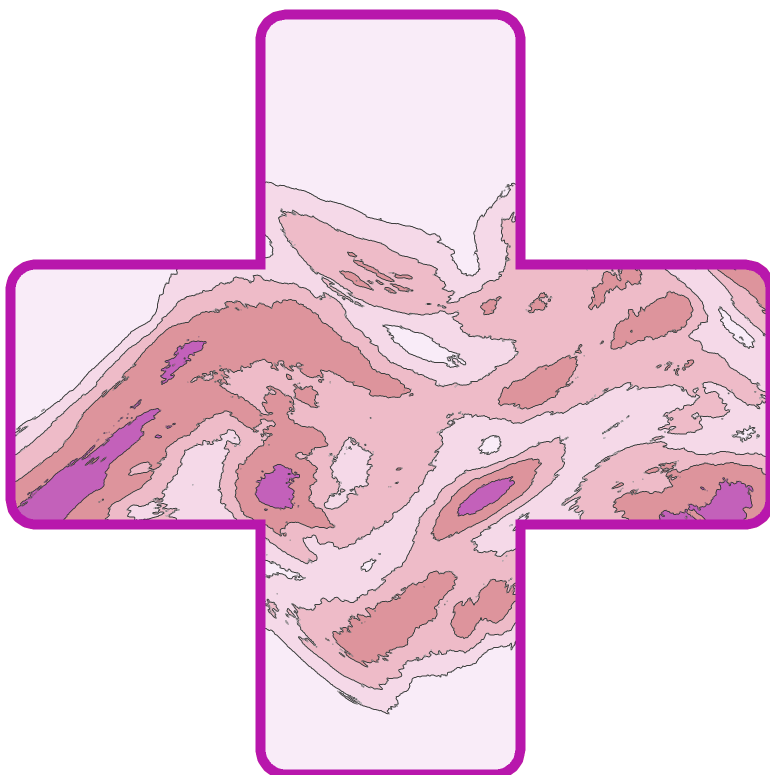


# Beskrivning av metoder och antaganden som har använts till rapporten Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen

OSCAR BJÖRNHAM, ANDERS BUCHT,  
LINA THORS, LEIF PERSSON, LAILA NOPPA,  
GÖRAN ÅGREN, SOFIA SIVERTSSON OCH  
MARTIN GOLIATH



Oscar Björnham, Anders Bucht, Lina Thors, Leif  
Persson, Laila Noppa, Göran Ågren, Sofia Sivertsson  
och Martin Goliath

Beskrivning av metoder och  
antaganden som har använts till  
rapporten Skadepanoraman och  
dimensionerande målbilder för  
hälso- och sjukvården vid anfall med  
massförstörelsevapen

Titel	Beskrivning av metoder och antaganden som har använts till rapporten Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen
Title	Description of methods and assumptions used for the report Injury panoramas and dimensioning conceptualizations for the Swedish healthcare system in the event of an attack with a weapon of mass destruction
Rapportnr/Report no	FOI-R--5653--SE
Månad/Month	Oktober
Utgivningsår/Year	2024
Antal sidor/Pages	26
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	Försvarsdepartementet
Forskningsområde	CBRN-frågor
FoT-område	Inget FoT-område
Projektnr/Project no	A400724
Godkänd av/Approved by	Niklas Brännström
Ansvarig avdelning	CBRN-skydd och säkerhet
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen.

Bild/Cover: Oscar Björnham, FOI

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

## Sammanfattning

Under 2023 fick Socialstyrelsen, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) och Försvarsmakten ett regeringsuppdrag benämnt *Uppdrag att ta fram nyckeltalsberäkningar och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården (S2022/04257)*. FOI:s fristående bidrag (bilaga 3) till slutredovisningen, publicerad av Socialstyrelsen, och har titeln *Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen*. I bilagan presenterar FOI ett antal olika scenarier vilka utgör grund till dimensionerande målbilder för svensk sjukvård i händelse av angrepp med massförstörelsevapen. Resonemang och metoder som användes för scenarierna förklaras översiktligt, medan fokus ligger på resultaten och dess tolkningar för att beskriva skadepanoraman och dimensionerande målbilder på tydligaste sätt. Arbetet med att ta fram detta underlag krävde metoder och antaganden som av pedagogiska skäl inte redogörs i detalj i nämnd bilaga. I denna rapport presenteras alla ytterligare detaljer bakom de metoder som användes och de resultat som presenterades. Tillsammans med informationen i bilaga 3 utgör denna rapport en fullständig redovisning av framtagna skadepanoraman och dimensionerande målbilder för massförstörelsevapen inom ramen för det aktuella regeringsuppdraget.

Nyckelord: Skadepanoraman, dimensionerande målbilder, CBRN, skadefall, svensk sjukvård

## Summary

In 2023, the National Board of Health and Welfare, the Swedish Defence Research Agency (FOI), and the Swedish Armed Forces received a government assignment titled *Uppdrag att ta fram nyckeltalsberäkningar och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården (S2022/04257)*. FOI's standalone contribution is found in appendix 3 of the final report, published by the National Board of Health and Welfare, and is titled *Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen* (translated to *Injury Panoramas and Dimensioning Conceptualizations for the Swedish Healthcare System in the event of an Attack with a Weapon of Mass Destruction*). In that appendix, FOI presents a number of scenarios that together constitute a basis for the dimensioning conceptualizations for the Swedish healthcare system in the event of attacks with weapons of mass destruction. The report focuses on the results and their interpretations to clearly describe injury panoramas and dimensioning conceptualizations, while briefly explaining the reasoning processes and methods used for the scenarios. However, the process of quantitatively analysing the scenarios required additional methods and assumptions that were not described in full detail; this report addresses those aspects. In combination with the information provided in appendix 3, this report fully accounts for all the presented injury panoramas and dimensioning conceptualizations concerning weapons of mass destruction within the scope of the current governmental assignment.

Keywords: Injury panoraman, dimensioning conceptualizing, CBRN, injury outcome, Swedish health care system

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Metoder och antaganden .....</b>	<b>7</b>
2.1	Kemiska händelser – C .....	7
2.1.1	Källor .....	7
2.1.2	Meteorologi .....	8
2.1.3	Exponering .....	8
2.1.4	Toxikologi .....	10
2.1.4.1	Överföringsfaktor mellan djur och människa .....	11
2.1.4.2	Sarin .....	12
2.1.4.3	Svaveldioxid .....	16
2.2	Biologiska händelser – B .....	19
2.3	Radiologiska händelser – R .....	21
2.4	Kärnvapenhändelser – N .....	22
2.4.1	Effekter av kvarvarande strålning .....	23
<b>3</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>25</b>

# 1 Inledning

Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) fick tillsammans med Socialstyrelsen och Försvarsmakten ett regeringsuppdrag med titeln *Uppdrag att ta fram nyckeltalsberäkningar och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården (S2022/04257)* att genomföra under 2023. Syftet med uppdraget var att ta fram underlag med skadepanoraman och dimensionerande målbilder för svensk sjukvård vid händelse av krig. Målsättningen var att underlaget ska underlätta för sjukvården att vara väl förberedda att hantera förväntade situationer i krig. Slutredovisning på uppdraget presenterades som helhet i rapporten *Nyckeltal och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvårdens planering för civilt försvar* [1]. FOI:s del av uppdraget var att bedöma och presentera relevanta dimensionerande målbilder vid angrepp med kemiska, biologiska, radiologiska eller kärnvapen (CBRN), ofta benämnt som massförstörelsevapen. För att uppnå detta definierades en rad scenarier som inkluderade händelser med kemiska ämnen, biologiska ämnen, radioaktiva ämnen och kärnvapen. Olika agens och angreppssätt beaktades i kombination med exponering av både civil befolkning och militär personal utifrån sina olika förutsättningar. Scenarierna utgjorde grunden till skadepanoraman och skadeutfall vilka tillsammans ger dimensionerande målbilder. Resultaten och resonemang presenteras i bilaga 3 med titeln *Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen*. För att konkretisera de utvalda scenarierna krävdes en rad olika metoder, antaganden och resonemang. Vissa av dem bedömdes vara betydelsefulla för läsaren och förklaras i bilagan, medan andra ansågs vara alltför detaljerade i det sammanhanget. Syftet med denna rapport är att presentera även dessa detaljer så att de valda scenarierna och resonemangen som ingår i dem är väl dokumenterade och reproducerbara.

Denna rapport följer upplägget i bilaga 3. De fyra huvudområdena kemiska händelser, biologiska händelser, radiologiska händelser och kärnvapenhändelser presenteras i nämnd ordning. Omfattningen av områdena skiljer sig väsentligt åt i denna rapport vilket beror på att FOI genomförde nya beräkningar och analyser främst vad gäller kemiska händelser och kärnvapenhändelser. Det är därmed främst inom dessa två områden som det finns nya metoder och antaganden att förklara.

Denna rapport utgår ifrån att läsaren har bilaga 3 tillgänglig och information därifrån återupprepas därför inte här.

## 2 Metoder och antaganden

### 2.1 Kemiska händelser – C

Spridningssimuleringar som har använts i dessa analyser genomfördes med FOI:s spridningsmodeller PUMA och LPELLO som utvecklats och använts under många år. LPELLO är en lagrangesk spridningsmodell som använder modellpartiklar för att representera den utsläppta materian och similaritetsteori för att beskriva den lokala meteorologin [2, 3]. PUMA är en liknande modell som LPELLO men använder gaussiska puffar istället för modellpartiklar. I detta uppdrag har LPELLO använts till simulering av sarin medan PUMA användes till simulering av svaveldioxid. Anledningen till att olika modeller använts är att LPELLO ger högre spatial upplösning än PUMA, medan PUMA har visat sig hantera tunggas bättre än LPELLO [4]. Vilken modell som är bäst lämpad för ett scenario beror därför på ämne, typ av källa och domänens karaktär.

Genom att använda modeller för källor, meteorologi och spridning, uppskattades den marknära koncentrationen över tid på ett stationärt rutnät med cellstorleken 20 x 20 x 2 meter. Koncentrationsfälten i kombination med befolkningens täthet och beteende användes för att uppskatta totala exponeringsfördelningar. Slutligen användes en toxikologisk modell för att erhålla skadeutfall.

#### 2.1.1 Källor

En explosiv källa med sarin ger upphov till en primärkälla bestående av en blandning av luftburen gas och aerosoler samt vätska på marken i form av droppar eller små pölar. Eftersom sarin är en flyktig vätska avdunstar denna relativt snabbt och ger upphov till en sekundärkälla som varar ett antal minuter upp till ett par timmar beroende på temperatur och pölarnas tjocklek. Det antogs att angreppet bestod av sarin som hade en renlighet på 100 %.

Ett liknande förfarande skedde med utsläppet av svaveldioxid. Den tryckkondenserade gasen bildar ett primärmoln som består av en kall gasblandning, så kallad tunggas. Primärmolnet innehöll 70 % av den utsläppta massan. Resterande 30 % föll ur och bildade en tunn pöl på marken som avdunstade och bildade ett sekundärmoln. Denna process innebar att 1,6 kg avdunstade per sekund och att pölen var helt borta efter 74 minuter.



## 2.1.2 Meteorologi

Meteorologin har stort inflytande på skadeutfallet i scenarierna eftersom den bland annat påverkar inblandning av luft i plymen samt tidsförloppet av exponeringen. Eftersom scenarierna har en antagonistisk utgångspunkt antogs det att angriparen valde en tidpunkt då skadeutfallet blir relativt allvarligt. Meteorologin definierades med denna utgångspunkt utan att utgöra ett värstafallscenario. Parametrar valdes också för att motsvara ett realistiskt svenskt väder. Följande antaganden användes till scenarierna med både sarin och svaveldioxid.

**Tabell 1.** Parametrar som användes i simuleringarna för scenarierna med sarin och svaveldioxid.

Parametrar	Civilt (Stad)	Militärt (Fält)
Temperatur	15 °C	15 °C
Vindhastighet på 10 m höjd	4 m/s	4 m/s
Atmosfärisk stabilitet	E	E
Yträhet	1,0 m	0,03 m
Automeandering	0,5	0,5
Planet Boundary Layer	200 m	74 m
Monon-Obukhov längd	312 m	71 m
Depositionshastighet sarin* (gas)	0,58 cm/s	0,68 cm/s
Depositionshastighet svaveldioxid* (gas)	0,46 cm/s	

\* Beräknat värde baserat på ämne och marktyp enligt metod beskriven av Borgenstål [5]

## 2.1.3 Exponering

Att befinna sig inomhus ger ett visst skydd mot farliga ämnen som sprids i omgivande luft utomhus, trots att ett massutbyte konstant sker mellan atmosfären och inomhusmiljön genom ventilation. Boverket anger att genomsnittet för ventilation är 0,52 rumsvolymer per timme för flerbostadshus och 0,4 rumsvolymer per timme för småhus [6]. I simuleringarna för kemiska utsläpp i stadsmiljö har 0,45 rumsvolymer per timme använts för samtliga bostäder. Den vertikala placeringen av ventilationsintag för byggnader varierar beroende på hustyp och byggnadsår. Här har 10,0 meters höjd använts för all ventilation. Befolkningen har fördelats så att 90 % befinner sig inomhus och 10 % utomhus. Detta är en uppskattning som är giltig dagtid enligt [7].

En försvårande faktor i exponeringsuppskattningen är befolkningens agerande under hälsofarliga och stressande förlopp som även kan inkludera skadade individer. Då det är omöjligt att konstruera praktiska försök med relevanta förutsättningar baseras istället kunskap inom området på verkliga och allvarliga händelser. Då sådana händelser är okontrollerade samlas information in i efterhand genom vittnesskildringar och övervakningsmaterial när sådant finns att tillgå. Utifrån denna information härleds, förstärks eller ifrågasätts olika förklaringsmodeller till folks beteende under dylika förhållanden. Trots att detta i grunden är ett komplicerat område med tillhörande osäkerheter finns det vissa

grundläggande observationer som anses välbelagda som är användbara för våra ändamål. Historiskt sett har det antagits att grupper av människor genomför irrationella massflykter bort från farliga händelser, så kallad *mass panic*. Detta antagande har kritiserats baserat på studier av beteenden under kritiska förlopp [8-10]. En starkare drivkraft är att leta upp och hjälpa bekanta eller andra människor, företrädesvis människor i en gemensam situation [8, 11]. Denna drivkraft kan innebära förlängda vistelser i en farlig miljö och att folk till och med väljer att närma sig en farlig situation [8]. Att personer aktivt beger sig in i ett potentiellt farligt område kan bero på att det finns skadade individer i behov av hjälp eller att de letar efter familjemedlemmar eller andra bekanta. Även om den vanliga bilden av massflykt inte är giltig tenderar folk i allmänhet att lämna ett farligt område, vilket minskar exponeringen och skadeutfallet [10]. Evakueringen sker i en hastighet som beror på händelse och omständigheter. I många fall som inkluderar CBR-händelser är det svårt, eller omöjligt, för personer i eller nära ett riskområde att själva bedöma riskerna och riskområdets storlek vilket försvårar individuella evakueringar.

Osäkerheterna i modellering av befolkningens beteende förstärks av problematiken i hur observationerna från en händelse kan generaliseras till en annan typ av händelser, här en antagonistisk attack med massförstörelsevapen. Trots ovisshet om folks beteende krävs antaganden om dessa för att kvantifiera skadeutfall.

I denna studie har följande antaganden gjorts vad gäller befolkningens agerande:

1. **Sarin.** Sarin är färg- luktlös och det är därmed svårt för en exponerad befolkning att uppfatta situationen som hotfull innan symtom uppstår. I scenariot med sarin har det antagits att ingen nettoströmning av befolkning sker, och den modelleras som stillastående under hela förloppet.
2. **Svaveldioxid.** Svaveldioxid har en frän och oangenäm lukt med låg luktröskel. Gasen är osynlig i sig men denna typ av utsläpp skapar en plym med kondenserade vattendroppar som är synlig i närheten av källan. Kombinationen av dessa faktorer antas föranleda att delar av befolkningen söker sig undan. I scenariot med svaveldioxid antogs det att 50 % av befolkningen som befinner sig utomhus i riskområdet lämnar området utan skador medan resterande 50 % är stillastående. Befolkning som befinner sig inomhus stannar kvar där de är.

## 2.1.4 Toxikologi

Skador som personer utsätts för delas typiskt in i nivåerna *lätta skador*, *svåra skador* och *dödliga skador*. Givet en känd exponering erhålls en viss sannolikhet att uppnå var och en av dessa nivåer. Den toxikologiska uppskattningen av risken för att uppnå en specifik nivå sker genom probitanalys [12] vilken innehåller tre ämnesberoende parametrar:  $\alpha$ ,  $\beta$  och  $n$ . Ekvation (1) visar hur uttrycket för att beräkna probitvärdet  $P_r$  ser ut.

$$P_r = \alpha + \beta \ln \left( \int_0^T C(t)^n dt \right). \quad (1)$$

Sannolikheten,  $p$ , för att uppnå skada erhålls därefter direkt genom att använda den kumulativa standardnormalfördelningen  $\Phi$  med  $P_r$  som argument, enligt

$$p = \Phi(P_r). \quad (2)$$

Parametrarna  $\alpha$ ,  $\beta$  och  $n$  varierar mellan de olika skadenivåerna även om en eller två av dem kan ha samma värde för flera skadenivåer. Givet värdena på de tre parametrarna för varje skadenivå (totalt nio parametervärden) och exponeringen,  $C(t)$ , kan sannolikheterna för alla skadenivåer beräknas.

Parametervärdena är anpassade för koncentration angiven i enheten  $\text{mg}/\text{m}^3$  och tiden angiven i minuter. För många agens saknas tyvärr kompletta och pålitliga uppsättningar av dessa parametervärden i den öppna litteraturen. Eftersom så är fallet med både sarin och svaveldioxid uppskattade vi de sökta parametervärdena utifrån utvalda och trovärdiga publikationer. Resonemangen och metoderna som har använts i denna process beskrivs här.

### 2.1.4.1 Överföringsfaktor mellan djur och människa

Empirisk toxikologidata baseras typiskt på experimentella studier på försöksdjur. Sådana försök involverar ofta statistiskt sett få djur, och olika studier kan ha använt olika djurarter vilket försvårar jämförelser. Eftersom de toxikologiska effekterna kan skilja mellan biologiska arter krävs överföringsfaktorer för att applicera data från djurförsök till hälsoriskbedömningar för människor. En faktor,  $f_s$ , används för att översätta toxikologisk data från djurförsök till människor. Faktorn skalar koncentrationen linjärt på ett sådant sätt att en människa som exponeras för koncentrationen  $C$  motsvaras av att djuret exponeras för  $f_s C$ . Om  $f_s$  är större än 1 innebär det alltså att människan är känsligare än djuret.

Här visar vi att en överföringsfaktor för koncentrationen kan översättas till en justering av parametern  $\alpha$  i en probitanalys. Parametern  $\alpha$  beror på vilken biologisk art som exponeras och här använder vi  $\alpha_d$  för att beteckna att parametern hör till djurdata, och  $\alpha$  om det hör till människor. Definitionen av överföringsfaktorn kan beskrivas som att en människa har samma sannolikhet att nå en skadenivå som ett djur som exponeras för en koncentration vilken är modifierad med överföringsfaktorn. Det innebär att människan och djuret har samma probitvärde. Ekvation (1) används för att beräkna probitvärdet för de två fallen enligt

$$P_r = \alpha_d + \beta \ln \left( \int_0^t (f_s C(t))^n dt \right) = \alpha_d + \beta \ln(f_s^n) + \beta \ln \left( \int_0^t C(t)^n dt \right) \quad \text{för djur} \quad (3)$$

$$P_r = \alpha + \beta \ln \left( \int_0^t C(t)^n dt \right) \quad \text{för människa}$$

Detta betyder att följande förhållande gäller

$$\alpha = \alpha_d + \beta \ln(f_s^n). \quad (4)$$

En probitanalys baserat på data från djurförsök kan alltså översättas till en probitanalys för människa genom att beräkna  $\alpha$  från parametern  $\alpha_d$  med hjälp av överföringsfaktorn och probitparametrarna  $\beta$  och  $n$  enligt ekvation (4).

### 2.1.4.2 Sarin

För sarin användes probitparametrar baserade på experimentella data från Hulet et al. [13] för lätta skador, och probitparametrar som rekommenderas av Hulet et al. [14] användes för svåra och dödliga skador. I dessa två studier användes ett relativt stort antal minigrisar, 37 respektive 38 försöksdjur, vilket ger förutsättningar för resultat med hög tillförlitlighet.

#### 2.1.4.2.1 Svåra skador och dödliga skador

Hulet et al. presenterar data för både svåra skador och dödliga skador för Göttingen minigrisar som exponerats för sarin [14]. De anger att det finns märkbara skillnader mellan honor och hanar i deras empiriska data. Skillnaderna är dock små jämfört med de 95 %-iga konfidensintervallen vilket föranledde att vi inom denna studie valde att slå ihop grupperna till en enda grupp.

Genom att vi beräknade om de angivna parametervärdena för  $\beta$  och  $n$  till den formalism av probitfunktionen som används i denna studie, ekvation (1), erhöles

- $\beta = 3,91$
- $n = 1,38$ .

Hulet et al. anger inte explicita värden för  $\alpha_d$  utan skriver endast att  $\alpha_d$  beror på vilken skadenivå som beaktas. För att beräkna värden på  $\alpha_d$  använde vi de angivna värdena för  $ECT_{50}$  och  $LCT_{50}$  (doser för att uppnå respektive effekt i 50 % av de exponerade försöksdjuren) i en minsta kvadratregression. Följande värden erhöles med denna metod

- $\alpha_d = -18,8$  (svåra skador)
- $\alpha_d = -20,0$  (dödliga skador).

#### 2.1.4.2.2 Lätta skador

För att erhålla probitparametrar för lätta skador orsakat av sarin användes experimentell data utifrån försök på Göttingen minigrisar framtaget av Hulet et al. [13]. Mios, definierad som minst 50 % reduktion av pupillarean under observationstiden, användes som skadeindikator för lätta skador. Studien baserades på en iterativ försöksdesign (*up-down procedure*) där ett fåtal djur exponerades i varje iteration, och där dosen i nästa iteration ändrades beroende på utfallet. Hulet et al. [12] rapporterar EC<sub>50</sub>-värden (koncentrationer där 50 % av försöksdjuren uppnår den bestämda skadenivån) enligt Tabell 2 där även konfidensintervall med 95 % konfidensnivå anges.

**Tabell 2.** Resultat för EC<sub>50</sub> baserat på kön och exponeringstid för Göttingen minigrisar. Konfidensintervall med 95 % konfidensnivå anges inom hakparenteser.

Tid	Honor (mg/m <sup>3</sup> )	Hanar (mg/m <sup>3</sup> )
10 min	0,214 [0,16; 0,28]	0,244 [0,18; 0,33]
60 min	0,044 [0,034; 0,055]	0,043 [0,034; 0,055]
180 min	0,022 [0,017; 0,029]	0,032 [0,025; 0,040]

För att beräkna sannolikhet för mios (pupillförträngning) beroende på koncentration  $C$  och exponeringstid  $T$  separat testade Hulet et al. [13, 15] sex olika statistiska modeller, baserad på ordinal respons med fyra kategorier av mios (klassgränser 16 %, 50 % resp. 84 % av den ursprungliga pupillarean). Med ordinal respons menas här att de olika kategorierna uppnås i ordning. Den toxiska exponenten bestämdes med ordinal logistisk regression på den könsberoende modellen (modell A6, [13], s. 146):

$$P_r = \alpha_d + b_1 \log_{10}(C) + b_2 \log_{10}(T). \quad (5)$$

Koefficienterna skattades till

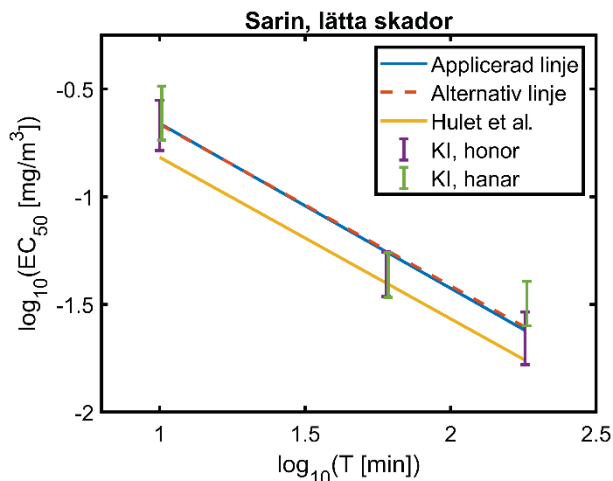
- $\alpha_d = 0,4286$
- $b_1 = 6,402$
- $b_2 = 4,803$

vilket gav

$$n = \frac{b_1}{b_2} = 1,33. \quad (6)$$

De visade att skattningen av  $n$  i stort sett var modelloberoende, och hade god konfidens. Däremot skiljer probitlutningen (koefficienten framför den logaritmerade koncentrationen) stort mellan de olika modellerna. Hulet et al. argumenterar för att koefficienterna ovan har för lågt värde på grund av en

signifikant krökning i probitkurvan (vilket tas om hand implicit när tiden behandlas med en trefaktormodell), se [15] sid 21. En indikation på detta får vi också genom att sätta  $C = EC_{50}$ , vilket är ekvivalent med  $P_r = 0$  (se ekv. (2)), och jämföra mätdata med modelldata. Detta är den gula linjen i Figur 1 (Hulet et al.) vilken ligger väsentligt under de skattade  $EC_{50}$ -värdena.



**Figur 1.** Regressionsresultat där gul linje representerar parameteruppsättningen av Hulet et al., blå linje representerar den parameteruppsättning som applicerades i denna studie och röd streckad linje visar den parameteruppsättning som beskrivs som alternativ här. Staplarna visar konfidensintervallen (KI) med konfidensnivå 95 % enligt försöksdata.

Hulet et al. [13, 15] anger således inte några tillförlitliga skattningar på probitkoefficienterna, utan endast en skattning av den toxiska exponenten  $n$ . Den enda vägledning de ger avseende probitlutningen är att den antagna probitlutningen,  $b_1 = 10$ , som använts vid försöksdesignen inte kan förkastas. För att komma vidare i vår analys behöll vi detta värde på  $b_1$  och genomförde en anpassning för att skatta  $\alpha_d$  och  $b_2$ . Vi bestämde probitkoefficienterna genom att använda denna probitlutning samt en minsta kvadratregression för  $EC_{50}$  på konfidensintervallens mittpunkter. Under denna procedur summerades anpassningsfelet mot mätdata av  $EC_{50}$  för både hanar och honor, och de parametrar som gav upphov till ett minimum i feltermen erhöles. Resultatet blev en parameteruppsättning som representerar båda könen. De erhållna värdena blev

- $\alpha_d = -1,05$
- $b_1 = 10,0$
- $b_2 = 7,65$

vilka översattes till den formalismen av probitanalys som användes i denna studie, dvs. ekv. (1) - (2), och blev då

- $\alpha_d = -1,05$
- $\beta = 3,32$
- $n = 1,31.$

Den blå linjen i Figur 1 visar hur  $EC_{50}$ -värdena ser ut med denna parameteruppsättning (*Applicerad linje*). Det är dessa resultat som applicerades i de toxikologiska analyserna i denna studie.

Avslutningsvis presenterar vi ett alternativt metodval för att skatta probitparametrarna. Genom att både fixera den initiala skattningen för probitlutningen ( $b_l = 10,0$ ) och värdet på exponenten som Hulet et al. beräknade ( $n = 1,33$ ), kvarstår endast en parameter att skatta, nämligen  $\alpha_d$ . En minsta kvadratregression med detta tillvägagångsätt gav följande parameteruppsättning

- $\alpha_d = -0,86$
- $\beta = 3,32$
- $n = 1,33.$

Regressionslinjen för  $EC_{50}$  i detta fall framgår av den röda streckade linjen i Figur 1 (*Alternativ linje*). Som framgår av figuren ger de två olika parameteruppsättningar som är framtagna i denna studie upphov till prediktioner av  $EC_{50}$ -värden som ligger mycket nära varandra.

#### 2.1.4.2.3 Överföringsfaktor

Vi använder en överföringsfaktor mellan Göttingen minigrisar till människor på  $f_S = 3$  för sarin, baserat på rapporten *Method for derivation of probit functions for acute inhalation toxicity* från National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) [16]. Värdet på  $\alpha$  beräknades genom att använda ekvation (4) med  $\alpha_d$  för respektive skadenivå tillsammans med värdena på  $\beta$  och  $n$ . För lätta skador blir då  $\alpha = 3,73$ , för svåra skador blir  $\alpha = -12,9$  och för dödliga skador blir  $\alpha = -14,1$ .



### 2.1.4.3 Svaveldioxid

Trots att svaveldioxid är en välstuderad irriterande gas saknas en gedigen sammantagen studie som presenterar en komplett uppsättning med probitparametrar. För riskområdesanalyser används ofta gränsvärden från Acute Exposure Guideline Levels (AEGL) [17]. Det är värt att notera att AEGL-värdena för svaveldioxid [18] är starkt konservativa vilket främst beror på att skaderisker uppstår redan vid relativt låga koncentrationer för känsliga individer (t.ex. äldre, barn, och astmatiker). Med hänsyn till den stora individuella variabiliteten och osäkerheter i överföring av toxicitetsdata från djurstudier till människa har AEGL satt ett gränsvärde på 30 ppm för risk att utveckla livshotande skador, AEGL-3, vid 10 min exponering. Vid denna koncentration gäller risken främst astmatiker medan för friska individer bedöms livshotande koncentrationer vara upp till en faktor 10 högre. För svåra skador, AEGL-2, anges gränsvärdet för risk att utveckla irreversibla eller andra långvariga hälsoeffekter hos astmatiker till 0,75 ppm. Friska individer uppges vara symptomfria vid samma koncentration [17]. Eftersom personer utan försvårade omständigheter klarar av betydligt högre koncentrationer än AEGL-värdena är anpassade för är gränsvärdena inte representativa för skadeutfallsberäkningar för en genomsnittlig befolkningsgrupp.

Vi har i denna studie utgått ifrån publicerade probitparametrar för dödliga skador. För svåra och lätta skador har  $EC_{50}$ -värden från litteraturen använts. Genom att ansätta samma värden för  $\beta$  och  $n$  som för dödliga skador beräknades  $\alpha$  för båda skadenivåerna så att  $P_r = 0$  (liktydigt med 50 % skaderisk) vid de angivna  $EC_{50}$ -värdena. Till skillnad från de flesta andra ämnen är gränsvärden som följd av exponering av svaveldioxid till största del styrd av koncentrationsnivåer, medan tiden har mindre inflytande [19]. De  $EC_{50}$ -värden som användes är ej angivna med en explicit exponeringstid. Eftersom det krävs en exponeringstid för att genomföra parameteruppskattningar ansatte vi en exponeringstid på 10 min i båda fallen med motiveringen att de aktuella scenarierna utspelas på den tidsskalan.

#### 2.1.4.3.1 Dödliga skador

National Institute for Public Health and the Environment i Nederländerna (RIVM) har publicerat probitparametrar för dödliga skador vilka tillämpas i denna studie [20]. Där ansätts värdena  $\alpha = -12,6$ ;  $\beta = 1,0$  och  $n = 2,0$ . RIVM använder ett äldre system där probitvärdena är förskjutna med en faktor fem av historiska skäl. Det innebär att det är 50 % skaderisk vid värdet  $P_r = 5$ , istället för vid  $P_r = 0$  som i formalismen vi använder här med den kumulativa standardnormalfördelningen. RIVM:s parameter  $\alpha$  på  $-12,6$  motsvarar därför ett värde på  $-17,6$  i vår formalism.

Parametrar som användes i denna studie är

- $\alpha = -17,6$
- $\beta = 1,0$
- $n = 2,0$

#### 2.1.4.3.2 Svåra skador

PubChem, som drivs av National Center for Biotechnology Information (NCBI), anger att svåra skador (framförallt andningssvårigheter och svåra skador på lungorna) uppstår vid 50 ppm [21]. Samma värde används av Chemical Security Analysis Center (CSAC), US, för  $EC_{50}$  [22]. Som jämförelse kan nämnas att AEGE bedömer att det krävs koncentrationer på över 30 ppm för att åstadkomma svåra skador på friska individer [17]. På den andra sidan av skalan anger The National Institute of Occupational Safety and Health i USA (NIOSH) att koncentrationer över 100 ppm är akut hotande för liv och hälsa [23]. Det finns inget säkerställt och vedertaget värde på varken probitparametrar eller  $EC_{50}$  för svaveldioxid. Men med utgångspunkt från ovanstående information bedöms ett  $EC_{50}$ -värde på 50 ppm vara rimligt.

För svaveldioxid motsvarar en koncentration på 1 ppm en masskoncentration på  $2,82 \text{ mg/m}^3$  vid ett tryck på 1 bar och en temperatur på  $0^\circ\text{C}$ . Det angivna gränsvärdet på 50 ppm motsvarar alltså  $141 \text{ mg/m}^3$  vilket användes i denna konvertering. Genom att använda  $\beta = 1,0$  och  $n = 2,0$  från dödliga skador samt ett  $EC_{50}$ -värde på  $141 \text{ mg/m}^3$  för 10 min exponering beräknades  $\alpha$  till  $-12,2$ .

Parametrar som användes i denna studie:

- $\alpha = -12,2$
- $\beta = 1,0$
- $n = 2,0$

#### 2.1.4.3.3 Lätta skador

PubChem rapporterar att lätta skador (här definierade som irritation i övre luftvägar, ögon samt tårbildning) uppstår vid 8 - 12 ppm [21]. CSAC använder även detta intervall för EC<sub>50</sub> och milda symtom [22]. Denna nivå på koncentrationer ligger i linje med andra studier, t.ex. skattas att symtomen är milda för de flest individer som utsätts för koncentrationer på upp till ca 5 ppm [24]. Genom att använda  $\beta = 1,0$  och  $n = 2,0$  från dödliga skador samt ett EC<sub>50</sub>-värde på 10 ppm (motsvarande 28,2 mg/m<sup>3</sup>) för 10 min exponering beräknades  $\alpha$  till -8,98.

Parametrar som användes i denna studie:

- $\alpha = -8,98$
- $\beta = 1,0$
- $n = 2,0$

#### 2.1.4.3.4 Beräkningsfaktorer

Översättning mellan ppm och masskoncentration beror på tryck och temperatur och är därför inte en konstant faktor. Det kan noteras att värdena på  $\alpha$  skulle blivit -12,1 respektive -8,87 för svåra och lätta skador om en temperatur på 20 °C och atmosfärstryck hade använts istället. Denna förändring är liten i jämförelse med osäkerheten i de toxikologiska bedömningarna. Som jämförelse ger det angivna intervallet för EC<sub>50</sub> på 8 ppm och 12 ppm för lätta skador upphov till värden på  $\alpha$  som är -8,54 respektive -9,35.

## 2.2 Biologiska händelser – B

I denna studie har vi förlitat oss på en omfattande och väl genomarbetad rapport från Institute for Defense Analyses (IDA), USA [25]. Rapporten beskriver förväntade skadeutfall orsakade av ett urval av B-agens på olika militära styrkor, och baseras på ett antal taktiska scenarier vilka inkluderar variationer i angreppssätten gällande till exempel vapentyp, metod och avstånd. Dessutom varierar även yttre förutsättningar, där rådande meteorologi är mycket viktigt för skadeutfallet.

I studien beskrivs skadeutfallen uteslutande som hälsoeffekter på olika militära förband givet att optimala väderförhållanden råder och optimal utspridningspunkt används. Detta eftersom det förutsätts att angriparen har god kunskap om förutsättningarna och att attacken därefter utformats för att ge upphov till största möjliga skadeutfall. Skadeutfallsberäkningarna förutsätter att de exponerade individerna varken bär skyddsmask, är vaccinerade mot relevant bakterie, eller behandlas med adekvata läkemedel. De skadeutfall som beskrivs för de B-agens som valts ut i den studien, och därmed i denna studie, representerar värstafallscenarier och det är därför realistiskt att anta att utfallet vid en faktisk händelse mest troligt resulterar i ett något lägre skadeutfall.

Varje B-agens har specifika egenskaper gällande till exempel smittvägar, överlevnadspotential i miljön efter utspridning och dess förmåga att orsaka infektion hos nya värdar för att nämna några. Sammantaget avgör de specifika egenskaperna ett B-agens lämplighet som vapen. Utifrån kunskap om historiska B-vapenprogram i andra länder och den rådande hotbilden valdes tre B-agens ut. De representerar var för sig tre olika scenarier och åskådliggör hur olika skadeutfall och skadepanoraman för biologiska händelser kan utspela sig. Följande resonemang låg till grund vid valet av agens:

- De tre skadeutfallen skulle kunna exemplifieras utifrån en antagonistisk attack med endera en bakterie, ett virus respektive ett toxin. Ett sådant val av agens riskerar dock att leda till missuppfattningen att skadeutfallen är representativa för attacker med alla möjliga mikroorganismer från de tre olika typerna av agens.
- För att undvika en sådan eventuell missuppfattning och samtidigt illustrera att skadeutfallen och händelseutvecklingarna kan variera signifikant beroende på specifikt B-agens så exemplifieras de förväntade skadeutfallen med tre olika bakterier.
- Det antogs att ett angrepp mest troligt sker via luftsmittande agens.

Typ av bakterier valdes med följande motiveringar:

- *Bacillus anthracis*, som orsakar sjukdomen mjältbrand (antrax), valdes för dess förmåga att i sporform kunna vara beständig, dvs. kunna överleva över lång tid samt orsaka allvarlig sjukdom som ofta kräver snabba sjukvårdsinsatser/intensivvårdsbehandling.
- *Coxiella burnetii*, som orsakar sjukdomen Q-feber, valdes för att den är smittsam men ger en sjukdom som ofta läker ut av sig själv. Q-feber är endast inkapaciterande under själva sjukdomsfasen.
- *Yersinia pestis*, som orsakar sjukdomen böldpest, valdes för att den kan ge upphov till sekundärsmitta (person-till-person smitta) som i värsta fall kan medföra att bakterien har hunnit smitta många fler än de som utsattes för själva attacken innan de första fallen har kunnat diagnosticeras. Böldpest är en sjukdom som kräver intensiva sjukvårdsinsatser.

Passande vapentyper och utspridningsmetod för respektive agens valde vi utifrån bakteriens specifika egenskaper. I samtliga fall föll valet på utspridning via en drönare som hovrar över ett litet område, dvs. att jämföras med punktutspridning. För mer detaljer angående detta hänvisas läsaren till originalkällan för skadeuppskattningarna, i.e. [25].

## 2.3 Radiologiska händelser – R

Avsnittet om radiologiska händelser är inriktat på haveri av ett kärnkraftverk som följd av en olycka eller en antagonistisk attack. En tidigare publikation [26] som redovisar effekterna från ett haveri användes som grund i denna studie och utgör den dimensionerande målbilden. Det finns inga ytterligare metoder eller antaganden att redovisa utöver det som redovisas i bilaga 3 och i den ovan nämnda referensen.

Konsekvenser av radioaktivt nedfall efter en kärnvapenexplosion diskuteras i kapitlet *Kärnvapenhändelser – N*.

## 2.4 Kärnvapenhändelser – N

Skadeutfall till de dimensionerande målbilderna i händelse av en kärnvapenattack uppskattades genom nya beräkningar inom ramen för denna studie. Dessa beräkningar grundades till stor del på väletablerade metoder och data i referenserna [27-31]. Ytterligare resonemang och data som användes beskrivs i bilaga 3. Som ett komplement till angivna metoder, antaganden och data beaktades följande information:

- Människor kan skadas direkt av övertrycket i en stötvåg, framför allt luftfyllda organ drabbas och då primärt lungorna. Jämfört med andra skador från stötvågen är människor dock relativt tåliga mot denna typ av skador, vilket dels syns i skaderadierna i [31] och dels av att direkta övertrycksskador var sällsynta bland överlevande i Hiroshima och Nagasaki. De som befann sig tillräckligt nära för att få svåra övertrycksskador dog helt enkelt av andra orsaker.
- Vi antog att de som utsätts för en initial joniserande stråldos på 50 Gy eller mer dör omgående av sina strålskador, samt att den som får en stråldos understigande 2 Gy överlever. De som får en stråldos på mellan 2 och 50 Gy klassas som att ha fått en svår strålskada och de antas vara vid liv efter kärnvapenexplosionen. En del av dessa kommer dock efter en tid att avlida av akuta strålskador och sannolikheten för detta hämtas från [32], med dosen omräknad till helkroppsdos.
- En skadetyper som diskuteras i litteraturen är skador på ögonen orsakade av värmestrålningen. Ljuspulsen från explosionen kan ge upphov till så kallad *flash blindness* vilket typiskt är en tillfällig synförlust till följd av starkt ljus. Dessutom kan värmestrålningen bränna sönder näthinnan hos den som tittar på explosionen. Diskussioner om dessa skadetyper tenderar att främst vara av teoretisk natur, och från händelserna i Hiroshima och Nagasaki rapporterades inte något omfattande skadeutfall för denna typ av skador. Ögonskador till följd av stötvågen eller den joniserande strålningen var istället viktigare [33]. Vi valde därför att bortse från denna skadetyper men noterar att den kan drabba personer som aktivt tittar på explosionen, framförallt vid en hög laddningsstyrka.
- Vi antog att de olika verkansformerna utgör statistiskt oberoende händelser. Till exempel innebär detta antagande att huruvida en individ har fått en svår stötvågsskada inte påverkar sannolikheten att samma individ även erhåller en svår brännskada. Korrelation mellan skadetyperna förekommer därmed enbart som en följd av att avståndet till explosionspunkten påverkar sannolikheten för samtliga skadetyper.

### 2.4.1 Effekter av kvarvarande strålning

Effekter från ett radioaktivt nedfall efter en kärnvapenexplosion kan innebära allt från allvarliga hälsorisker inom ett stort område till ingen nämnvärd hälsorisk alls, beroende på vid vilken höjd explosionen skedde och dess laddningsstyrka. En markexplosion valdes som den dimensionerande målbilden för kärnvapenhändelser och då följaktligen även som grund för beräkning av kvarvarande strålning och dess hälsoeffekter. Skadeutfall för kvarvarande strålning efter en kärnvapenexplosion beräknades med hjälp geometriska isolinjier för av en uppsättning stråldoser. Isolinjerna ger upphov till cirklar runt explosionspunkten och ellipser i vindriktningen enligt vedertagna metoder beskrivna i [31]. De geometriska områdena beskriver var oskyddade individer uppskattas erhålla olika diskretiserade stråldoser inom intervallet 3-30 Gy under de första 48 timmarna. Dosen fördelades under 48 timmar med avtagande strålning enligt  $t^{-1.2}$ , där  $t$  är tiden mätt i timmar. Den största delen av dosen erhålls under de första 24 timmarna (~90 % av den totala 48-timmarsdosen) och resterande del under tiden 24-48 timmar.

Skadeutfallet beräknades för tre skydds nivåer där befolkningen är:

- 1) 10 % av tiden ute och 90 % av tiden inomhus i villa
- 2) 10 % av tiden ute och 90 % i skyddsrum
- 3) förvarnade om nedfallet och innan det anländer hinner ta sig in i skyddsrum och sedan stannar där under 48 timmar.

Sannolikheter att erhålla olika skadetyper (från lindriga skador som illamående och hudskador upp till allvarliga skador som påverkan på lungfunktion och sterilitet) varierar mellan de olika geometriska områdena och bestämdes utifrån påverkan på människa med modellparametrar för skada samt död efter minimal behandling enligt NUREG [33, 34] och STANAG [35]. Den totala sannolikheten att erhålla skador beräknades utifrån sannolikheterna för alla olika skadetyper genom summering och ett antagande om att skadetyperna är oberoende.

Med denna metod uppskattas den geografiska sannolikhetsfördelningen att uppnå skador och död. Slutligen beräknades det förväntade skadeutfallet för en befolkningstäthet av 100 personer/km<sup>2</sup>.



### 3 Diskussion

Regeringsuppdraget med titeln *Uppdrag att ta fram nyckeltalsberäkningar och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården* genomfördes under 2023, med intentionen att skapa ett underlag för svensk sjukvård i dess planering inför den händelse Sverige drabbas av krig. FOI genomförde en delstudie där dimensionerande målbilder vid CBRN-relaterade angrepp presenterades. Huvudresultaten i denna delstudie publicerades med titeln *Skadepanoraman och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvården vid anfall med massförstörelsevapen* som bilaga 3 till huvudrapport *Nyckeltal och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvårdens planering för civilt försvar* som gavs ut av Socialstyrelsen. För att uppskatta realistiska resultat med kvantitativa skadeutfall krävdes val av scenarier som i vissa fall simulerades med olika antaganden, metoder och indata. Målsättningen med denna rapport är att tillhandahålla läsaren med ytterligare bakomliggande information vid sidan av vad som presenterades i bilaga 3. Med informationen som tillhandahålls genom bilagan, denna rapport och tillhörande referenser är samtliga väsentliga metoder, antaganden, resonemang och indata, tillgängliga för att läsaren ska få en komplett bild av arbetet kopplat till massförstörelsevapen inom detta uppdrag. Informationen är tillräckligt täckande för att resultaten ska kunna återskapas.

Valen av scenarier är baserade på olika kriterier med syftet att ge bästa möjliga underlag till svensk sjukvård. I denna process finns det en mängd olika källor, ämnen, och förutsättningar att välja på. Bedömningen om vilka scenarier som lämpar sig bäst till de dimensionerande målbilderna förblir öppen för diskussion. Det presenterade urvalet av händelser exkluderar på inget sätt andra händelser som likvärdigt intressanta, och det finns tvivelsutan många andra scenarier som skulle kunna utgöra relevanta komplement till det underlag som levererats inom detta uppdrag. CBRN-området är brett och komplicerat och utgör så kallade sällanhändelser, dvs. att användning av massförstörelsevapen är ovanligt. En följd av detta är att det är svårt att göra sannolikhetsuppskattningar för olika typer av angrepp då det inte finns en omfattande statistik att nyttja. De historiska händelser som är dokumenterade har, tillsammans med andra faktorer såsom aktuell omvärldsanalys, ingått i underlaget för valet av CBRN-händelser till de dimensionerande målbilderna.

Vidare ska det noteras att de dimensionerande målbilderna syftar till att ge bästa möjliga bild av dagsläget. En framtida hotbild kan se annorlunda ut som följd av teknikutveckling, naturvetenskapliga framsteg eller förändring av det säkerhetspolitiska läget. Dessa aspekter var inte en del av regeringsuppdraget och har inte inkluderats i denna studie eller i de presenterade resultaten.

## 4 Referenser

1. Socialstyrelsen, *Nyckeltal och dimensionerande målbilder för hälso- och sjukvårdens planering för civilt försvar*. 2023, Socialstyrelsen.
2. Schönfeldt, F., *A Langevin Equation Dispersion Model for the Stably Stratified Planetary Boundary Layer*. 1997, Swedish Defence Research Agency.
3. Sehlstedt, S., *A Langevin Equation Dispersion Model for the Unstably Stratified Boundary Layer*. 2000, Swedish Defence Research Agency.
4. Björnham, O., H. Grahn, and J. Burman, *Comparison of the predictive results from the two dispersion models PUMA and LPELLO with the JR II field data*. Atmospheric Environment, 2020. 233: p. 117521.
5. Borgenstål, M., *Tool for calculation of dry deposition of gases*. 2007: Swedish Defence Research Agency.
6. Boverket, *God bebyggd miljö - Utvärdering av delmål för god inomhusmiljö*. 2013: Boverket.
7. Stenberg, C.-A., *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen - Bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, in *Skåne i utveckling*. 2007: Länsstyrelsen i Skåne Län.
8. Mawson, A.R., *Understanding mass panic and other collective responses to threat and disaster*. Psychiatry, 2005. 68(2): p. 95-113.
9. Quarantelli, E.L., *The sociology of panic*. 2001.
10. Donald, I. and D. Canter, *Intentionality and fatality during the King's Cross underground fire*. European journal of social psychology, 1992. 22(3): p. 203-218.
11. Drury, J., C. Cocking, and S. Reicher, *Everyone for themselves? A comparative study of crowd solidarity among emergency survivors*. British Journal of Social Psychology, 2009. 48(3): p. 487-506.
12. Finney, D., *Probit Analysis*. 2009: Cambridge University Press.
13. Hulet, S.W., et al., *Comparison of low-level sarin and cyclosarin vapor exposure on pupil size of the Gottingen minipig: Effects of exposure concentration and duration*. Inhalation toxicology, 2006. 18(2): p. 143-153.
14. Hulet, S.W., et al., *Comparison of sarin and cyclosarin toxicity by subcutaneous, intravenous and inhalation exposure in Gottingen minipigs*. Inhalation toxicology, 2014. 26(3): p. 175-184.
15. Hulet, S.W., et al., *Low-level sarin (GB) vapor exposure in the Gottingen minipig: effect of exposure concentration and duration on pupil size*. 2006, ECBC-TR-450.
16. Ruijten, M., et al., *Method for derivation of probit functions for acute inhalation toxicity*. 2015.
17. EPA, *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals*. 2010: The National Academies Press.
18. Council, N.R., et al., *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 8*. 2010.

19. EPA. *Sulfur Dioxide Results - AEGL Program*. 2023; Available from: <https://www.epa.gov/aegl/sulfur-dioxide-results-aegl-program>].
20. ter Burg, W., *Probit function technical support document. 20180504-sulfur dioxide-interim*. 2018: National Institute for Public Health and the Environment.
21. NIH. *PubChem - Sulfur Dioxide*. 2023; Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1119>].
22. Levine, E.S., *Chemical Agent Fact Book*. 2010: Chemical Security Analysis Center.
23. NIOSH. *Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH)*. 1994; Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/7446095.html>].
24. Sandstrom, T., *Respiratory effects of air pollutants: experimental studies in humans*. *European Respiratory Journal*, 1995. 8(6): p. 976-995.
25. Curling, C., et al., *Documentation of Production: Allied Medical Publication 8 (B), Volume 2, Medical Planning Guide of NBC Battle Casualties (Biological)*. 2006, Institute for defense analyses.
26. SSM, 2017:27 *Översyn av beredskapszoner*. 2017: Strålsäkerhetsmyndigheten.
27. Dolan, P.J., *Capabilities of nuclear weapons*. Defense Nuclear Agency Effects Manual, 1972(1).
28. Glasstone, S. and P.J. Dolan, *The effects of nuclear weapons*. 1977, Department of Defense, Washington, DC (USA); Department of Energy, Washington, DC (USA).
29. Goliath, M., et al., *Kärnvapenscenario för räddningstjänst*. 2021: Totalförsvarets Forskningsinstitut.
30. Ringbom, A., M. Goliath, and T. Nylén, *Ett nationellt system för att upptäcka, varna och informera om kärnexplosioner och andra nukleära händelser*. 2023: Totalförsvarets Forskningsinstitut.
31. Wigg, L., *Handbok för kärnvapenverkan*. 1996: Totalförsvarets Forskningsinstitut.
32. Rotblat, J., *Nuclear radiation in warfare*. 1986.
33. Oughterson, A.W. and S. Warren, *Medical effects of the atomic bomb in Japan*. (No Title), 1956.
34. Evans, J.S., D.W. Moeller, and D.W. Cooper, *Health effects model for nuclear power plant accident consequence analysis. Part I. Introduction, integration, and summary. Part II. Scientific basis for health effects models*. 1985, Harvard Univ., Boston, MA (USA). School of Public Health.
35. NATO, *STANAG 2083 - Commanders' Guide on the Effects from Nuclear Radiation Exposure During War*. 2009: NATO.



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00  
Fax: 08-55 50 31 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)