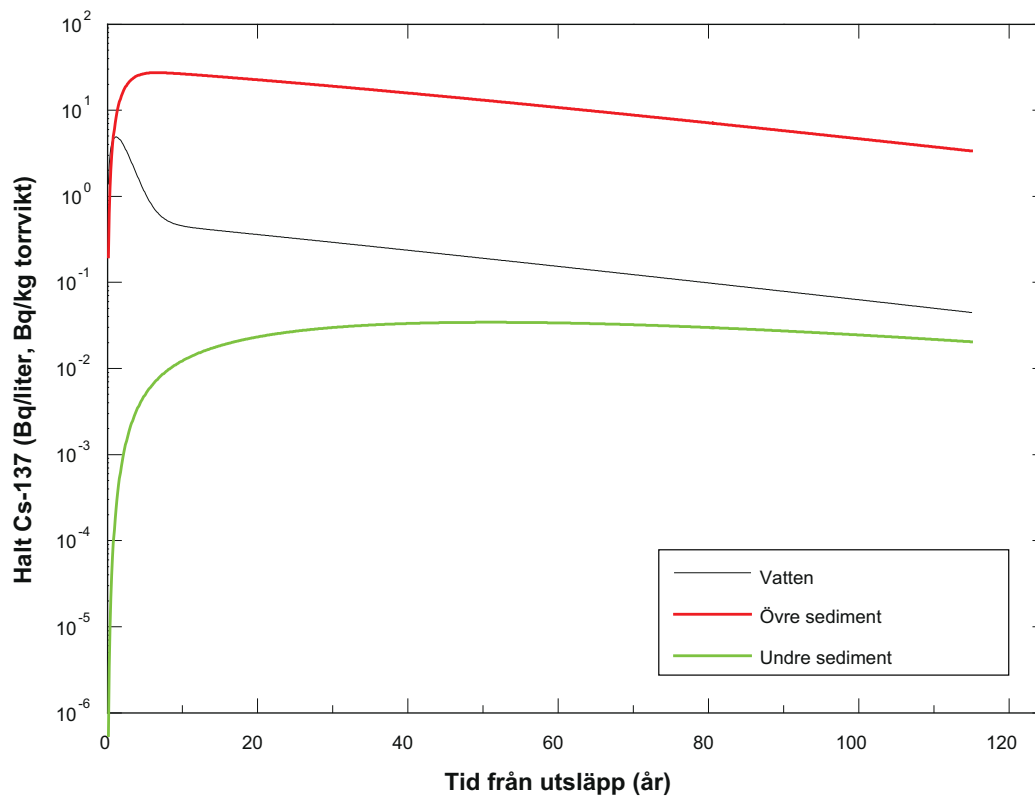
### 5.1.2 Missöde

Beräknade bidrag till halt i luft respektive vatten (via nedfall från luft) för de olika naturtyperna och de med omsättningsmodeller beräknade halterna i jord respektive sediment ges i bilaga 10. Det maximala bidraget för varje naturtyp användes, dvs då vindriktningen är rakt mot respektive naturtyp. Utsläppet sker under en kort period, och blandas sedan ut i ekosystemet.

I figur 5-3 visas hur Clinks bidrag till halt av Cs-137 i vatten (inklusive partikulärt material), och övre och undre sedimentlager varierar med tiden. Maximal halt inträffar senare för sedimentlagren, och tidsutvecklingen är olika. Den högsta halten erhålls i vattnet.



**Figur 5-2.** Grund vik/skärgård (Borholmsfjärden). Normaldriftsutsläpp. Andelen som kommer från Laxemarån av halten av Cs-137 i vattnet (inklusive partikulärt material) och övre sedimentlagret.



**Figur 5-3.** Vattendrag (Laxemarån). Missödesutsläpp som sker vid tiden  $t = 0$ . Exempel på hur bidraget från Clink till halt av Cs-137 till huvudfårans vatten (inklusive partikulärt material), övre sedimentlagret och undre sedimentlagret varierar med tiden.

## 5.2 Dosrat för biota

I detta avsnitt redovisas figurer avseende beräknade bidrag till dosrater för biota. Samtliga resultat redovisas i tabeller i bilaga 11.

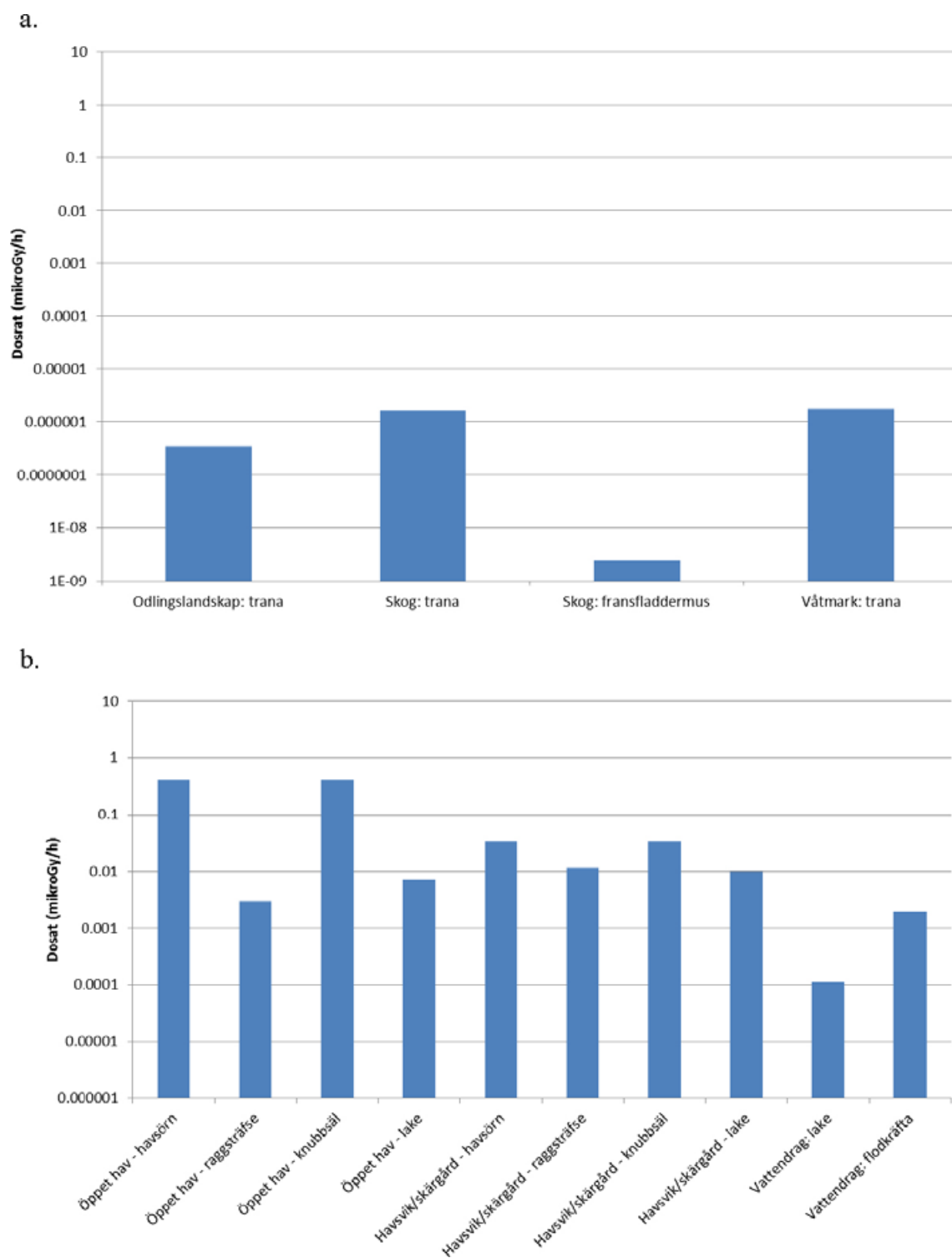
### 5.2.1 Normaldrift

Det beräknade bidraget från Clink till dosrat för rödlistade arter respektive nyckelarter visas nedan (figurerna 5-4 till 5-7), för realistiska respektive konservativa framtida utsläpp. För fladdermus har det beräknade värdet för råttan använts, som är ungefär av samma storlek. Eftersom fladdermöss normalt inte vistas på marken har dock enbart bidrag från externstrålning från nuklider i luft räknats med. Det med ERICA beräknade värdet för fåglar gäller typen vadare, vilket havsörnen inte är. Det torde dock snarare överskatta dosen för havsörnen eftersom den har bon i träd och tillbringar en stor del av sin tid i luften, och därför får den mindre bidrag från externstrålning från mark och vatten.

Bidraget till dosrat ligger under, eller mycket under, screening-värdet på 10  $\mu\text{Gy/h}$  för samtliga arter. De högsta värdena erhöles i de akvatiska ekosystemen. De organismer som beräknades utsättas för de högsta dosraterna är generellt fiskar, fåglar och däggdjur.

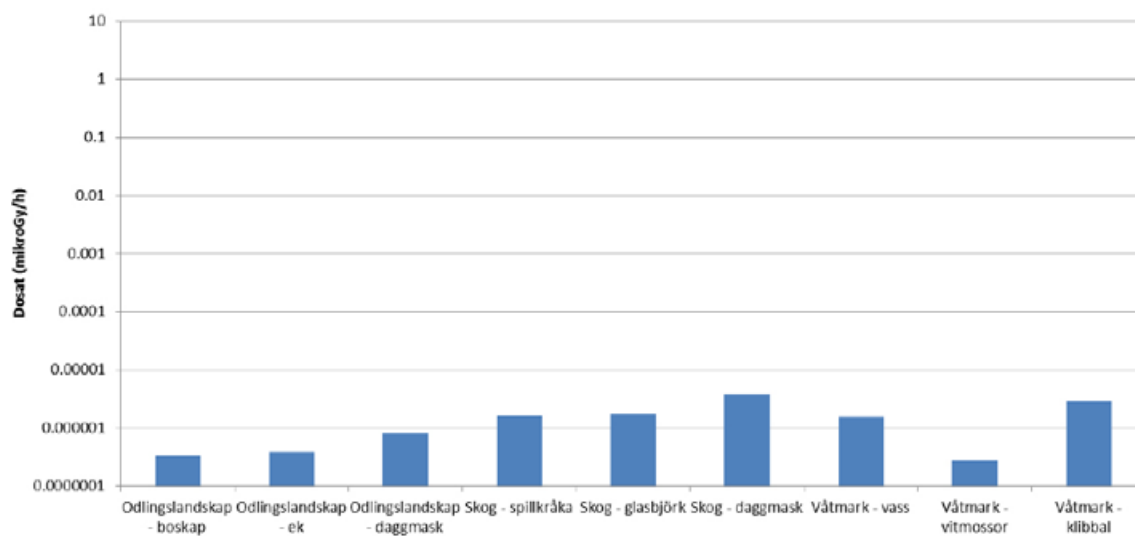
### 5.2.2 Missöde

Eftersom ERICA-verktyget är utformat för kronisk exponering, och inte vid ett kortvarigt utsläpp som vid de missöden som ges i PSAR, har ingen dosrat till organismer kunnat beräknas. Därför redovisas för fallet med missöde bara koncentrationen av nuklider i ekosystemen, se bilaga 10.

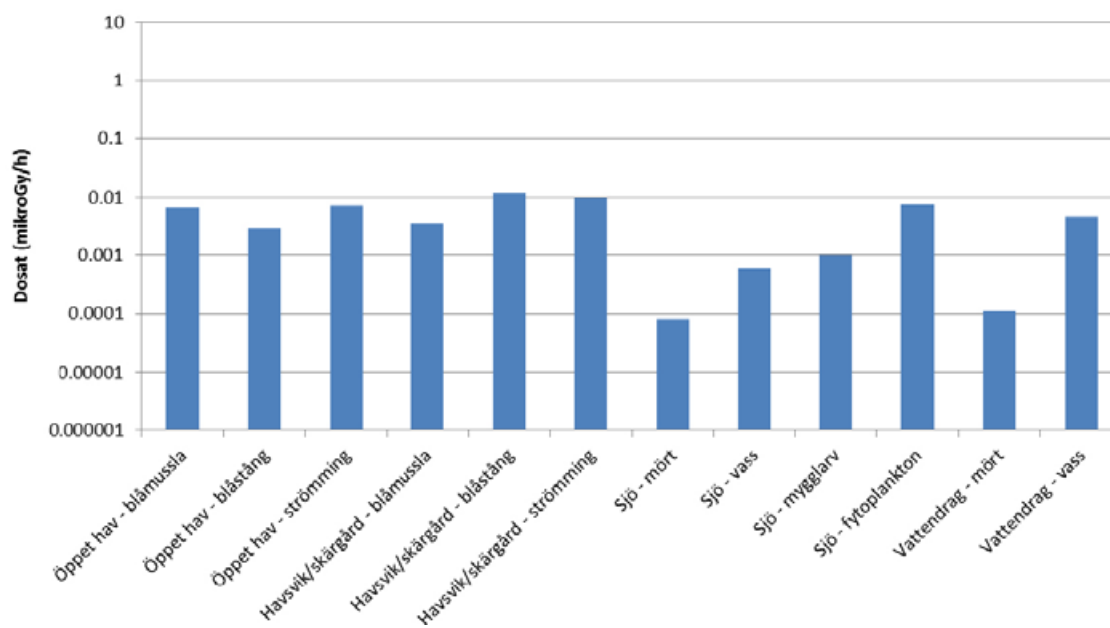


**Figur 5-4.** Normaldrift. Realistiska framtida utsläpp enligt PSAR. Beräknat bidrag från Clink till dosrat för rödlistade arter i de olika naturtyperna. Screening-värdet i ERICA /Torudd 2010/ är 10  $\mu$ Gy/h. a: terrestriska arter; b: akvatiska arter.

a.



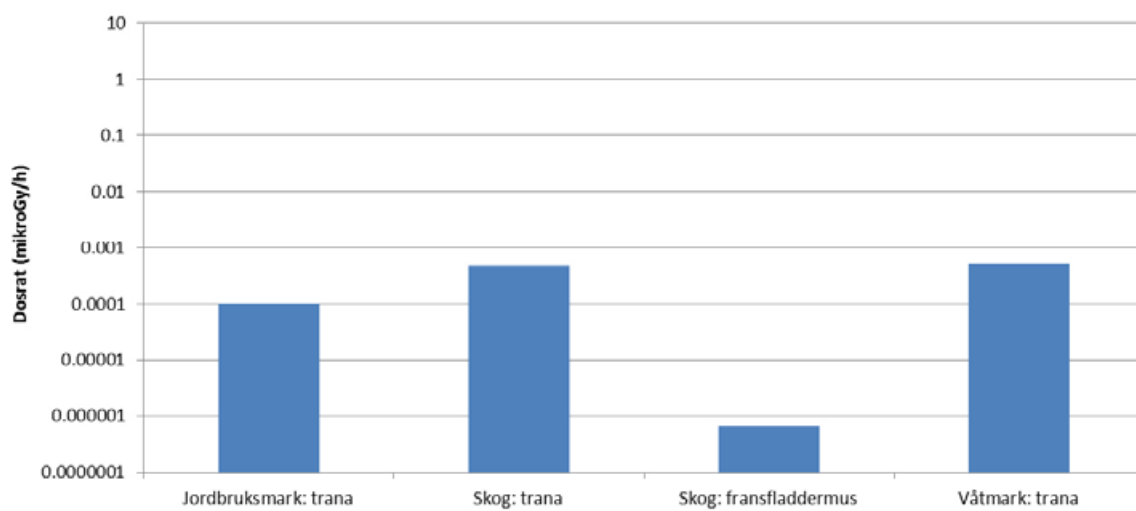
b.



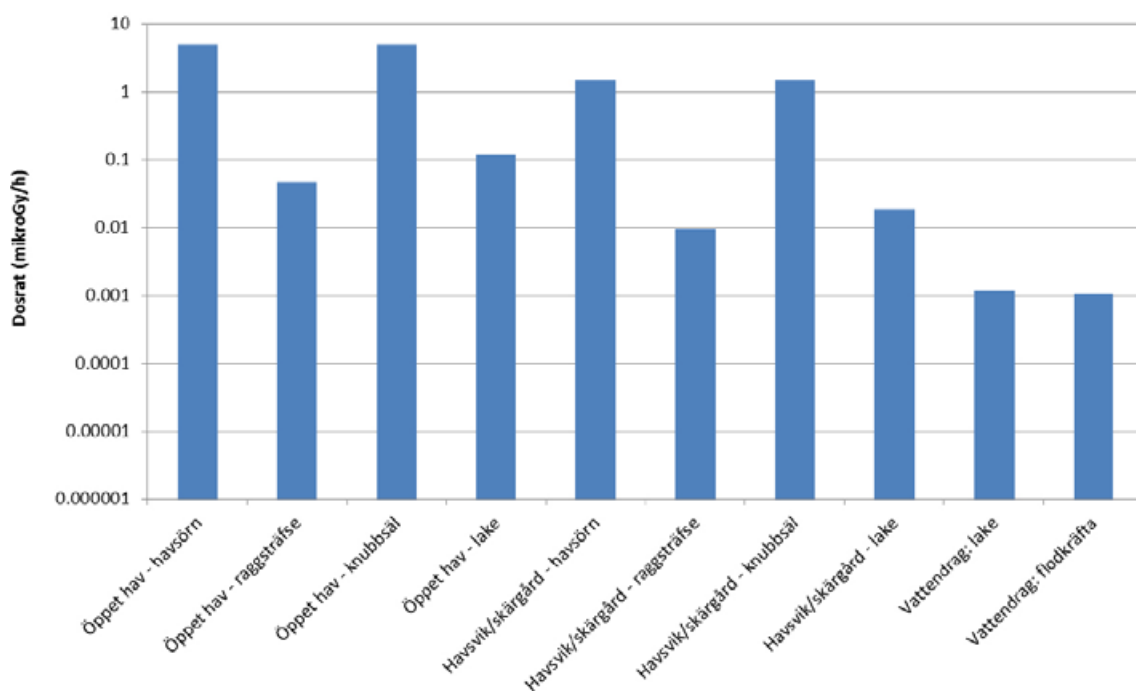
**Figur 5-5.** Normaldrift. Realistiska framtida utsläpp enligt PSAR. Beräknat bidrag från Clink till dosrat för nyckelarter i de olika naturtyperna. Screening-värdet i ERICA /Torudd 2010/ är 10 µGy/h. a: terrestriska arter; b: akvatiska arter.



a.

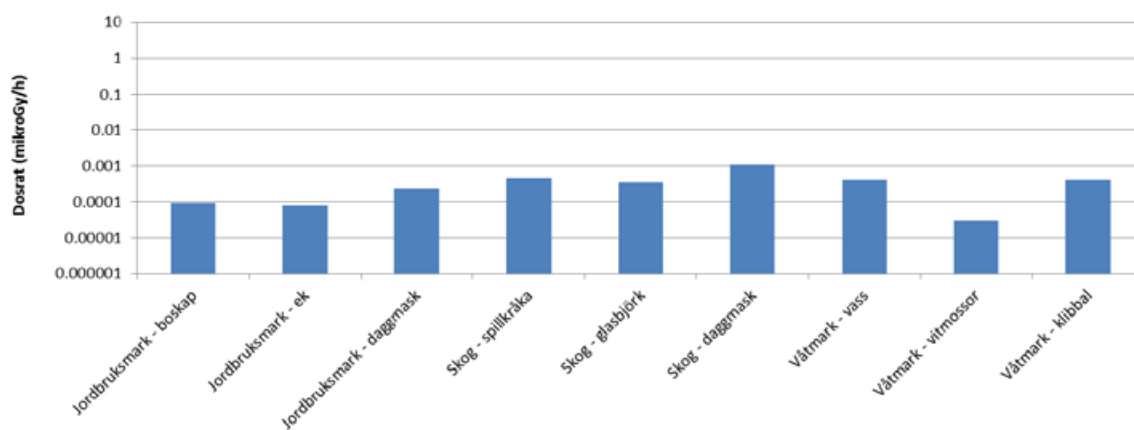


b.

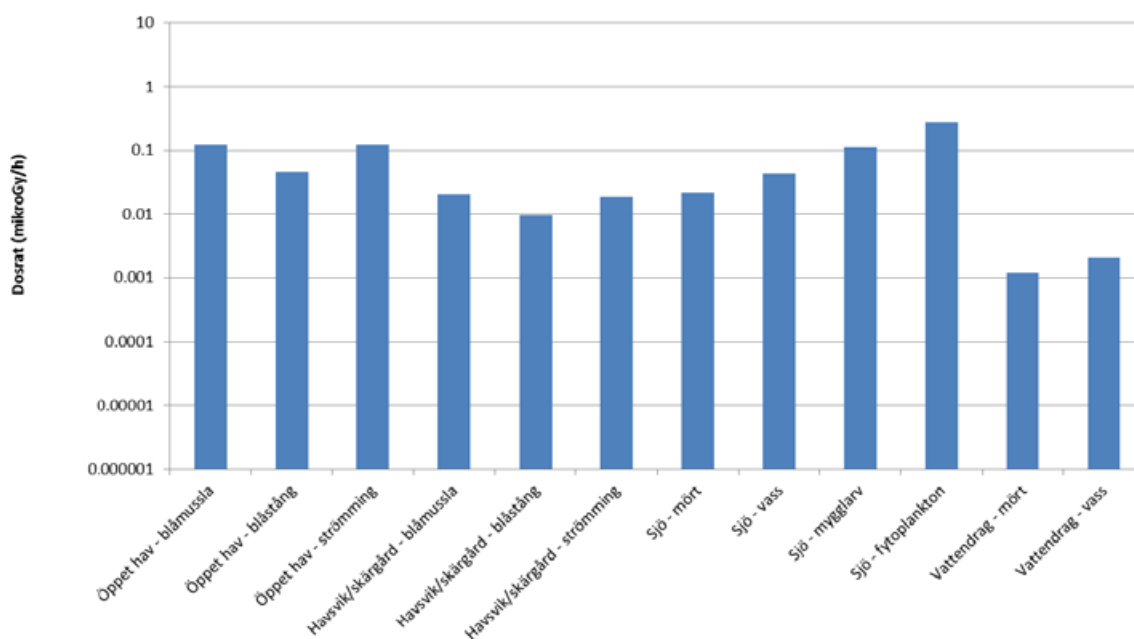


**Figur 5-6.** Normaldrift. Konservativa framtida utsläpp enligt PSAR. Beräknat bidrag från Clink till dosrat för rödlistade arter i de olika naturtyperna. Screening-värdet i ERICA /Torudd 2010/ är 10 µGy/h. a: terrestriska arter; b: akvatiska arter.

a.



b.



**Figur 5-7.** Normaldrift. Konservativa framtida utsläpp enligt PSAR. Beräknat bidrag från Clink till dosrat för nyckelarter i de olika naturtyperna. Screening-värdet i ERICA /Torudd 2010/ är  $10 \mu\text{Gy/h}$ . a: terrestriska arter, b: akvatiska arter.

## 6 Konservatism och osäkerheter

I denna studie finns ett antal konservativa antaganden och val av data, vilka anges i rapporten där metoder och data presenteras. Antaganden sammanfattas i detta kapitel. Att räkna konservativt är att välja data och metoder så att man inte riskerar att underskatta konsekvenserna. Vidare är både indata och beräkningsresultat behäftade med osäkerheter.

### 6.1 Konservatism

Konservativa antaganden är bland annat:

- Clabs högsta utsläppsdata under perioden 1985–2009 användes för att räkna på bidraget från Clab under perioden 2010–2022.
- För Clink angavs uppskattade konservativa framtida utsläpp i PSAR kapitel 6. Dessa ligger flera storleksordningar över erfarenhetsvärdena för Clab, och anges ha ”betydande konservatism”.
- De arter som finns inom Laxemar-Simpevarp-området antogs under hela sin levnad vistas i de mest exponerade områdena. Speciellt fåglar och däggdjur rör sig över ett väsentligt större område.
- Väderdata för spridning vid missöde valdes för att ge hög koncentration i omgivningen, och det antogs att spridningen sker direkt mot respektive naturtyp.
- För missöde förutsattes att spridning till biota i ekosystemen sker som om jämvikt hinner uppkomma. I själva verket är inte det fallet, eftersom förloppet är ytterst kortvarigt. Man överskattar därför halter i biota.
- Den över Clab/Clinks drifttid högsta halten i respektive ekosystem valdes som representativ. I själva verket utsätts biota även för lägre halter under delar av sin levnad.
- Utsläpp till vatten antas gå opåverkad genom Hamnefjärden till öppet hav. I själva verket kommer en del av nukliderna att fastna i sedimenten.

Att använda de uppskattade utsläppen för det konservativa fallet och att anta att biota utsätts för den högsta halten som förekommer torde överskatta dosraten med åtminstone ett par storleksordningar, dvs minst en faktor 100. Detta baseras på att de i PSAR för Clink uppskattade utsläppen för de nuklider som dominerar dosraten, främst Co-60 och Cs-137, är ett par storleksordningar högre än erfarenhetsvärdena för Clab.

### 6.2 Osäkerheter

Osäkerheter är bland annat:

- Mätningar och analyser under detektionsgränsen för dagens utsläpp från Clab har inte beaktats.
- Bidrag från Kr-85 finns inte medräknad. För människa har denna nuklid en relativt låg inverkan jämfört med t ex Cs-137, eftersom krypton är en ädelgas och därmed inte deponerar. En jämförelse av konsekvenserna till en vuxen, om utsläpp enligt tabell 2-1 i bilaga 2 skulle ske, utgör dosbidraget från Kr-85 ungefär 1 % av bidraget från Cs-137. Dosomräkningsfaktorer för Clab från /Hallberg et al. 2002/ användes. I analogi med detta torde inte bidraget från Kr-85 vara av betydelse för andra biota.
- Data till modeller baserades ibland på lokala data, men även mer generella data från litteraturen användes om lokala data saknades. En osäkerhet i mätningen för båda dessa datatyper finns givetvis, men dessutom ger generella data en osäkerhet rörande om de är tillämpliga på lokala förhållanden eller inte.
- För biota som lever på rov kunde inte bidraget från intag av bytesdjur medräknas, eftersom den exponeringsvägen inte ingår i ERICA. Ett exempel på detta är havsörn som äter fisk. Men då födosöket för rovdjur generellt sker över större områden än det aktuella, är sannolikheten att

rovdjuret skulle hämta all sin föda ifrån aktuellt område liten. Detta innebär att rovdjuret endast delvis kommer att inta föda med den högsta halten radionuklider. Den underskattning av dosen som sättet att hantera intag av bytesdjur i beräkningarna skulle kunna medföra, bedöms därför som liten.

- Vid missödesutsläpp skulle en kortvarig strålningsexponering av växter och djur för radionuklider bli fallet under missödet. ERICA tar dock bara hänsyn till den halt som är spridd i t ex jorden, och inte den som mycket kortvarigt finns på jordytan och på växtligheten. Genom olika mekanismer sprids radionukliderna och beräkningarna ger hur koncentrationen i varierar i tiden. Genom den korta varaktigheten och att den högsta koncentrationen i jord (och vatten) används som underlag för beräkning i ERICA bedöms detta inte leda till någon överskattning av konsekvenser för biota.

## 7 Slutsatser

Trots de konservativa antagandena, som redovisas i avsnitt 6.1, ligger det beräknade bidraget från Clink till dosrat för biota i olika naturtyper i området omkring Simpevarpshalvön under, eller mycket under, screening-värdet på 10  $\mu\text{Gy/h}$ . Vid denna dosrat har inga påvisbara effekter kunnat konstateras, inte ens för de organismer som uppvisar minst tålighet mot strålning såsom fiskar och däggdjur. En bedömning av graden av konservatism för beräkningarna ger att det är minst en hundrafaldig överskattning av dosraten till biota. Detta baseras på att de i PSAR för Clink uppskattade utsläppen för de nuklider som dominerar dosraten, främst Co-60 och Cs-137, är ett par storleksordningar högre än erfarenhetsvärdena för Clab.

De högsta dosraterna erhålls i de akvatiska ekosystemen. För vattendrag och sjö sker nedfall på hela avrinningsområdet, vilket medför att en kombinerad mark- och vattenmodell användes. För havsvik/skärgård erhålls bidrag från nedfall på själva Borholmsfjärden och bidrag från nedfall på Laxemaråns avrinningsområde, eftersom den mynnar i Borholmsfjärden. Laxemaråns avrinningsområde är hela 41 kvadratkilometer. För öppet hav summeras radionuklider som faller ned från luften med de som släpps ut direkt till vatten från Clink.

De organismer som beräknades utsättas för de högsta dosraterna är generellt fiskar, fåglar och däggdjur.

Studier av dosrat för biota har utförts t ex inom SR-Site /Torudd 2010/ och /Smith och Robinson 2006/. Skillnaden mellan resultaten i de studierna och denna studie avseende Clab/Clink är att det för kärnbränsleförvaret betraktas scenarier där radionuklider når ekosystemen underifrån via grundvatten. I denna studie har nedfall på mark och vatten, och utsläpp till havet beaktats. För havsvik/skärgård (Borholmsfjärden) erhålls i denna studie även bidrag från Laxemarån. Även nuklidfördelningen är annorlunda eftersom det i denna studie även finns med radionuklider som är kortlivade i ett geologiskt perspektiv. I denna studie dominerar dosraten av Co-60, som har ca fem års halveringstid.

## 8 Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer).

**Andersson E (red), 2010.** The limnic ecosystems at Forsmark and Laxemar-Simpevarp. SR-Site Biosphere. SKB TR-10-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Andersson K, Torstenfeldt B, Allard B, 1982.** Sorption behaviour of long-lived radionuclides in igneous rocks. In: Environmental migration of long-lived radionuclides. Vienna: International Atomic Energy Agency.

**Aquilonius K, 2001.** Dosomräkningsfaktorer för normaldriftsutsläpp. D. C-14-modell. STUDSVIK/ES-2001/36, Studsvik Eco & Safety AB, Sverige.

**Aquilonius K (red), 2010.** The marine ecosystems at Forsmark and Laxemar-Simpevarp. SR-Site Biosphere. SKB TR-10-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Artdatabanken.** Sveriges lantbruksuniversitet. [Online]. Tillgänglig: <http://www.artdata.slu.se/>.

**Avila R, Ekström P-A, Åstrand P-G, 2010.** Landscape dose conversion factors used in the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Bergström U, Hallberg B, Karlsson S, 2001.** Dosomräkningsfaktorer för normaldriftsutsläpp. F. Metodrapport. STUDSVIK/ES-01/38, Studsvik Eco & Safety AB, Sverige.

**Bosson E, Sassner M, Gustafsson L-G, 2009.** Numerical modelling of surface hydrology and near-surface hydrogeology at Laxemar-Simpevarp. Site descriptive modelling, SDM Site Laxemar. SKB R-08-72, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Brown J, Alfonso B, Avila R, Beresford N A, Coplestone D, Pröhl G, Ulanovsky A, Liland A, Hosseini A, 2008.** Assessing impacts of radiation on non-human biota: The ERICA Tool. In: IRPA 12: Proceedings of the 12th International Congress of the International Radiation Protection Association, Buenos Aires, Argentina, 19–24 October 2008. Vienna: International Atomic Energy Agency.

**Carnier-Laplace J, Gilbin R (red), 2006.** Derivation of predicted no effect dose rates values for ecosystems and their sub-organisational level exposed to radioactive substances. ERICA Deliverable D5. EC project contract number FI6R-CT-2004-508847.

**Coplestone D (red), 2005.** Progress on the production of the web-based effects database: FREDERICA. ERICA Deliverable D1. EC contract number FI6R-CT-2004-508847.

**Hallberg B, 2001.** Dosomräkningsfaktorer för normaldriftsutsläpp. A. Spridning i luft och nedfall på mark. STUDSVIK/ES-01/33, Studsvik Eco & Safety AB, Sverige.

**Hallberg B, 2008.** Källtermer och doser i omgivningen för vissa missöden i inkapslingsanläggningen. STUDSVIK/N-08/174, Studsvik Nuclear AB, Sverige.

**Hallberg B, Bergström U, Aquilonius K, 2002.** Dosomräkningsfaktorer för utsläpp till vatten och luft vid normal drift av Oskarshamnsverket. STUDSVIK/ES-02/28, Studsvik Eco & Safety AB, Sverige.

**Hamrén U, Collinder P, 2010.** Vattenverksamhet i Laxemar-Simpevarp. Ekologisk fältinventering, naturvärdesklassificering samt beskrivning av produktionsmark. SKB R-10-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**IAEA, 1983.** Seminar on the environmental transfer to man of radionuclides released from nuclear installations. Proceedings of a seminar held in Brussels, Belgium, 17–21 October 1983. CEC, Luxembourg. (DOC-NO.V/7400/84)

**IAEA, 1994.** Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments. Vienna: International Atomic Energy Agency. (IAEA Technical Reports Series 364)

- IAEA, 2001.** Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Vienna: International Atomic Energy Agency. (Safety Reports Series 19)
- ICRP, 1983.** Radionuclide transformations: energy and intensity of emissions: report of a task group of committee 2 of the International commission on radiological protection on data used in ICRP publication 30. Oxford: Pergamon. (ICRP Publication 38; Annals of the ICRP 11–13)
- ICRP, 2003.** A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. Oxford: Pergamon. (ICRP Publication 91; Annals of the ICRP 33)
- ICRP, 2007.** The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford: Elsevier. (ICRP Publication 103; Annals of the ICRP 37)
- ICRP, 2008.** Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. Oxford: Elsevier. (ICRP Publication 108; Annals of the ICRP 38)
- Isaksson P, Oskarsson A, Hallberg B, 2008.** Referensrapport till SAR. Allmän del, kapitel 8. Clab, Säkerhet vid hantering av bränsle samt omgivningspåverkan vid missöde. T-CKA 08-22, Vattenfall Power Consultant AB, Sverige.
- IUR, 1984.** Third report of the workgroup on soil-to-plant transfer factors. International Union of Radioecologists, Cadarache, France 16–18 April. INIS-MF-10171.
- Karlsson S, Aquilonius K, 2001.** Dosomräkningsfaktorer för normaldriftsutsläpp. C. Exponeringsvägar och radioekologiska data. STUDSVIK/ES-01/35. Studsvik Eco & Safety AB.
- Lehndorff E, Schwark L, 2008.** Accumulation histories of major and trace elements on pine needles in the cologne conurbation as function of air quality. *Atmospheric Environment*, 42, s 833–845.
- Lindén A-M, 2004.** Omgivningskontrollprogram för de kärntekniska anläggningarna, revision. SSI rapport 2004:15, Statens strålskyddsinstitut.
- Liu J, Löfgren M, Neretnieks I, 2006.** SR-Can. Data and uncertainty assessment. Matrix diffusivity and porosity in situ. SKB R-06-111, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lüning M, 2005.** Utsläpps- och omgivningskontroll vid de kärntekniska anläggningarna 2002–2004. SSI rapport 2005:19, Statens strålskyddsinstitut.
- Löfgren A (red), 2008.** The terrestrial ecosystems at Forsmark and Laxemar-Simpevarp. Site descriptive modelling, SDM-Site. SKB R-08-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Löfgren A (red), 2010.** The terrestrial ecosystems at Forsmark and Laxemar-Simpevarp. SR-Site Biosphere. SKB TR-10-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Müller-Lemans H, van Dorp F, 1996.** Bioturbation as a mechanism for radionuclide transport in soil: Relevance of earthworms. *Journal of Environmental Radioactivity*, 31, s 7–20.
- Ng Y C, Thompson S E, Colsher C S, 1982.** Soil-to-plant concentration factors for radiological assessments. NUREG/CR-2975, UCID-19463, Lawrence Livermore National Laboratory, California, USA.
- Nilsson M, 2010.** Konsekvensbedömning av påverkan på naturvärden vid mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle i Oskarshamn – Laxemar. SKB P-10-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Nordén S, Söderbäck B, Andersson E, 2008.** The limnic ecosystems at Forsmark and Laxemar-Simpevarp. Site descriptive modelling, SDM-Site. SKB R-08-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Nordén S, Avila R, de la Cruz I, Stenberg K, Grolander S, 2010.** Element-specific and constant parameters used for dose calculations in SR-Site. SKB TR-10-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Pasquill F, Smith F B, 1983.** Atmospheric diffusion. 3rd ed. Chichester: Ellis Horwood.

- Protasowicki M, Dural M, Jaremek J, 2008.** Trace metals in the shells of blue mussels (*Mytilus Edulis*) from the Poland coast of baltic sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141, s 329–337.
- Rejomon G, Balachandran K, Nair M, Joseph T, 2008.** Trace metal concentrations in marine zooplankton from the western bay of bengal. *Applied Ecology and Environmental Research*, 6, s 107–116.
- SKB, 2006.** The biosphere at Laxemar. Data, assumptions and models used in the SR-Can assessment. SKB R-06-83, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Smith K, Robinson C, 2006.** Assessment of doses to non-human biota: review of developments and demonstration assessment for Olkiluoto repository. Posiva Working Report 2006-112, Posiva Oy, Finland.
- SSI, 2007.** Remissvar angående ansökan från Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) om tillstånd enligt kärntekniklagen för inkapslingsanläggningen och Clab. Beslut dnr. 2007/125-26. (SKBdoc 1070243 version 1.0)
- Staven L H, Rhoads K, Napier B A, Streng D L, 2003.** A compendium of transfer factors of agricultural and animal products. Prepared for the U.S. Department of Energy. PNNL-13421, Pacific Northwest National Laboratory, Washington, USA.
- Suthar S, Singh S, 2008.** Bioconcentrations of metals (Fe, Cu, Zn, Pb) in earthworms (*Eisenia fetida*), inoculated in Municipal Sewage sludge: Do earthworms pose a possible risk of terrestrial food chain contamination? *Environmental Toxicology*, 24, s 25–32.
- Torudd J, 2010.** Long term radiological effects on plants and animals of a deep geological repository. SR-Site Biosphere. SKB TR-10-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Tsikritzis L I, Ganatsios S S, Duliu O G, Sawidis T D, 2002.** Heavy metals distribution in some lichens, mosses, and trees in the vicinity of lignite power plants from west macedonia, Greece. *Journal of Trace and Microbe Techniques*, 20, s 395–413.
- U.S. EPA, 2000.** Radiological properties for SSL development. Soil screening guidance for radionuclides, attachment C. [Online]. Tillgänglig: [http://www.epa.gov/superfund/health/contaminants/radiation/pdfs/att\\_c-clean.pdf](http://www.epa.gov/superfund/health/contaminants/radiation/pdfs/att_c-clean.pdf).
- Werner K, 2009.** Description of surface hydrology and near-surface hydrology at Laxemar-Simpevarp. Site descriptive modelling, SDM-Site Laxemar. SKB R-08-71, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Whicker F W, Schultz V, 2000.** Radioecology: nuclear energy and the environment. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Williams C (red), 2004.** Framework for assessment of environmental impact of ionising radiation in European ecosystems. *Journal of Radiological Protection*, 24, Special Issue, s 1–177.



## Förklaringar av begrepp

<b>Akvatiska ekosystem</b>	Ekosystem i vatten, dvs vattendrag, sjöar och hav.
<b>Bentisk</b>	Bottenlevande organism i vatten.
<b>Biota</b>	Levande organismer: växter och djur. I denna rapport avses dock inte människor.
<b>Bioturbation</b>	Omblandning av jord (på land) och sediment (i akvatiska miljöer) utförd av djur, t ex dagmaskar.
<b>Clab</b>	Centralt mellanlager för använt kärnbränsle.
<b>Clink</b>	Den planerade anläggningen som består av Clab sammanbyggd med inkapslingsanläggningen.
<b>ERICA</b>	Datoriserat beräkningsverktyg för strålning till biota.
<b>FREDERICA</b>	Databas för effekter av strålning för biota ( <a href="http://www.frederica-online.org">http://www.frederica-online.org</a> ).
<b>Fördelningsfaktor</b>	Se $K_d$
<b>Gy</b>	Gray. Enhet för absorberad dos.
<b>Invertebrat</b>	Ryggradslöst djur.
<b>Joniserande strålning</b>	Joniserande strålning har tillräckligt med energi för att lösgöra elektroner ur ett ämnes atomer eller slå sönder molekyler. Exempel är röntgenstrålning och strålning som avges vid radioaktivt sönderfall.
$K_d$	Ämnesspecifik fördelningsfaktor ( $m^3/kg$ ). Anger vid jämvikt hur mycket av ämnet som binder sig till fast fas i förhållande till hur mycket som finns i vattenfasen.
<b>Koncentration</b>	Avser här halt av en radionuklid i ett medium, angiven som aktivitet per volym eller vikt av mediet, t ex $Bq/m^3$ i vatten och luft, eller $Bq/kg$ torrsvikt i jord.
<b>Kritisk grupp</b>	Hypotetisk grupp av personer som beräkningsmässigt får de högsta stråldoserna från en kärnteknisk anläggning.
<b>Laxemar-Simpevarp</b>	Platsundersökningsområde för slutförvaret för använt kärnbränsle. Området omfattar de närmaste omgivningarna till Simpevarpshalvön och området väster om denna.
<b>Limnisk organism</b>	Art som lever i sötvatten.
<b>Marin organism</b>	Art som lever i saltvatten.
<b>MDA</b>	Minsta detekterbara aktivitet.
<b>Nyckelart</b>	Art som kan sägas inneha en nyckelfunktion inom ett ekosystem eller en miljö. Exempel på nyckelarter är ek och blåstång som utgör substrat, skydd, föda etc för en mängd andra arter.
<b>Pasquill-klass</b>	Indelning av atmosfärens turbulensförhållanden. Anges med A–F där A ger störst omblandning och F minst omblandning. I det senare fallet erhålls en sammanhållen plym och högre koncentration.
<b>Pelagisk</b>	Vattenlevande organism som vistas mestadels i den fria vattenmassan.
<b>PSAR</b>	Preliminär säkerhetsredovisning. Säkerhetsredovisning som lämnas in till Strålsäkerhetsmyndigheten innan en anläggning får uppföras. Motsvarar Preliminary Safety Analysis Report (PSAR) enligt IAEA:s terminologi.
<b>Relativ koncentration</b>	Vid spridningsberäkningar kan beräknas den del av spridningsekvationen som bara har parametrar som inte beror på vilken/vilka nuklid(er) som släpps ut. En viss nuklids utsläpp kan då multipliceras med relativa koncentrationen för att ge koncentrationen för den nukliden. Relativa koncentrationen får enheten $s/m^3$ , vilket multiplicerat med utsläppstakten $Bq/s$ ger $Bq/m^3$ .
<b>Rödlistad</b>	Art som klassificerats som hotad enligt den svenska rödlistan, framtagen av Artdatabanken på uppdrag av Naturvårdsverket.
<b>Simpevarpshalvön</b>	Halvö i Oskarshamns kommun. Där ligger Oskarshamnsverket med reaktorerna O1, O2 och O3, liksom Clab.
<b>Terrestra ekosystem</b>	Landekosystem, t ex skog, våtmark och jordbruksmark.
<b>Torrsvikt</b>	Vikt av aktuellt material utan vatten.
<b>Weathering</b>	Sammanfattande parameter för olika processer som för bort radionuklider från vegetation, t ex vind och regn samt djurs betande.
$\mu Gy$	Mikrogray. En miljontedels ( $10^{-6}$ ) gray (Gy).

## Utsläpp till luft och vatten från Clab respektive Clink

Tabell B2-1. Rapporterade utsläpp från Clab till luft (Bq). Endast värden över detektionsgränsen har tagits med.

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Mn-54	1.1E+06	5.1E+06	7.7E+05	6.4E+05	1.7E+06	1.6E+06	6.4E+05	1.8E+05	1.2E+05	
Co-58							7.2E+05	1.7E+05	4.9E+04	
Co-60	1.8E+07	8.0E+07	4.8E+07	5.1E+07	7.7E+07	1.5E+08	1.0E+08	8.5E+07	4.2E+06	1.7E+06
Kr-85										
Sr-90							1.1E+05		2.5E+04	
Nb-95										
Sb-125										
Cs-134					1.8E+05					
Cs-137			2.1E+05	5.4E+05	8.6E+05	1.8E+05		1.6E+05		
Pu-238										
Pu-239										
Am-243										
Cm-242										
Cm-244										

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Mn-54		1.0E+05	5.4E+04		1.5E+05					3.0E+04
Co-58			1.2E+05							
Co-60	1.3E+06	2.1E+07	4.2E+06	1.4E+07	2.7E+07	2.1E+07	1.1E+08	5.7E+06	3.0E+06	5.6E+05
Kr-85			2.1E+12		3.7E+10		1.2E+11			
Sr-90		2.2E+04	1.5E+04		7.0E+03	1.4E+04		3.8E+04	4.5E+04	8.0E+04
Nb-95			1.1E+05							
Sb-125		2.4E+05	2.7E+05							
Cs-134										
Cs-137					8.8E+04	4.4E+04				
Pu-238	8.1E+02	1.6E+04	5.0E+04		2.9E+04	4.3E+04	3.1E+04	3.0E+04	3.2E+04	1.9E+04
Pu-239			5.0E+03				1.5E+04	8.3E+03		1.2E+04
Am-243					5.3E+03		5.2E+03	6.6E+03	5.7E+03	3.2E+03
Cm-242					7.4E+02					
Cm-244	4.0E+03		2.3E+04				1.6E+04	1.6E+04	4.0E+04	3.2E+04

	2005	2006	2007	2008	2009
Mn-54	2.9E+04	1.7E+04	5.6E+04	3.0E+04	2.6E+04
Co-58					
Co-60	1.7E+06	4.2E+06	6.2E+06	6.7E+06	4.3E+06
Kr-85		1.0E+10		3.7E+10	5.5E+12
Sr-90	2.0E+05	1.5E+05	1.6E+04	3.5E+04	4.6E+04
Nb-95					
Sb-125					
Cs-134					
Cs-137		3.8E+04	2.7E+05	1.8E+05	1.8E+05
Pu-238	9.8E+03	2.3E+04	2.6E+04	4.7E+04	2.1E+04
Pu-239	1.5E+03	2.1E+03	2.6E+03	4.1E+03	2.4E+03
Am-243	1.6E+04	1.2E+04	1.4E+04	7.3E+03	1.0E+04
Cm-242	4.7E+03	3.9E+01	3.4E+03	1.6E+03	
Cm-244	8.3E+03	3.7E+03	6.4E+03	3.2E+03	

**Tabell B2-2. Realistiskt fall. Antaget årligt utsläpp (Bq) från Clab till luft under perioden 2010–2022. Medelvärdet av årligt utsläpp som rapporterats för respektive nuklid under åren 1985–2009 ansattes, se tabell B2-1.**

2010–2022	Årligt utsläpp (Bq)
Mn-54	6.86E+05
Co-58	2.64E+05
Co-60	3.53E+07
Kr-85	1.30E+12
Sr-90	5.72E+04
Nb-95	1.11E+05
Sb-125	2.55E+05
Cs-134	1.79E+05
Cs-137	2.51E+05
Pu-238	2.69E+04
Pu-239	5.93E+03
Am-243	8.58E+03
Cm-242	2.10E+03
Cm-244	1.53E+04

**Tabell B2-3. Konservativt fall. Antaget årligt utsläpp (Bq) från Clab till luft under perioden 2010–2022. Maximalt årligt utsläpp som rapporterats för respektive nuklid under åren 1985–2009 ansattes, se tabell B2-1.**

2010–2022	Årligt utsläpp (Bq)
Mn-54	5.1E+06
Co-58	7.2E+05
Co-60	1.5E+08
Kr-85	5.5E+12
Sr-90	2.0E+05
Nb-95	1.1E+05
Sb-125	2.7E+05
Cs-134	1.8E+05
Cs-137	8.6E+05
Pu-238	5.0E+04
Pu-239	1.5E+04
Am-243	1.6E+04
Cm-242	4.7E+03
Cm-244	4.0E+04

**Tabell B2-4. Realistiskt beräknat årligt utsläpp (Bq) från Clink till luft under perioden 2023–2072 enligt PSAR kapitel 6 (50 % ökning jämfört med medelvärdet 1997–2006, se tabell B2-1).**

2023–2072	Årligt utsläpp (Bq)
Mn-54	5.68E+04
Fe-55	1.17E+05
Co-58	1.87E+07
Co-60	6.84E+04
Ni-59	1.11E+05
Ni-63	2.67E+05
Kr-85	5.68E+04
Sr-90	2.96E+04
Nb-95	7.39E+03
Ag-108m	7.82E+03
Ag-110m	1.83E+03
Sb-125	1.99E+04
I-129	5.68E+04
Cs-134	1.17E+05
Cs-137	1.87E+07
Pu-238	6.84E+04
Pu-239	1.11E+05
Pu-240	2.67E+05
Pu-241	5.68E+04
Am-241	2.96E+04
Am-243	7.39E+03
Cm-242	7.82E+03
Cm-244	1.83E+03

**Tabell B2-5. Konservativt beräknat årligt utsläpp (Bq) från Clink till luft under perioden 2023–2072 enligt PSAR kapitel 6.**

2023–2072	Årligt utsläpp (Bq)
Mn-54	1.1E+09
Fe-55	1.1E+10
Co-58	3.2E+08
Co-60	8.8E+09
Ni-59	3.8E+06
Ni-63	5.3E+08
Kr-85	5.3E+13
Sr-90	8.0E+05
Ag-108m	7.6E+07
Ag-110m	1.6E+08
Sb-125	4.0E+07
I-129	4.6E+01
Cs-134	1.6E+07
Cs-137	1.2E+08
Pu-238	1.2E+05
Pu-239	4.0E+03
Pu-240	6.6E+03
Pu-241	1.7E+06
Am-241	1.8E+04
Am-243	1.0E+03
Cm-242	2.1E+05
Cm-244	2.1E+05

**Tabell B2-6. Rapporterade utsläpp till vatten från Clab (Bq). Endast värden över detektionsgränsen har tagits med.**

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
H-3	2.8E+08	1.4E+09	4.8E+09	3.3E+09	1.4E+09	2.1E+09	1.7E+09	1.4E+09	5.6E+08	1.2E+10
Cr-51										
Mn-54	2.8E+07	6.7E+07	2.1E+08	6.2E+07	1.1E+08	5.9E+07	9.0E+06	7.3E+06	4.9E+06	8.0E+06
Fe-59										
Co-57			1.8E+06	1.5E+06	1.1E+04	9.3E+05		6.1E+04		
Co-58			9.7E+06	1.0E+07		6.7E+06	1.6E+05	3.7E+06		1.9E+07
Co-60	1.9E+09	3.2E+09	7.0E+09	2.7E+09	2.0E+09	4.7E+09	2.2E+09	9.9E+08	1.9E+09	1.8E+09
Zn-65	1.2E+07	5.7E+07	1.9E+07	3.4E+06	4.1E+06	2.7E+06	4.6E+06	9.4E+06	3.4E+06	
Sr-90							1.9E+05		3.4E+05	4.2E+05
Zr-95								9.5E+06		
Nb-95								1.8E+07		
Ru-103								1.3E+06		
Ag-108m										
Ag-110m		1.9E+07	3.7E+07	3.1E+07	1.5E+07	6.7E+06	2.4E+07	1.3E+07	1.2E+07	1.2E+07
Sn-117m										
Sb-124		6.9E+06	1.5E+07	2.3E+06		3.1E+06	2.2E+06			
Sb-125		1.3E+07	3.8E+07	6.8E+06	7.6E+06	1.4E+08	7.8E+07	3.5E+07	5.9E+07	5.7E+07
Cs-134				6.0E+05	1.1E+07	5.5E+07	8.7E+06	1.9E+07	3.3E+07	8.6E+07
Cs-136									2.6E+05	
Cs-137		7.0E+06	1.6E+07	2.3E+07	9.2E+07	3.8E+08	1.3E+08	9.6E+07	1.8E+08	1.3E+09
La-140										
Ce-144								1.8E+07		
Pu-238										
Pu-239										
Am-243										
Cm-242										
Cm-244										

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
H-3	4.0E+09	2.7E+09	3.2E+09	9.1E+09	3.2E+09	1.3E+09	8.7E+08	2.4E+08	1.6E+08	5.6E+08
Cr-51	2.6E+07	4.2E+06								
Mn-54	1.9E+07	1.2E+07	1.6E+07	8.8E+06	8.9E+06	2.6E+06	3.0E+06		9.1E+05	1.5E+05
Fe-59	4.8E+05	8.4E+05								
Co-57	9.3E+06	2.3E+05	3.4E+05	2.0E+04						
Co-58	3.4E+07	8.6E+06	2.3E+06	1.0E+05	2.7E+06	8.1E+05				
Co-60	1.1E+09	4.2E+08	3.0E+09	6.0E+08	4.7E+08	2.4E+08	1.5E+08	8.0E+07	9.9E+07	1.2E+08
Zn-65	5.1E+06	3.6E+06	1.6E+07							
Sr-90	4.6E+05	2.9E+05	1.0E+06	4.4E+05	1.5E+05	1.6E+05	1.3E+05	8.2E+04	1.2E+05	2.3E+05
Zr-95										
Nb-95	1.1E+06									
Ru-103	7.7E+04									
Ag-108m						4.5E+06	2.1E+05		7.7E+06	2.5E+07
Ag-110m	5.1E+06	1.4E+06	8.8E+06	1.4E+07	2.3E+06	6.0E+07	7.8E+05		3.8E+07	4.6E+07
Sn-117m	3.7E+04									
Sb-124	3.4E+06	4.3E+05		1.2E+05	3.3E+05					
Sb-125	4.6E+07	2.4E+07	9.3E+07	1.6E+08	3.0E+07	1.6E+07	9.8E+05	3.5E+06		6.3E+06
Cs-134	5.4E+06	4.2E+06	2.0E+07	1.0E+07	2.6E+06	5.2E+05	5.9E+04		1.9E+05	
Cs-136										6.3E+05
Cs-137	9.7E+07	8.8E+07	2.2E+08	1.1E+08	1.7E+07	1.8E+07	6.2E+07	5.2E+07	3.2E+07	1.5E+07
La-140		1.3E+05								
Ce-144	1.5E+06									
Pu-238	3.4E+04	3.2E+04	5.1E+04	8.1E+03	1.1E+04	2.6E+04	4.5E+04	2.0E+04	2.8E+04	6.0E+04
Pu-239	4.7E+03	8.5E+02	6.3E+03		4.4E+02	3.9E+03	2.2E+04	1.7E+04	1.3E+04	2.2E+04
Am-243	1.4E+02	3.6E+03		1.3E+02	6.5E+01		2.7E+03	1.3E+03	3.7E+03	9.5E+03
Cm-242	3.4E+04	4.9E+03	5.3E+03	2.1E+03	4.5E+03	5.4E+03	4.5E+03	1.4E+04	1.4E+04	1.0E+04
Cm-244	3.6E+04	1.0E+04	5.5E+04	7.8E+03	1.4E+04	3.8E+04	2.7E+04	1.5E+04	2.0E+04	2.5E+04

	2005	2006	2007	2008	2009
H-3	8.3E+07	3.8E+09	9.9E+09	6.7E+08	1.9E+08
Cr-51		3.1E+04			
Mn-54	8.7E+05	7.3E+05		2.8E+05	2.7E+05
Fe-59					
Co-57				1.1E+04	
Co-58	2.1E+06	8.9E+05		3.1E+05	
Co-60	3.4E+07	5.2E+07	5.9E+07	3.5E+07	4.3E+07
Zn-65					
Sr-90	1.4E+05	1.6E+05		1.2E+06	
Zr-95					
Nb-95		6.1E+03			
Ru-103					
Ag-108m		2.2E+07		4.1E+04	4.2E+06
Ag-110m		3.8E+06			1.0E+06
Sn-117m					
Sb-124		3.3E+05	8.4E+05	6.9E+04	
Sb-125		2.7E+07	8.7E+07	3.4E+06	4.2E+06
Cs-134					
Cs-136					
Cs-137	9.5E+06	2.2E+07	1.7E+07	5.8E+07	5.1E+07
La-140					
Ce-144					
Pu-238	8.6E+03	3.8E+04	4.2E+04	1.8E+04	1.3E+04
Pu-239	5.1E+03	4.4E+02		7.0E+02	2.3E+02
Am-243	3.1E+03	1.1E+04	1.1E+03	6.3E+04	1.7E+03
Cm-242	4.8E+03	1.7E+04	6.6E+04	9.1E+03	9.3E+03
Cm-244	4.2E+03	7.3E+03	2.4E+03	4.1E+03	1.9E+03

**Tabell B2-7. Realistiskt fall. Antaget årligt utsläpp (Bq) från Clab till vatten under perioden 2010–2022. Medelvärde av årligt utsläpp som rapporterats för respektive nuklid under åren 1985–2009 ansattes.**

2010–2022	Årligt utsläpp (Bq)
H-3	2.75E+09
Cr-51	1.01E+07
Mn-54	2.78E+07
Co-57	6.60E+05
Co-58	1.42E+06
Co-60	6.74E+06
Zn-65	1.40E+09
Nb-95	1.17E+07
Ru-103	3.46E+05
Ag-108m	9.50E+06
Ag-110m	6.37E+06
Sn-117m	6.89E+05
Sb-124	9.11E+06
Sb-125	1.76E+07
Cs-134	3.70E+04
Cs-136	2.92E+06
Cs-137	4.26E+07
Ce-144	1.71E+07

**Tabell B2-8. Konservativt fall. Antaget årligt utsläpp (Bq) från Clab till vatten under perioden 2010–2022. Maximalt årligt utsläpp som rapporterats för respektive nuklid under åren 1985–2009 ansattes.**

2010–2022	Årligt utsläpp (Bq)
H-3	1.2E+10
Cr-51	2.6E+07
Mn-54	2.1E+08
Fe-59	8.4E+05
Co-57	9.3E+06
Co-58	3.4E+07
Co-60	7.0E+09
Zn-65	5.7E+07
Sr-90	1.2E+06
Zr-95	9.5E+06
Nb-95	1.8E+07
Ru-103	1.3E+06
Ag-108m	2.5E+07
Ag-110m	6.0E+07
Sn-117m	3.7E+04
Sb-124	1.5E+07
Sb-125	1.6E+08
Cs-134	8.6E+07
Cs-136	6.3E+05
Cs-137	1.3E+09
La-140	1.3E+05
Ce-144	1.8E+07
Pu-238	6.0E+04
Pu-239	2.2E+04
Am-243	6.2E+04
Cm-242	6.6E+04
Cm-244	5.5E+04

**Tabell B2-9. Realistiskt beräknat årligt utsläpp (Bq) från Clink till vatten under perioden 2023–2072 enligt PSAR kapitel 6 (förduppling jämfört med medelvärdet 1997–2006).**

2023–2072	Årligt utsläpp (Bq)
H-3	4.49E+09
Mn-54	6.22E+04
Fe-55	9.33E+06
Co-58	2.61E+09
Co-60	3.60E+05
Ni-59	2.97E+06
Ni-63	9.68E+08
Sr-90	5.23E+06
Ag-108m	6.83E+08
Ag-110m	3.20E+07
Sb-125	5.28E+05
I-129	1.22E+04
Cs-134	2.38E+07
Cs-137	4.35E+07
Pu-238	5.21E+05
Pu-239	8.42E+07
Pu-240	3.80E+03
Pu-241	1.11E+07
Am-241	1.25E+06
Am-243	1.11E+08
Cm-242	5.91E+04
Cm-244	2.01E+04

**Tabell B2-10. Konservativt beräknat årligt utsläpp (Bq) från Clink till vatten under perioden 2023–2072 enligt PSAR kapitel 6.**

2023–2072	Årligt utsläpp (Bq)
H-3	2.9E+10
Mn-54	1.0E+08
Fe-55	3.1E+10
Co-58	6.7E+06
Co-60	4.6E+10
Ni-59	6.2E+07
Ni-63	8.1E+09
Sr-90	7.8E+08
Ag-108m	3.1E+09
Ag-110m	5.4E+08
Sb-125	2.1E+09
I-129	4.5E+04
Cs-134	1.6E+10
Cs-137	1.2E+11
Pu-238	1.9E+06
Pu-239	6.6E+04
Pu-240	1.1E+05
Pu-241	1.7E+07
Am-241	6.6E+05
Am-243	1.7E+04
Cm-242	1.0E+05
Cm-244	2.4E+06



## Metod för beräkning av nedfall på vattenobjekt för missöde

För vattenobjekten fördelar sig nedfallet olika på olika delar. För att erhålla nedfallet över hela ytan måste en numerisk integration genomföras. Bidraget från nedfall erhöles genom att likna området vid en rektangel, se figur B3-1, för att underlätta den numeriska integreringen. För havsvik/skärgård och öppet hav användes arean för respektive område som area för respektive rektangel, medan nedfallet på sjö och vattendrag (Söråmagasinet respektive Laxemarån) dock räknades för hela avrinningsområdet, se tabell B3-1.

Nedfallet integrerades numeriskt över respektive rektangel. För detta behövs uttryck för koncentrationen i luft. För den gaussiska plymmodellen för spridning, som användes i /Isaksson et al. 2008/ och /Hallberg 2008/, kan halten,  $c$  (Bq/m<sup>3</sup>), i luft i punkten  $(x,y)$  vid markytan ( $z$  är lika med noll) skrivas som /Pasquill och Smith 1983/:

$$c(x,y) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y(x)}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h}{\sigma_z(x)}\right)^2\right]$$

där

- $Q$  är utsläppstakt (Bq/s), dvs totalt utsläppt aktivitet genom utsläppstiden,
- $u$  är vindhastighet (m/s),
- $h$  är utsläppshöjd (m),
- $\sigma_y$  parameter avseende spridning i horisontell led (m),
- $\sigma_z$  parameter avseende spridning i vertikal led (m).

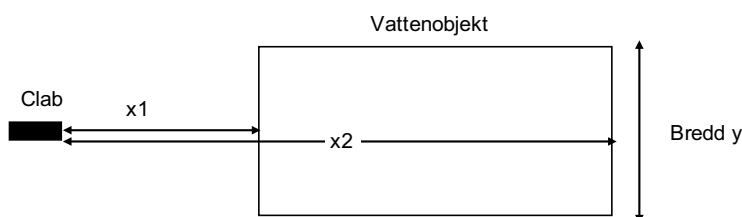
Spridningsparametrarna  $\sigma_y$  och  $\sigma_z$ , avseende spridning i horisontell respektive vertikal led, varierar med atmosfärens stabilitet och avståndet. Flera parameteriseringar har tagits fram på empirisk väg, se /Pasquill och Smith 1983/. I modellen som användes i /Isaksson et al. 2008/ och /Hallberg 2008/ utnyttjades uttryck kallade Pasquill-Gifford. Eftersom explicita formler för dessa inte angavs i ovannämnda referenser, användes i denna studie en annan parameterisering gjord av Briggs, se /Pasquill och Smith 1983/, vilka för stabilitetsklassen Pasquill F är:

$$\sigma_y(x) = \frac{0.04x}{\sqrt{1+0.0001x}} ; \sigma_z(x) = \frac{0.016x}{1+0.0003x}$$

I dessa uttryck anges  $x$  i enheten meter i stället för kilometer som används i /Pasquill och Smith 1983/. En jämförelse mellan  $\sigma$ -värden från /Isaksson et al. 2008/ och /Hallberg 2008/ och Briggs' utfördes för att se hur den ändrade parameteriseringen påverkade resultatet. Jämförelsen redovisas i bilaga 12.

**Tabell B3-1. Storlek på rektangel för vattenobjekt.**

Naturtyp	Namn	Yta (m <sup>2</sup> )	x1 (m)	x2 (m)	Bredd y (m)
Havsvik/skärgård	Borholmsfjärden (Bassäng 508)	1.40E+06	1.18E+03	2.08E+03	1.57E+03
Öppet hav	Bassäng 521	3.80E+07	1.79E+03	7.95E+03	6.16E+03
Sjö	Söråmagasinet (avrinningsområde)	5.23E+05	4.94E+02	9.18E+02	1.24E+03
Vattendrag	Laxemarån (avrinningsområde)	4.10E+07	9.23E+02	1.06E+04	4.24E+03



**Figur B3-1. Vattenobjekten liknades vid rektanglar.**

För  $\sigma_y$  är överensstämmelsen bra, medan Briggs' parameterisering ger något lägre värden på  $\sigma_z$ . Detta ger dock en liten konservatism genom att det i denna rapport blir högre koncentration vid markytan på grund av lägre grad av spridning.

Numerisk integration utfördes med hjälp av programvaran Mathcad™. Integralen visade sig ge orimliga resultat, vilka berodde på att nuklider som deponerat under plymens utbredning inte dragits bort, s k plymutarmning. Denna modellerades genom att ersätta  $Q$  ovan med en avståndsberoende "utsläppstakt",  $Q(x)$ , enligt /Pasquill och Smith 1983/:

$$\sigma_y(x) = \frac{0.04x}{\sqrt{1+0.0001x}} ; \sigma_z(x) = \frac{0.016x}{1+0.0003x}$$

Uttrycket för integralmedelvärdet av koncentrationen över rektangeln var då:

$$Q(x) = Q \exp \left( - \int_0^x v_d \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{u \sigma_z(X)} \exp \left( - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{\sigma_z(X)} \right)^2 \right) dX \right)$$

där  $A$  är rektangelns (vattenobjektets) area (m<sup>2</sup>).

Om man bortser från aktivitet som förs ned från luften via nederbörd, sker nedfall på mark genom s k torrdeposition,  $D_{torr}$  (Bq/m<sup>2</sup>), vilken modelleras med hjälp av en ämnesspecifik depositions hastighet, se tabell B3-2:

$$D_{torr}(x) = v_d c_I t$$

där

$c_I$  är integralmedelvärdet (Bq/m<sup>3</sup>)

$v_d$  är en ämnesspecifik torrdepositions hastighet,

$t$  är utsläppstiden.

**Tabell B3-2. Depositionshastigheter /Isaksson et al. 2008, Hallberg 2008/.**

Nuklid	Depositionshastighet (m/s)
Kr-85	0
I-129	0,0001
Cs-134	0,003
Cs-137	0,003

Genom att sätta in det beräknade integralmedelvärdet i uttrycket för torrdepositionen och multiplicera med arean för respektive objekt erhöles det totala nedfallet.

## Naturtyper, rödlistade/hotade arter, nyckelarter samt representation i ERICA

Naturtyp	Rödlistad/ hotad	Nyckelart	Latinskt namn	Referensorganism i ERICA
Våtmark		Vass	Phragmites australis	Kärlväxt
Våtmark		Vitmossor	Sphagnum sp.	Mossa
Våtmark		Klibbal	Alnus glutinosa	Träd
Våtmark		Gran	Picea abies	Träd
Våtmark		Tall	Pinus silvestris	Träd
Våtmark	Trana		Grus grus	Fågel
Skog		Klibbticka	Fomitopsis pinicola	Ryggradslös markfauna
Skog		Spillkråka	Dryocopus martius	Fågel
Skog		Daggmask	Lumbricus sp.	–
Skog		Glasbjörk	Betula	Träd
Skog		Gran	Picea abies	Träd
Skog		Tall	Pinus sylvestris	Träd
Skog	Trana		Grus grus	Fågel
Skog	Orre		Tetrao tetrix	Fågel
Skog	Mindre flugsnappare		Ficedula parva	Fågel
Skog	Nattskärva		Caprimulgus europaeus	Fågel
Skog	Sparvuggla		Glaucidium passerinum	Fågel
Skog	Bivråk		Pernis apivorus	Fågel
Skog	Fransfladdermus		Myotis nattereri	Litet däggdjur
Skog	Luddticka		Inonotus tomentosus	–
Jordbruksmark		Ek	Quercus robur	Träd
Jordbruksmark		Boskap		Stort däggdjur
Jordbruksmark		Daggmask	Lumbricus sp	Ryggradslös markfauna
Jordbruksmark	Trana		Grus grus	Fågel
Jordbruksmark	Törnskata		Lanius collurio	Fågel
Jordbruksmark	Göktyta		Jynx torquilla	Fågel
Jordbruksmark	Mindre hackspett		Dendrocopos minor	Fågel
Jordbruksmark	Trollfladdermus		Pipistrellus pygmaeus	Litet däggdjur
Jordbruksmark	Almlav		Gyalecta ulmi	Lav
Jordbruksmark	Rosa skärelav		Schismatomma pericleum	Lav
Öppet hav/havsvik/skärgård	Raggstråfse (kransalg)		Chara horrida	Makroalger
Öppet hav/havsvik/skärgård	Knubbsäl (östersjöbestånd)		Phoca vitulina (östersjö)	Marint däggdjur
Öppet hav/havsvik/skärgård	Lake		Lota lota	Marin pelagisk fisk
Öppet hav/havsvik/skärgård	Vimma		Vimba vimba	Marin pelagisk fisk
Öppet hav/havsvik/skärgård	Fyrtömmad skärlånga		Enchelyopus cimbrius	Marin bentisk fisk
Öppet hav/havsvik/skärgård	Sjorygg (Stenbit resp. Kvabbsö)		Cyclopterus lumpus	Marin pelagisk fisk
Öppet hav/havsvik/skärgård	Tånglake		Zoarces viviparus	Marin pelagisk fisk
Öppet hav/havsvik/skärgård	Ål		Anguilla anguilla	Marin pelagisk fisk
Öppet hav/havsvik/skärgård	Alfågel (övervintrande population)		Clangula hyemalis (wintering)	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Bergand		Aythya marila	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Svärta		Melanitta fusca	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Ejder		Somateria mollissima	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Kentsk tärna		Sterna sandvicensis	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Småtärna		Sternula albifrons	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Tobisgrissla		Cephus grylle	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Svarthakedopping		Podiceps auritus	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Gråtrut		Larus argentatus	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Skräntärna		Hydroprogne caspia	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Havsörn		Haliaeetus albicilla	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård	Silltrut		Larus fuscus	Marin fågel (vadare)
Öppet hav/havsvik/skärgård		Blåstång	Fucus vesiculosus	Makroalg (brunalg)
Öppet hav/havsvik/skärgård		Blåmussla	Mytilus edulis	Bentisk mollusk
Öppet hav/havsvik/skärgård		Strömming	Clupea harengus	Marin pelagisk fisk
Sjö/Vattendrag		Vass	Phragmites australis	Kärlväxt
Sjö		Fytoplankton	Gonyostomum semen	Fytoplankton (sötvatten)
Sjö		Mygglarv	Chaoborus flavicans	Insektslarv
Sjö/Vattendrag		Mört	Rutilus rutilus	Pelagisk fisk (sötvatten)
Vattendrag		Fåborstmask	Oligochaeta	–
Vattendrag	Flodkräfta		Astacus astacus	Kräftdjur
Vattendrag	Lake		Lota lota	Pelagisk fisk (sötvatten)

## Terrestra naturtyper – modellbeskrivning och parametervärden

En modell för omsättning av radionuklider för ekosystemet jordbruksmark hämtades från /Bergström et al. 2001/. Denna utnyttjades för samtliga terrestra naturtyper, dvs även för våtmark och skog. En skiss av modellstrukturen redovisas i figur B5-1. I texten som följer beskrivs först omsättningen av radionuklider i markmodellen, därefter de olika överföringskoefficienterna (T1–T5, i figur B5-1), och slutligen presenteras parametervärdena för modellen (tabellerna B5-1 och B5-2).

### Omsättning av radionuklider

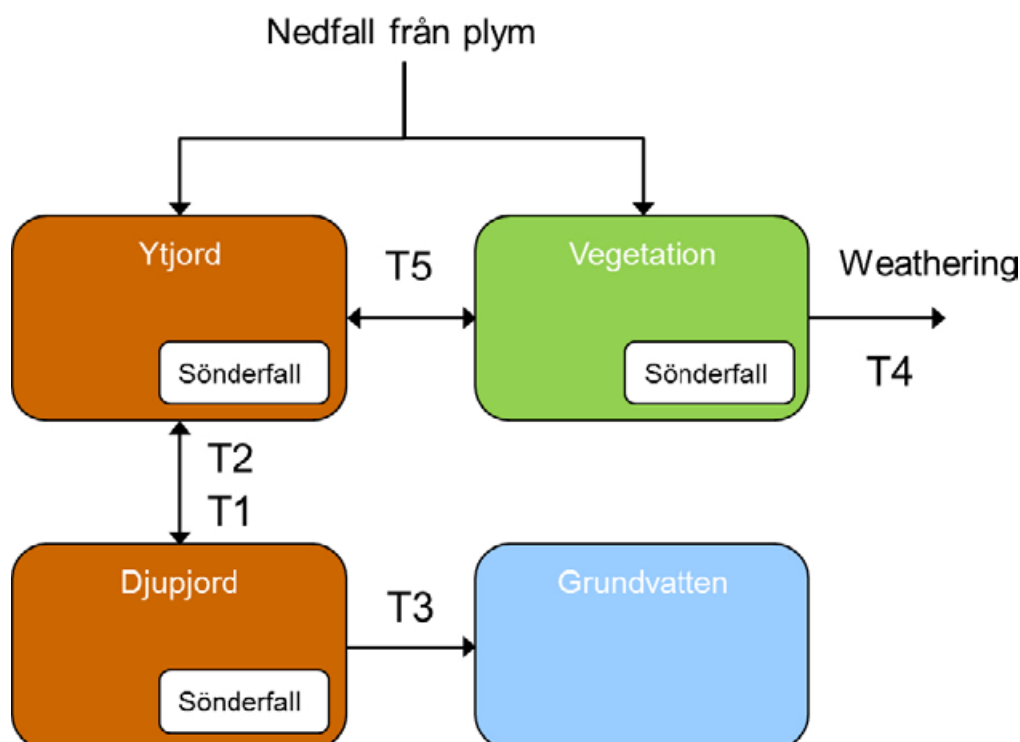
Transportprocesserna mellan respektive lager samt utförelse beskrivs av tre kopplade första ordningens differentialekvationer, där koncentrationen av en nuklid i respektive lager betecknas med  $y$  (Bq/kg torr-vikt). Indexen  $up$ ,  $mid$  respektive  $v$  står för ytjord-, djupjord- respektive vegetationslager. Vänsterledet uttrycker förändringen per tidssteg.

$$y'_{up} = -y_{up} \cdot \lambda - y_{up} \cdot TC_{up \rightarrow mid} + y_{mid} \cdot TC_{mid \rightarrow up} - (y_{up} \cdot f(RUF) - y_v)$$

$$y'_{mid} = -y_{mid} \cdot \lambda - y_{mid} \cdot TC_{up \rightarrow mid} + y_{up} \cdot TC_{up \rightarrow mid} - y_{mid} \cdot TC_{mid \rightarrow ut}$$

$$y'_v = -y_v \cdot \lambda + (y_{up} \cdot f(RUF) - y_v) - y_v \cdot TC_{v \rightarrow ut}$$

Den första termen i högerledet uttrycker radioaktivt sönderfall. Parametern  $\lambda$  är sönderfallskonstanten ( $\ln 2/T_{halv}$ ,  $\text{år}^{-1}$ ),  $RUF$  är rotupptagsfaktorn (-) och  $TC$  ( $\text{år}^{-1}$ ) är de olika överföringskoefficienterna (se stycket som följer). Beräkningarna utfördes med mjukvaran Ecolego från Facilia AB.



**Figur B5-1.** Modell för omsättning av radionuklider för terrestra naturtyper. Modellen omfattar ytjord ( $up$ ), djupjord ( $mid$ ), vegetation ( $v$ ) samt grundvatten (i figuren presenteras vilka överföringskoefficienter (T1–T5) som använts. T1 beskriver överföringen mellan olika jordlager, T2 beskriver omblandning via bioturbation, T3 beskriver överföringen ifrån djupjord till grundvatten, T4 beskriver bortförelsen av aktivitet ifrån vegetationen och T5 beskriver fördelningen av aktivitet mellan ytjorden och vegetation.

## Beräkning av överföringskoefficienter (TC)

### Överföring mellan olika jordlager

Överföringskoefficienten mellan de olika jordlagren (T1) (ytjorden (up) och den underliggande djupjorden (mid)) beskrivs i markmodellen med följande uttryck:

$$T1: \quad TC = \frac{R}{\phi_{up} \cdot d_{up}} \cdot Ret_{up} + \frac{BioT}{(1 - \phi_{up}) \cdot \rho \cdot d_{up}}$$

där

$R$  är avrinning [ $m^3/(m^2 \cdot \text{år})$ ],

$\phi_{up}$  är porositet för ytjordlagret [ $m^3/m^3$ ],

$d_{up}$  är ytjordlagrets djup [m],

$Ret_{up}$  är retention (se nedan) [-],

$BioT$  är bioturbation (jordtransport via bl a maskar) [ $kg/(m^2 \cdot \text{år})$ ],

$\rho$  är jordpartiklars densitet [ $kg/m^3$ ].

Konservativt antas att alla porer i jorden är vattenfyllda, vilket ger en överskattning av mängden vatten i jorden och därmed en underskattning av transporten nedåt.

Ett uttryck för retentionen ( $Ret_{up}$ ) ges av /Andersson et al. 1982/:

$$Ret_{up} = \frac{1}{1 + K_d \cdot \rho \cdot \frac{1 - \phi_{up}}{\phi_{up}}}$$

Platsspecifika avrinningsvärden utnyttjades. Detta ger en bättre beskrivning än modeller med permeabilitet, eftersom i medeltal över flera år anses vattenmängden i jorden vara konstant vilket leder till att infiltrerande vattenmängd avrinner varje år. Hydrologiska studier har visat att avrinningen i stort sett består av grundvatten /Bergström et al. 2001/.

### Bioturbation

En viktig process för transporten mellan djupjorden och ytlagret är bioturbation, dvs omblandning utförd av organismer som lever i jorden. För detta är maskar den viktigaste organismgruppen /Müller-Lemans och van Dorp 1996/. För att inkludera detta har överföringskoefficienten (T2) från djupjord till ytjordlager använts:

$$T2: \quad \frac{BioT}{(1 - \phi_{mid}) \cdot \rho \cdot d_{mid}}$$

där

$d_{mid}$  är  $d_{tot} - d_{up}$ ,

$d_{tot}$  är djupet av de två jordlagren, ytjordlagret ( $d_{up}$ ) och den underliggande djupjorden ( $d_{mid}$ ) (m).

### Överföring mellan djupjord och grundvatten

Överföringen av radionuklider från djupjorden till grundvatten beskrivs med hjälp av nedanstående ekvation :

$$T3: \quad TC = \frac{R}{\phi_{up} \cdot d_{mid}} Ret_{mid}$$

där  $Ret_{mid}$  beräknas med porositeten för djupjorden på samma sätt som ovan.

### Överföringar till och från vegetation

I markmodellen tillförs vegetationen radionuklider via deposition (nedfall ifrån plym) och rotupptag. En del av dessa radionuklider förs även bort ifrån vegetationen via olika processer, se nedan.

## Bortförel av radionuklider från vegetation

Modellen räknar med en initial kvarhållning av de deponerade radionukliderna på vegetationsytor samt överföring av radionuklider från det övre jordlagret till vegetationen via rotupptag. Den initiala kvarhållningen minskar pga påverkan från vind och regn. Biomassan växer till och betas av. De processer som på så sätt leder till minskningen av halten beskrivs med en sammanslagen parameter som kallas "weathering". Överföringskoefficienten (T4) som beskriver denna bortförel ifrån vegetationen beskrivs enligt (notera att ettorna har enheten dag<sup>-1</sup> och TC anges i år<sup>-1</sup>):

$$T4: \quad TC = 1 - (1 - \text{weathering})^{365}$$

## Överföring mellan ytjord och vegetation

Rotupptaget beskrivs i modellen med hjälp av ämnesspecifika rotupptagsfaktorer. Dessa beskriver fördelningen av varje ämne mellan vegetation (index v) och ytjord (index up) när jämvikt råder:

$$RUF = \frac{c_v}{c_{up}}$$

där

$c_v$  är koncentration av ämnet i vegetationen,  
 $c_{up}$  är koncentration av ämnet i torr (yt)jord.

Denna fördelning används för att beskriva transporten mellan ytjorden och vegetationen i modellen genom att föra över nuklider så att jämvikt erhålls. På motsvarande sätt hanteras fördelningen av nedfallet på de två lagren (vegetationen och ytjorden). Fördelningen mellan vegetationen och ytjorden anges med:

$$T5: \quad f(RUF) = RUF \frac{m_v}{\rho d_{up}}$$

där

$m_v$  är biomassan per areaenhet för naturtypen (kg/m<sup>2</sup>).

Rotupptagsfaktorernas värden beror på växtart, jordtyp samt ämnesspecifika egenskaper /IAEA 1983/. Dessutom påverkar bearbetningsmetoder, t ex plöjning och gödsling rotupptaget /IAEA 1994/. Data finns för olika slags grödor och för de flesta ämnen. I vissa fall kan dock spridningen på värdet för rotupptag för samma element var stort /IUR 1984/. Rotupptagsfaktorerna är inverterat korrelerade med fördelningsfaktorn för jord ( $K_d$ -värden) i beräkningarna eftersom en hög sorption reducerar biotillgängligheten. Alla värden på rotupptagsfaktorer är hämtade från /Karlsson och Aquilonius 2001/. Biomassavärdena för vall är hämtade ifrån /Aquilonius 2001/ och för skog och våtmark ifrån /Löfgren 2010/.

## Parametervärden

Icke ämnesberoende parametervärden redovisas i tabell B5-1, och de ämnesspecifika i tabell B5-2. Förklaring av parametrar finns i texten ovan.

Tillgång till platsspecifika data var inte fullständig, varför generiska värden användes för  $K_d$ , rotupptagsfaktor, bioturbation samt weathering. I övrigt utnyttjades platsspecifika värden.

Ämnesspecifika  $K_d$ -värden hämtades från /Karlsson och Aquilonius 2001/ och användes för båda jordlagren i alla områden.

Rotupptagningsfaktorer kom även de ifrån /Karlsson och Aquilonius 2001/. Sådana värden beror på den platsspecifika vegetationen, så för att få någorlunda generella värden användes de angivna för gräs. Då våtmark har en annorlunda växtlighet hittades inga lämpliga parametrar varför rotupptagsfaktorn sattes till 0. Detta ger ett konservativt värde för ytjorden, eftersom en bortförelprocess inte används.

Bioturbation samt weathering hämtades från /Bergström et al. 2001/ och är generiska värden. För weathering påverkar storleken på värdet inte resultatet nämnvärt då processen är så pass snabb att den under året helt för bort återstående nuklider från vegetationen. Även här användes samma värde för alla områden.

Tjockleken på jordlagren är satta till generiska värden baserade på /Bergström et al. 2001/, med undantag för skog där platsspecifikt värde finns angivet i /SKB 2006/.

Värden för densiteter, porositeter samt avrinning baseras på värden använda i SR-Site /Löfgren 2010/.

Värden för biomassa baseras på /Löfgren 2008/ och /Nordén et al. 2008/.

**Tabell B5-1. Elementoberoende parametervärden för terrestra naturtyper. Index dw anger torrsvikt. Bioturbation samt weathering hämtades från /Bergström et al. 2001/. För skog används weathering-värde från /SKB 2006/.Tjockleken på jordlagren är generiska värden baserade på /Bergström et al. 2001/, med undantag för skog där platsspecifikt värde hämtats ifrån /SKB 2006/.Värden för densiteter, porositeter samt avrinning är baserade på värden använda i SR-Site /Löfgren 2010/. Värden för biomassa baseras på /Löfgren 2008/ och /Nordén et al. 2008/.**

	Odlingslandskap	Våtmark	Skog
$R$ (m/år)	0,17	0,17	0,154
$d_{up}$ (m)	0,3	0,3	0,29
$d_{mid}$ (m)	0,7	0,7	0,71
$\phi_{up}$	0,81	0,89	0,83
$\phi_{mid}$	0,9	0,9	0,87
$\rho_{up\ bulk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	323	86	257
$\rho_{mid\ bulk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	181	181	287
$BioT$ (kg/(m <sup>2</sup> · år))	2	2	2
$m_v$ (kg dw/m <sup>2</sup> )	0,50	20	4,4
$weathering$ (dag <sup>-1</sup> )	0,046	0,046	0,7

**Tabell B5-2. Ämnesspecifika parametervärden för terrestra naturtyper ifrån /Karlsson och Aquilonius 2001/.**

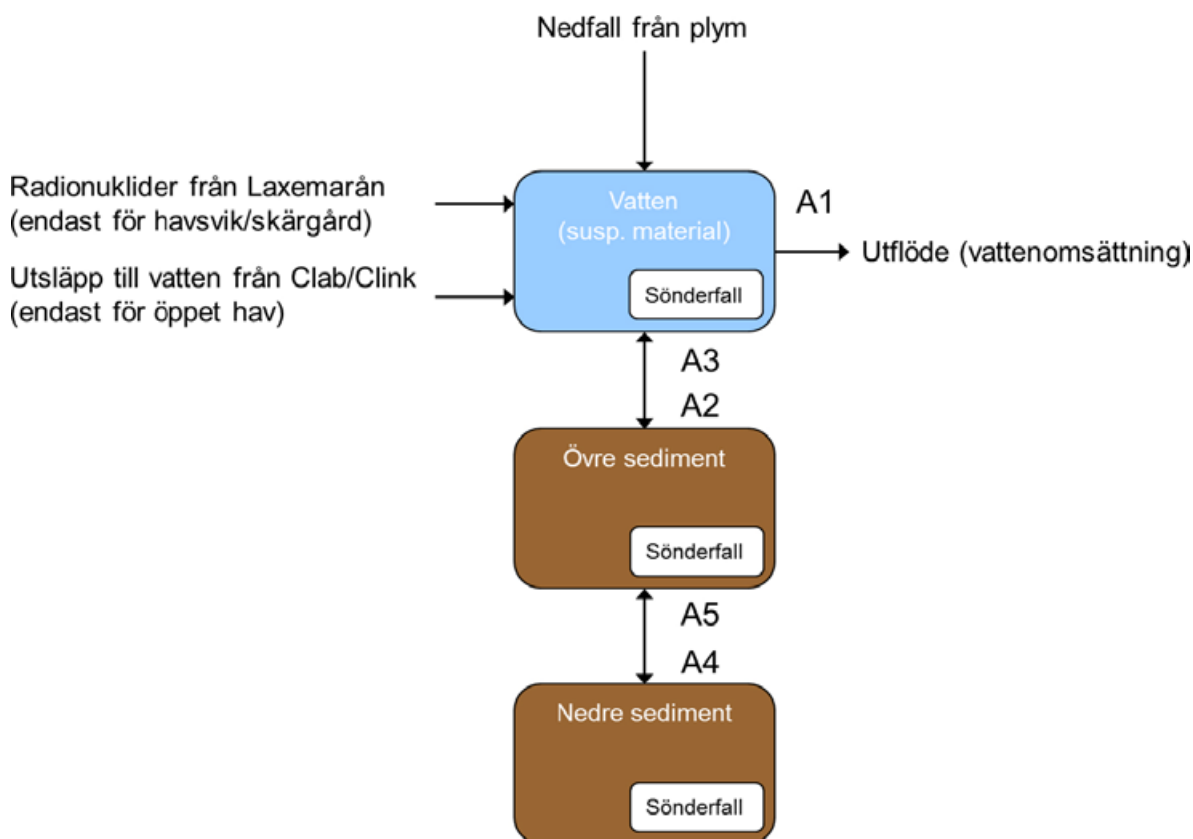
	$K_d$ för jord (m <sup>3</sup> /kg dw)	$RUF$ gräs (för odlingslandskap och skog)
Mn-54	50	0,7
Fe-55	10	0,003
Co-58	1	0,1
Co-60	1	0,1
Ni-59	0,5	0,2
Ni-63	0,5	0,2
Kr-85	0	0
Sr-90	0,01	1
Nb-95	0,5	0,005
Ag-108m	0,1	0,5
Ag-110m	0,1	0,5
Sb-125	5	0,1
I-129	0,3	0,6
Cs-134	1	0,2
Cs-137	1	0,2
Pu-238	5	0,0004
Pu-239	5	0,0004
Pu-240	5	0,0004
Pu-241	5	0,0004
Am-241	2	0,001
Am-243	2	0,001
Cm-242	10	0,001
Cm-244	10	0,001

## Akvatiska naturtyper – modellbeskrivning och parametervärden

Modellerna för vattenobjekten är i stort sett gemensamma, utom för vattendrag. Detta beror på att Laxemarån har ett mycket stort avrinningsområde, och en uppdelning av detta i mindre delar gjordes för att i modellen representera hur radionuklider fördröjs på sin väg mot Laxemaråns huvudfåra. Bilagan redovisar 2 vattenmodeller; en som är gemensam för sjö, grund vik och öppet hav (och Laxemaråns huvudfåra) samt en för vattendraget Laxemaråns avrinningsområde. En schematisk skiss av vattenmodellen presenteras i figur B6-1 och för vattendragsmodellerna i figurerna B6-2 och B6-3.

### Vattenmodell – sjö, grund vik, skärgård och öppet hav

I texten som följer beskrivs först omsättningen av radionuklider i modellen, därefter de olika överföringskoefficienterna (A1–A5, i figur B6-1), och slutligen presenteras parameternamn, benämningar och värden för parametrar använda i modellen (tabellerna B6-1 och B6-2). Elementspecifika parametervärden presenteras i tabell B6-3. För parametrar hämtade ifrån SR-Site redovisas även parameterbeteckningarna i SR-Site /Andersson 2010, Aquilonius 2010, Avila et al. 2010/ för att underlätta spårbarheten.



**Figur B6-1.** Vattenmodell för omsättning av radionuklider för naturtyperna sjö, havsvik, skärgård och öppet hav. Överföringar mellan boxarna vatten inklusive suspenderat material (*w*), övre sediment (*ös*) och nedre sediment (*ds*) beskrivs med hjälp av överföringskoefficienter; Utlöde ifrån vattenobjektet (*A1*), koefficient för överföring ifrån vatten till övre sediment (*A2*), koefficient för överföring ifrån övre sediment till vatten (*A3*), koefficient för överföring ifrån övre sediment till nedre sediment (*A4*), och koefficient för överföring ifrån nedre sediment till övre sediment (*A5*).



## Omsättning av radionuklider i sjö, grund vik och hav

Överföringsfunktionerna mellan vattenvolymen och sedimentlagren bygger på en modifierad version av "the radionuclide model for the biosphere used in SR-Site" /Andersson 2010/. Skillnaden är att hänsyn här ej tas till ett ytterligare djupare sedimentlager. Motiveringen är att den underjordiska källterm för nuklider som används i SR-Site inte är relevant i spridningsmodeller för nuklider av ovanjordiskt ursprung. Antagandet innebär dessutom att ingen transport sker mot ytterligare djupare lager, vilket därmed ger konservativa värden för lagren av intresse.

I SR-Site används en specifik parameter för omsättning av vattenvolymen i havet /Aquilonius 2010/ vilken också använts i den här modellen. För sjöar beräknas vattensomsättningstiden i SR-Site för varje tidssteg i radionuklidmodellen med ett antal ingående parametrar, och ingen specifik parameter finns att tillgå. I denna rapport beskrivs dock utflöde för alla vattenobjekt med hjälp av omsättningstiden, som beräknats med hjälp av data ifrån SR-Site /Andersson 2010/.

De olika transportprocesserna mellan respektive box samt utförelse beskrivs av tre kopplade differential-ekvationer:

$$y_w = -y_w \cdot \lambda - y_w \cdot TC_{w \rightarrow \ddot{o}s} + y_{\ddot{o}s} \cdot TC_{\ddot{o}s \rightarrow w} - y_w \cdot TC_{w \rightarrow ut}$$

$$y_{\ddot{o}s}' = -y_{\ddot{o}s} \cdot \lambda - y_{\ddot{o}s} \cdot TC_w + y_w \cdot TC_{w \rightarrow \ddot{o}s} - y_{\ddot{o}s} \cdot TC_{\ddot{o}s \rightarrow ds} + y_{ds} \cdot TC_{ds \rightarrow \ddot{o}s}$$

$$y_{ds}' = -y_{ds} \cdot \lambda - y_{ds} \cdot TC_{ds \rightarrow \ddot{o}s} + y_{\ddot{o}s} \cdot TC_{\ddot{o}s \rightarrow ds}$$

där  $y$  är mängden av nukliden (Bq) i respektive box (där indexen  $w$ ,  $\ddot{o}s$  respektive  $ds$  står för vatten (inklusive suspenderat material), övre sediment respektive djupare sediment),  $\lambda$  är sönderfallskonstanten och  $TC$  är de olika överföringskoefficienterna (se nedan). Vänsterledet uttrycker förändringen per tidssteg. Beräkningarna utfördes med mjukvaran Ecolego från Facilia AB.

## Beräkning av överföringskoefficienter

Nedan beskrivs de olika överföringskoefficienterna (A1–A5) matematiskt med en kort förklaring om respektive ingående terms fysikaliska innebörd.

### Utflöde från vatten

Överföringen ut från vatten beskrivs med hjälp av en överföringskoefficient, A1 (år<sup>-1</sup>):

$$A1: \quad TC_{w \rightarrow ut} = \frac{1}{T_{oms}}$$

A1 beskriver utflödet av radionuklider tillsammans med det vatten som lämnar objektets vattenvolymen per tidsenhet med hjälp av vattensomsättningen  $T_{oms}$  i objektet.

### Överföring från vatten till övre sediment

Överföringskoefficienten (A2), beskriver överföringen ifrån vatten ( $w$ ) till det övre sedimentlagret ( $\ddot{o}s$ ), enligt följande uttryck:

$$A2: \quad TC_{w \rightarrow \ddot{o}s} = Sedimentation + Adv\_water\_up$$

Där termerna *Sedimentation* och *Adv\_water\_up*, beskrivs enligt nedan.

*Sedimentation* uttrycks här enligt följande:

$$sedimentation = \frac{G_{sed} K_{d, PM}}{d_w (1 + K_{d, PM} C_{PM})},$$

*Sedimentation* termen beskriver transporten av radionuklider från vattnet till det övre sedimentlagret tillsammans med partiklar i vattnet. Termen beror av sedimentationshastigheten ( $G_{sed}$ ),  $K_{d,}$  (distributionskoefficienten för partikulärt material ( $PM$ )), koncentrationen av suspenderat material ( $C_{PM}$ ), samt medeldjupet hos vattenvolymen ( $d_w$ ).

Termen  $Adv\_water\_up$  uttrycks här enligt:

$$Adv\_water\_up = \frac{A_{sub} R \cdot adv}{A_{obj} d_w (1 + K_{d,PM} C_{PM})}$$

och beskriver transport nedåt av vattenlösta radionuklider via det advektiva vattenflödet, dvs vattnets flöde i sedimentet. Den beror av ytan av vattenobjektets avrinningsområde ( $A_{sub}$ ), medelavrinnings-hastigheten från ytvattnet till vattenvolymen ( $R$ ), parametern  $adv$  som relaterar grundvattenflöde med yta av avrinningsområde, vattenvolymens yta ( $A_{obj}$ ), vattendjupet, fördelningskoefficienten samt partikelkoncentrationen.

I flera fall är vattenomsättningen såväl som sedimentationen så pass snabba processer att de sker på en tidsskala kortare än år. I sådana fall viktas de två överföringskoefficienterna ( $A1$  och  $A2$ ) mot varandra för att ge rätt proportioner mellan överföringarna.

### Överföring från övre sediment till vatten

Överföringen ifrån de övre sedimentet ( $\bar{o}$ ) till vatten ( $w$ ) uttrycks här med följande överföringskoefficient ( $A3$ ):

$$A3: \quad TC_{\bar{o} \rightarrow w} = Adv\_up\_water + Resuspension + Diff\_up\_water$$

Där termerna  $Adv\_up\_water$ ,  $Resuspension$  och  $Diff\_up\_water$ , beskrivs enligt nedan.

$Adv\_up\_water$  uttrycks här enligt:

$$Adv\_up\_water = \frac{A_{sub} R \cdot adv}{A_{obj} d_{\bar{o}} \phi_{\bar{o}} (1 + K_{d,\bar{o}} \frac{\rho_{\bar{o}}}{\phi_{\bar{o}}})}$$

$Adv\_up\_water$  beskriver transport uppåt ifrån de övre sedimentet till vattnet av vattenlösliga radionuklider tillsammans med vattnet. Den beror av ytan av vattenobjektets avrinningsområde ( $A_{sub}$ ), medelavrinningshastigheten till vattenvolymen ( $R$ ), parametern  $adv$  som relaterar grundvattenflöde med ytan av avrinningsområdet, vattenvolymens yta ( $A_{obj}$ ), tjockleken för det övre sedimentlagret ( $d_{\bar{o}}$ ), porositeteten för det övre sedimentlagret ( $\phi_{\bar{o}}$ ), distributionskoefficienten för det övre sedimentlagret ( $K_{d,\bar{o}}$ ), tjocklek ( $d_{\bar{o}}$ ), samt densiteten ( $\rho_{\bar{o}}$ ).

$Resuspension$  uttrycks här enligt följande:

$$Resuspension = \frac{G_{res} K_{d,\bar{o}}}{d_{\bar{o}} \phi_{\bar{o}} \left( 1 + K_{d,\bar{o}} \frac{\rho_{\bar{o}}}{\phi_{\bar{o}}} \right)}$$

$Resuspension$  termen beskriver återförandet av partikelbundna radionuklider från det övre sedimentlagret till vattnet. Den beror av resuspensionshastigheten ( $G_{res}$ ) samt det övre sedimentlagrets fördelningskoefficient ( $K_{d,\bar{o}}$ ), det övre sedimentlagrets porositet ( $\phi_{\bar{o}}$ ), tjocklek ( $d_{\bar{o}}$ ) respektive densitet ( $\rho_{\bar{o}}$ ).

Diffusionen av radionuklider från det övre sedimentlagret till vattnet uttrycks här enligt:

$$Diff\_up\_water = \frac{2D}{d_{\bar{o}}^2 \left( 1 + K_{d,\bar{o}} \frac{\rho_{\bar{o}}}{\phi_{\bar{o}}} \right)}$$

Termen  $Diff\_up\_water$  beskriver diffusion av nuklider från det övre sedimentlagret till vattnet. Den beror av diffusivitetskoefficienten ( $D$ ), det övre sedimentlagrets fördelningskoefficient ( $K_{d,\bar{o}}$ ), porositet ( $\phi_{\bar{o}}$ ), tjocklek ( $d_{\bar{o}}$ ), respektive densitet ( $\rho_{\bar{o}}$ ).

## Överföring från övre sediment till nedre sediment

Överföringskoefficienten (A4) beskriver överföringen av radionuklider från det övre sedimentlagret ( $\bar{o}s$ ) till det nedre sedimentlagret ( $ns$ ) och uttrycks här enligt följande:

$$A4: TC_{\bar{o}s \rightarrow ns} = Lake\_Adv\_up\_mid + NedSed$$

Där termerna  $Lake\_Adv\_up\_mid$  och  $NedSed$  beskrivs enligt nedan.

$Lake\_adv\_up\_mid$  uttrycks här enligt:

$$Lake\_Adv\_up\_mid = \frac{A_{sub} R \cdot adv}{A_{obj} d_{\bar{o}s} \phi_{\bar{o}s} \left( 1 + K_{d,\bar{o}s} \frac{\rho_{\bar{o}s}}{\phi_{\bar{o}s}} \right)}$$

$Lake\_adv\_up\_mid$  beskriver transporten av nuklider från det övre sedimentlagret till det djupare med det advektiva vattenflödet. Den beror av ytan av vattenobjektets avrinningsområde ( $A_{sub}$ ), medelavrinningshastigheten till vattenvolymen ( $R$ ), parametern  $adv$  som relaterar grundvattenflöde med yta av avrinningsområde, vattenvolymens yta ( $A_{obj}$ ), samt det övre sedimentlagrets fördelningskoefficient ( $K_{d,\bar{o}s}$ ), porositet ( $\Phi_{\bar{o}s}$ ), tjocklek ( $d_{\bar{o}s}$ ), respektive densitet ( $\rho_{\bar{o}s}$ ).

$NedSed$  uttrycks här enligt:

$$NedSed = \frac{v_{sed} \cdot (v_{sed} \geq 0)}{d_{\bar{o}s}}$$

$NedSed$  beskriver transporten av radionuklider nedåt på grund av tillväxt av sedimentlagret (och därmed transporten av de tidigare ytliga delarna till djupare delar). Den beror av den årliga sedimenttillväxthastigheten ( $v_{sed}$ ) samt det övre sedimentlagrets tjocklek ( $d_{\bar{o}s}$ ).

Till skillnad från modellen för de terrestra objekten tas ej explicit hänsyn till bioturbation i sediment. Hänsyn till effekten har dock inkluderats implicit som en modifikation vid beräkning av tjocklek av sedimentlager.

## Överföring från nedre sediment till övre sediment

Överföringskoefficienten (A5) beskriver överföringen av radionuklider från det nedre sedimentet ( $ns$ ) till det övre sedimentet ( $\bar{o}s$ ) och uttrycks här enligt följande:

$$A5: TC_{ns \rightarrow \bar{o}s} = Lake\_Diff\_mid\_up + Lake\_Adv\_mid\_up + UpSed$$

Där termerna  $Lake\_Diff\_mid\_up$ ,  $Lake\_Adv\_mid\_up$  och  $UpSed$  beskrivs enligt nedan.

Termen  $Lake\_diff\_mid\_up$  uttrycks här enligt:

$$Lake\_Diff\_mid\_up = \frac{2D}{d_{ns}^2 \left( 1 + K_{d,ns} \frac{\rho_{ns}}{\phi_{ns}} \right)}$$

beskriver diffusion av nuklider från det djupare sedimentlagret till det övre sedimentlagret. Den beror av diffusivetskoefficienten ( $D$ ), det nedre sedimentlagrets tjocklek ( $d_{ns}$ ), dess fördelningskoefficient ( $K_{d,ns}$ ), porositet ( $\Phi_{ns}$ ), tjocklek ( $d_{ns}$ ), respektive densitet ( $\rho_{ns}$ ).

Termen  $Lake\_Adv\_mid\_up$  uttrycks här enligt:

$$Lake\_Adv\_mid\_up = \frac{A_{sub} R \cdot adv}{A_{obj} d_{ns} \phi_{ns} \left( 1 + K_{d,ns} \frac{\rho_{ns}}{\phi_{ns}} \right)}$$

beskriver transporten av nuklider från det djupare sedimentlagret till det övre med det advektiva vattenflödet. Den beror av ytan av vattenobjektets avrinningsområde ( $A_{sub}$ ), medelavrinnings-hastigheten till vattenvolymen ( $R$ ), parametern  $adv$  som relaterar grundvattenflöde med yta av avrinningsområde, vattenvolymens yta ( $A_{obj}$ ), samt det nedre sedimentlagrets tjocklek ( $d_{ns}$ ), dess fördelningskoefficient ( $K_{d,ns}$ ), porositet ( $\phi_{ns}$ ), tjockleken ( $d_{ns}$ ), respektive densitet ( $\rho_{ns}$ ).

Termen  $UpSed$  uttrycks här enligt:

$$UpSed = \frac{-v_{sed} (v_{sed} \leq 0)}{d_{ns}}$$

$UpSed$  beskriver transporten uppåt av nuklider från det nedre sedimentlagret ( $ns$ ) till det övre ( $ös$ ) i de fall då sedimenttillväxthastigheten är negativ (dvs sedimentlagrets tjocklek minskar). Den beror av sedimenttillväxthastigheten ( $v_{sed}$ ) och det djupare sedimentlagrets tjocklek ( $d_{ns}$ ).

## Parametervärden

I tabell B6-1 presenteras benämningar och innebörd av parametrar använda i denna rapport. I de fall där parametrar hämtats direkt ifrån SR-Site presenteras även motsvarande benämningar i SR-Site. I tabell B6-2 presenteras värden för de använda parametrarna som inte är elementspecifika och i tabell B6-3 de elementspecifika.

För de akvatiska objekten finns flertalet parametrar angivna med platsspecifika värden. Vattenvolymer, omsättningstider, avrinningsytor etc baseras för sjön på /Andersson 2010/ och för havet på /Aquilonius 2010/.

Generiska värden har använts för  $K_d$ , där jord-värden använts även för sediment.  $K_d$ -värden finns listade för vattenburna partiklar i såväl sött som salt vatten i /Karlsson och Aquilonius 2001/. För sötvatten har platsspecifika  $K_d$ -värden för sediment använts för Ag, Am, Cm, Cs, I, Ni och Pu. Dessa finns tabulerade i /Nordén et al. 2010/.

Diffusivitetskoefficienter hämtades från /Liu et al. 2006/.

För respektive zon av Laxemarån används värden för huvudfåran, med undantag av areaparametrar som beräknas baserat på en femtedel av hela avrinningsområdet och en vattenyta på 5% av den totala ytan, samt medeldjup och vattenomsättning som baseras på nederbörden över ytan och den specifika avrinningen. Nederbörden antogs vara 530 mm/år medan den specifika avrinningen baseras på /Bosson et al. 2009, Werner 2009/.

**Tabell B6-1. Parameterbenämningar i dessa beräkningar och motsvarande parameternamn i SR-Site, samt enheter ( $d_w$  betecknar torrsvikt).**

Parameter använd i beräkningar	Parameterbenämning i SR-Site	Innebörd	Enhet
$A_{sub}$	area_subcatch	Area av avrinningsområdet för det akvatiska objektet, minus avrinningsområdet för inflödande vattendrag.	$m^2$
$adv$	Aqu_adv_mid_up_norm	Advektivt flöde i ett akvatiskt objekt, mellan sediment och vatten, normaliserat till det laterala nettoflödet ifrån våtmark till vattendrag eller sjö. Dvs en parameter som relaterar grundvattenflödet till ytan av avrinningsområdet.	Enhetslös
$A_{obj}$	Aqu_area_obj	Vattenvolymens yta.	$m^2$
$C_{PM}$	Aqu_conc_PM	Koncentration partikulärt material i vattnet (suspenderat).	$kg/m^3$
$\rho_{ns}$	Aqu_dens_regoMid	Densitet (bulk) av glacial lera i mellanlagret av sedimentet (i SR-Site, vilket här motsvarar det djupaste).	$kg/m^3$
$\rho_{ös}$	Aqu_dens_regoUp	Densitet (bulk) av det övre sedimentlagret.	$kg/m^3$
$K_{d, ns}$	Sea/Lake_kD_regoMid	Fördelningskoefficient som anger förhållandet mellan mängd av ämnet som är löst i vatten och mängd bundet till fast material i sedimentlagret under det övre (rego_Up).	$m^3 kg^{-1} dw$
$K_{d, ös}$	Sea/Lake_kD_regoUp	Fördelningskoefficient som anger förhållandet mellan mängd av ämnet som är löst i vatten och mängd bundet till fast material i det övre sedimentlagret.	$m^3 kg^{-1} dw$
$\Phi_{ns}$	Aqu_poro_regoMid	Porositet hos de mellersta sedimentlagret (i SR-Site, vilket här motsvarar det djupaste) i akvatiska sediment.	Enhetslös
$\Phi_{ös}$	Aqu_poro_regoUp	Porositet övre sedimentlagret i akvatiska objekt.	Enhetslös
$d_{ns}$	Aqu_z_regoMid	Skiktjocklek på det mellersta sedimentlagret (i SR-Site, vilket här motsvarar det djupaste) i akvatiska sediment.	m
$d_{ös}$	Aqu_z_regoUp	Skiktjocklek övre sedimentlagret i akvatiska objekt.	m
$d_w$	depth_aver	Medeldjup för vattenvolymen.	m
$D$	diffcoef	Diffusivitetskoefficient.	$m^2/år$
$f_{mire}$	fract_Mire	Andel av advektivt flöde från djupare sediment som går till våtmark.	Enhetslös
$v_{sed}$	growth_rego	Medeltillväxthastighet av sediment i sjöar och hav.	$m/år$
$K_{d, PM}$	kD_PM	Fördelningskoefficient som anger förhållandet mellan mängd av ämnet som är löst i vatten och mängd bundet till fast suspenderat material i vattenvolymen.	$m^3 kg^{-1} dw$
$G_{res}$	res_rate	Resuspensionshastighet, dvs hastighet varmed bottenreponerat material återförs till vattnet.	$kg dw m^{-2} år^{-1}$
$R$	runoff	Medelavrinningshastighet från ytvatten till vattenvolym.	$m/år$
$G_{sed}$	sed_rate	Årlig mängd partiklar som ackumuleras på sjö- eller havsbotten.	$kg dw m^{-2} år^{-1}$
$T_{oms}$	wat_ret (för havsobjekt)	Medelomsättningstid för vattenvolymen.	år

**Tabell B6-2. Parametervärden för vattenobjekt. Platsspecifika data hämtades för vattendrag och sjö (lake) ifrån /Andersson 2010/ och för hav (sea) ifrån /Aquilonijs 2010/. Nederbörden antogs vara 530 mm/år medan den specifika avrinningen baseras på /Bosson et al. 2009, Werner 2009/.**

Parameter	Sjö	Vattendrag, huvudfåra	Vattendrag, zon i avrinningsområdet	Havsvik/skärgård	Öppet hav
$A_{sub} (m^2)$	523 197	17 955	8 200 000	3 946 965	4 447 243
$R (m/år)$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
$d_{ös} (m)$	0,0527	0,0527	0,0527	0,1	0,1
$d_{ns} (m)$	1,32	0,73	0,73	1,32	0,99
$\rho_{ös} (kg/m^3)$	96	96	96	96	96
$\rho_{ns} (kg/m^3)$	181	181	181	181	181
$\Phi_{ös}$	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
$\Phi_{ns}$	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
$A_{obj} (m^2)$	100 000	17 955	416 000	1 400 000	38 000 000
$adv$	0,99	0,99	0,99	0	0

Parameter	Sjö	Vattendrag, huvudfåra	Vattendrag, zon i avrinningsområdet	Havsvik/skärgård	Öppet hav
$C_{PM}$	0,00403	0,00403	0,00403	0,004	0,004
$G_{sed}$	0,072	0,03	0,03	0,03	0,03
$G_{res}$	0,047	0,03	0,03	0,03	0,02
$v_{sed}$	0,0007	0	0	0	0,00006
$f_{mire}$	0,25	0,25	0,25	0	0
$d_w$ (m)	1,99	0,49	0,52	1,71	11,21
$T_{oms}$ (år)	2,27	0,08	2,29	0,03	0,002
Nederbörd (mm/år)	Ej anv.	Ej anv.	530	Ej anv.	Ej anv.
Specifik avrinning (l/s km <sup>2</sup> )	Ej anv.	Ej anv.	7,3	Ej anv.	Ej anv.

**Tabell B6-3. Ämnesspecifika parametervärden för vattenobjekt. Generiska värden har använts för  $K_d$  från /Karlsson och Aquilonius 2001/. För vissa element (Ag, Am, Cm, Cs, I, Ni och Pu) i sötvattensediment användes värden som hämtats ifrån /Nordén et al. 2010/. Diffusivitetskoefficienter hämtades från /Liu et al. 2006/.**

Nuklid	$K_{d, ns}, K_{d, ös}$ sötvatten (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> dw)	$K_{d, ns}, K_{d, ös}$ saltvatten (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> dw)	$K_{d, PM}$ sötvatten (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> dw)	$K_{d, PM}$ saltvatten (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> dw)	Diffusivitets- koefficient (D) (m <sup>2</sup> /år)
H-3	Ej i utsl. t. luft	0,001	Ej i utsl. t. luft	0,001	0,032
Na-22	Ej i utsl. t. luft	80	Ej i utsl. t. luft	0,01	0,0416
Cr-51	Ej i utsl. t. luft	1	Ej i utsl. t. luft	100	0,032
Mn-54	50	50	10	100	0,032
Fe-55	10	10	5	50 000	0,032
Fe-59	Ej i utsl. t. luft	10	Ej i utsl. t. luft	50 000	0,032
Co-57	Ej i utsl. t. luft	1	Ej i utsl. t. luft	100	0,0224
Co-58	1	1	5	100	0,0224
Co-60	1	1	5	100	0,0224
Ni-59	3	0,5	25,55	10	0,02176
Ni-63	3	0,5	25,55	10	0,02176
Zn-65	Ej i utsl. t. luft	10	Ej i utsl. t. luft	20	0,032
Sr-90	0,12	0,01	1,061	0,1	0,02528
Zr-95	Ej i utsl. t. luft	1	Ej i utsl. t. luft	50	0,032
Nb-95	40,31	0,5	232,27	10	0,032
Ru-103	Ej i utsl. t. luft	0,1	Ej i utsl. t. luft	1	0,032
Ag-108m	61,7	0,1	93,48	1	0,0544
Ag-110m	61,7	0,1	93,48	1	0,0544
Sn-117m	Ej i utsl. t. luft	0,1	Ej i utsl. t. luft	50	0,032
Sb-124	Ej i utsl. t. luft	5	Ej i utsl. t. luft	0,1	0,032
Sb-125	5	5	0,1	0,1	0,032
I-129	0,7	0,3	10	0,3	0,02656
Cs-134	25,7	1	96,56	10	0,0672
Cs-136	25,7	1	96,56	10	0,0672
Cs-137	25,7	1	96,56	10	0,0672
La-140	Ej i utsl. t. luft	30	Ej i utsl. t. luft	50	0,032
Ce-144	Ej i utsl. t. luft	10	Ej i utsl. t. luft	1 000	0,032
Pu-238	0,74	5	240	100	0,032
Pu-239	0,74	5	240	100	0,032
Pu-240	0,74	5	240	100	0,032
Pu-241	0,74	5	240	100	0,032
Am-241	2,50	2	120	10	0,032
Am-243	2,50	2	120	10	0,032
Cm-242	9,30	10	5	1 000	0,032
Cm-244	9,30	10	5	1 000	0,032

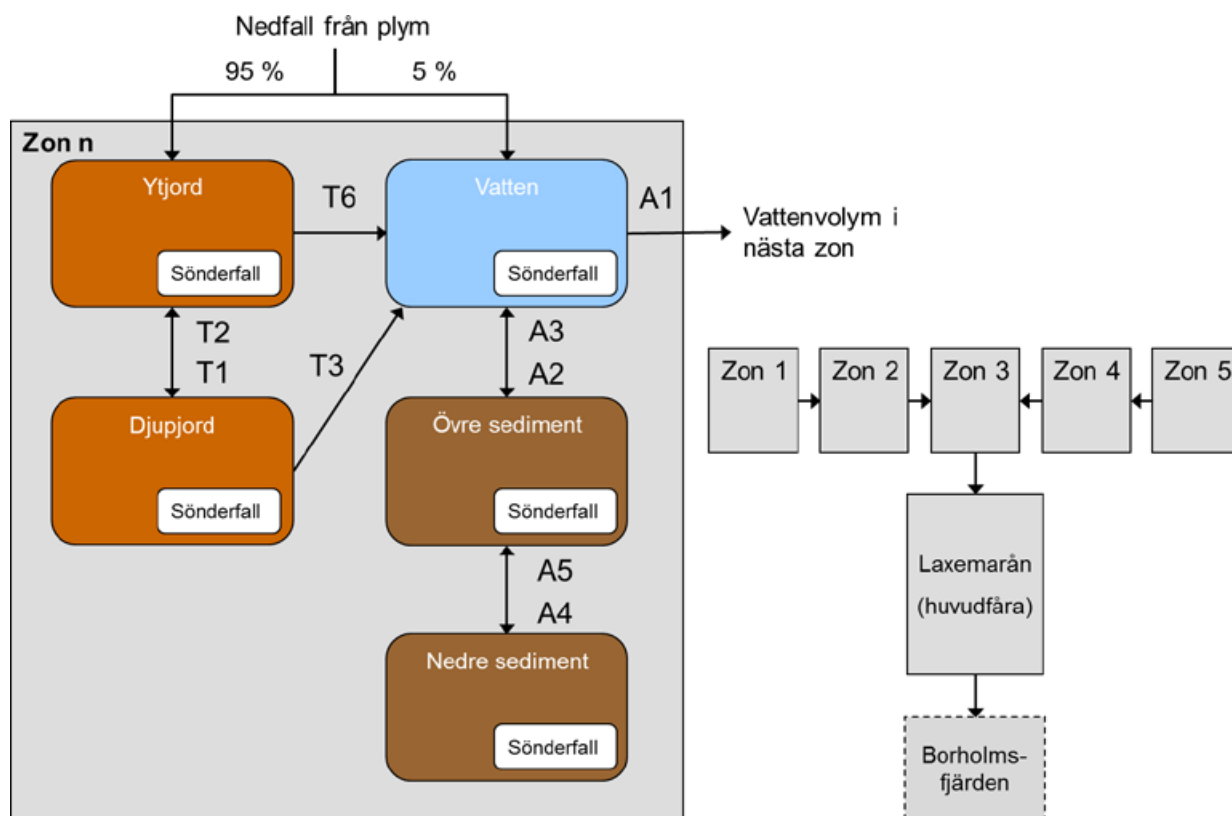
## Vattendragsmodell – Laxemarån

I texten som följer beskrivs först vattendragsmodellens uppbyggnad och de olika överföringskoefficienterna (A1–A5 i figurerna B6-2 och B6-3), därefter omsättningen av radionuklider i modellen. Parameternamn, benämningar och värden använda i modellen presenteras i tabellerna B6-1 och B6-2.

På grund av det stora avrinningsområdet för Laxemarån användes en kombination av mark- och vattenmodellerna för att beräkna omsättningen av radionuklider i avrinningsområdet. Omsättningen av radionuklider i avrinningsområdet modellerades genom att dela in området i zoner med en kopplad vatten- och markmodell för varje zon (figur B6-2). Laxemaråns huvudfåra modellerades på samma sätt som sjö, grund vik, skärgård och öppet hav med sjömodellen (figur B6-3). Beräkningarna utfördes med mjukvaran Ecolego från Facilia AB.

## Modellstruktur – avrinningsområdet

Avrinningsområdet (41,6 km<sup>2</sup>) delades in i fem zoner utöver Laxemarån själv (huvudfåran). Varje zon representeras av en markmodell med en kopplad vattenmodell som beskriver vattenflödet mot Laxemarån, se figur B6-2. Härvid transporteras nuklider till vatten antingen från ytjorden via t ex nederbörd, eller från djupjorden via grundvattenflöde. En bedömning av andelen mark i avrinningsområdet gjordes från figur B4-2, och gav resultatet att ca 5 % av ytan är vatten. Därmed räknades med att 95 % av nedfallet hamnar direkt på markytor (ytjord) och 5 % direkt på vattenytor.

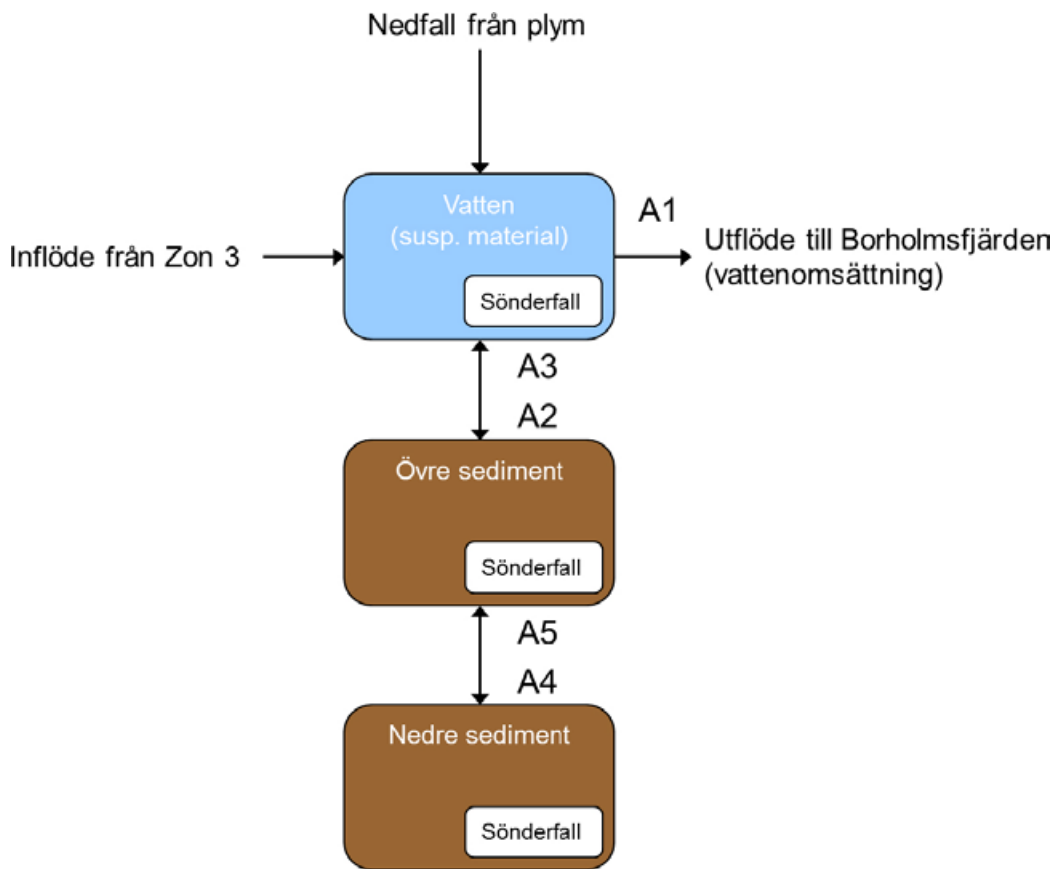


**Figur B6-2.** Laxemaråns avrinningsområde indelas i huvudfåran och fem zoner. Figurens högra del visar modellen för Laxemaråns avrinningsområde, där varje zon representeras av en kopplad mark och vattenmodell enligt den vänstra delen. Överföringar mellan boxarna vatten inklusive suspenderat material (w), övre sediment (ös) och nedresediment (ns), djupjord (mid) och ytjord (up) beskrivs med hjälp av överföringskoefficienter; utflöde från vattenobjektet (A1), koefficient för överföring ifrån vatten till övre sediment (A2), koefficient för överföring ifrån övre sediment till vatten (A3), koefficient för överföring ifrån övre sediment till nedre sediment (A4), koefficient för överföring ifrån nedre sediment till övre sediment (A5), T1 beskriver överföringen mellan olika jordlager, T2 beskriver omblandning via bioturbation, T3 beskriver överföringen ifrån djupjord till grundvatten, T6 beskriver överföringen ifrån ytjord till ytvatten.

Vattenvolymen som är kopplad till varje markzon modellerar det vattenflöde som transporterar radionuklider mot Laxemaråns huvudfåra. Vattenvolymererna är således kopplade så att uttransporten av nuklider från en zon i sin tur blir intransport av nuklider till nästa zons vattenvolym tills dess att den innersta zonen (Zon 3) transporterar nukliderna till huvudfåran. Laxemarån transporterar sedan dessa vidare till Borholmsfjärden. Modellen för Laxemaråns huvudfåra är uppbyggd på samma sätt som för övriga vattenobjekt och visas i figur B6-3.

Skillnaden i den kopplade mark och vattenmodellen jämfört med markmodellen i bilaga 5 är att här tas inte hänsyn till något vegetationslager. Transporten från ytjorden antas antingen gå till djupjord eller direkt till vattenvolymen. Detta är konservativt, eftersom en bortförelprocess inte används.

Transportprocesserna mellan de olika ingående modellerade objekten och deras interna uppdelning mellan respektive lager beskrivs av ett system av differentialekvationer. Beräkningarna utförs med mjukvaran Ecolego från Facilia AB.



**Figur B6-3.** Sjömodellen som används för att beskriva omsättning av radionuklider i Laxemaråns huvudfåra, naturtypen vattendrag. Överföringar mellan boxarna vatten inklusive suspenderat material (*w*), övre sediment (*ös*) och nedresediment (*ns*) beskrivs med hjälp av överföringskoefficienter; Utflöde ifrån vattenobjektet (*A1*), koefficient för överföring ifrån vatten till övre sediment (*A2*), koefficient för överföring ifrån övre sediment till vatten (*A3*), koefficient för överföring ifrån övre sediment till nedre sediment (*A4*), och koefficient för överföring ifrån nedre sediment till övre sediment (*A5*).



## Överföringar mellan olika jordlager

Överföringskoefficienterna T1–T3 och T6, representerar överföringen mellan de olika jordlagren (ytjorden (*up*) och djupjorden (*mid*)) samt vattenboxen (*w*). T1–T3 är gemensam med markmodellen och beskrivs i bilaga 5, endast T6 beskrivs nedan.

### Överföring från ytjord till vatten

Efter att transport nedåt till djupjord skett antas en andel av den kvarvarande aktiviteten transporteras till vatten. Detta beskrivs matematiskt av en överföringskoefficient (T6) enligt:

$$T6: \quad TC_{up \rightarrow w} = (1 - TC_{up \rightarrow mid}) \cdot Ret_{up}$$

där ett uttryck för retentionen ( $Ret_{up}$ ) hämtats ifrån /Andersson et al. 1982/:

$$Ret_{up} = \frac{1}{1 + K_d \cdot \rho \cdot \frac{1 - \phi_{up}}{\phi_{up}}}$$

### Överföring mellan vatten och sediment

Överföringskoefficienterna (A1–A5) mellan vattenvolymen och sedimentlagren är desamma som för den ovan beskrivna vattenmodellen.

### Beräkning av halt

Transportprocesserna mellan de olika ingående modellerade objekten och deras interna uppdelning mellan respektive lager beskrivs av ett system av differentialekvationer. Beräkningarna utförs med mjukvaran Ecolego från Facilia AB.

### Parametervärden

För markparametrar användes de som i den tidigare markmodellen användes för odlingslandskap (tabeller B5-1 och B5-2) och för vattenparametrar de som gäller för Laxemarån (tabeller B6-1, B6-2 och B6-3).

## Beräkning av dosrat för biota med ERICA

Beräkning av dosrat för biota gjorts med ett mjukvaruprogram vid namn ”ERICA-tool”. Verktøget är avsett för beräkning av kronisk exponering av joniserande strålning och redovisas bl a som dosrat med enheten  $\mu\text{Gy/h}$ . Beräkningarna görs med antagandet att *hela* organismen exponeras likvärdigt, dvs inga hänsyn tas till påverkan på enskilda organ.

I verktøget finns inbyggt en stor mängd data kring ett stort antal radionuklider av vilka majoriteten finns beskrivna i ICRP:s publikation nr 38 /ICRP 1983/. Integrerat i verktøget finns också en sk *effekt-databas* och kallas ”FREDERICA”. Databasen är uppbyggd kring data sammanställd från vetenskapliga tidskrifter (från 1945 och framåt). I FREDERICA beskrivs effekterna av strålning till biota enligt fyra kriterier: mortalitet, morbiditet, reproduktionsförändringar och mutationer. För närvarande finns mer än 30 000 dataposter och databasen uppdateras kontinuerligt med nya data. Senaste uppdatering skedde den 20 april 2010.

Ett centralt begrepp i ERICA-verktøget som är avgörande för hur man bör uppskatta resultaten av dosrat till biota formuleras genom användandet av ett *screening-värde*. Värdet har fastställts till  $10 \mu\text{Gy/h}$  då man inte kunnat detektera några som helst skadliga effekter på de organismer man kunnat studera och som ofta skett i laboratoriemiljö. Sannolikheten för uppkomst av skada ska hur som helst betraktas som väldigt låg. Screening-värdet på  $10 \mu\text{Gy/h}$  kan ändras om man så önskar, se diskussion i kapitel 7. Screening-värdet beskrivs mer ingående i dokumentet ERICA D5 /Carnier-Laplace och Gilbin 2006/. För mer information om effektdatabasen FREDERICA rekommenderas en titt i dokumentet ERICA D1 /Coppstone 2005/ eller besöka websidan <http://www.frederica-online.org>, där data är tillgängligt för allmänheten.

I ERICA kan man göra beräkningar på egenhändigt tillsatta organismer, t ex sådana som är plats-specifika i området man vill undersöka. Man får då sätta in egna längd och viktmått samt välja adekvata ekosystem och habitatfördelningar. Alternativet till detta är att använda sig av ERICA:s inbyggda *Referensorganismer*. Dessa är starkt förenklade:

- varje referensorganism har tilldelats enkla geometrier, antingen sfäriska eller ellipsoida,
- de är valda för att täcka in de största ordningarna, t ex däggdjur, fiskar eller växter,
- de ska kunna representera de tre ekosystemen, limniska, marina och terrestra.

För mer information, se /Williams 2004/ och /ICRP 2007, ICRP 2008/.

Nedan beskrivs i korthet för beräkningsgången i ERICA-verktøget.

### Riskuppskattning

Riskuppskattning av dos till biota bör enligt ERICA-verktøgets rekommendationer relateras till ett givet screening-värde. I ERICA-verktøget är denna satt till  $10 \mu\text{Gy/h}$ , eftersom dosen för biota som kontinuerligt utsatts för denna dosrat inte påvisats ge någon skadlig förändring. Värdet baseras på vetenskapliga studier och data kring effekten av joniserande strålning och är integrerad i ERICA-verktøgets databas FREDERICA.

### Nukliddata

ERICA-verktøget innehåller även en nukliddatabas med dosomvandlingskoefficienter för beräkning av dosbidrag från olika typer av joniserande strålning (alfa-, beta- och gammastrålning) för ett stort antal radionuklider /ICRP 1983/. Databaserna är direkt kopplade till ERICA:s referensorganismer /ICRP 2003/.

## Beräkningsgång

ERICA-verktyget är uppbyggt kring tre olika nivåer (Tiers) och användaren kan välja att starta sin analys i någon av dessa tre, vilken man väljer beror på hur frågeställningen ser ut, vad man har för data och vad man vill få ut av beräkningen.

Tier 1 är den första nivån, den mest användarvänliga och ger de mest konservativa uppskattningarna av dos. Här krävs minst indata av användaren. Man bestämmer vilka radionuklider man vill beräkna och väljer sedan ett lämpligt ekosystem. Därefter anger man aktivitetskoncentrationer för vatten och sediment om det gäller akvatiska ekosystem eller aktivitetskoncentrationer för jord (eller luft) om man räknar på terrestert ekosystem. Resultaten presenteras som riskkvoter (RQ). Dessa erhålls genom att dosrater för organismer har dividerats med screening-värdet. Den begränsande (mest känsliga) referensorganismen anges också. Om man har tillgång till dosratvärden för enskilda nuklider kan man alternativt välja IAEAs utvecklade modell ”SRS-19” /IAEA 2001/. Här krävs dock att användaren definierar utsläppskälla och avstånd från utsläppspunkt till recipient samt om utsläppet sker i luft, sjö eller hav. Resultatet redovisas som riskkvoter för den eller de mest känsliga referensorganismerna. RQ kan ligga antingen under eller över värdet 1. Ligger värdet över 1 har man överskridit screeningvärdet och man rekommenderas då att förfina undersökningen genom att fortsätta i nästa steg, Tier 2.

I Tier 2 ges användaren större möjlighet att precisera analysen med mer indata. Man kan välja vilka specifika referensorganismer som ska beräknas eller skapa egna organismer, med egna vikt och längdmått. Man kan också sätta in platsspecifika distributionskoefficienter ( $K_d$ ) och koncentrationsratier (CR). Med dessa definieras nuklidernas överföringsbenägenhet mellan olika medier (sediment till vatten) eller från medium till organism, (t ex från vatten till fisk). Om empiriska data för koncentrationsratier helt eller delvis saknas kan ERICA-verktyget komplettera luckorna med det inbyggda bibliotek som består av generiska CR- och  $K_d$ -data. Användaren sätter in aktivitetskoncentrationer från verkligt uppmätta eller från simulerade framtida utsläppsscenarier. Resultaten presenteras med dosrat per organism och med två riskkvoter: ett förväntat värde (RQ expected) och ett konservativt (RQ conservative).

Tier 3 är den sista och mest komplexa nivån. Här får man inga enkla ja eller nej svar och ingen vägledning för hur man ska tolka resultaten. Screening-värdet kan heller inte användas här. Resultaten redovisas probabilistiskt i stället för deterministiskt då det krävs indata med medelvärden och sannolikhetsfördelningar för alla CR och  $K_d$ . I resultatet redovisas slutligen de beräknade dosraterna som stapeldiagram och i tabellform med värden av varianser, medel-, min- och maxvärden samt värden för percentilerna 5, 25, 75 och 95.

För beräkningarna i denna rapport har enbart Tier 2 använts.

## Modifieringar av ERICA-verktyget

Eftersom inbyggda generiska CR-värden för radionukliden Fe-55 saknades för samtliga referensorganismer kompletterades dessa med CR-värden från litteraturen. CR för järn fanns för vissa organismer och saknades för andra, se bilaga 8. Även radionukliden Kr-85 saknades i ERICA-verktyget.

## Data avseende Fe-55 som använts för att beräkna parametervärden till ERICA

Referensorganism i ERICA	Organism angiven i källa/referens	Geografisk placering	Tillstånd för järn	Överföringsfaktor (CR)	Enhet (dw=torrvikt, ww=våtvikt)	Källa/referens
<b>Landlevande</b>						
Markfauna, daggmask	Daggmask ( <i>Eisenia fetida</i> )	Indien	Fe	1.91E-01	mg/kg (biota) per mg/kg (substrat)	/Suthar och Singh 2008/
Mossor & Lavar, bryofyter	Mossor och lavar	Grekland (västra Makedonien)	Fe			/Tsikritzis et al. 2002/
Växt	Odlad gröda (ospecificerad)		Fe	4.00E-03	Bq/dw gröda/Bq /dw jord	/IAEA 1994/
Växt	Växt		Fe	1.00E-03	pCi/g veg./pCi/g soil (CR)	/U.S. EPA 2000/
Växt	Växt	Washington, USA	Fe	6.60E-04	pCi/kg veg./pCi/kg soil (CR)	/Whicker och Schultz 2000/
Växt, vild gräs	Gräs	Tyskland	Fe, stabil isotop	4.40E-02	konc dw/konc dw (CR)	/Ng et al. 1982/
Växt, vild gräs	Gräs	Tyskland	Fe, stabil isotop	1.10E-02	conc ww veg/conc dw soil (Bv)	/Ng et al. 1982/
Växt, Tall	Tall	Tyskland	Fe	3.25E+00	mg/kg (biota) per mg/kg (substrat)	/Lehndorff och Schwark 2008/
Växt, Tall	Träd	Grekland (Västra Makedonien)	Fe			/Tsikritzis et al. 2002/
<b>Havslevande</b>						
Kärlväxt, vattenväxt	Vattenväxt (ej specificerad)	USA	Fe	5.00E+04	Bq/kg per Bq/L	/Staven et al. 2003/
Zooplankton	Zooplankton	Indien, Bengaliska bukten	Fe	5.80E+06	dw (BAF)	/Rejomon et al. 2008/
Benstik mollusk (blötdjur)	Mollusk (blötdjur)	USA	Fe	3.00E+04	Bq/kg per Bq/l	/Staven et al. 2003/
Polychaete mask, akvatisk evertebrat (ryggradslös)	Evertebrat	USA	Fe	2.00E+04	pCi/kg/pCi/l =l/kg	/Whicker och Schultz 2000/
Kräftdjur	Kräftdjur	USA	Fe	5.00E+03	Bq/kg per Bq/L	/Staven et al. 2003/
Fisk	Fisk	USA	Fe	3.00E+03	Bq/kg per Bq/l	/Staven et al. 2003/
Fisk	Fisk	USA	Fe	3.00E+03	pCi/kg/pCi/l =l/kg	/Whicker och Schultz 2000/
Mussla ( <i>Mytilus edulis</i> )	Mussla	Polen	Fe	2.40E+00	µg/g dw per µg/g	Beräknad från /Protasowicki et al. 2008/

Referensorganism I ERICA	Organism angiven i källa/referens	Geografisk placering	Tillstånd för järn	Överföringsfaktor (CR)	Enhet (dw=torrvikt, ww=våtvikt)	Källa/referens
<b>Sötvatten</b>						
Kärlväxt, vattenväxt	Vattenväxt (ej specificerad)	USA	Fe	1.00E+03	Bq/kg per Bq/l	/Staven et al. 2003/
Zooplankton						
Insektslarv, akvatisk evertebrat	Evertebrat	USA	Fe	3.20E+03	pCi/kg/pCi/l =l/kg	/Whicker och Schultz 2000/
Mollusk (blötdjur)	Mollusk	USA	Fe	1.00E+02	Bq/kg per Bq/l	/Staven et al. 2003/
Kräftdjur	Kräftdjur	USA	Fe	1.00E+02	Bq/kg per Bq/l	/Staven et al. 2003/
Fisk	Fisk	USA	Fe	2.00E+02	Bq/kg muscle per Bq/l	/Staven et al. 2003/
Fisk	Fisk	USA	Fe	1.00E+02	pCi/kg/pCi/l =l/kg	/Whicker och Schultz 2000/

## Ändringar av ERICA

I vissa fall i den här studien kompletterades eller förändrades data till ERICA-modellen. Det rör sig koncenturationsratier (CR) för radionukliden Fe-55 samt habitatfördelningar.

### Definition och beräkning av koncenturationsratier (CR)

Intag av radionuklider genom föda och inandning kan leda till en ökad koncentration av ett element (eller radionuklid) i kroppen. Det här leder till skillnad som då kan mätas och bestämmas mellan koncentration av elementet i organismen och koncentrationen av elementet i omgivningen. CR är per definition av elementet i biota dividerat med koncentrationen av samma element i omgivningen. CR-värdet är ofta specifik för varje element. I ERICA-verktyget definieras CR som: Bq/kg i färskvikt för organismen per Bq/kg i torrsvikt för jord (för terrestra organismer). För akvatiska organismer gäller Bq/liter vatten i stället. CR är dimensionslöst så det går lika bra att beräkna mängden av ett ämne i t ex mg/kg eller mg/ml om värden för aktivitetskoncentrationer saknas.

Tabell B9-1a–c presenterar de CR-värden för radionukliden Fe-55 som beräknats med hjälp av litteratordata (se bilaga 8). Dessa infogades i ERICA-verktyget. Notera att CR-värden för terrester fauna (märkta med asterisk (\*)), representeras samtliga med daggmasks CR-värde, pga bristande tillgång på data.

**Tabell B9-1a. Terrestra organismers CR-värden för Fe-55.**

Terrestra organismer	CR-värde för Fe-55
Groddjur*	3,3E-2
Fågel*	3,3E-2
Detritivorous invertebrate (gråsugga)*	3,3E-2
Flygande insekt*	3,3E-2
Gastropod*	3,3E-2
Gräs & örter	7,0E-3
Lav & mossor	4,9E-2
Däggdjur (hjort)*	3,3E-2
Däggdjur (råtta)*	3,3E-2
Reptil*	3,3E-2
Buske	1,0E-2
Daggmask	3,3E-2
Träd	9,2E-4

**Tabell B9-1b. Limniska organismers CR-värden för Fe-55.**

Limniska organismer	CR-värde
Bentisk fisk	1,8E2
Fågel	1,0E3
Mussla	1,0E2
Kräftdjur	1,0E2
Gastropod	1,0E2
Insektslarv	2,5E3
Däggdjur	1,0E3
Pelagisk fisk	1,8E2
Fytoplankton	2,2E5
Kärlväxt	5,1E3
Zooplankton	3,5E5

**Tabell B9-1c. Marina organismers CR-värden för Fe-55.**

Marina organismer	CR-värde
Fågel (vadare)	1,0E7
Bentisk fisk	1,1E4
Bentisk mollusk	7,2E4
Kräftdjur	5,0E5
Makroalg	4,8E4
Däggdjur	1,0E7
Pelagisk fisk	1,1E4
Fytoplankton	2,2E5
Havsborstmask	7,2E4
Reptil	1,0E7
Kärlväxt	7,4E4
Zooplankton	3,5E5

### Förändringar i habitatfördelningar

I ERICA-verktyget har varje referensorganism en specifik habitatfördelning som går att justera manuellt i programmet. Habitatfördelningen i ERICA-verktyget grundar sig på de generiska värden vilka är anpassade för organismer även i de varmare delarna i Europa. Då habitatfördelningen är beroende av klimatet vi har i Sverige (djur övervintrar t ex i jord under vintern) har habitatfördelningen justerats för vissa referensorganismer. De organismer där habitatfördelningen i denna studie förändrats, i jämförelse med ERICA:s generiska värde, presenteras i tabell B9-2a–c. Den generiska habitatfördelningen för de organismer som inte anpassats till lokala förhållanden redovisas i /ICRP 2003/.

Av de terrestra organismerna i Sverige är det många som håller till i bohålor belägna i jord medan födosök sker *ovan* jord. Habitatfördelningen har därför satts till 50 % i jord och 50 % ovan jord för vissa organismer, se tabell B9-2a. På vinterhalvåret söker sig dessutom många organismer i skydd i marken t ex reptiler, groddjur och vissa däggdjur går i ide vilket man också bör ta hänsyn till. Många fåglar emigrerar vinterhalvåret medan andra är stannar kvar. Fåglarna i undersökningen betraktas här som stannfåglar.

I ERICA är det för vissa limniska och marina organismer (som kan uppträda på land och i akvatiska miljöer) svårt att kombinera habitatfördelningar med olika ekosystem. En sjöfågel kan t ex inte beräknas för både terrest habitat och akvatiskt habitat. I ERICA är sjöfåglarna som standard till 100% fördelade i habitatet vatten. I Clink-beräkningarna i ERICA ansattes i stället habitatfördelningen till 50% i vatten och 50% på vattenytan, för att ge en mer realistisk representation av sjöfåglarna. Vidare ansattes i beräkningarna för Clink att vattenväxternas habitatsfördelning var 50 % i sediment och 50 % i vatten, för att beakta att de även har ett rotsystem.

Det bör dock påpekas att de ändrade habitatfördelningarna inte ska betraktas som vetenskapligt underbyggda. De bör i stället ses som *mycket* förenklade antaganden för den här rapporten. Det har i tidigare beräkningar visats att ändrade habitatfördelningar inte medför någon större inverkan på den slutliga dosraten. Rent generellt kan man säga att organismer som lever i jord och framför allt i bottensediment får en något högre dos, då koncentrationen av radionuklider ofta är ansamlade i högre koncentration i jord och sediment. Detta är naturligtvis beroende av faktorer såsom pH vilket påverkar lösligheten av många element.

**Tabell B9-2a. De i jämförelse med ERICA förändrade habitatfördelningarna tillsammans med ERICA:s generiska värden för terrestra organismer.**

Terrestra organismer	Ovan jord (%)	I jord (%)	ERICA-standard %
Groddjur	50	50	100 ovan jord
Däggdjur (råtta)	50	50	100 i jord
Reptil	50	50	100 ovan jord

**Tabell B9-2b. De i jämförelse med ERICA förändrade habitatfördelningarna tillsammans med ERICA:s generiska värden för limniska organismer.**

Limniska organismer	På vattenytan (%)	I vatten (%)	På sediment (%)	I sediment (%)	ERICA-standard (%)
Fågel	50	50			100 i vatten
Däggdjur	50	50			100 i vatten
Kärlväxt		50		50	100 på sediment

**Tabell B9-2c. De i jämförelse med ERICA förändrade habitatfördelningarna tillsammans med ERICA:s generiska värden för marina organismer.**

Marina organismer	På vattenytan (%)	I vatten (%)	På sediment (%)	I sediment (%)	ERICA-standard (%)
Fågel (vadare)	50	50			100 i vatten
Däggdjur	50	50			100 i vatten
Kärlväxt		50		50	100 på sediment



## Beräknade bidrag till halter i luft och jord

### Normaldrift – realistiskt fall

**Tabell B10-1. Normaldrift – skog. Beräknade bidrag till halter i luft och jord. Aktivitetskoncentrationen i luft avser medelförhållanden, medan halten i jord är den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i yttjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	4,72E-09	7,14E-07	6,55E-09
Fe-55	1,38E-05	1,30E-02	3,73E-04
Co-58	9,70E-09	6,47E-07	1,46E-09
Co-60	1,56E-06	1,86E-03	1,06E-04
Ni-59	4,78E-09	9,42E-06	2,58E-06
Ni-63	6,66E-07	1,23E-03	3,01E-04
Kr-85	4,69E-02	0	0
Sr-90	5,68E-09	1,62E-06	8,94E-07
Nb-95	0	0	0
Ag-108m	9,55E-08	7,38E-05	2,89E-05
Ag-110m	2,01E-07	2,97E-05	3,78E-07
Sb-125	2,22E-08	1,68E-05	4,90E-07
I-129	5,78E-14	1,76E-12	5,69E-13
Cs-134	2,01E-08	1,01E-05	2,36E-07
Cs-137	4,72E-09	7,77E-06	1,39E-06
Pu-238	2,46E-09	1,76E-05	3,41E-06
Pu-239	6,14E-10	8,34E-06	2,71E-06
Pu-240	8,29E-12	6,46E-08	1,18E-08
Pu-241	2,14E-09	7,60E-06	8,39E-07
Am-241	2,26E-11	1,68E-07	3,11E-08
Am-243	6,50E-10	2,22E-05	1,01E-05
Cm-242	1,52E-10	2,55E-08	1,23E-10
Cm-244	1,66E-09	6,77E-06	8,45E-07

**Tabell B10-2. Normaldrift – våtmark. Beräknade bidrag till halter i luft och jord. Aktivitetskoncentrationen i luft avser medelförhållanden, medan halten i jord är den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i yttjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	1,92E-09	1,92E-06	1,94E-08
Fe-55	5,64E-06	1,52E-02	4,73E-04
Co-58	3,96E-09	9,58E-07	2,40E-09
Co-60	6,35E-07	2,72E-03	1,64E-04
Ni-59	1,95E-09	2,60E-05	5,93E-06
Ni-63	2,72E-07	3,25E-03	6,86E-04
Kr-85	1,91E-02	0	0
Sr-90	2,32E-09	5,26E-06	1,81E-06
Nb-95	0	0	0
Ag-108m	3,89E-08	3,43E-04	1,06E-04
Ag-110m	8,20E-08	6,32E-05	8,95E-07
Sb-125	9,06E-09	2,46E-05	7,79E-07
I-129	2,36E-14	1,39E-11	3,41E-12
Cs-134	8,20E-09	1,75E-05	4,46E-07
Cs-137	1,93E-09	1,95E-05	3,21E-06
Pu-238	1,00E-09	1,40E-05	2,87E-06
Pu-239	2,50E-10	6,08E-06	1,97E-06

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i yttjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Pu-240	3,38E-12	5,05E-08	1,02E-08
Pu-241	8,71E-10	6,91E-06	8,08E-07
Am-241	9,22E-12	1,32E-07	2,68E-08
Am-243	2,65E-10	1,52E-05	6,82E-06
Cm-242	6,20E-11	3,37E-08	1,80E-10
Cm-244	6,75E-10	6,01E-06	7,93E-07

**Tabell B10-3. Normaldrift – jordbruksmark. Beräknade bidrag till halter i luft och jord. Aktivitetskoncentrationen i luft avser medelförhållanden, medan halten i jord är den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i yttjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	1,15E-09	1,49E-07	1,50E-09
Fe-55	3,37E-06	2,77E-03	8,60E-05
Co-58	2,37E-09	1,35E-07	3,38E-10
Co-60	3,80E-07	4,00E-04	2,42E-05
Ni-59	1,16E-09	2,09E-06	5,55E-07
Ni-63	1,62E-07	2,72E-04	6,51E-05
Kr-85	1,14E-02	0	0
Sr-90	1,39E-09	3,49E-07	1,74E-07
Nb-95	0	0	0
Ag-108m	2,33E-08	1,59E-05	5,84E-06
Ag-110m	4,90E-08	6,23E-06	9,08E-08
Sb-125	5,42E-09	3,57E-06	1,13E-07
I-129	1,41E-14	3,73E-13	1,16E-13
Cs-134	4,90E-09	2,13E-06	5,44E-08
Cs-137	1,15E-09	1,70E-06	3,03E-07
Pu-238	6,01E-10	4,25E-06	7,89E-07
Pu-239	1,50E-10	2,18E-06	6,20E-07
Pu-240	2,02E-12	1,55E-08	2,74E-09
Pu-241	5,21E-10	1,72E-06	1,94E-07
Am-241	5,52E-12	4,02E-08	7,18E-09
Am-243	1,59E-10	6,27E-06	2,34E-06
Cm-242	3,71E-11	5,33E-09	2,84E-11
Cm-244	4,04E-10	1,55E-06	1,95E-07

**Tabell B10-4. Normaldrift – öppet hav. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment. Aktivitetskoncentrationen avser den maximala under Clab/Clinks drifttid. Observera att värdena innehåller bidrag från utsläpp till luft och nedfall på havet, liksom bidrag från utsläpp direkt till vatten.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
H-3	0,01548	1,41E-09	3,44E-13
Cr-51	1,44E-08	6,32E-11	2,78E-16
Mn-54	2,07E-05	1,03E-06	5,09E-11
Fe-55	0,004895	0,002734	4,33E-07
Fe-59	0	0	0
Co-57	4,38E-07	1,81E-08	7,8E-13
Co-58	1,53E-06	1,7E-08	1,91E-13
Co-60	0,006225	0,001254	2,72E-07
Ni-59	1,23E-05	7,73E-07	1,61E-09
Ni-63	0,001593	9,29E-05	1,63E-07

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
Zn-65	3,69E-05	3,65E-07	1,41E-11
Sr-90	2,36E-06	5,24E-11	2,56E-14
Zr-95	0	0	0
Nb-95	3,53E-09	2,57E-12	1,42E-17
Ru-103	0	0	0
Ag-108m	5,58E-05	3,23E-08	6,84E-11
Ag-110m	6,03E-05	1,43E-08	5,63E-13
Sn-117m	0	0	0
Sb-124	2,35E-07	3,09E-12	2,96E-17
Sb-125	0,000261	3,88E-08	5,33E-12
I-129	8,91E-09	8,88E-12	2,02E-14
Cs-134	3,52E-05	4,03E-07	4,61E-11
Cs-136	1,45E-07	4,02E-11	8,56E-17
Cs-137	0,000505	1,49E-05	1,31E-08
La-140	0	0	0
Ce-144	0	0	0
Pu-238	1,38E-07	2,01E-07	3,32E-10
Pu-239	4,72E-08	8,32E-08	1,44E-10
Pu-240	2,18E-08	3,6E-08	5,34E-11
Pu-241	3,21E-06	2,01E-06	1,47E-09
Am-241	1,3E-07	1,78E-08	2,96E-11
Am-243	1,97E-08	2,63E-09	4,82E-12
Cm-242	1,51E-08	1,12E-09	2,91E-14
Cm-244	1,24E-07	2,33E-07	2,15E-10

**Tabell B10-5. Normaldrift – grund vik/skärgård. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment. Aktivitetskoncentrationen avser den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	9,43E-08	5,57E-08	0
Fe-55	4,00E-04	2,45E-03	0
Co-58	7,67E-08	1,01E-08	0
Co-60	5,02E-05	1,26E-04	0
Ni-59	1,73E-07	3,85E-07	0
Ni-63	2,40E-05	4,61E-05	0
Sr-90	2,02E-07	3,55E-10	0
Ag-108m	6,13E-10	5,57E-12	0
Ag-110m	3,45E-06	9,98E-07	0
Sb-125	1,60E-06	1,07E-08	0
I-129	1,46E-06	3,75E-09	0
Cs-134	9,92E-14	2,71E-15	0
Cs-137	1,70E-08	3,26E-09	0
Pu-238	8,72E-05	1,45E-04	0
Pu-239	6,83E-07	3,51E-06	0
Pu-240	6,97E-10	2,79E-09	0
Pu-241	3,10E-10	1,73E-09	0
Am-241	7,53E-08	2,72E-07	0
Am-243	4,24E-07	7,28E-07	0
Cm-242	4,31E-10	3,91E-10	0
Cm-244	2,35E-08	1,97E-08	0

**Tabell B10-6. Normaldrift – vattendrag. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment. Aktivitetskoncentrationen avser den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	4,98E-08	3,21E-08	1,26E-12
Fe-55	2,18E-04	2,86E-04	1,79E-07
Co-58	3,96E-08	3,86E-09	1,70E-12
Co-60	3,07E-05	2,83E-05	3,34E-07
Ni-59	1,25E-07	1,47E-06	4,30E-08
Ni-63	1,69E-05	1,84E-04	3,66E-06
Sr-90	5,11E-07	6,97E-08	1,59E-08
Ag-108m	3,12E-10	1,25E-10	6,83E-16
Ag-110m	2,16E-06	1,44E-04	2,72E-07
Sb-125	8,33E-07	1,64E-06	4,17E-11
I-129	8,03E-07	5,43E-07	6,86E-10
Cs-134	2,17E-12	3,27E-12	4,83E-13
Cs-137	9,17E-09	5,20E-08	9,58E-12
Pu-238	5,54E-05	2,04E-03	3,17E-06
Pu-239	7,82E-07	5,77E-06	4,66E-07
Pu-240	6,24E-10	4,49E-09	5,24E-10
Pu-241	3,64E-10	2,72E-09	3,47E-10
Am-241	6,63E-08	4,46E-07	1,64E-08
Am-243	3,62E-07	6,56E-06	1,95E-07
Cm-242	3,18E-10	4,80E-09	1,03E-10
Cm-244	1,22E-08	2,89E-09	3,18E-13

**Tabell B10-7. Normaldrift – sjö. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment. Aktivitetskoncentrationen avser den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	8,01E-07	1,90E-05	1,09E-08
Fe-55	3,60E-03	1,98E-01	6,49E-04
Co-58	6,57E-07	2,89E-06	4,00E-09
Co-60	5,86E-04	1,53E-02	5,58E-04
Ni-59	2,68E-06	3,37E-04	2,33E-05
Ni-63	3,58E-04	4,33E-02	2,66E-03
Sr-90	3,06E-06	1,38E-05	8,05E-06
Ag-108m	4,25E-05	2,36E-02	2,88E-04
Ag-110m	3,07E-05	7,95E-04	3,53E-07
Sb-125	6,54E-06	2,38E-04	1,22E-06
I-129	1,46E-12	4,15E-11	1,06E-11
Cs-134	4,87E-06	3,39E-04	5,61E-07
Cs-137	2,14E-06	7,02E-04	8,54E-06
Pu-238	2,12E-06	8,13E-05	1,85E-05
Pu-239	6,30E-07	2,61E-05	1,19E-05
Pu-240	7,40E-09	2,87E-07	6,67E-08
Pu-241	1,47E-06	5,20E-05	5,65E-06
Am-241	1,66E-08	1,84E-06	1,42E-07
Am-243	6,36E-07	8,18E-05	3,80E-05
Cm-242	1,83E-08	2,04E-07	1,14E-10
Cm-244	6,35E-07	9,38E-05	1,62E-06

## Normaldrift – konservativt fall

Tabell B10-8. Normaldrift – skog. Beräknade bidrag till halter i luft och jord. Aktivitetskoncentrationen i luft avser medelförhållanden, medan halten i jord är den maximala under Clab/Clinks drifttid.

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i yjordlager (Bq/kg torrvt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrvt)
Mn-54	6,10E-05	9,23E-03	8,46E-05
Fe-55	6,10E-04	5,73E-01	1,65E-02
Co-58	1,77E-05	1,18E-03	2,67E-06
Co-60	4,88E-04	5,82E-01	3,31E-02
Ni-59	2,11E-07	4,15E-04	1,14E-04
Ni-63	2,94E-05	5,45E-02	1,33E-02
Kr-85	2,94E+00	0	0
Sr-90	4,44E-08	1,27E-05	6,97E-06
Nb-95	0	0	0
Ag-108m	4,21E-06	3,26E-03	1,27E-03
Ag-110m	8,87E-06	1,31E-03	1,67E-05
Sb-125	2,22E-06	1,68E-03	4,90E-05
I-129	2,55E-12	7,77E-11	2,51E-11
Cs-134	8,87E-07	4,45E-04	1,04E-05
Cs-137	6,65E-06	1,09E-02	1,95E-03
Pu-238	6,65E-09	4,77E-05	9,22E-06
Pu-239	2,22E-10	3,01E-06	9,79E-07
Pu-240	3,66E-10	2,85E-06	5,23E-07
Pu-241	9,42E-08	3,35E-04	3,70E-05
Am-241	9,98E-10	7,42E-06	1,37E-06
Am-243	5,54E-11	1,89E-06	8,64E-07
Cm-242	1,16E-08	1,95E-06	9,44E-09
Cm-244	1,16E-08	4,76E-05	5,95E-06

**Tabell B10-9. Normaldrift – våtmark. Beräknade bidrag till halter i luft och jord. Aktivitetskoncentrationen i luft avser medelförhållanden, medan halten i jord är den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i yttjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	2,49E-05	2,48E-02	2,50E-04
Fe-55	2,49E-04	6,72E-01	2,09E-02
Co-58	7,23E-06	1,75E-03	4,40E-06
Co-60	1,99E-04	8,53E-01	5,15E-02
Ni-59	8,59E-08	1,15E-03	2,62E-04
Ni-63	1,20E-05	1,44E-01	3,02E-02
Kr-85	1,20E+00	0	0
Sr-90	1,81E-08	4,10E-05	1,41E-05
Nb-95	0	7,07E-10	0
Ag-108m	1,72E-06	1,52E-02	4,67E-03
Ag-110m	3,62E-06	2,79E-03	3,95E-05
Sb-125	9,04E-07	2,46E-03	7,78E-05
I-129	1,04E-12	6,12E-10	1,50E-10
Cs-134	3,62E-07	7,70E-04	1,97E-05
Cs-137	2,71E-06	2,75E-02	4,51E-03
Pu-238	2,71E-09	3,78E-05	7,74E-06
Pu-239	9,04E-11	2,20E-06	7,12E-07
Pu-240	1,49E-10	2,23E-06	4,51E-07
Pu-241	3,84E-08	3,05E-04	3,57E-05
Am-241	4,07E-10	5,81E-06	1,18E-06
Am-243	2,26E-11	1,30E-06	5,81E-07
Cm-242	4,75E-09	2,58E-06	1,37E-08
Cm-244	4,75E-09	4,23E-05	5,58E-06

**Tabell B10-10. Normaldrift – jordbruksmark. Beräknade bidrag till halter i luft och jord. Aktivitetskoncentrationen i luft avser medelförhållanden, medan halten i jord är den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i yttjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	1,49E-05	1,93E-03	1,94E-05
Fe-55	1,49E-04	1,22E-01	3,79E-03
Co-58	4,33E-06	2,46E-04	6,19E-07
Co-60	1,19E-04	1,25E-01	7,58E-03
Ni-59	5,14E-08	9,20E-05	2,45E-05
Ni-63	7,17E-06	1,20E-02	2,87E-03
Kr-85	7,17E-01	0	0
Sr-90	1,08E-08	2,72E-06	1,36E-06
Nb-95	0	0	1,60E-12
Ag-108m	1,03E-06	7,02E-04	2,58E-04
Ag-110m	2,16E-06	2,75E-04	4,01E-06
Sb-125	5,41E-07	3,56E-04	1,12E-05
I-129	6,22E-13	1,65E-11	5,13E-12
Cs-134	2,16E-07	9,40E-05	2,40E-06
Cs-137	1,62E-06	2,40E-03	4,27E-04
Pu-238	1,62E-09	1,15E-05	2,13E-06
Pu-239	5,41E-11	7,86E-07	2,24E-07
Pu-240	8,93E-11	6,82E-07	1,21E-07
Pu-241	2,30E-08	7,60E-05	8,55E-06
Am-241	2,43E-10	1,77E-06	3,17E-07
Am-243	1,35E-11	5,34E-07	1,99E-07
Cm-242	2,84E-09	4,08E-07	2,17E-09
Cm-244	2,84E-09	1,09E-05	1,37E-06

**Tabell B10-11 Normaldrift – öppet hav. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment. Aktivitetskoncentrationen avser den maximala under Clab/Clinks drifttid. Observera att värdena innehåller bidrag från utsläpp till luft och nedfall på havet, liksom bidrag från utsläpp direkt till vatten.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
H-3	6,45E-02	6,12E-09	2,22E-12
Cr-51	0	0	0
Mn-54	2,80E-04	1,39E-05	6,88E-10
Fe-55	6,03E-02	3,37E-02	5,33E-06
Fe-59	0	0	0
Co-57	7,69E-31	1,53E-27	1,11E-29
Co-58	2,07E-05	2,31E-07	2,60E-12
Co-60	9,73E-02	2,22E-02	6,74E-06
Ni-59	1,46E-04	9,11E-06	1,34E-08
Ni-63	1,90E-02	1,10E-03	1,44E-06
Zn-65	0	0	0
Sr-90	1,79E-03	3,97E-08	3,33E-11
Zr-95	0	0	0
Nb-95	0	0	0
Ru-103	0	0	0
Ag-108m	7,29E-03	4,22E-06	6,82E-09
Ag-110m	6,49E-04	1,83E-07	7,21E-12
Sn-117m	0	0	0
Sb-124	0	0	0
Sb-125	3,94E-03	8,22E-07	1,31E-10
I-129	1,06E-07	1,05E-10	1,74E-13
Cs-134	2,81E-02	3,23E-04	3,86E-08
Cs-136	0	0	0
Cs-137	2,75E-01	9,61E-03	1,01E-05
La-140	0	0	0
Ce-144	0	0	0
Pu-238	4,45E-06	5,25E-06	5,32E-09
Pu-239	1,56E-07	2,31E-07	2,92E-10
Pu-240	2,61E-07	3,58E-07	3,86E-10
Pu-241	3,85E-05	2,34E-05	1,51E-08
Am-241	1,55E-06	1,93E-07	2,29E-10
Am-243	4,01E-08	7,00E-09	1,81E-11
Cm-242	1,12E-07	8,36E-09	2,16E-13
Cm-244	5,47E-06	1,21E-05	8,60E-09

**Tabell B10-12. Normaldrift – grund vik/skärgård. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment. Aktivitetskoncentrationen avser den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrvt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrvt)
H-3	6,45E-02	6,12E-09	2,22E-12
Cr-51	0	0	0
Mn-54	2,80E-04	1,39E-05	6,88E-10
Fe-55	6,03E-02	3,37E-02	5,33E-06
Fe-59	0	0	0
Co-57	7,69E-31	1,53E-27	1,11E-29
Co-58	2,07E-05	2,31E-07	2,60E-12
Co-60	9,73E-02	2,22E-02	6,74E-06
Ni-59	1,46E-04	9,11E-06	1,34E-08
Ni-63	1,90E-02	1,10E-03	1,44E-06
Zn-65	0	0	0
Sr-90	1,79E-03	3,97E-08	3,33E-11
Zr-95	0	0	0
Nb-95	0	0	0
Ru-103	0	0	0
Ag-108m	7,29E-03	4,22E-06	6,82E-09
Ag-110m	6,49E-04	1,83E-07	7,21E-12
Sn-117m	0	0	0
Sb-124	0	0	0
Sb-125	3,94E-03	8,22E-07	1,31E-10
I-129	1,06E-07	1,05E-10	1,74E-13
Cs-134	2,81E-02	3,23E-04	3,86E-08
Cs-136	0	0	0
Cs-137	2,75E-01	9,61E-03	1,01E-05
La-140	0	0	0
Ce-144	0	0	0
Pu-238	4,45E-06	5,25E-06	5,32E-09
Pu-239	1,56E-07	2,31E-07	2,92E-10
Pu-240	2,61E-07	3,58E-07	3,86E-10
Pu-241	3,85E-05	2,34E-05	1,51E-08
Am-241	1,55E-06	1,93E-07	2,29E-10
Am-243	4,01E-08	7,00E-09	1,81E-11
Cm-242	1,12E-07	8,36E-09	2,16E-13
Cm-244	5,47E-06	1,21E-05	8,60E-09



**Tabell B10-13. Normaldrift – vattendrag. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment. Aktivitetskoncentrationen avser den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	6,43E-04	4,15E-04	1,63E-08
Fe-55	9,62E-03	1,26E-02	7,89E-06
Co-58	7,24E-05	7,06E-06	3,11E-09
Co-60	9,62E-03	8,88E-03	1,05E-04
Ni-59	5,53E-06	6,48E-05	1,90E-06
Ni-63	7,44E-04	8,13E-03	1,61E-04
Sr-90	3,99E-06	5,44E-07	1,24E-07
Nb-95	1,38E-08	5,52E-09	3,01E-14
Ag-108m	9,54E-05	6,36E-03	1,20E-05
Ag-110m	8,31E-05	1,63E-04	4,16E-09
Sb-125	3,54E-05	2,40E-05	3,03E-08
I-129	9,58E-11	1,44E-10	2,13E-11
Cs-134	1,29E-05	7,32E-05	1,35E-08
Cs-137	1,50E-04	5,50E-03	8,55E-06
Pu-238	2,82E-07	2,08E-06	1,68E-07
Pu-239	2,75E-08	1,98E-07	2,31E-08
Pu-240	1,61E-08	1,20E-07	1,53E-08
Pu-241	2,93E-06	1,97E-05	7,22E-07
Am-241	3,08E-08	5,59E-07	1,67E-08
Am-243	2,44E-08	3,67E-07	7,90E-09
Cm-242	8,60E-08	2,03E-08	2,23E-12
Cm-244	2,42E-07	1,18E-06	4,03E-09

**Tabell B10-14. Normaldrift – sjö. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment. Aktivitetskoncentrationen avser den maximala under Clab/Clinks drifttid.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
Mn-54	1,22E-03	7,19E-04	0
Fe-55	1,77E-02	1,08E-01	0
Co-58	1,40E-04	1,85E-05	0
Co-60	1,57E-02	3,95E-02	0
Ni-59	7,64E-06	1,70E-05	0
Ni-63	1,06E-03	2,04E-03	0
Sr-90	1,58E-06	2,77E-09	0
Nb-95	2,70E-08	2,46E-10	0
Ag-108m	1,52E-04	4,40E-05	0
Ag-110m	1,59E-04	1,07E-06	0
Sb-125	6,42E-05	1,66E-07	0
I-129	4,38E-12	1,20E-13	0
Cs-134	2,40E-05	4,59E-06	0
Cs-137	2,36E-04	3,90E-04	0
Pu-238	2,47E-07	1,27E-06	0
Pu-239	3,07E-08	1,23E-07	0
Pu-240	1,37E-08	7,62E-08	0
Pu-241	3,32E-06	1,20E-05	0
Am-241	3,62E-08	6,20E-08	0
Am-243	3,29E-08	2,99E-08	0
Cm-242	1,66E-07	1,38E-07	0
Cm-244	4,14E-07	1,03E-05	0

## Missöde

Tabell B10-15. Missöde – skog. Beräknade bidrag till halter i luft och jord.

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i ytjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Kr-85	1,25E+06	0,00E+00	0,00E+00
I-129	5,94E+00	2,66E-03	9,35E-05
Cs-134	4,18E+00	6,63E-02	4,59E-05
Cs-137	3,67E+02	6,76E+00	2,73E-01

Tabell B10-16. Missöde – våtmark. Beräknade bidrag till halter i luft och jord.

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i ytjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Kr-85	1,29E+06	0,00E+00	0,00E+00
I-129	6,12E+00	1,43E-02	1,16E-03
Cs-134	4,31E+00	2,58E-01	9,29E-05
Cs-137	3,79E+02	2,65E+01	1,41E+00

Tabell B10-17. Missöde – jordbruksmark. Beräknade bidrag till halter i luft och jord.

Nuklid	Aktivitetskoncentration i luft (Bq/m <sup>3</sup> )	Aktivitetskoncentration i ytjordlager (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i djupjordlager (Bq/kg torrsvikt)
Kr-85	1,38E+06	0,00E+00	0,00E+00
I-129	6,53E+00	2,49E-03	9,41E-05
Cs-134	4,59E+00	6,22E-02	6,42E-05
Cs-137	4,04E+02	7,93E-01	3,49E-02

Tabell B10-18. Missöde – öppet hav. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment.

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
I-129	2,86E-06	6,34E-10	2,00E-13
Cs-134	4,04E-05	1,56E-07	7,00E-13
Cs-137	4,11E-03	2,98E-05	7,82E-09

Tabell B10-19. Missöde – grund vik/skärgård. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment.

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
I-129	1,16E-04	6,48E-07	0,00E+00
Cs-134	1,87E-03	5,27E-05	0,00E+00
Cs-137	1,87E-01	1,88E-02	0,00E+00

**Tabell B10-20. Missöde – vattendrag. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
I-129	2,00E-02	2,46E-02	9,79E-04
Cs-134	3,35E-02	4,11E-02	3,96E-11
Cs-137	4,66E+00	2,73E+01	3,44E-02

**Tabell B10-21. Missöde – sjö. Beräknade bidrag till halter i vatten och sediment.**

Nuklid	Aktivitetskoncentration i vatten (Bq/liter)	Aktivitetskoncentration i övre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)	Aktivitetskoncentration i undre sedimentskiktet (Bq/kg torrsvikt)
I-129	2,25E-04	2,09E-03	1,01E-04
Cs-134	3,98E-03	5,47E-02	8,04E-08
Cs-137	3,98E-01	1,43E+01	9,76E-02

## Beräknade bidrag till dosrat för biota

Tabellerna B11-1 och B11-2 visar beräknade bidrag till dosrat i  $\mu\text{Gy/h}$  för rödlistade arter och nyckelarter för realistiska respektive konservativa utsläpp. Total dosrat innebär att den är sammanräknad för samtliga radionuklider.

Tabellerna B11-3 till B11-22 visar motsvarande för referensorganismer som använts att representera rödlistade arter och nyckelarter. ”Luft” avser dosrat från externstrålning från nuklider i luften, medan ”Jord” är övriga exponeringsvägar (externstrålning från jord, intag etc).

## Realistiska utsläpp vid normaldrift

Tabell B11-1. Beräknat bidrag till dosrat för utvalda arter för olika naturtyper.

Naturtyp	Rödlistad/ hotad	Dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Nyckelart	Dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Latinskt namn	Referensorganism i ERICA
Våtmark			Vass	1,56E-06	Phragmites australis	Kärlväxt
Våtmark			Vitmossor	2,71E-07	Sphagnum sp.	Mossa
Våtmark			Klibbal	2,82E-06	Alnus glutinosa	Träd
Våtmark			Gran	2,82E-06	Picea abies	Träd
Våtmark			Tall	2,82E-06	Pinus silvestris	Träd
Våtmark	Trana	1,76E-06			Grus grus	Fågel
Skog			Klibbticka	–	Fomitopsis pinicola	–
Skog			Spillkråka	1,62E-06	Dryocopus martius	Fågel
Skog			Daggmask	3,75E-06	Lumbricus sp.	–
Skog			Glasbjörk	1,74E-06	Betula	Träd
Skog			Gran	1,74E-06	Picea abies	Träd
Skog			Tall	1,74E-06	Pinus sylvestris	Träd
Skog	Trana	1,62E-06			Grus grus	Fågel
Skog	Orre	1,62E-06			Tetrao tetrix	Fågel
Skog	Mindre flug- snappare	1,62E-06			Ficedula parva	Fågel
Skog	Nattskärja	1,62E-06			Caprimulgus europaeus	Fågel
Skog	Sparvuggla	1,62E-06			Glaucidium passerinum	Fågel
Skog	Bivråk	1,62E-06			Pernis apivorus	Fågel
Skog	Fransfladdermus	2,38E-09			Myotis nattereri	Litet däggdjur
Skog	Luddticka	–		–	Inonotus tomentosus	–
Jordbruksmark			Boskap	3,30E-07		Stort däggdjur
Jordbruksmark			Ek	3,75E-07	Quercus robur	Träd
Jordbruksmark			Daggmask	8,14E-07	Lumbricus sp	Ryggradslös markfauna
Jordbruksmark	Trana	3,53E-07			Grus grus	Fågel
Jordbruksmark	Törnskata	3,53E-07			Lanius collurio	Fågel
Jordbruksmark	Göktyta	3,53E-07			Jynx torquilla	Fågel
Jordbruksmark	Mindre hackspett	3,53E-07			Dendrocopos minor	Fågel
Jordbruksmark	Trollfladdermus	3,93E-07			Pipistrellus pygmaeus	Litet däggdjur
Jordbruksmark	Almlav	5,82E-08			Gyalecta ulmi	Lav
Jordbruksmark	Rosa skärelav	5,82E-08			Schimatomma pericleum	Lav
Havsvik/skärgård	Raggstråfse (kransalg)	1,17E-02			Chara horrida	–
Havsvik/skärgård	Knubbsäl (Östersjöbestånd)	3,39E-02			Phoca vitulina (östersjö)	Marint däggdjur
Havsvik/skärgård	Lake	9,93E-03			Lota lota	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Vimma	9,93E-03			Vimba vimba	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Fyrtömmad skärlånga	9,93E-03			Enchelyopus cimbricus	Marin bentisk fisk
Havsvik/skärgård	Sjurygg (stenbit resp. kvabbsö)	7,19E-03			Cyclopterus lumpus	Marin pelagisk fisk

Naturtyp	Rödlistad/ hotad	Dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Nyckelart	Dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Latinskt namn	Referensorganism i ERICA
Havsvik/skärgård	Tånglake	7,19E-03			Zoarces viviparus	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Ål	7,19E-03			Anguilla anguilla	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Alfågel (övervint- rande population)	3,34E-02			Clangula hyemalis (wintering)	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Bergand	3,34E-02			Aythya marila	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Svärta	3,34E-02			Melanitta fusca	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Ejder	3,34E-02			Somateria mollissima	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Kentsk tärna	3,34E-02			Sterna sandvicensis	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Småtärna	3,34E-02			Sternula albifrons	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Tobisgrissla	3,34E-02			Cepphus grylle	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Svarthakedopping	3,34E-02			Podiceps auritus	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Gråtrut	3,34E-02			Larus argentatus	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Skräntärna	3,34E-02			Hydroprogne caspia	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Havsörn	3,34E-02			Haliaeetus albicilla	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Silltrut	3,34E-02			Larus fuscus	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård			Blåstång	1,17E-02	Fucus vesiculosus	Makroalg (brunalg)
Havsvik/skärgård			Blåmussla	3,52E-03	Mytilus edulis	Bentisk mollusk
Havsvik/skärgård			Strömring	9,93E-03	Clupea harengus	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Raggsträfsa (kransalg)	2,92E-03			Chara horrida	-
Öppet hav	Knubbsäl (Östersjöbestånd)	4,08E-01			Phoca vitulina (östersjö)	Marint däggdjur
Öppet hav	Lake	7,19E-03			Lota lota	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Vimma	7,19E-03			Vimba vimba	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Fyrtömmad skärlänga	6,48E-03			Enchelyopus cimbrius	Marin bentisk fisk
Öppet hav	Sjurygg (stenbit resp. kvabbsö)	7,19E-03			Cyclopterus lumpus	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Tånglake	7,19E-03			Zoarces viviparus	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Ål	7,19E-03			Anguilla anguilla	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Alfågel (övervint- rande population)	4,04E-01			Clangula hyemalis (wintering)	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Bergand	4,04E-01			Aythya marila	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Svärta	4,04E-01			Melanitta fusca	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Ejder	4,04E-01			Somateria mollissima	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Kentsk tärna	4,04E-01			Sterna sandvicensis	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Småtärna	4,04E-01			Sternula albifrons	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Tobisgrissla	4,04E-01			Cepphus grylle	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Svarthakedopping	4,04E-01			Podiceps auritus	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Gråtrut	4,04E-01			Larus argentatus	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Skräntärna	4,04E-01			Hydroprogne caspia	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Havsörn	4,04E-01			Haliaeetus albicilla	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Silltrut	4,04E-01			Larus fuscus	Marin fågel (vadare)
Öppet hav			Blåstång	2,92E-03	Fucus vesiculosus	Makroalg (brunalg)
Öppet hav			Blåmussla	6,68E-03	Mytilus edulis	Bentisk mollusk
Öppet hav			Strömring	7,19E-03	Clupea harengus	Marin pelagisk fisk
Sjö			Vass	5,87E-04	Phragmites australis	Kärlväxt
Sjö			Fyto- plankton	7,62E-03	Gonyostomum semen	Fytoplankton (sötvatten)
Sjö			Mygglarv	9,85E-04	Chaoborus flavicans	Insektslarv
Sjö			Mört	8,06E-05	Rutilus Rutilus	Pelagisk fisk (sötvatten)
Vattendrag			Fåborst- mask	-	Oligochaeta	-
Vattendrag	Flodkräfta	1,98E-03			Astacus astacus	Kräftdjur
Vattendrag	Lake	1,11E-04			Lota lota	Pelagisk fisk (sötvatten)
Vattendrag			Mört	1,11E-04	Rutilus Rutilus	Pelagisk fisk (sötvatten)
Vattendrag			Vass	5,87E-04	Phragmites australis	Kärlväxt

## Konservativa utsläpp vid normaldrift

Tabell B11-2. Beräknat bidrag till dosrat för utvalda arter för olika naturtyper.

Naturtyp	Rödlistad/ hotad	Dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Nyckelart	Dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Latinskt namn	Referensorganism i ERICA
Våtmark			Vass	4,30E-04	Phragmites australis	Kärlväxt
Våtmark			Vitmossor	3,10E-05	Sphagnum sp.	Mossa
Våtmark			Klibbal	4,30E-04	Alnus glutinosa	Träd
Våtmark			Gran	4,30E-04	Picea abies	Träd
Våtmark			Tall	4,30E-04	Pinus silvestris	Träd
Våtmark	Trana	5,00E-04			Grus grus	Fågel
Skog			Klibbticka	–	Fomitopsis pinicola	–
Skog			Spillkråka	4,62E-04	Dryocopus martius	Fågel
Skog			Daggmask	1,08E-03	Lumbricus sp.	–
Skog			Glasbjörk	3,64E-04	Betula	Träd
Skog			Gran	3,64E-04	Picea abies	Träd
Skog			Tall	3,64E-04	Pinus sylvestris	Träd
Skog	Trana	4,62E-04			Grus grus	Fågel
Skog	Orre	4,62E-04			Tetrao tetrix	Fågel
Skog	Mindre flugsnappare	4,62E-04			Ficedula parva	Fågel
Skog	Nattskärja	4,62E-04			Caprimulgus europaeus	Fågel
Skog	Sparvuggla	4,62E-04			Glaucidium passerinum	Fågel
Skog	Bivråk	4,62E-04			Pernis apivorus	Fågel
Skog	Fransfladdermus	6,72E-07			Myotis nattereri	Litet däggdjur
Skog	Luddticka	–		–	Inonotus tomentosus	–
Jordbruksmark			Boskap	9,39E-05		Stort däggdjur
Jordbruksmark			Ek	7,85E-05	Quercus robur	Träd
Jordbruksmark			Daggmask	2,38E-04	Lumbricus sp	Rygggradslös markfauna
Jordbruksmark	Trana	1,01E-04			Grus grus	Fågel
Jordbruksmark	Törnskata	1,01E-04			Lanius collurio	Fågel
Jordbruksmark	Göktyta	1,01E-04			Jynx torquilla	Fågel
Jordbruksmark	Mindre hackspett	1,01E-04			Dendrocopos minor	Fågel
Jordbruksmark	Trollfladdermus	1,20E-07			Pipistrellus pygmaeus	Litet däggdjur
Jordbruksmark	Almlav	3,30E-06			Gyalecta ulmi	Lav
Jordbruksmark	Rosa skärelav	3,30E-06			Schismatomma pericleum	Lav
Havsvik/skärgård	Raggstråfse (kransalg)	9,58E-03			Chara horrida	–
Havsvik/skärgård	Knubbsäl (Östersjöbestånd)	1,47E+00			Phoca vitulina (östersjö)	Marint däggdjur
Havsvik/skärgård	Lake	1,20E-01			Lota lota	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Vimma	1,20E-01			Vimba vimba	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Fyrtömmad skärlånga	1,20E-01			Enchelyopus cimbricus	Marin bentisk fisk
Havsvik/skärgård	Sjurygg (stenbit resp. kvabbso)	1,20E-01			Cyclopterus lumpus	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Tånglake	1,20E-01			Zoarces viviparus	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Ål	1,20E-01			Anguilla anguilla	Marin pelagisk fisk
Havsvik/skärgård	Alfågel (övernint- rande population)	5,00E+00			Clangula hyemalis (wintering)	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Bergand	5,00E+00			Aythya marila	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Svärta	5,00E+00			Melanitta fusca	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Ejder	5,00E+00			Somateria mollissima	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Kentsk tärna	5,00E+00			Sterna sandvicensis	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Småtärna	5,00E+00			Sternula albifrons	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Tobisgrissla	5,00E+00			Cepphus grylle	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Svarthakedopping	5,00E+00			Podiceps auritus	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Gråtrut	5,00E+00			Larus argentatus	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Skrântärna	5,00E+00			Hydroprogne caspia	Marin fågel (vadare)

Naturtyp	Rödlistad/ hotad	Dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Nyckelart	Dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Latinskt namn	Referensorganism i ERICA
Havsvik/skärgård	Havsörn	5,00E+00			<i>Haliaeetus albicilla</i>	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård	Silltrut	5,00E+00			<i>Larus fuscus</i>	Marin fågel (vadare)
Havsvik/skärgård			Blåmussla	4,60E-02	<i>Mytilus edulis</i>	Bentisk mollusk
Havsvik/skärgård			Blåstång	1,20E-01	<i>Fucus vesiculosus</i>	Makroalg (brunalg)
Havsvik/skärgård			Strömming	1,20E-01	<i>Clupea harengus</i>	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Raggsträffe (kransalg)	4,60E-02			<i>Chara horrida</i>	-
Öppet hav	Knubbsäl (Östersjöbestånd)	5,10E+00			<i>Phoca vitulina</i> (östersjö)	Marint däggdjur
Öppet hav	Lake	1,20E-01			<i>Lota lota</i>	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Vimma	1,20E-01			<i>Vimba vimba</i>	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Fyrtömmad skärlånga	1,10E-01			<i>Enchelyopus cimbrius</i>	Marin bentisk fisk
Öppet hav	Sjurygg (stenbit resp. kvabbso)				<i>Cyclopterus lumpus</i>	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Tånglake	1,20E-01			<i>Zoarces viviparus</i>	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Ål	1,20E-01			<i>Anguilla anguilla</i>	Marin pelagisk fisk
Öppet hav	Alfågel (övervint- rande population)	5,00E+00			<i>Clangula hyemalis</i> (wintering)	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Bergand	5,00E+00			<i>Aythya marila</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Svärta	5,00E+00			<i>Melanitta fusca</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Ejder	5,00E+00			<i>Somateria mollissima</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Kentsk tärna	5,00E+00			<i>Sterna sandvicensis</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Småtärna	5,00E+00			<i>Sternula albifrons</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Tobisgrissla	5,00E+00			<i>Cepphus grylle</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Svarthakedopping	5,00E+00			<i>Podiceps auritus</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Gråtrut	5,00E+00			<i>Larus argentatus</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Skräntärna	5,00E+00			<i>Hydroprogne caspia</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Havsörn	5,00E+00			<i>Haliaeetus albicilla</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav	Silltrut	5,00E+00			<i>Larus fuscus</i>	Marin fågel (vadare)
Öppet hav			Blåmussla	1,20E-01	<i>Mytilus edulis</i>	Bentisk mollusk
Öppet hav			Blåstång	4,60E-02	<i>Fucus vesiculosus</i>	Makroalg (brunalg)
Öppet hav			Strömming	1,20E-01	<i>Clupea harengus</i>	Marin pelagisk fisk
Sjö			Vass	4,30E-02	<i>Phragmites australis</i>	Kärlväxt
Sjö			Fytoplankton	2,70E-01	<i>Gonyostomum semen</i>	Fytoplankton (sötvatten)
Sjö			Mygglarv	1,10E-01	<i>Chaoborus flavicans</i>	Insektslarv
Sjö			Mört	2,20E-02	<i>Rutilus Rutilus</i>	Pelagisk fisk (sötvatten)
Vattendrag			Fåborstmask	-	<i>Oligochaeta</i>	-
Vattendrag	Flodkräfta	1,08E-03			<i>Astacus astacus</i>	Kräftdjur
Vattendrag	Lake	1,17E-03			<i>Lota lota</i>	Pelagisk fisk (sötvatten)
Vattendrag			Mört	1,17E-03	<i>Rutilus Rutilus</i>	Pelagisk fisk (sötvatten)
Vattendrag			Vass	2,10E-03	<i>Phragmites australis</i>	Kärlväxt

## Realistiska utsläpp vid normaldrift

Tabellerna B11-3 till B11-22 visar motsvarande för referensorganismer som använts att representera rödlistade arter och nyckelarter. ”Luft” avser dosrat från externstrålning från nuklider i luften, medan ”Jord” är övriga exponeringsvägar (externstrålning från jord, intag etc).

**Tabell B11-3. Normaldrift – jord – jordbruksmark.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	4,06E-07
Fågel	2,52E-07
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	5,68E-07
Insekt (flygande)	2,47E-07
Snäcka	2,80E-07
Gräs och örter	2,11E-07
Lav och mossor	5,82E-08
Däggdjur (hjord)	2,36E-07
Däggdjur (råtta)	3,92E-07
Reptil	3,90E-07
Buske	2,30E-07
Soil invertebrate (mask)	5,81E-07
Träd	2,67E-07

**Tabell B11-4. Normaldrift – luft – jordbruksmark**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	4,25E-10
Fågel	2,59E-10
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	5,82E-10
Insekt (flygande)	2,35E-10
Snäcka	2,38E-10
Gräs och örter	2,35E-10
Lav och mossor	2,12E-11
Däggdjur (hjord)	2,45E-10
Däggdjur (råtta)	4,14E-10
Reptil	4,15E-10
Buske	2,61E-10
Soil invertebrate (mask)	6,03E-10
Träd	5,31E-10

**Tabell B11-5. Normaldrift – jord – skog**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	1,87E-06
Fågel	1,16E-06
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	2,62E-06
Insekt (flygande)	1,12E-06
Snäcka	1,24E-06
Gräs och örter	9,80E-07
Lav och mossor	2,34E-07
Däggdjur (hjord)	1,08E-06
Däggdjur (råtta)	1,81E-06
Reptil	1,80E-06
Buske	1,06E-06
Soil invertebrate (mask)	2,67E-06
Träd	1,24E-06



**Tabell B11-6. Normaldrift – luft – skog**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	1,74E-09
Fågel	1,06E-09
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	2,39E-09
Insekt (flygande)	9,64E-10
Snäcka	9,76E-10
Gräs och örter	9,64E-10
Lav och mossor	8,77E-11
Däggdjur (hjord)	1,00E-09
Däggdjur (råtta)	1,70E-09
Reptil	1,70E-09
Buske	1,07E-09
Soil invertebrate (mask)	2,47E-09
Träd	2,18E-09

**Tabell B11-7. Normaldrift – jord – våtmark**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	2,87E-06
Fågel	1,76E-06
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	3,78E-06
Insekt (flygande)	1,64E-06
Snäcka	1,73E-06
Gräs och örter	1,56E-06
Lav och mossor	2,71E-07
Däggdjur (hjord)	1,65E-06
Däggdjur (råtta)	2,79E-06
Reptil	2,78E-06
Buske	1,72E-06
Soil invertebrate (mask)	4,08E-06
Träd	2,82E-06

**Tabell B11-8. Normaldrift – luft – våtmark**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	7,10E-10
Fågel	4,32E-10
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	9,73E-10
Insekt (flygande)	3,93E-10
Snäcka	3,98E-10
Gräs och örter	3,93E-10
Lav och mossor	3,58E-11
Däggdjur (hjord)	4,09E-10
Däggdjur (råtta)	6,92E-10
Reptil	6,94E-10
Buske	4,36E-10
Soil invertebrate (mask)	1,01E-09
Träd	8,88E-10

**Tabell B11-9. Normaldrift – vatten – öppet hav**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Fågel (vadare)	4,04E-01
Bentisk fisk	6,48E-03
Bentisk mollusk	6,68E-03
Kräftdjur	2,29E-02
Makroalger	2,92E-03
Däggdjur	4,08E-01
Pelagisk fisk	7,19E-03
Fytoplankton	1,12E-02
Havsborstmask	7,69E-03
Kärlväxter	4,40E-03
Zooplankton	1,57E-02

**Tabell B11-10. Normaldrift – vatten grund vik. skärgård**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Fågel (vadare)	3,34E-02
Bentisk fisk	9,93E-03
Bentisk mollusk	3,52E-03
Kräftdjur	2,15E-03
Makroalger	1,17E-02
Däggdjur	3,39E-02
Pelagisk fisk	9,93E-03
Fytoplankton	3,41E-01
Havsborstmask	4,62E-03
Kärlväxter	1,18E-02
Zooplankton	2,31E-02

**Tabell B11-11. Normaldrift – vatten – vattendrag**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	4,16E-04
Bentisk fisk	1,16E-04
Fågel	8,86E-06
Mussla	1,49E-03
Kräftdjur	1,98E-03
Snäcka	1,49E-03
Insektslarv	2,26E-03
Däggdjur	4,20E-04
Pelagisk fisk	1,11E-04
Fytoplankton	1,15E-02
Kärlväxt	4,74E-03
Zooplankton	1,43E-03

**Tabell B11-12. Normaldrift – vatten – sjö**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	6,99E-05
Bentisk fisk	1,12E-04
Fågel	1,02E-04
Mussla	4,47E-04
Kräftdjur	2,15E-04
Snäcka	4,48E-04
Insektslarv	9,85E-04
Däggdjur	1,58E-04
Pelagisk fisk	8,06E-05
Fytoplankton	7,62E-03
Kärlväxt	5,87E-04
Zooplankton	1,05E-02

## Konservativa utsläpp vid normaldrift

**Tabell B11-13. Normaldrift – jord – jordbruksmark.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	1,20E-04
Fågel	7,20E-05
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	1,70E-04
Insekt (flygande)	6,40E-05
Snäcka	6,40E-05
Gräs och örter	6,20E-05
Lav och mossor	3,30E-06
Däggdjur (hjord)	6,70E-05
Däggdjur (råtta)	1,10E-04
Reptil	1,10E-04
Buske	6,60E-05
Soil invertebrate (mask)	1,70E-04
Träd	5,60E-05

**Tabell B11-14. Normaldrift – luft – jordbruksmark.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	1,20E-07
Fågel	7,30E-08
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	1,70E-07
Insekt (flygande)	6,50E-08
Snäcka	6,50E-08
Gräs och örter	6,30E-08
Lav och mossor	2,90E-09
Däggdjur (hjord)	6,70E-08
Däggdjur (råtta)	1,20E-07
Reptil	1,10E-07
Buske	6,80E-08
Soil invertebrate (mask)	1,70E-07
Träd	6,80E-08

**Tabell B11-15. Normaldrift – jord – skog.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	5,50E-04
Fågel	3,30E-04
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	7,70E-04
Insekt (flygande)	3,00E-04
Snäcka	3,00E-04
Gräs och örter	2,90E-04
Lav och mossa	1,50E-05
Däggdjur (hjort)	3,10E-04
Däggdjur (råtta)	5,30E-04
Reptil	5,30E-04
Buske	3,10E-04
Soil invertebrate (mask)	7,70E-04
Träd	2,60E-04

**Tabell B11-16. Normaldrift – luft – skog.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	4,90E-07
Fågel	3,00E-07
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	6,90E-07
Insekt (flygande)	2,70E-07
Snäcka	2,70E-07
Gräs och örter	2,60E-07
Lav och mossa	1,20E-08
Däggdjur (hjort)	2,70E-07
Däggdjur (råtta)	4,80E-07
Reptil	4,70E-07
Buske	2,80E-07
Soil invertebrate (mask)	6,90E-07
Träd	2,80E-07

**Tabell B11-17. Normaldrift – jord – våtmark.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	8,20E-04
Fågel	5,00E-04
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	1,10E-03
Insekt (flygande)	4,40E-04
Snäcka	4,40E-04
Gräs och örter	4,30E-04
Lav och mossa	3,10E-05
Däggdjur (hjort)	4,80E-04
Däggdjur (råtta)	8,00E-04
Reptil	7,90E-04
Buske	4,70E-04
Soil invertebrate (mask)	1,10E-03
Träd	4,30E-04

**Tabell B11-18. Normaldrift – luft – våtmark.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Groddjur	2,00E-07
Fågel	1,20E-07
Detritivorous invertebrate (gråsugga)	2,80E-07
Insekt (flygande)	1,10E-07
Snäcka	1,10E-07
Gräs och örter	1,10E-07
Lav och mossa	4,80E-09
Däggdjur (hjort)	1,10E-07
Däggdjur (råtta)	1,90E-07
Reptil	1,90E-07
Buske	1,10E-07
Soil invertebrate (mask)	2,80E-07
Träd	1,10E-07

**Tabell B11-19. Normaldrift – vatten – öppet hav.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Fågel (vadare)	5,00E+00
Bentisk fisk	1,10E-01
Bentisk mollusk	1,20E-01
Kräftdjur	3,10E-01
Makroalger	4,60E-02
Däggdjur	5,10E+00
Pelagisk fisk	1,20E-01
Fytoplankton	1,80E-01
Havsborstmask	1,30E-01
Kärlväxter	6,20E-02
Zooplankton	2,10E-01

**Tabell B11-20. Normaldrift – vatten – grund vik/skärgård.**

Organismer	Total dosrat ( $\mu\text{Gy/h}$ )
Fågel (vadare)	1,46E+00
Bentisk fisk	1,69E-02
Bentisk mollusk	2,03E-02
Kräftdjur	8,01E-02
Makroalger	9,58E-03
Däggdjur	1,47E+00
Pelagisk fisk	1,87E-02
Fytoplankton	3,62E-02
Havsborstmask	2,24E-02
Kärlväxter	1,52E-02
Zooplankton	5,44E-02

**Tabell B11-21. Normaldrift – vatten – vattendrag.**

<b>Organismer</b>	<b>Total dosrat (<math>\mu\text{Gy/h}</math>)</b>
Groddjur	4.89E-04
Bentisk fisk	1.25E-03
Fågel	1.25E-03
Mussla	2.50E-03
Kräftdjur	1.08E-03
Snäcka	3.07E-03
Insektslarv	5.55E-03
Däggdjur	1.88E-03
Pelagisk fisk	1.17E-03
Fytoplankton	1.61E-02
Kärlväxt	2.10E-03
Zooplankton	2.73E-02

**Tabell B11-22. Normaldrift – vatten – sjö.**

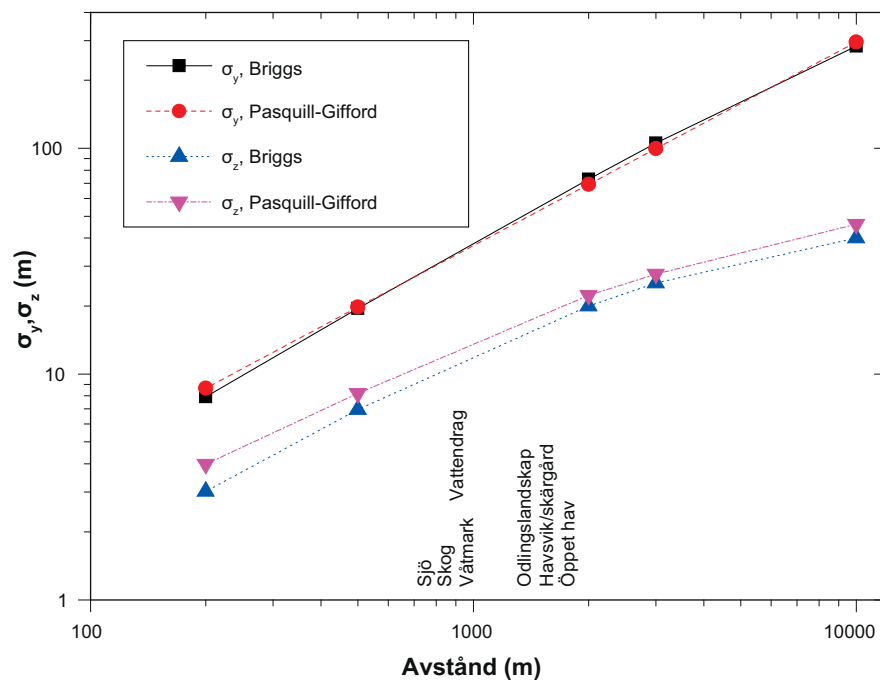
<b>Organismer</b>	<b>Total dosrat (<math>\mu\text{Gy/h}</math>)</b>
Groddjur	9.30E-03
Bentisk fisk	2.70E-02
Fågel	2.40E-02
Mussla	4.80E-02
Kräftdjur	2.40E-02
Snäcka	6.20E-02
Insektslarv	1.10E-01
Däggdjur	3.60E-02
Pelagisk fisk	2.20E-02
Fytoplankton	2.70E-01
Kärlväxt	4.30E-02
Zooplankton	4.50E-01

## Jämförelse mellan spridningsparametrar

Jämförelsen avser och ”Extremväder B” /Isaksson et al. 2008, Hallberg 2008/, vilket innebär stabilitetsklassen Pasquill F (mycket stabilt).

**Tabell B12-1. Värderna på spridningsparametrarna  $\sigma_y$  och  $\sigma_z$  för parameteriseringar enligt Briggs (B) /Pasquill och Smith 1983/ och Pasquill-Gifford (P-G) /Isaksson et al. 2008, Hallberg 2008/.**

Avstånd (m)	$\sigma_y$ B	$\sigma_y$ P-G	$\sigma_z$ B	$\sigma_z$ P-G
200	7,9	8,6	3,0	4,0
500	20	20	7,0	8,2
2 000	73	69	20	22
3 000	105	100	25	28
10 000	2,8E02	3,0E02	40	46



**Figur B12-1. Jämförelse mellan spridningsparametrar. Avstånd från Clab till utvalda naturtyper visas också.**