



Strålsäkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Rapport

Strålskyddskonsekvenser av radioaktivt nedfall från kärnvapenexplosioner

Bilaga 6 - Detaljerade resultat (allmänt)

2023:05

Författare: Anders Axelsson, Peder Kock, Jan Johansson,
Jonas Lindgren, Anna Maria Blixt Buhr, Jonas Boson,
Ulf Bäverstam, Simon Karlsson

Datum: Mars 2023

Rapportnummer: 2023:05

ISSN: 2000-0456

Tillgänglig på www.ssm.se



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Anders Axelsson, Peder Kock, Jan Johansson, Jonas Lindgren,
Anna Maria Blixt Buhr, Jonas Boson, Ulf Bäverstam, Simon Karlsson

2023:05

Strålskyddskonsekvenser
av radioaktivt nedfall från
kärnvapenexplosioner

Bilaga 6 - Detaljerade resultat (allmänt)

Datum: Mars 2023

Rapportnummer: 2023:05

ISSN: 2000-0456

Tillgänglig på www.stralsakerhetsmyndigheten.se

Innehåll

Innehåll	3
1. Inledning	5
1.1. Standardberäkning	5
1.2. Andra beräkningsresultat.....	5
2. Absorberad dos till huden	6
3. Tidsinvariant markbeläggning (H+1)	9
3.1. Största avstånd för given markbeläggning (H+1)	9
3.2. Högsta markbeläggning (H+1) vid givna avstånd	10
3.3. Effektiv dos och dosrat $H^*(10)$ från markbeläggning (H+1)	11
Referenser	13

1. Inledning

I den här bilagan redovisas beräkningsresultat som inte avser stråldoser eller som inte är beroende av ålder hos exponerad person. Ett undantag är avsnitt 3.3, där beräknade doser och dosrater från markbeläggning redovisas för att illustrera innebörden av olika nivåer av markbeläggning H+1. Resultaten presenteras med få kommentarer och förklaringar.

Bilaga 3 (spridnings- och dosberäkningar) beskriver hur beräkningar och databehandling genomförts.

1.1. Standardberäkning

Där ingenting annat framgår gäller följande för de resultat som redovisas:

- Beräkningarna har gjorts för en representativ plats, en svensk ort i inlandet ca 200 km från kust.
- Beräkningarna är genomförda för väder med 13 timmars intervall mellan 2021-01-23 och 2022-01-21, sammanlagt 663 enskilda beräkningar, med SMHI:s beräkningsmodell *MATCH-BOMB* med numeriska väderdata från *AROME*-modellen på en grid med upplösningen 2,5 km.
- Resultaten gäller för en kärnvapenexplosion, en 100 kiloton markexplosion med 50 % fusionsandel, med användning av den nuklidvektor som SSM tagit fram och som beskrivs i Bilaga 2 (nuklidsammansättning).

1.2. Andra beräkningsresultat

Beräkningar har även gjorts för stråldoser till ettårigt barn och för stråldoser till vuxen, och dessa resultat redovisas i Bilaga 4 (detaljerade resultat för barn) respektive i Bilaga 5 (detaljerade resultat för vuxen).

2. Absorberad dos till huden

SSM har grovt uppskattat under vilka förutsättningar nedfall från en kärnvapenexplosion skulle kunna ge allvarliga deterministiska hälsoeffekter på huden genom att radioaktiva ämnen deponerar på huden. Som doskriterium för allvarliga deterministiska hälsoeffekter på huden användes 10 Gy RBE-viktad absorberad dos till ett djup av 0,4 mm, se Bilaga 1 (strålskydd).

I Tabell 1 redovisas största avstånd för vilka en mängd nedfall som (förutsatt en given ankomsttid) kan ge 10 Gy absorberad dos till huden överskrider för angivna percentiler av förekommande väderfall. Resultaten bygger ytterst på markbeläggningskriterier (se avsnitt 3.1).

Nedfallets snabba förändring genom sönderfall särskilt under de första timmarna efter explosionen gör att dosraten till huden från en given mängd deponerat nedfall minskar snabbt. Detta gör presentation av resultaten avseende absorberad dos till huden genom deposition av nedfall på huden relativt komplex. Här följer därför ett exempel för att visa hur tabellerna skall läsas.

Exempel: Femte raden i Tabell 1 visar att nedfall i en mängd som kan ge minst 10 Gy absorberad dos till huden kan förekomma ut till ett avstånd av 60 km från explosionen. "Kan förekomma" betyder här att det största avståndet där den mängden nedfall förekommer överskrider 60 km om 90 % av förekommande väderfall beaktas. Förutsättningen för att denna mängd nedfall skall kunna ge minst 10 Gy absorberad dos till huden är dessutom att nedfallet hamnar på huden inom 6 timmar efter kärnvapenexplosionen, och att huden inte saneras förrän efter minst 10 timmar.¹

Tabell 1. Största avstånd för vilka ett nedfall som kan ge **10 Gy absorberad dos till huden** överskrider då 70 %, 80 % respektive 90 % av förekommande väderfall beaktas, givet olika kontamineringsstidpunkter (tid efter explosionen, dvs. ålder på nedfallet) och en exponeringstid (dvs. tid från kontaminering till personsanering) på 10 timmar.

Kontamineringsstidpunkt	70 %	80 %	90 %
30 minuter efter explosionen	130 km	150 km	170 km
60 minuter efter explosionen	110 km	120 km	140 km
2 timmar efter explosionen	82 km	92 km	110 km
3 timmar efter explosionen	69 km	77 km	89 km
6 timmar efter explosionen	48 km	53 km	60 km
12 timmar efter explosionen	27 km	30 km	36 km

Resultaten som visas i Tabell 1 bygger på *markbeläggningskriterier* formulerade som H+1 (se avsnitt 4.6 i huvudrapporten), dvs. modelleringen har sökt maximala avstånd där en given markbeläggning (svarande mot den andel av nuklidvektorn som kan ge en viss absorberad dos till huden) överskrider. SSM har även använt *avståndskriterier* för markbeläggning (se avsnitt 3.2). Dessa resultat kan användas för att illustrera betydelsen av nedfallets ankomsttid och exponeringstiden på huden för erhållen absorberad dos till huden. I Tabell 2-4 ges uppskattad absorberad dos till huden som funktion av nedfallets

¹ Det tar visserligen 10 timmar att erhålla 10 Gy absorberad dos till huden från detta nedfall, men det mesta av dosen erhålls betydligt snabbare. Efter c:a 60 minuter har 2 Gy erhållits (med samma modell och antaganden), vilket är en dos över vilken allvarliga deterministiska hälsoeffekter på huden inte helt kan uteslutas.

ankomsttid för olika exponeringstider, för den högsta markbeläggning som kan uppkomma på 10 km, 30 km respektive 100 km avstånd från explosionen om 90 % av förekommande väderfall beaktas (se Tabell 7 i avsnitt 3.2).

Tabell 2. Högsta RBE-viktad absorberad dos till huden vid kontaminering genom nedfall på 10 km avstånd från explosionen, som anländer efter olika tider, för givna exponeringstider.

Exponeringstid	Nedfallets ankomst (tid efter explosionen)				
	30 minuter	60 minuter	2 timmar	3 timmar	6 timmar
30 minuter	110 Gy	54 Gy	23 Gy	14 Gy	6,8 Gy
2 timmar	220 Gy	130 Gy	66 Gy	46 Gy	24 Gy
10 timmar	320 Gy	220 Gy	140 Gy	110 Gy	68 Gy

Tabell 3. Högsta RBE-viktad absorberad dos till huden vid kontaminering genom nedfall på 30 km avstånd från explosionen, som anländer efter olika tider, för givna exponeringstider.

Exponeringstid	Nedfallets ankomst (tid efter explosionen)				
	30 minuter	60 minuter	2 timmar	3 timmar	6 timmar
30 minuter	37 Gy	18 Gy	7,5 Gy	4,7 Gy	2,3 Gy
2 timmar	72 Gy	41 Gy	22 Gy	15 Gy	7,9 Gy
10 timmar	110 Gy	72 Gy	47 Gy	36 Gy	22 Gy

Tabell 4. Högsta RBE-viktad absorberad dos till huden vid kontaminering genom nedfall på 100 km avstånd från explosionen, som anländer efter olika tider, för givna exponeringstider.

Exponeringstid	Nedfallets ankomst (tid efter explosionen)				
	30 minuter	60 minuter	2 timmar	3 timmar	6 timmar
30 minuter	7,8 Gy	3,7 Gy	1,6 Gy	1,0 Gy	0,47 Gy
2 timmar	15 Gy	8,7 Gy	4,6 Gy	3,2 Gy	1,7 Gy
10 timmar	23 Gy	15 Gy	9,8 Gy	7,6 Gy	4,7 Gy

Tabellerna visar att avstånden där allvarliga deterministiska hälsoeffekter på huden skulle kunna uppkomma under de givna förutsättningarna är jämförbara med de avstånd där höga effektiva doser från framförallt markbeläggning kan uppkomma, se Bilaga 4 (detaljerade resultat för barn) och Bilaga 4 (detaljerade resultat för vuxna). Annorlunda uttryckt: på de avstånd där höga stråldoser på kort tid kan erhållas direkt från marken (utan adekvat skydd) kan nedfallet även orsaka allvarliga deterministiska hälsoeffekter på huden. De avstånd och effektiva doser från marken som redovisas i de nämnda bilagorna gäller emellertid dygnsdoser. Kontaminering av huden kan uppkomma under en kortare vistelse utomhus, om man befinner sig ute under den tid nedfallet anländer. För att i någon mån underlätta en jämförelse mellan effekterna av stråldoser från marken med effekterna av möjlig kontaminering på huden ges i Tabell 5 de effektiva doser från marken som erhålls för en vuxen under en kort (30 minuter) oskyddad exponering för den högsta markbeläggning (90:e percentilen i Tabell 7 i avsnitt 3.2) som uppkommer på de givna avstånden, för olika antagna ankomsttider för nedfallet.

Tabell 5. Effektiv dos från marken till vuxen under 30 minuters exponeringstid för den högsta markbeläggning som kan uppkomma vid de givna avstånden, om 90 % av förekommande väderfall beaktas och nedfallet antas anlända vid de givna tidpunkterna efter explosionen.

Avstånd	Högsta markbeläggning (H+1, 90 %)	Nedfallets ankomst (tid efter explosionen)					
		30 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h
10 km	1700 GBq/m ²	2,7 Sv	1,5 Sv	0,67 Sv	0,40 Sv	0,16 Sv	0,069 Sv
30 km	550 GBq/m ²	0,89 Sv	0,48 Sv	0,22 Sv	0,13 Sv	0,052 Sv	0,023 Sv
50 km	310 GBq/m ²	0,50 Sv	0,27 Sv	0,13 Sv	0,075 Sv	0,030 Sv	0,013 Sv
100 km	120 GBq/m ²	0,19 Sv	0,10 Sv	0,047 Sv	0,028 Sv	0,011 Sv	0,005 Sv

3. Tidsinvariant markbeläggning (H+1)

Se avsnitt 4.6 i huvudrapporten för en förklaring av begreppet ”H+1” och hur SSM har använt H+1 som markbeläggningskriterium i modelleringen.

3.1. Största avstånd för given markbeläggning (H+1)

Tabell 6. Största avstånd för givna markbeläggningsnivåer (H+1) som överskrids då 70 %, 80 % respektive 90 % av förekommande väderfall beaktas.

Markbeläggning (H+1)	70 %	80 %	90 %
9 GBq/m ²	> 330 km	> 330 km	> 330 km
10 GBq/m ²	320 km	> 330 km	> 330 km
15 GBq/m ²	260 km	290 km	> 330 km
20 GBq/m ²	220 km	250 km	290 km
25 GBq/m ²	200 km	220 km	260 km
30 GBq/m ²	180 km	200 km	230 km
35 GBq/m ²	160 km	180 km	210 km
40 GBq/m ²	150 km	170 km	200 km
45 GBq/m ²	140 km	160 km	190 km
50 GBq/m ²	130 km	150 km	170 km
60 GBq/m ²	120 km	130 km	160 km
70 GBq/m ²	120 km	130 km	140 km
80 GBq/m ²	110 km	120 km	140 km
90 GBq/m ²	100 km	110 km	130 km
100 GBq/m ²	93 km	100 km	120 km
110 GBq/m ²	87 km	97 km	110 km
120 GBq/m ²	81 km	91 km	100 km
130 GBq/m ²	76 km	85 km	99 km
140 GBq/m ²	74 km	81 km	94 km
150 GBq/m ²	70 km	78 km	90 km
160 GBq/m ²	67 km	74 km	86 km
170 GBq/m ²	64 km	71 km	82 km
180 GBq/m ²	61 km	67 km	77 km
190 GBq/m ²	58 km	64 km	74 km
200 GBq/m ²	55 km	62 km	72 km
225 GBq/m ²	51 km	56 km	65 km
250 GBq/m ²	47 km	52 km	59 km
300 GBq/m ²	40 km	44 km	50 km
350 GBq/m ²	35 km	40 km	46 km

400 GBq/m ²	31 km	35 km	40 km
450 GBq/m ²	27 km	30 km	36 km
500 GBq/m ²	24 km	28 km	32 km
550 GBq/m ²	22 km	25 km	30 km
600 GBq/m ²	20 km	24 km	27 km
650 GBq/m ²	19 km	22 km	25 km
700 GBq/m ²	18 km	20 km	23 km
750 GBq/m ²	16 km	19 km	22 km
800 GBq/m ²	15 km	17 km	21 km
850 GBq/m ²	14 km	17 km	20 km
900 GBq/m ²	13 km	15 km	19 km
950 GBq/m ²	12 km	14 km	17 km
1000 GBq/m ²	11 km	13 km	16 km
1100 GBq/m ²	10 km	12 km	14 km
1200 GBq/m ²	9 km	11 km	13 km
1300 GBq/m ²	< 8 km	10 km	12 km
1400 GBq/m ²	< 8 km	9 km	11 km
1500 GBq/m ²	< 8 km	< 8 km	10 km
1600 GBq/m ²	< 8 km	< 8 km	9 km
1700 GBq/m ²	< 8 km	< 8 km	8 km
1800 GBq/m ²	< 8 km	< 8 km	< 8 km

3.2. Högsta markbeläggning (H+1) vid givna avstånd

Tabell 7. Högsta markbeläggning (H+1) som överskrids vid givna avstånd då 70 %, 80 % respektive 90 % av förekommande väderfall beaktas.

Avstånd	70 %	80 %	90 %
10 km	1200 GBq/m ²	1400 GBq/m ²	1700 GBq/m ²
25 km	510 GBq/m ²	590 GBq/m ²	670 GBq/m ²
30 km	410 GBq/m ²	480 GBq/m ²	550 GBq/m ²
50 km	220 GBq/m ²	260 GBq/m ²	310 GBq/m ²
100 km	83 GBq/m ²	97 GBq/m ²	120 GBq/m ²
150 km	38 GBq/m ²	47 GBq/m ²	60 GBq/m ²
200 km	20 GBq/m ²	27 GBq/m ²	34 GBq/m ²
250 km	14 GBq/m ²	18 GBq/m ²	22 GBq/m ²
300 km	10 GBq/m ²	12 GBq/m ²	16 GBq/m ²

3.3. Effektiv dos och dosrat $H^*(10)$ från markbeläggning (H+1)

För att underlätta tolkningen av vad ett visst värde på markbeläggning uttryckt i H+1 innebär har SSM beräknat den effektiva dos som erhålls vid exponering under en given tidsperiod med början vid en given tid efter explosionen, för några olika värden på markbeläggning H+1. Beräkningarna är gjorda med SSM:s mjukvara *DosCalc*², med doskoefficienter från *DCFPAK* [1], giltiga för effektiv dos till en vuxen från nedfall homogent fördelat i det översta markskiktet (till ett djup av 1 cm). Resultaten redovisas i Tabell 8. Beräkningarna gäller för SSM:s nuklidvektor för huvudscenariot (50 % fission och markbrisd).

Tabell 8. Effektiv dos (mSv) från marken under olika exponeringstid (med början vid olika tidpunkter efter explosionen) för olika nivåer på markbeläggning H+1. Erhållen effektiv dos för en given exponeringstid med början en given tid efter explosionen skalar linjärt med nivån på markbeläggningen. Till exempel innebär tabellvärdet 87 mSv effektiv dos för 30 minuters exponering för 100 GBq/m² H+1 med början 60 minuter efter explosionen att 150 GBq/m² skulle ge 1,5×87 mSv effektiv dos vid 30 minuters exponering med början 60 minuter efter explosionen.

Exponeringstid	Markbeläggning (H+1)	Exponeringens början (tid efter explosionen)					
		30 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h
30 minuter	10 GBq/m ²	16	9	4	2,4	1,0	0,4
	25 GBq/m ²	41	22	10	6	2,4	1,0
	50 GBq/m ²	81	43	20	12	5	2,1
	75 GBq/m ²	120	65	30	18	7	3
	100 GBq/m ²	160	87	40	24	10	4
60 minuter	10 GBq/m ²	25	14	7	4	1,8	0,8
	25 GBq/m ²	62	36	18	11	5	2,0
	50 GBq/m ²	130	72	35	22	9	4
	75 GBq/m ²	190	110	53	33	14	6
	100 GBq/m ²	250	140	71	44	18	8
2 timmar	10 GBq/m ²	35	21	11	8	3	1,5
	25 GBq/m ²	86	54	29	19	8	4
	50 GBq/m ²	170	110	57	38	17	8
	75 GBq/m ²	260	160	86	57	25	12
	100 GBq/m ²	350	210	120	76	33	15

SSM har även beräknat den dosrat som skulle uppmätas vid olika tidpunkter efter explosionen för en given nivå på markbeläggning H+1. Resultaten redovisas i Tabell 9. I denna beräkning har doskoefficienter för miljödosekvivalent ($H^*(10)$) använts för att anknyta till vad ett dosratinstrument skulle visa. Doskoefficienterna är tagna från ICRP 144 [2] och antar nedfall skärmat av en marktjocklek på 0,5 g/cm², vilket överensstämmer väl med förutsättningarna för dosberäkningarna som visas i Tabell 8.

Tabell 9. Dosrat (miljödosekvivalent, $H^*(10)$) (mSv/h) från marken vid olika tidpunkter efter explosionen för olika nivåer på markbeläggning H+1. Dosraten vid en viss tidpunkt skalar linjärt med nivån på markbeläggningen. Till exempel innebär tabellvärdet 120 mSv/h miljödosekvivalent från


² DosCalc v 1.0 (Manual 20-914)

75 GBq/m² H+1 vid tidpunkten 2 timmar efter explosionen att 150 GBq/m² skulle ge 2×120 mSv/h miljödosekvivalent vid tidpunkten 2 timmar efter explosionen.

Markbeläggning (H+1)	Tid efter explosionen					
	30 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h
10 GBq/m ²	78	37	15	9	3	1,4
25 GBq/m ²	190	92	38	22	8	3
50 GBq/m ²	390	180	77	44	16	7
75 GBq/m ²	580	280	120	66	25	10
100 GBq/m ²	780	370	150	88	33	14

Referenser

- [1] K. F. Eckerman och R. W. Leggett, "DCFPAK 3.02 (Dose Coefficient Data File Package)," Oak Ridge National Laboratory, 2013.
- [2] Internationella strålskyddskommissionen (ICRP), "Publication 144 - Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources," 2020.



Strålsäkerhetsmyndigheten arbetar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden.

Du kan ladda ner våra publikationer från www.stralsakerhetsmyndigheten.se/publikationer. Om du behöver alternativa format som exempelvis lättläst, punktskrift eller Daisy, kontaktar du oss på e-post registrator@ssm.se.

Strålsäkerhetsmyndigheten
171 16 Stockholm
08-799 40 00
www.stralsakerhetsmyndigheten.se
registrator@ssm.se

©Strålsäkerhetsmyndigheten