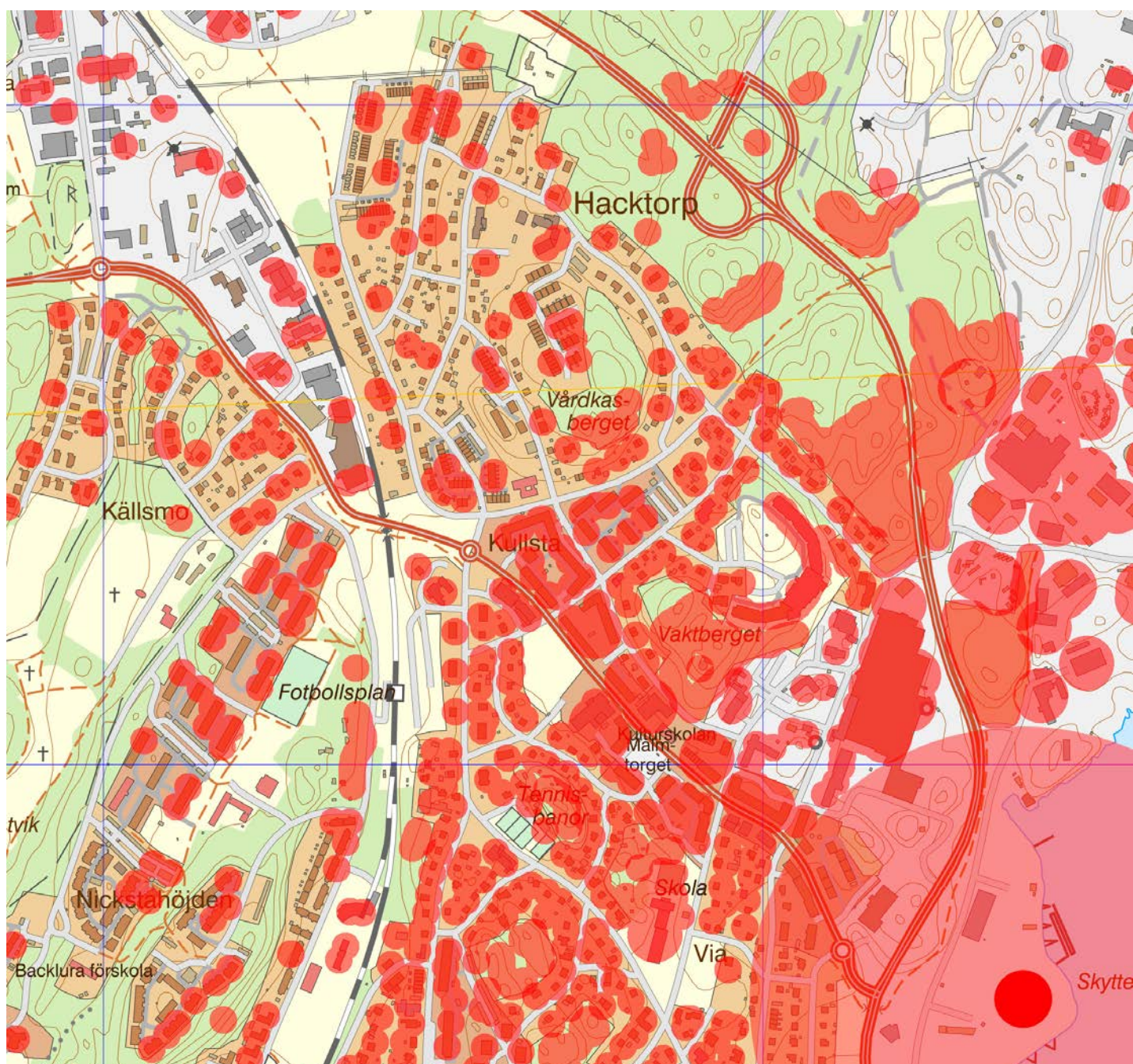


MARTIN GOLIATH
KENNET LIDSTRÖM
TORBJÖRN NYLÉN
SOFIA SIVERTSSON



Martin Goliath
Kennet Lidström
Torbjörn Nylén
Sofia Sivertsson

Kärnvapenscenario för räddningstjänst

Titel	Kärnvapenscenario för räddningstjänst
Title	Nuclear weapons scenario for rescue services
Rapportnr/Report no	FOI-R--5131--SE
Månad/Month	Maj
Utgivningsår/Year	2021
Antal sidor/Pages	50
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	MSB
Forskningsområde	CBRN-frågor
FoT-område	Inget FoT-område
Projektnr/Project no	E4598
Godkänd av/Approved by	Niklas Brännström
Ansvarig avdelning	CBRN-skydd och säkerhet

Bild/Cover: Lantmäteriet

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

Här sammanfattas det vi bedömer är viktiga omständigheter för räddningstjänst vid ett kärnvapenangrepp:

- Efter en kärnvapenexplosion kommer informationen att vara mycket bristfällig. Man kommer inte kunna uppskatta skadeverkningarna, och förekomsten av radioaktivt nedfall kommer inte vara känd. Initiala stråldosprognoser kan vara behäftade med stora fel.
- Vid explosion i eller nära en tätort kan tusentals döda och skadade förväntas från de omedelbara effekterna.
- Omfattande byggnadsras försvårar framkomligheten. Likaså kan annan infrastruktur såsom mobilmaster, luftledningar och broar vara skadade eller utslagna.
- Egen indikerings- och dosmätförmåga är avgörande för att kunna agera i området.
- Räddningstjänst på orten kan vara direkt drabbad och behöva prioritera eget strålskydd, medan tillresta resurser behöver arbeta sig in i katastrofområdet.
- Nedfall i vindriktningen utbreder sig grovt skattat med vindens hastighet.
- Stråldoshastigheter kan variera kraftigt beroende på var och hur de mäts.
- Man behöver vara observant på aktuell stråldoshastighet, vistelsetid samt hur länge vistelsen kan fortgå innan dosgräns uppnås.
- Den kvarvarande strålningen kan vara försumbar vid en luftexplosion, men de direkta verkningarna blir mer omfattande än vid en markexplosion.

Den övergripande slutsatsen är att situationen kommer att vara kaotisk med stora skadeutfall, men till delar liknar det den vardag som räddningstjänst är van att möta. Den stora skillnaden är omfattningen, samt svårigheterna att arbeta i potentiellt livshotande stråldosmiljöer där det personliga strålskyddet är avgörande.

Nyckelord:

Kärnvapen, kärnvapenangrepp, scenario, räddningstjänst.

Summary

Here we summarise considerations we deem are important for rescue services in relation to an attack with nuclear weapons:

- After a nuclear explosion, situational awareness will be very scant. It will be hard to assess the effects, and the presence of radioactive fallout will not be known. Early estimates of radiation dose may be subject to large errors.
- Explosions in or near urban areas can be expected to cause dead and wounded in the thousands from immediate effects.
- Extensive collapsing of buildings will hamper mobility. Similarly, other infrastructure, like communication towers, power transmission lines and bridges may be damaged or destroyed.
- Integral ability to indicate and measure radioactive dose is essential in order to be able to act in the area.
- The rescue service closest to the area of attack may be directly affected, and forced to prioritise self-protection, while resources approaching from outside will have to work their way into the disaster area.
- Fallout in the wind direction roughly propagates with the wind speed.
- Radiation dose rates can vary considerably, depending on where and how the measurement is performed.
- Close attention must be kept regarding current dose rate, and maximum staying time.
- The residual radiation may be insignificant for an air burst, but the immediate effects will in general be more extensive than for a ground burst.

In conclusion: The situation will be chaotic with a large number of casualties, but other aspects are similar to situations the rescue services are familiar with encountering. The main differences are the scale, and the added difficulties connected with acting in a potentially life-threatening radiation environment where individual radiation protection is key.

Keywords:

Nuclear Weapons, nuclear attack, scenario, rescue service.

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
2	Nynäshamnsfallet.....	7
2.1	Fallet luftexplosion.....	23
3	Effekter från kärnvapen	24
3.1	Stötvåg – omfattande rasområden	24
3.2	Värmestrålning – brännskador och brand	26
3.3	Joniserande initialstrålning – akuta strålskador	27
3.3.1	Akuta strålskador	27
3.4	Elektromagnetisk puls – utslagen elektronik	30
3.5	Kvarvarande strålning – skydd eller evakuering?	30
3.5.1	Radioaktivt nedfall	31
3.5.2	Neutroninducerad aktivitet	35
4	Slutord	37
	Bilaga A: Spelkort.....	38
A.1	Spelkort 1: En timme efter explosionen – Nynäshamns omgivningar....	39
A.1.1	Några aktuella frågor	39
A.1.2	Räkneexempel.....	40
A.2	Spelkort 2: Sex timmar efter explosionen – Norrköping	41
A.2.1	Några aktuella frågor	41
A.2.2	Räkneexempel.....	41
A.3	Spelkort 3: Ett dygn efter explosionen – Göteborg	42
A.3.1	Några aktuella frågor	42
A.3.2	Räkneexempel.....	42
	Bilaga B: Metodik för skadevärderingar i scenariot	44
B.4	Värdering av skadeutfall (tabell 1).....	44
B.5	Exemplen på direkta effekter (tabell 2–7, samt 10–11).....	49
B.6	Exemplen på kvarvarande strålning (tabell 13a-e, 14 och 15a-e)	49
	Referenser.....	50

1 Inledning

De senaste åren har inneburit en utbredd insikt om att det säkerhetspolitiska läget i vårt närområde försämrats. En del i detta är att kärnvapen i en konflikt kan komma att användas mot mål i Sverige eller i vårt närområde, och att detta kan ske redan tidigt i en konflikt [Försvarsmakten 2020]. Syftet med denna rapport är att beskriva vilka konsekvenser användning av kärnvapen kan få, samt presentera ett scenario som kan ligga till grund för fortsatt arbete med riktlinjer för hur räddningstjänst bör agera i en sådan situation. Rapporten fokuserar på de akuta effekterna, och har tagits fram på uppdrag av Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap (MSB).

En insats med kärnvapen antas här ske mot ett begränsat antal mål av betydelse vid en väpnad konflikt. Detta begränsar inte nödvändigtvis insatserna till att göras med små laddningsstyrkor, utan insatser sker med vad som krävs för att uppnå avsett syfte.¹ Huruvida sådan *substrategisk* användning av kärnvapen riskerar att eskalera till ett strategiskt kärnvapenkrig ligger utanför vad vi berör här.

Att lägesbilden är bristfällig i det tidiga skedet av ett angrepp (och även vid fredstida kriser) är inget nytt, och det kan särskilt antas gälla vid ett kärnvapenangrepp. Information om explosionen som är avgörande för att kunna göra en god uppskattning av verkningarna kommer initialt att vara mycket osäker, eller saknas helt. Först efter hand kommer bilden klarna, till exempel när man med hjälp av mätningar kunnat klarlägga utbredningen av eventuell kvarvarande strålning. En övergripande slutsats som förtjänar att lyftas fram är därför att beslut under en räddningsinsats kommer, särskilt under det tidiga skedet, behöva fattas grundat på bristfällig information.

Rapportens upplägg är gjort med successivt ökande detaljgrad i åtanke: den som bara vill ha en orientering på en sida ska få detta redan i sammanfattningen, medan efterföljande kapitel erbjuder successiv fördjupning. Sålunda är sammanfattningen en lista med, vad vi bedömer är, viktiga omständigheter för räddningstjänst vid ett kärnvapenangrepp. I kapitel 2 presenteras sedan ett kärnvapenscenario som är tänkt att illustrera akuta konsekvenser av ett angrepp, och situationen i omedelbar anslutning till angreppet. Scenariot gör inte anspråk på att vara ett facit. Tvärtom ska det ses som en exemplifiering, snarare än en heltäckande sanning. Osäkerheterna är stora, både avseende det specifika scenariot och hur andra scenarier för kärnvapenangrepp skulle skilja sig från detta. Förhoppningen är att exemplet ska kunna ge räddningstjänst och andra aktörer en tillräckligt god bild av hur ett kärnvapenangrepp kan te sig, att man utifrån scenariot ställs inför realistiska beslutssituationer.

Efter scenariot beskrivs de olika verkansformerna från kärnvapen mer detaljerat i kapitel 3. I dessa beskrivningar har vi lyft fram omständigheter som vi tror är av särskild vikt i kontexten räddningstjänst. Slutorden i kapitel 4, följs av en bilaga med några spelkort (bilaga A) som kan användas för att ytterligare konkretisera vad räddningstjänsten kan behöva hantera i samband med ett kärnvapenangrepp. Slutligen har detaljer kring metoden för verkansbedömningarna i scenariot samlats i bilaga B. Där annat ej anges är källan till verkansbedömningarna i rapporten beräkningsprogrammet KlangVerk [Björklund och Goliath 2009], vilket i sin tur är baserat på öppna amerikanska underlag avseende kärnvapenverkan.

¹ Det militära syftet med insatserna berörs inte närmare.

2 Nynäshamnsfallet



Figur 1. Nynäshamns färjehamn med raffinaderiet i bakgrunden. Foto: Holger Ellgaard, Creative Commons CC BY-SA 4.0, nedladdad genom Wikimedia Commons.

FOI har tidigare beskrivit några “kärnvapenfall” tänkta att kunna ligga till grund för totalförsvarsplanering [Goliath 2019]. För att konkretisera beskrivningen har vi valt att tillämpa ett av de fallen på en befintlig ort, och valet föll på Nynäshamn fem mil söder om Stockholm.²

Nynäshamn (figur 1 och 2) har ca 14 000 invånare, och är huvudort i Nynäshamns kommun (närmare 29 000 invånare). Centralt i tätorten ligger färjehamnen, med reguljära förbindelser till bland annat Visby, Gdansk i Polen och Ventspils i Lettland. Norr om färjehamnen ligger Nynas raffinaderi, som förädlar en miljon ton råolja per år till bitumen och olika specialoljor. Råoljan transporteras till raffinaderiet med oljetankers och lagras i bergrum och cisterner. Även intensiv vätgasproduktion pågår i området. Raffinaderiet har en egen brandkår/räddningstjänst. Hamnen Stockholm Norvik, ca 2,5 km norr om Nynäshamn, är i full drift och är på väg att bli en av Östersjöns största hamnar för godstransport. Ett stort antal fartyg passerar dagligen kustremsan liksom Gotlandsfärjorna och privatbåtar som utgår från eller anländer till småbåtshamnen.

² Valet är inte betingat av någon särskild hotbild. Scenariot är heller inte tänkt att ge rekommendationer för hur en större olycka i just Nynäshamn bör hanteras, utan främst att genom ett konkret exempel illustrera situationen vid ett kärnvapenangrepp. Vissa friheter har därvid tagits i scenariobeskrivningen – till exempel är Nynäshamns sjukhus numera nedlagt och inhyser annan verksamhet. Orter som figurerat i tidigare kärnvapenstudier och -scenarier är till exempel Uppsala och Malmö [Björnerstedt och Götherskjöld 1968]; Kristianstad [Lindqvist m.fl. 1984]; samt Uppsala, Västerås, Norrköping och Linköping [Lindqvist och Oscarsson 1984].



Figur 2. Nynäshamns tätort. Räddningstjänstens position är markerad med R, medan kommuncentrum och närsjukhus markeras med C, respektive +. Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.

Ett kärnvapenangrepp sker mot färjehamnen i Nynäshamn. Det är en markexplosion, dvs explosionshöjden är 0 m ovan mark, och laddningsstyrkan är 100 kiloton³. Vindriktningen är nordostlig och vindhastigheten är 5 m/s. Anfallet sker dagtid, utan förvarning och befolkningen är fördelad som vid en vanlig vardag i november. Sikten är initialt god (20 km).

Insikten att just en kärnladdning har exploderat kan dröja en tid. Den karakteristiska utbredningen i ett svampmoln kommer dock inte att undgå någon under de förhållanden som råder.

Stötvåg, värmestrålning och bränder

Effekterna av kärnvapenexplosionen är mycket omfattande och flertalet av byggnaderna inom två kilometer från explosionen raderas, se figur 3. Många människor i byggnader dödas eller skadas svårt till följd av husras, andra till följd av glassplitter, medan vissa klarar sig efter omständigheterna bra men befinner sig i rasmassorna. Upp till en till två kilometer från explosionen uppstår bränder i skog⁴; i byggnader kan det börja brinna på mer än två kilometers avstånd, se figur 4. Dessutom får stötvågen effekter på den lokala infrastrukturen som till exempel broar, el- och ställverk, luftledningar och mobilmaster. I raffinaderiet kommer flertalet cisterner att förstöras, och lokala bränder antänder brandfarliga ämnen. Detta kan befaras även vid bensinstationer inom tätorten. Brandrök kommer att uppstå vilket försvårar visuell sikt, och dessutom kan den vara giftig.

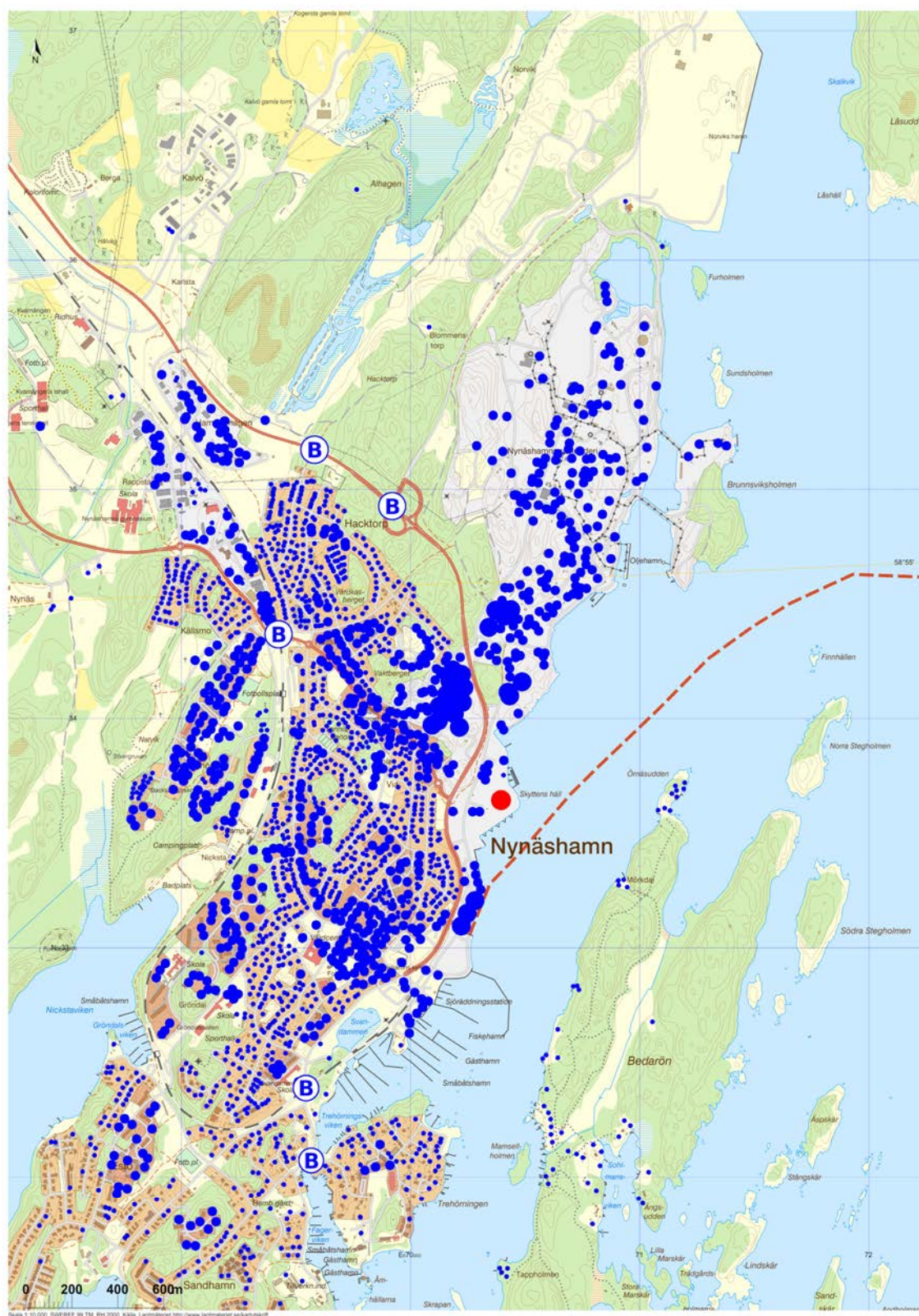
Joniserande initialstrålning

Utöver svåra skador och dödsfall till följd av brännskador och stötvågsrelaterade skador, kommer människor utsättas för akuta strålskador uppemot två kilometer från explosionen, orsakade av joniserande initialstrålning, se figur 5. Denna strålning avges direkt i explosionsögonblicket, och utgör inte någon fara när man tar sig in i det drabbade området efter att explosionen ägt rum⁵. Många av de som har fått höga stråldoser och är vid medvetande börjar kräkas efter någon halvtimme till timme.

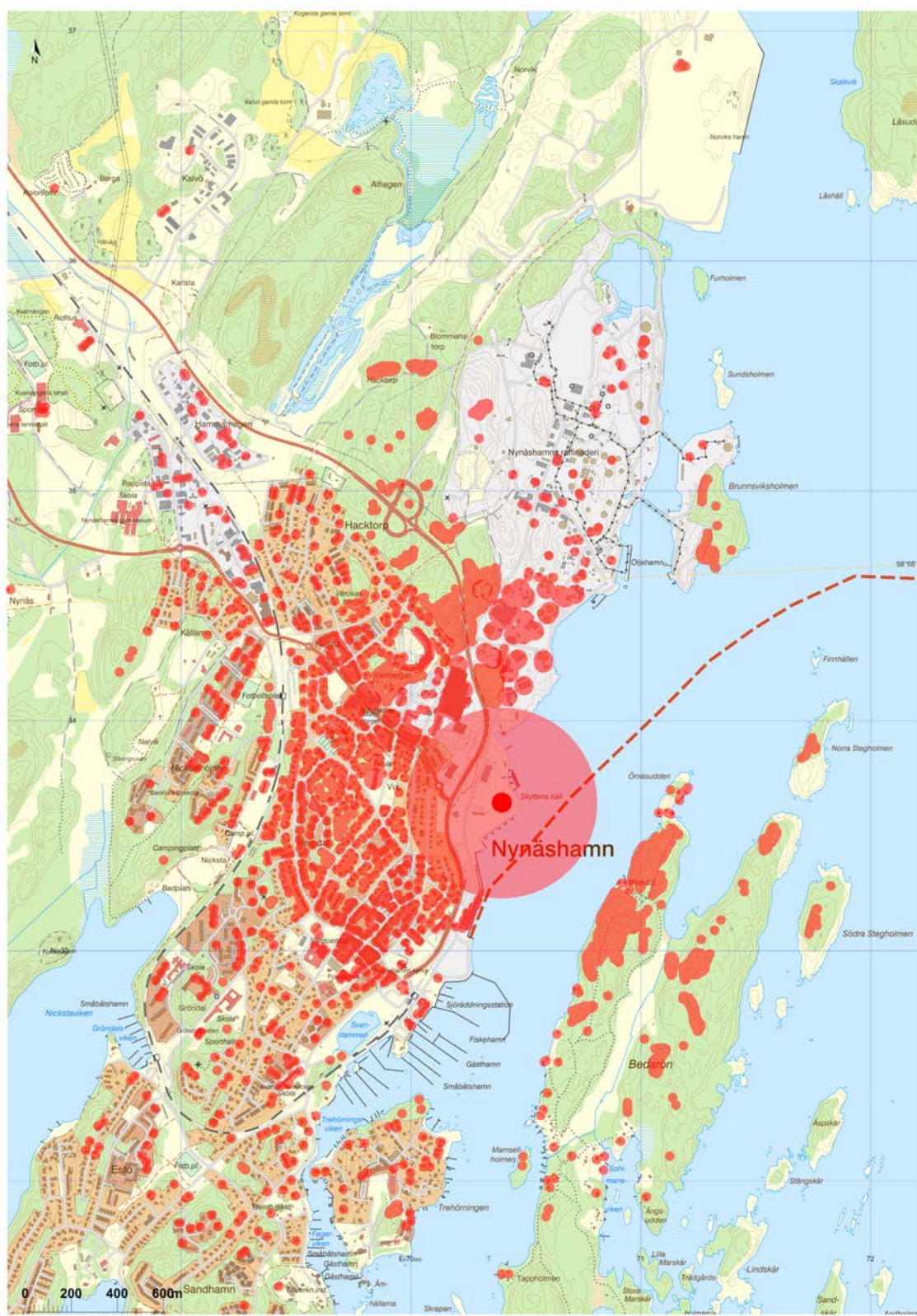
³ Kiloton (kt) är den enhet som brukar användas för att ange energin i en kärnvapenexplosion. I scenariot antar vi att den fördelas på 50 kiloton från fission och 50 kiloton från fusion. Betydelsen av detta berörs närmare i kapitel 3.

⁴ Detta är starkt beroende av luftfuktighet och vatteninnehåll i markerna.

⁵ Neutronerna i den joniserande initialstrålningen kan förvisso orsaka s.k. neutroninducerad aktivitet, men den är begränsad till ett område närmast nollpunkten (se vidare kapitel 3, *Effekter från kärnvapen*, nedan).



Figur 3. Raserade byggnader, markerade med blå prickar, för 100 kt markexplosion. Skadade eller raserade broar är markerade med B. Den röda punkten anger explosionens nollpunkt. Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.



Figur 4. Uppkomna bränder i skog och byggnader för 100 kt markexplosion. Det stora cirkulära området kring nollpunkten markerar eldklotets maximala storlek. Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartuskrift>.



Figur 5. Exempel på skadeavstånd mot människa för 100 kt markexplosion. Cirkarna anger ungefärliga avstånd för de angivna skadorna. Innanför cirkarna kan effekterna förväntas vara värre. Vitt: 50 % dödlighet för oskyddad människa till följd av akuta strålskador från initialstrålning, blått: svårt skadad på grund av husras till följd av stötvåg, rött: tredje gradens brännskador om hud är direkt exponerad för värmeinstrålningen. Den röda punkten anger explosionens nollpunkt. Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.

Elektromagnetisk puls

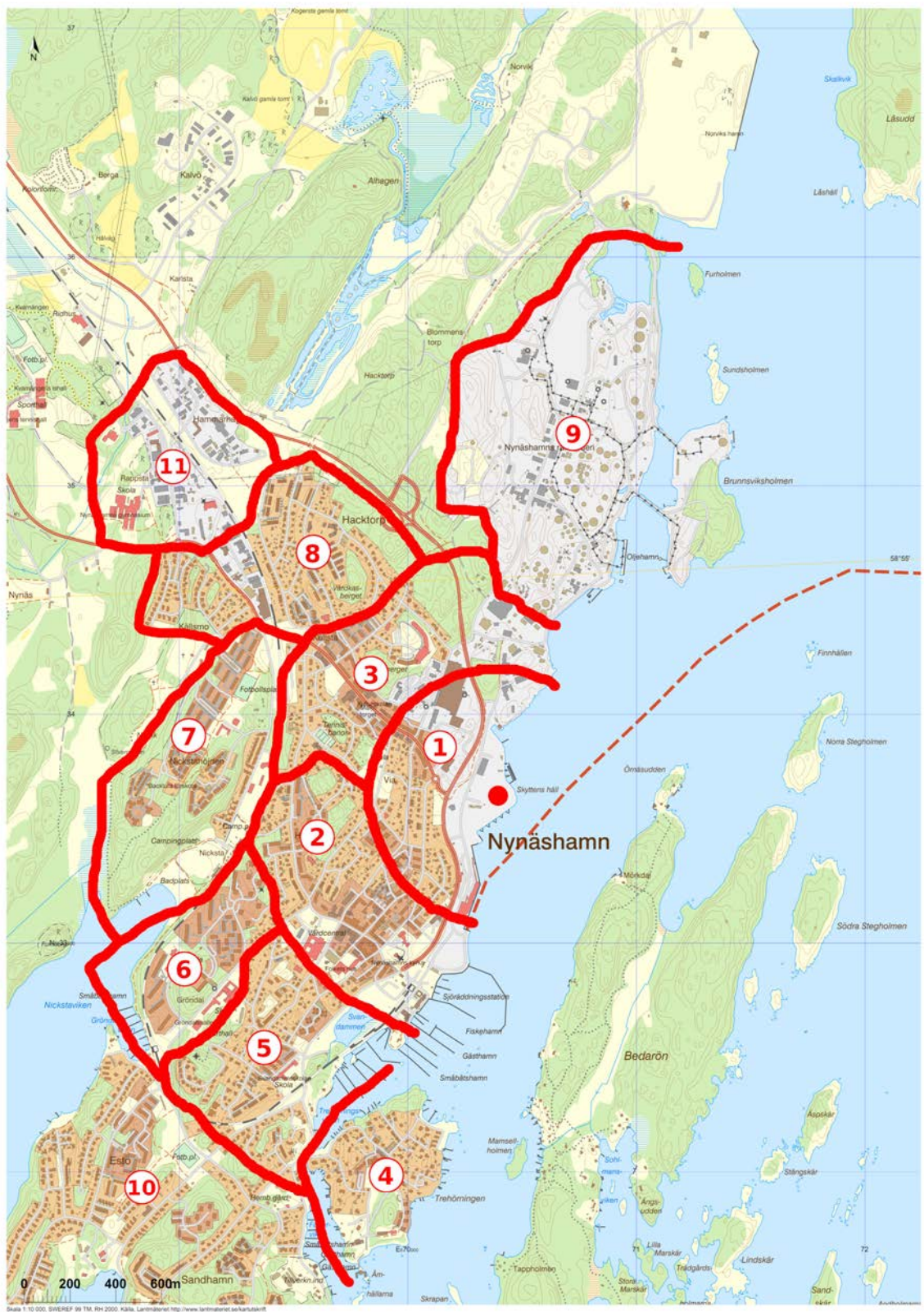
Skyddet mot elektromagnetisk puls (EMP) för elektronisk utrustning kan antas vara bristfälligt. I detta fall är dock räckvidden för EMP inte större än stötvågseffekterna (för de sistnämnda, se till exempel figur 5), så en större påverkan på kommunikationer kan till exempel förväntas vara förstörda mobilmaster. Kommunikationssystemet Rakel förutsätts ha erforderligt EMP-skydd.

Skadeutfall för direkta verkansformer

Befolkningen antas vara slumpmässigt fördelad i tätorten, med fler människor i områden med större byggnader, och färre i småhusområden. Eftersom explosionen sker utan förvarning ges troligen inte några rekommendationer till invånarna förrän VMA⁶ ljuder en tid efter att explosionen har ägt rum. I figur 6 visas den zonindelning som har använts för att uppskatta antalet döda och skadade till följd av direkta verkansformer, vilket sammanställs i tabell 1.⁷ I de södra delarna av tätorten är som synes förödelsen inte lika omfattande, men räddningsinsatser dit landvägen kommer på grund av geografin behöva passera de mer centrala delarna.

⁶ Viktigt Meddelande till Allmänheten.

⁷ I bilagan om verkansbedömningarna (bilaga B) ges mer detaljer kring skadetyper och hur befolkningen antas vara fördelad.



Figur 6: Zonindelning för värdering av skadeutfall, se vidare tabell 1. Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.

Tabell 1. Skadeutfall från direkta verkansformer i zoner enligt figur 6. De omedelbara dödsfallen beror främst på skador till följd av kollapsande byggnader och – nära nollpunkten – omedelbart dödande stråldosnivåer från initialstrålningen. Bland de svårt skadade finns många med akuta strålskador från initialstrålningen som inom ett par veckor kommer att leda till döden. Modellen för verkansbedömningen beskrivs närmare i bilaga B.

Zon	Beskrivning	Folkmängd	Döda	Svårt skadade	Lätt skadade och oskadda	Kommentar
1	Färjehamnen	500	500	-	-	
	Köpcentrum	500	500	-	-	
2	Stadscentrum och bebyggelse SV	3 500	3 500	-	-	Möjligen fåtal överlevande i källare i yttre delen
3	Mestadels småhus V	500	500	-	-	Möjligen fåtal överlevande i källare i yttre delen
4	Mestadels småhus på ö S	200	60	130	10	
5	Mestadels småhus S	600	320	260	20	
	Skola	400	280	120	-	
6	Mestadels flerfamiljshus SV	1 000	820	>180	<10	
	Skola	800	560	>240	<10	
7	Mestadels flerfamiljshus SV	2 800	2 240	>560	<10	
8	Mestadels småhus NV	1 000	490	510	-	
9	Raffinaderi N	200	130	40	30	Utan hänsyn tagen till försvårad brandsituation
10	Mestadels småhus S	800	80	70	650	
11	Industriområde V	750	370	160	220	
	Gymnasium	450	270	60	120	
S:a		14 000	10 620	2 340	1 040	

Radioaktivt nedfall

Kärnvapenexplosionen ger upphov till radioaktivt material som sprids via luften och deponeras. Var dessa partiklar hamnar beror dels på partikelstorlek och dels på vindriktning. Den rådande vindriktningen får utspridningen att ske i riktning mot sydväst, dvs. ungefär i en tänkt linje mellan Nynäshamn och Göteborg. Större partiklar kommer att deponera i närområdet och berörs inte så mycket av vindriktningen, medan andra sprids med vinden och succesivt faller mot markytan för att där bilda en radioaktiv markdeposition. Denna ger i sin tur via joniserande strålning upphov till stråldoser till människa och miljö. En förenklad exemplifiering av hur den slutliga markdepositionen från kärnvapenexplosionen kan se ut åskådliggörs i figur 7a-f. Som riktlinje för att förstå dessa figurer kan anges att ett riktvärde vid en kärnteknisk olycka är att räddningspersonal

inte ska utsättas för en stråldos⁸ högre än 0,5 Gy annat än i undantagsfall (IAEA 2006). Det är stråldosen efter till exempel en halvtimmes vistelse i en omgivning med stråldoshastighet 1 Gy/h om man går in 6 timmar efter explosionen.⁹ Stråldoshastigheterna en timme efter explosionen är inom en radie av 500 meter från nollpunkten så höga att dessa redan efter 10 minuter orsakar stråldoser som leder till livshotande strålskador i kroppen. Akuta effekter kan yttra sig som alltifrån illamående/kräkningar, huvudvärk och medvetlöshet, till död inom en relativt kort tidsperiod beroende på hur stor stråldos man utsatts för. Vissa personer kan dock till en början verka må bra, trots att de utsatts för dödliga stråldoser. En följd av det radioaktiva nedfallet är också kontamination av oskyddade människors kläder, hår och hud.

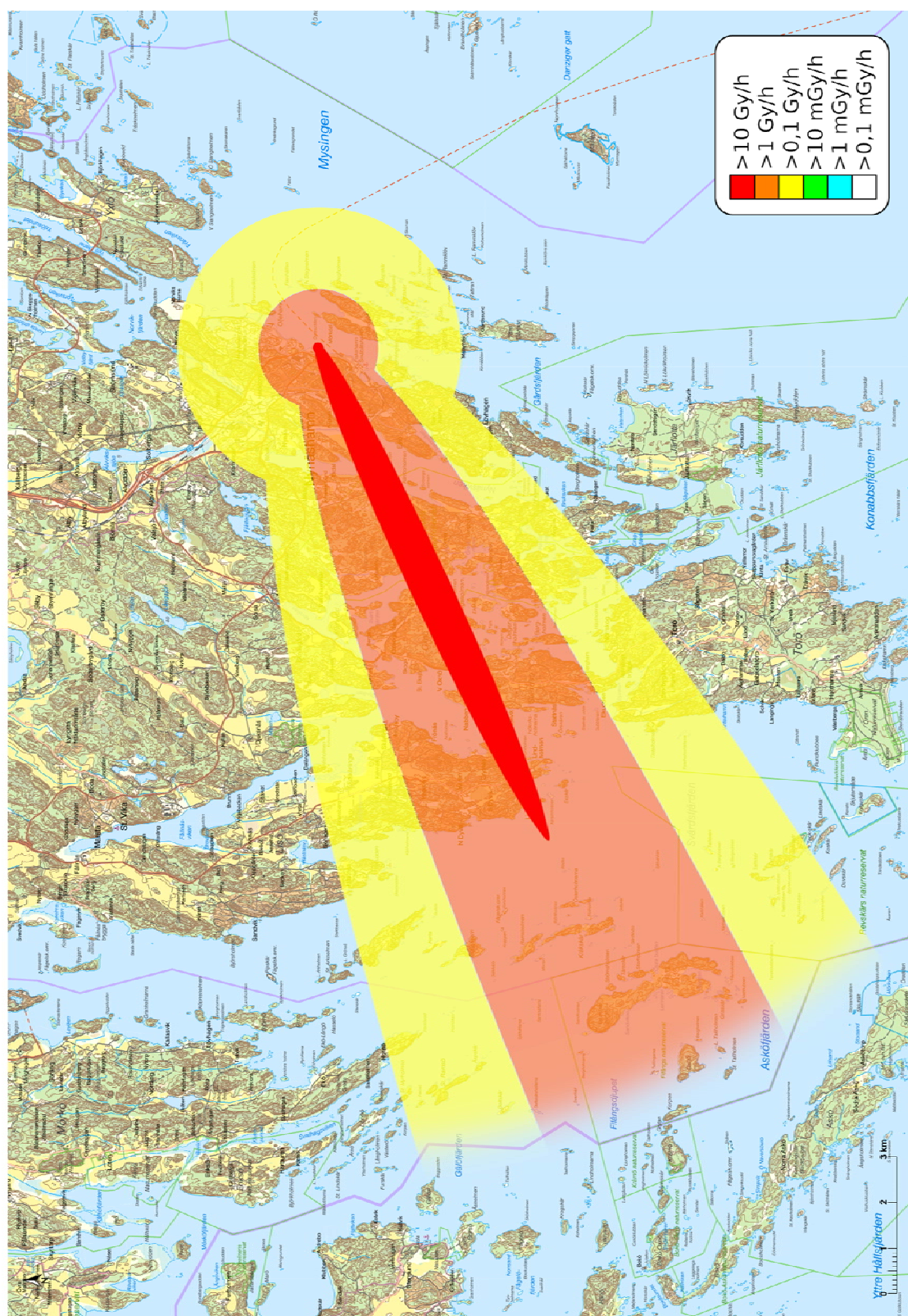
Förutom stråldosbidraget från marken kommer även människor i området att utsättas för stråldoser från det radioaktiva molnet under den tid detta passerar. Bidraget kommer såväl från extern bestrålning, som internt i kroppen efter att delar av molnets partiklar och gaser andats in. Dessa stråldosbidrag är avsevärt mindre än det stråldosbidrag som genereras från den radioaktiva markbeläggningen, vilket gör att dessa inte specifikt behandlas i detta scenario. Det kommer dock att finnas så höga koncentrationer av radioaktivitet i luften, både i partikel- och gasform, att skyddsmask omedelbart ska sättas på och människor ska söka skydd.

För orter i vindriktningen kommer nedfallet ankomma med en fördröjning som ungefär ges av medelvindhastigheten. I detta fall är medelvindhastigheten 5 m/s, vilket motsvarar 18 km/h. En plats 10 km i vindriktningen nås då av nedfallet efter en dryg halvtimme. Nyköping, ca 50 km bort i vindriktningen, nås efter knappt tre timmar¹⁰; Norrköping på drygt 100 km avstånd efter sex timmar; och Västkusten 400 km bort efter knappt ett dygn. Det förtjänar att understrykas att resonemanget är baserat på förenklade antaganden om väderförhållanden, och endast ger en fingervisning om hur nedfallet kan tänkas utbreda sig. Till exempel förutsätts att vinden förblir oförändrad både till riktning och hastighet över tid och över ett stort geografiskt område, medan en verklig situation kommer att innebära stora avvikelser från detta.

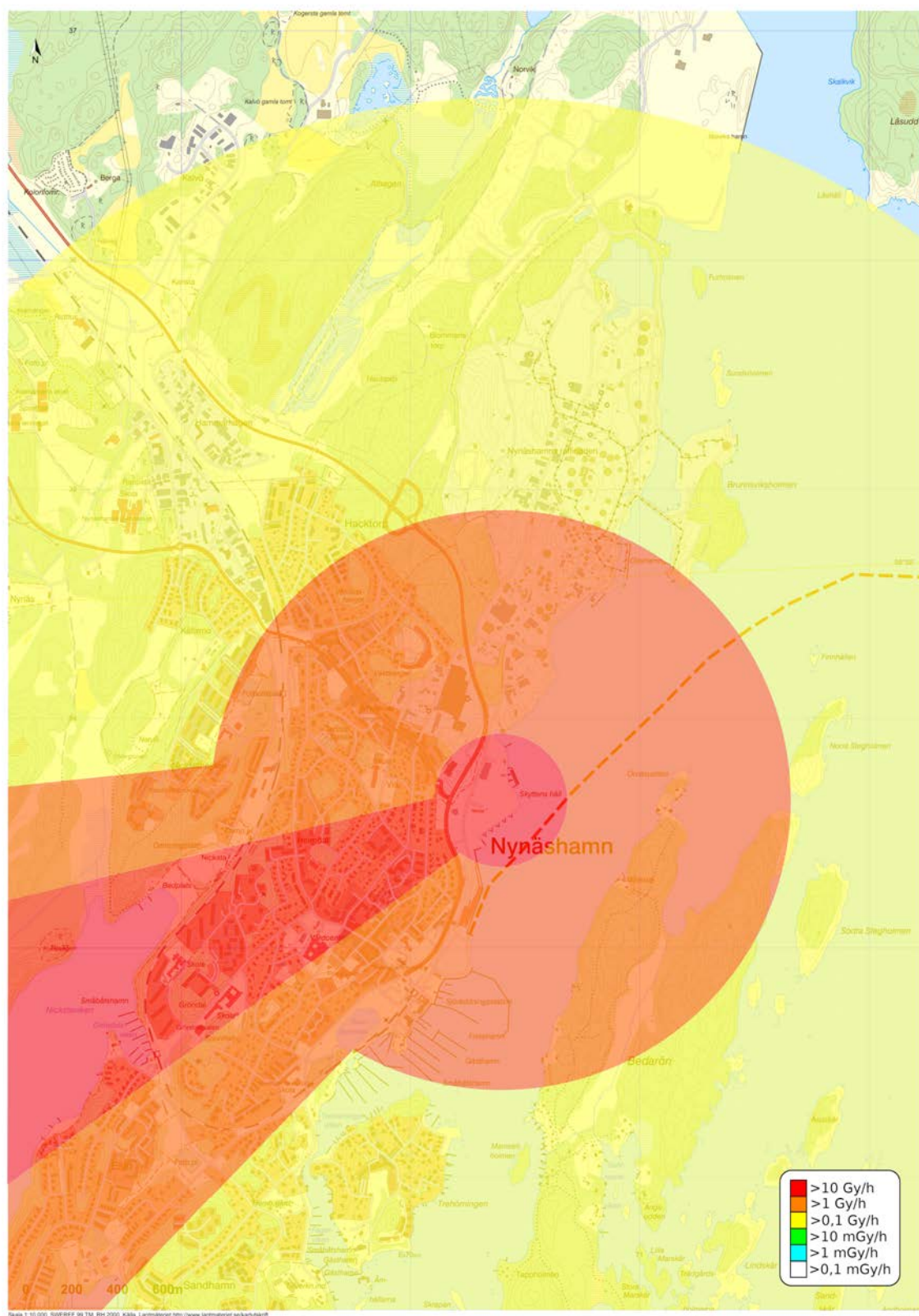
⁸ Vi använder stråldos, mätt i gray (Gy), eftersom det är det som är relevant vid akut strålskada. Relationen till dosekvivalent, som mäts i sievert (Sv), kan här sättas till 1 Gy = 1 Sv.

⁹ Eftersom stråldoshastigheten avtar snabbt med tiden nära efter explosionen är det också av stor betydelse vid vilken tidpunkt man går in i strålfältet.

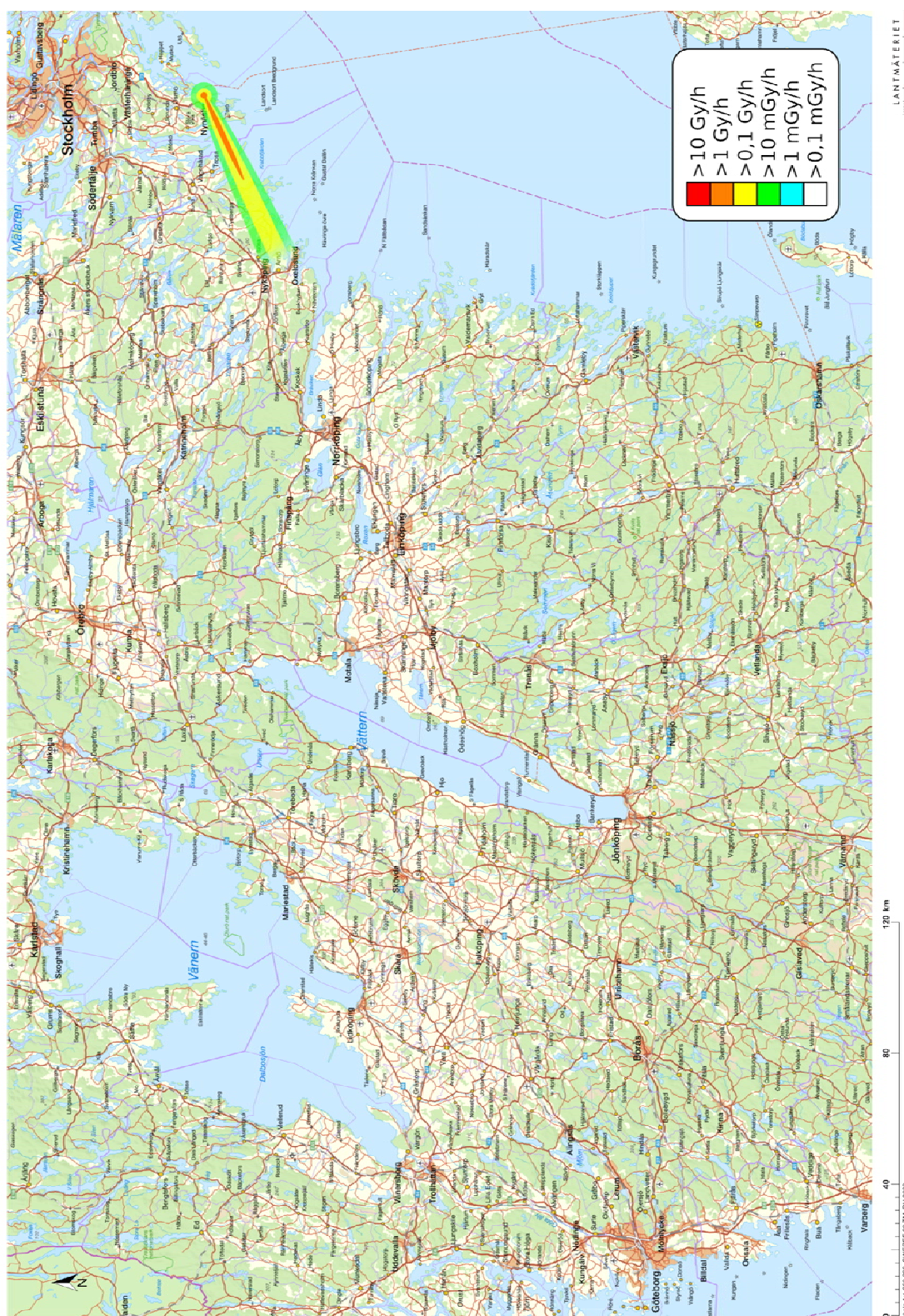
¹⁰ Detsamma skulle gälla för Stockholm vid sydlig vind.



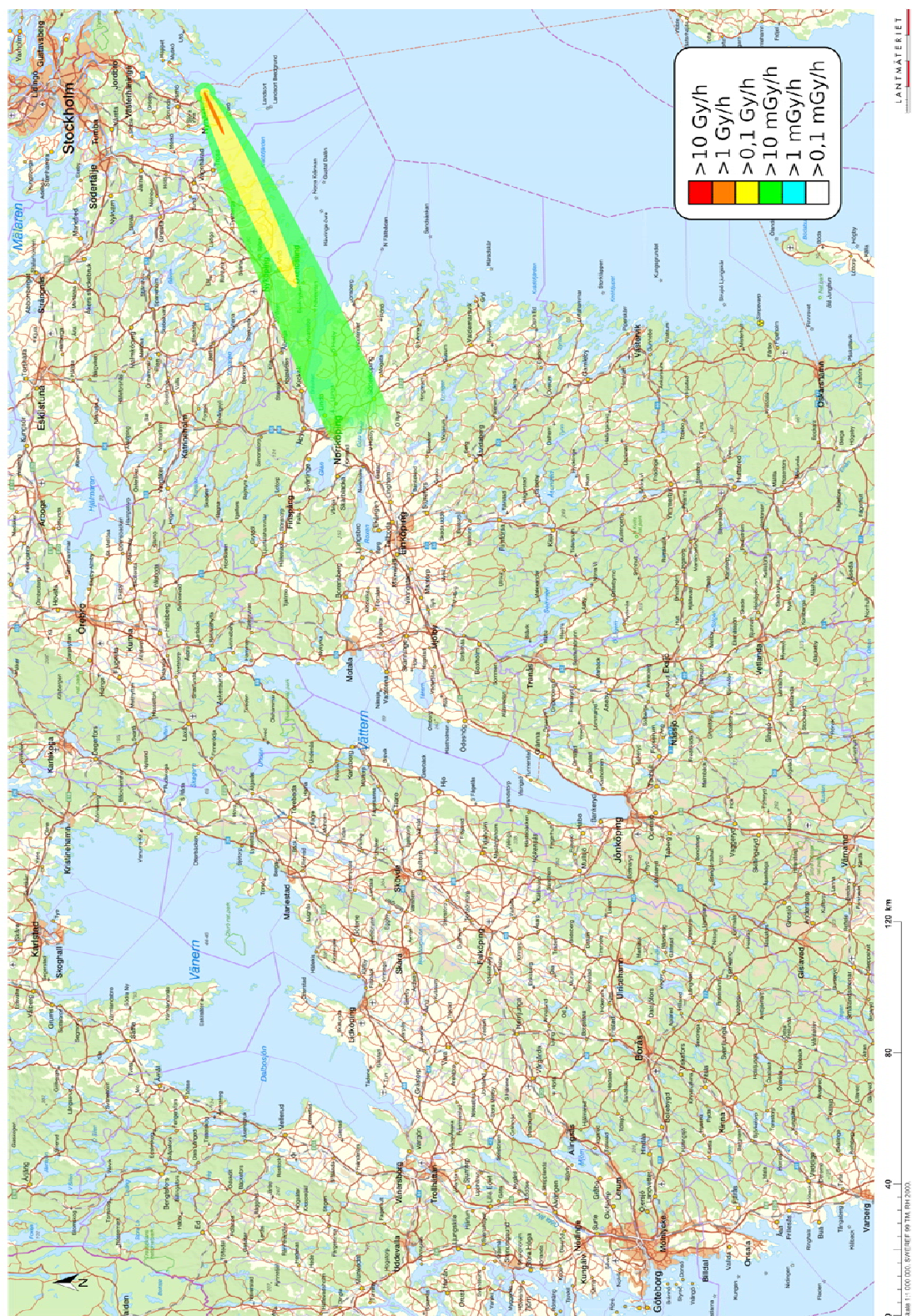
Figur 7a: Belägningsfält 1 timme efter en 100 kt markexplosion. Observera att detta är en förenklad exemplifiering av spridningen. Nedfallet har hunnit ungefär 18 km i vindriktningen, och stråldoshastigheten där är över 1 Gy/h (orange). I ett smalare område är stråldoshastigheten över 10 Gy/h (rött). Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.



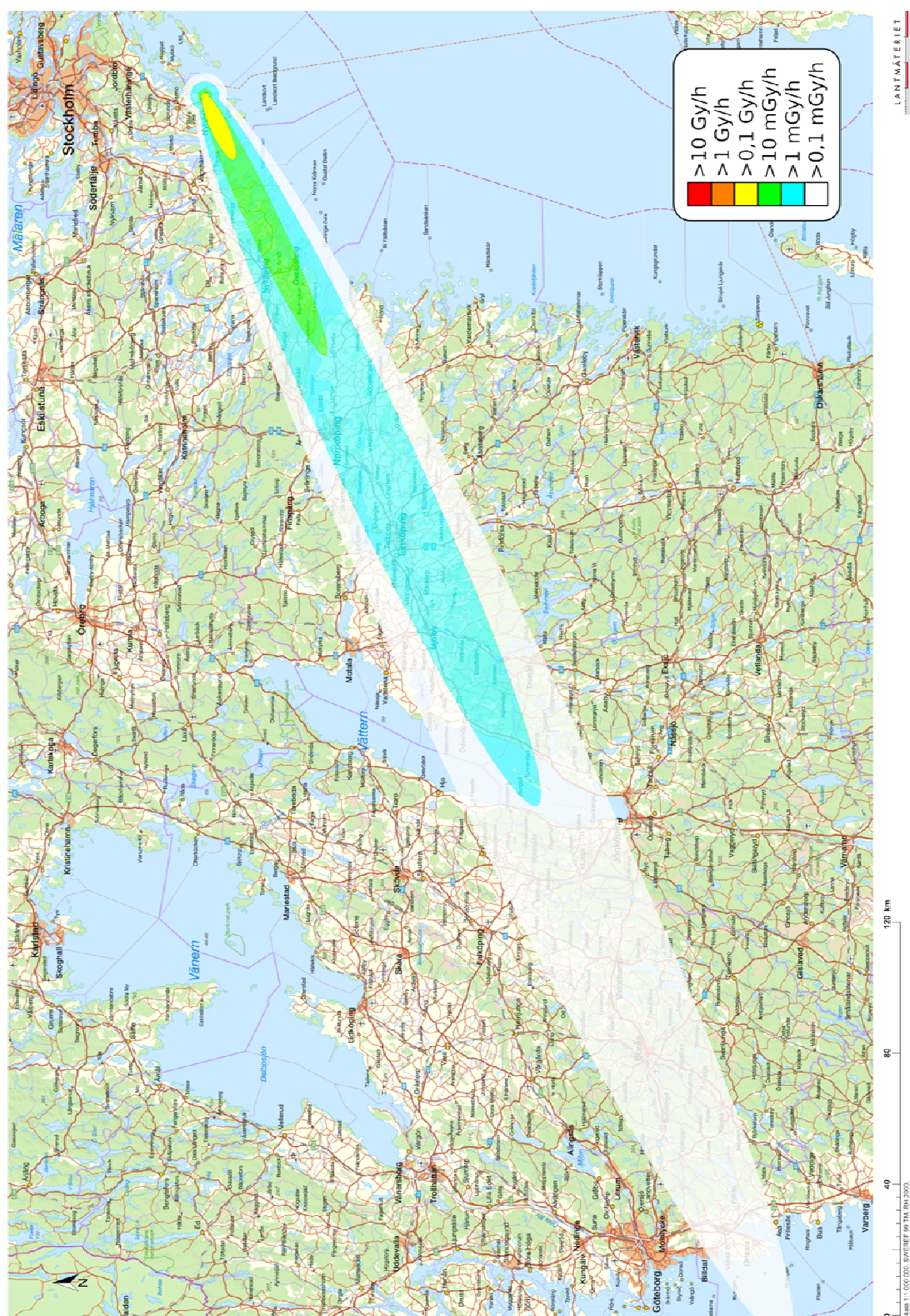
Figur 7b: Dito i närområdet kring nollpunkten. Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.



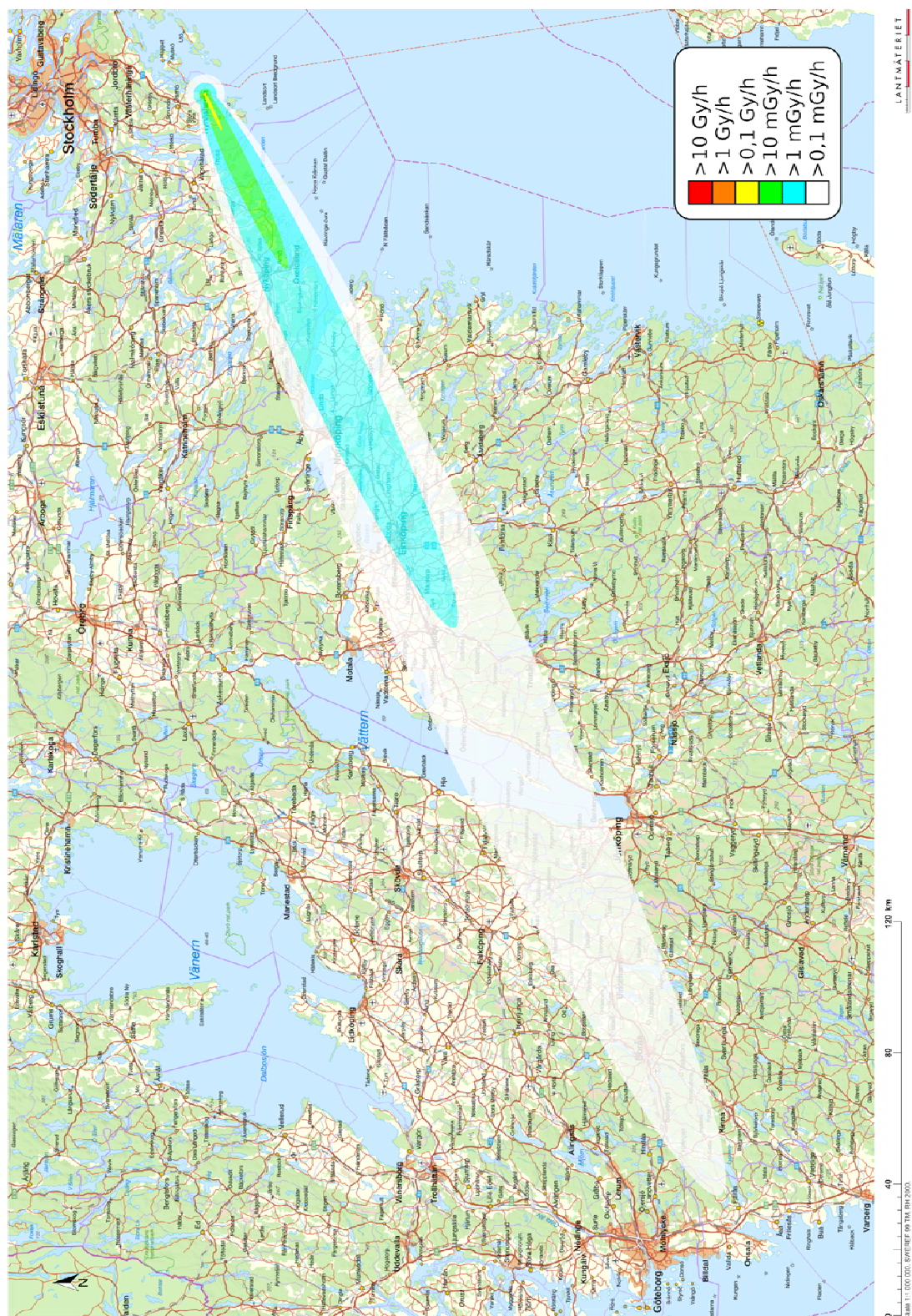
Figur 7c: Belägningsfält 3 timmar efter en 100 kt markexplosion. Observera att detta är en förenklad exemplifiering av spridningen. Nedfallet har hunnit till trakten runt Nyköping och Oxelösund drygt 5 mil i vindriktningen, och stråldoshastigheten där är över 0,1 Gy/h (gult). Närmare explosionen har aktiviteten avklingat, men stråldoshastigheten är fortfarande över 1 Gy/h (orange). Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.



Figur 7d: Belägningsfält 6 timmar efter en 100 kt markexplosion. Observera att detta är en förenklad exemplifiering av spridningen. Nedfallet har hunnit till Norrköping nästan 11 mil i vindriktningen, och stråldoshastigheten där är över 0,01 Gy/h (grönt). Närmare explosionen har aktiviteten avklingat ytterligare, men stråldoshastigheten är fortfarande över 1 Gy/h (orange). Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.



Figur 7e: Belägningsfält 24 timmar efter en 100 kt markexplosion. Observera att detta är en förenklad exemplifiering av spridningen. Nedfallet har hunnit till Västkusten, och stråldoshastigheten där är lägre än 1 mGy/h (vitt). Närmare explosionen har aktiviteten avklingat ytterligare, men stråldoshastigheten är fortfarande över 0,1 Gy/h (gult). Kartunderlag: Lantmäteriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.



Figur 7f: Belägningsfält 48 timmar efter en 100 kt markexplosion. Observera att detta är en förenklad exemplifiering av spridningen. Aktiviteten har avklingat, men nära explosionen är stråldoshastigheten fortfarande över 0,1 Gy/h (gult). Kartunderlag: Lantmateriet, <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>.

2.1 Fallet luftexplosion

I det givna scenariot sker angreppet genom markexplosion, vilket förutom de avsevärda konsekvenserna till följd av direkta effekter från stötvåg, värmestrålning och initialstrålning, även medför ett omfattande radioaktivt nedfall med inledningsvis dödlig intensitet. Som påpekats tidigare kommer närmare kännedom om angreppets art förmodligen inte att finnas i det tidiga skedet. Man kan därför inte utesluta att det är fråga om en luftexplosion, vilket medför en delvis annorlunda situation.

Om explosionen sker på tillräckligt hög höjd över marken, kommer det radioaktiva nedfallet att vara försumbart, förutsatt att inte till exempel nederbörd för ner radioaktiviteten till marken. Det kan fortfarande finnas kvarvarande strålning till följd av neutronaktivering i ett område runt nollpunkten, men de flesta akuta strålskador som uppträder uppkommer till följd av den joniserande initialstrålningen. Det betyder att strålskadade människor förmodligen inte är radioaktivt kontaminerade, och heller inte påträffas i en kontaminerad omgivning. Å andra sidan är en försvårande omständighet vid luftexplosion att räckvidden för stötvågen och värmestrålningen blir längre, så att nästan dubbelt så stor markyta påverkas av en given effekt.

3 Effekter från kärnvapen

En kärnvapenexplosion frigör på ett ögonblick avsevärda mängder energi. Detta ger upphov till flera olika verkansformer som direkt påverkar omgivningen. De viktigaste är stötvåg, värmestrålning, joniserande initialstrålning och elektromagnetisk puls. Beroende på omständigheterna kan explosionen även ge upphov till kvarvarande effekter från radioaktivt material. De olika verkansformerna beskrivs närmare nedan.

Styrkan hos en kärnvapenexplosion brukar anges i kiloton (kt), vilket motsvarar mängden energi som frigörs när 1 000 ton konventionellt explosivämne av typen TNT exploderar. Kärnladdningar har provats med så vitt skilda styrkor som mindre än en tiondels kiloton till flera tiotals megaton¹¹, och ett ungefärligt spann för troliga laddningsstyrkor hos kärnvapen idag är 0,1 kt till 1 Mt.¹² Eftersom laddningsstyrkan är avgörande för hur stora de flesta effekterna från kärnvapenexplosionen blir, är det betydelsefullt att kunna göra en ungefärlig uppskattning av den. Hur den frigjorda energin fördelar sig mellan de olika verkansformerna beror både på laddningsstyrkan, laddningens utformning och i vilken omgivning som explosionen sker.

Även explosionens höjd över markytan är betydelsefull för verkansformernas omfattning. Till exempel blir stötvågen vid en luftexplosion kraftigare än om samma laddning exploderar direkt på markytan. Ännu större betydelse har explosionshöjden för förekomsten av lokalt radioaktivt nedfall. Vid en markexplosion eller marknära luftexplosion kommer markmaterial att blandas med radioaktiva rester från vapnet, och falla ner runt nollpunkten¹³ samt i vindens riktning. Om det däremot är fråga om en luftexplosion sker ingen omblandning med markmaterial, utan de radioaktiva resterna kommer att kondensera till mycket små partiklar som bibehålls i atmosfären under lång tid, sprids globalt och blir ett mindre bidrag i bakgrundsstrålningen [ENW, §9.48].¹⁴ I båda fallen kan radioaktivitet föras ned till marken till exempel till följd av nederbörd.

3.1 Stötvåg – omfattande rasområden

Vid en kärnvapenexplosion i luft kommer en stötvåg breda ut sig i alla riktningar från explosionspunkten. Jämfört med en explosion av konventionella sprängämnen är energin typiskt flera storleksordningar större, vilket medför att stötvågen är betydligt kraftigare. Övertryckets varaktighet i tid är också betydligt längre, vilket gör att effekterna på till exempel byggnader blir större än vid en konventionell explosion med samma maximala övertryck.

Endast en del av den frigjorda energin omvandlas till stötvåg. Vid en explosion i luft med ett "typiskt" kärnvapen med styrka runt 10 kt går ungefär halva laddningsstyrkan till stötvågen. I det exemplet är alltså stötvågsenergin 5 kt.

Stötvågen får störst verkan på utbredda strukturer som byggnader. Det kommer att medföra omfattande husras i en omgivning kring nollpunkten. I tabell 2 och 3 exemplifieras det ungefärliga avståndet inom vilket byggnader totalraseras. Värdena ska användas med försiktighet, dels eftersom osäkerheter finns i verkansmodeller, och omständigheter varierar från byggnad till byggnad, dels på grund av konstruktionsskillnader och stötvågens variation på grund av reflexioner etc. Som synes blir stötvågens effekt större för luftexplosioner - avståndet är ungefär 30 % längre, vilket

¹¹ En megaton (Mt) är tusen kiloton.

¹² Att ett kärnvapen med relativt hög laddningsstyrka inte behöver vara otympligt storleksmässigt illustreras av att det finns uppgifter om frifallsbomber som kan bäras av ett vanligt stridsflygplan, där laddningsstyrkan kan väljas i några steg mellan 0,3 och 400 kt.

¹³ Vid en markexplosion är nollpunkten där explosionen sker; för en luftexplosion är nollpunkten den punkt på jordytan som ligger rakt ovanför explosionen.

¹⁴ Det är så man definierar luft- och markexplosion.

motsvarar nästan dubbelt så stor yta. Det beror på att stötvågen reflekteras mot marken så att man får en samverkande effekt mellan den reflekterade och den direkta stötvågen.

Tabell 2. Exempel på avstånd för byggnadsras vid markexplosion ($h = 0$ m). Notera den avsevärda skillnaden mellan platsbyggda hus i solid betong, och hus byggda av betongelement.

		1 kt	10 kt	100 kt
Trähus		500 m	1 100 m	2 400 m
Betonghus	element	560 m	1 200 m	2 700 m
Betonghus	solid	260 m	620 m	1 500 m

Tabell 3. Exempel på avstånd för byggnadsras vid luftexplosion. Höjden är olika beroende på laddningsstyrka, och vald så att stötvågseffekten blir nära den optimala mot byggnader. Notera den avsevärda skillnaden mellan platsbyggda hus i solid betong, och hus byggda av betongelement.

		1 kt, $h = 150$ m	10 kt, $h = 320$ m	100 kt, $h = 700$ m
Trähus		650 m	1 400 m	3 100 m
Betonghus	element	740 m	1 600 m	3 500 m
Betonghus	solid	340 m	820 m	2 000 m

Stötvågen kan skada människor på flera olika sätt. Om man befinner sig i en byggnad som raseras är risken påtaglig att man skadas eller dödas, beroende på byggnadstyp och var man befinner sig i byggnaden.

Människor kan också skadas av direkta övertrycksskador, där främst lungorna och andra luftfyllda organ är känsliga. Vad gäller denna typ av skada krävs generellt ett betydligt högre övertryck än vad som behövs för att radera byggnader, så för människor i byggnader är husras ett mer utbrett problem.

Indirekta skador till följd av stötvågen är till exempel att slungas mot en vägg eller längs med marken. Ett specialfall av detta är när man sitter i ett fordon med visst skydd mot direkta övertrycksskador (t.ex. en pansarbandvagn), men där man slungas mot inredningen när fordonet kränger eller välter på grund av stöten.

Slutligen kan man träffas av lösa föremål och fragment som accelererats till höga hastigheter av stötvågen. Ett exempel på detta av särskilt intresse i stadsmiljö är glassplitter.

I tabell 4 och 5 exemplifieras skadeverkningar på människa till följd av stötvågen.

Tabell 4. Exempel på avstånd för stötvågsskador på människor vid markexplosion ($h = 0$ m).

		1 kt	10 kt	100 kt
Direkt övertryck	svår skada	190 m	400 m	870 m
Bakom glasruta	svår skada	500 m	1 100 m	2 300 m

Tabell 5. Exempel på avstånd för stötvågsskador på människor vid luftexplosion. Höjden är olika beroende på laddningsstyrka, och vald så att stötvågseffekten blir nära den optimala mot byggnader.

		1 kt, $h = 150$ m	10 kt, $h = 320$ m	100 kt, $h = 700$ m
Direkt övertryck	svår skada	210 m	450 m	960 m
Bakom glasruta	svår skada	650 m	1 400 m	3 000 m

Samtidigt som stötvågen från ett kärnvapen kan döda eller allvarligt skada människor över ett stort område, är det viktigt att ha i beaktande att byggnader kommer att raseras över ännu större områden. Överlevande som befunnit sig mer skyddat i byggnader kan alltså

finnas långt in i rasområdena, och förmåga till egenutrymning är avgörande givet den situation som kommer att råda [Lindqvist och Oscarsson 1984].

När stötvågen träffar marken, och i ännu högre grad vid en markexplosion, kommer det också att bildas en stötvåg i marken. Denna markstötvåg är den främsta orsaken till skador på hårdgjorda underjordiska anläggningar och andra mycket tåliga mål, vilket nyttjas om man till exempel vill totalförstöra hamnkajer eller liknande. Det är främst i sådana situationer som markexplosion kan komma ifråga.¹⁵

3.2 Värmestrålning – brännskador och brand

Eftersom en kärnvapenexplosion frigör oerhörda mängder energi i en liten volym, kommer temperaturen att vara mycket hög. Initialt handlar det om tiotals miljoner grader, och när energin sprider sig i den omgivande luften bildas ett eldklot av upphettad luft med en temperatur på hundratusentals grader. Detta får till följd att en betydande andel av energin kommer att spridas i form av värmestrålning som avges från detta eldklot. Andelen av energin som avges som värmestrålning är för ett "typiskt" kärnvapen med styrka runt 10 kt ungefär en tredjedel; för större laddningsstyrkor är andelen aningen större.

Värmestrålningen kan ge upphov till brännskador på människor som inte är skydda i förhållande till punkten där explosionen sker. En person med svåra brännskador kan samtidigt ha i det närmaste oskadad hud, beroende på vilken sida av kroppen som var vänd mot explosionen. Eventuella reflexioner kan också medföra brännskador även om man inte står i direkta siktlinjen från explosionen.

I omgivningar med lättantändligt material kan bränder uppstå. Eftersom värmestrålningen har kort varaktighet – den avges som en puls på typiskt några sekunder – är det inte givet att byggnader eller skog för den skull övertänds; detta beror i hög grad av luftfuktighet och väta i skog och mark. Tabell 6 och 7 ger exempel på verkansavstånd för värmestrålningen.

Tabell 6. Exempel på avstånd för brännskador och uppkomst av brand vid markexplosion ($h = 0$ m).

		1 kt	10 kt	100 kt
Eldklotsradie		72 m	180 m	450 m
Brännskada	tredje graden	450 m	1 300 m	3 400 m
Skogsbränder	50 % luftfukt	420 m	1 300 m	3 200 m
Brand inomhus	möbler	430 m	1 300 m	3 300 m

Tabell 7. Exempel på avstånd för brännskador och uppkomst av brand vid luftexplosion. Höjden är olika beroende på laddningsstyrka, och vald så att stötvägs effekten blir nära den optimala mot byggnader.

		1 kt, $h = 150$ m	10 kt, $h = 320$ m	100 kt, $h = 700$ m
Eldklotsradie		55 m	140 m	340 m
Brännskada	tredje graden	610 m	1 800 m	4 600 m
Skogsbränder	50 % luftfukt	560 m	1 700 m	4 300 m
Brand inomhus	möbler	570 m	1 800 m	4 500 m

¹⁵ Bortsett från felfungerande kärnvapen, eller rent terrorangrepp i syfte att sprida radioaktivitet. Det sistnämnda får ses som en helt annan konfliktnivå än den vi tänker oss här, nämligen kärnvapenanvändning för att uppnå militära mål.

3.3 Joniserande initialstrålning – akuta strålskador

Eftersom källan till den energi som frigörs är kärnreaktioner, kommer en del av energin att avges i form av partiklar som uppstår i direkt samband med de reaktionerna. Bland de partiklar som utgör denna initiala strålning är det främst neutroner och gammafotoner som är av betydelse. Eftersom de är så energirika talar man om *joniserande initialstrålning*, och brukar då mena den strålning som avges inom en minut från explosionen. Valet en minut kommer sig av att det är ungefär så lång tid som eldklotet med vapenresterna är tillräckligt nära för att man på marken ska påverkas direkt av den joniserande strålning som avges.¹⁶ Därefter har eldklotet stigit så högt upp i atmosfären att den direkta strålningen från klotet är försumbar [ENW, §2.43].

3.3.1 Akuta strålskador

Den joniserande strålning som är relevant i det initiala skedet vid en kärnvapenexplosion tar sig igenom olika material på ett helt annat sätt än värmestrålning, vilket gör att exempelvis kläder inte skyddar mot strålningen.¹⁷ Att befinna sig i en källare eller i ett hus av betong ger ett visst skydd medan väggarna i ett trähus ger ett tämligen begränsat skydd.

Stråldos till människa uttrycks i termerna ekvivalent eller effektiv stråldos. Ekvivalent stråldos är stråldos till organ eller vävnad och effektiv stråldos är den stråldos som erhålls av hela kroppen. Ekvivalent dos tar hänsyn till strålslaget med en särskild viktffaktor. Det har att göra med jonisationsförmågan hos partiklarna oaktat vilket kroppsorgan det handlar om. Vid beräkning av effektiv dos tar man hänsyn till olika organs känslighet för strålning och räknar fram en viktad dos.

Effekterna från joniserande strålning brukar delas in i deterministiska skador och stokastiska effekter som utvecklas över tid, till exempel cancer. Ofta sätts en tidshorisont av 50 år som ett relevant tidsperspektiv för beräkning av interndos. Ekvivalent och effektiv dos anges i enheten Sievert (Sv). Dos förekommer även som absorberad dos i enheten Gray (Gy), vilket ofta också används i liknande sammanhang där risker för akuta strålskador beräknas. När det sker beräkningar av dosbidrag från gammastrålning kan enheterna Gray och Sievert likställas, dvs $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$. I föreliggande arbete som inriktas på ett akutskele vid en kärnvapenexplosion är riskerna stora att insatspersonal ådrar sig akuta skador, men även de mer långsiktiga effekterna bör beaktas.

Erhållen stråldos ska ställas i relation till de dosgränser som antagits för civila människor i samhället. Dessa dosgränser är avsevärt lägre än de som kan ge akuta strålskador och hänvisar alltid till stokastiska långsiktiga skador. I gällande strålskyddsförordning [Miljödepartementet 2018] anges följande dosgräns: för arbetstagare som har fyllt 18 år och sysselsätts i verksamhet med joniserande strålning får den sammanlagda årliga stråldosen inte överskrida en effektiv dos på 20 mSv. Denna dosgräns gäller dock inte i en radiologisk nödsituation. Förordningen har följande tillägg om sådan situation uppstår: ”Så långt det är möjligt ska dosgränsen inte överskridas för arbetstagare som tilldelats särskilda uppgifter i en radiologisk nödsituation samt att personer i allmänheten inte får tilldelas uppgifter som kan leda till stråldoser som överskrider dessa dosgränser”. Det finns även referensnivåer gällande radiologisk nödsituation omnämnda i strålskyddsförordningen såväl som i SSM:s rapport *Strålskyddsåtgärder vid radiologiska nödsituationer* [Strålsäkerhetsmyndigheten 2020] och denna anges till 500 mSv.

Vilka effekter och symtom som uppstår för en människa som erhåller stråldoser som är tillräckligt höga för att ge akuta skador är baserat på ett begränsat antal faktiska händelser.

¹⁶ Förutsatt att explosionen inte sker alltför högt ovan marken.

¹⁷ Initialstrålningen utgörs av neutroner och gammastrålning. I nedfallet förekommer också alfa- och betastrålning, och där utgör tät klädsel ett skydd.

Det finns dock tabellerade värden i dels NATO-standard [Nato 2010], dels i internationella referensnätverk [UNSCEAR 2008]. I tabell 8 och 9 anges stråldosnivåer kopplade till effekter, symptom och förmåga.

Förloppet vid akut strålskada är komplext, och för allmän referens hänvisas till [ENW; Rotblat 1981]. De första symtomen på akut strålskada är illamående och kräkningar, yrsel, huvudvärk och sjukdomskänsla. Dessa symtom infinner sig minuter till timmar efter strålskadan, ju tidigare initialsymtomen uppkommer desto allvarligare är strålskadan. Längden på initialsymtomen är timmar upp till cirka två dygn. Förutom för de som utsatts för en mycket hög dödlig dos joniserande strålning, följer sedan en latens då personen mår förhållandevis bra. Detta gäller även en del av de som utsatts för en i praktiken dödlig stråldos. Anledningen är att den joniserande strålningen skadar förmågan till nybildande av celler, vilket ger upphov till mycket svår sjukdom först när befintliga celler dör och inte blir ersatta. Detta gäller speciellt de kortlivade celler som klär tarmens insida. För de som fått en allvarlig strålskada där dosen ändå är låg nog för att tillåta överlevnad är det främst benmärgen som blivit skadad. Detta innebär att nybildningen av blod blivit starkt nedsatt. Efter ett tag medför detta exempelvis ett mycket nedsatt immunförsvar i takt med att de vita blodkropparna naturligt dör, samt blödningar när blodplättarna börjar försvinna och därmed även blodets koagulationsförmåga. Då det tar lång tid för benmärgen att återhämta sig leder detta till långa vårdtider, ofta många månader, med stort behov av blodprodukter och antibiotika. Den långa vårdtiden till trots finns det i dessa fall fortfarande goda möjligheter till ett mer eller mindre fullständigt tillfrisknande. Slutligen bör det påpekas att även en strålskada som i sig inte skulle göra den utsatte allvarligt sjuk, ändå kan försämra immunförsvaret och koagulationsförmågan tillräckligt för att starkt komplicera läkningen av andra skador, framför allt brännskador. Tabell 10 och 11 ger exempel på verkansavstånd för den joniserande initialstrålningen.

Tabell 8. Akuta effekter eller symtom som inträffar inom ungefärliga stråldosområden [Nato 2010]. Begreppet tjänstbarhetsgrad är en terminologi i militära sammanhang, och avser en individs förmåga att utföra sina uppgifter. En fullt tjänstbar person kan fullgöra sina ordinarie (militära) uppgifter till mer än 75 %, en begränsat tjänstbar person till 25-75 % och en ej tjänstbar person till mindre än 25 % [Wigg 1996].

Exponering dosområde	Initiala symtom	Symtom (uppträder/försvinner)	Kapacitet utan medicinsk behandling
0 – 0,75 Gy	Inga eller svaga tecken på tillfällig huvudvärk och illamående. Kräkning hos ca 5 % av personal i det övre dosintervallet.	6 h/12 h	Tjänstbar
0,75 – 1,25 Gy	Tillfälliga milda symtom på illamående och kräkning för ca 5-30 % av personal	3-5 h/1 dag	Tjänstbar
1,25 – 3 Gy	Tillfälliga milda till måttliga symtom på illamående och kräkning för ca 20-70 % av personal. Svaga till måttliga symtom på trötthet och svaghet hos 25-60 % av personal	2-3 h/2 dagar	Tjänstbar, mindre än 5 % dödsfall i den lägre delen av exponeringsområdet upp till ca 10 % i det högre.
3 - 5,3 Gy	Tillfälliga måttliga symtom på illamående och kräkning för ca 80-	2 h/3-4 dagar	Tjänstbar i den lägre delen av exponerings-

	90 % av personal. Svaga till måttliga symtom på trötthet och svaghet hos 60-90 % av personal		området (mindre är 10 % dödsfall) medan i den högre delen av området så kan dödligheten överstiga 50 % av exponerad personal.
5,3 – 8,3 Gy	Måttliga till allvarliga symtom på illamående och kräkning för ca 80-100 % av personal. Måttliga till extrema symtom på trötthet och svaghet hos 90-100 % av personal	Inom 1:a timmen/dagar till veckor	I den lägre delen av exponeringsområdet kan över 50 % dödlighet förekomma inom 6 veckor medan i den högre delen så kan 90 % dödlighet förekomma inom 3-5 veckor.

Tabell 9. Nivåer då akuta skador uppkommer som i sin tur kan orsaka att den bestrålade personen avlider [ICRP 2007]. LD (*lethal dosis*) anger procentuell dödlighet, se kommentarer i tabellen.

Nivåer (Helkroppsexponering)	Kommentarer
Effektiv dos < 0,1 Sv	Inga kliniskt relevanta akuta skador uppkommer
LD10 = 1-2 Gy	10 % dör
LD50/60 = 4 Gy	50 % dör inom 60 dagar
LD90 = 5-7 Gy	90 % dör

Tabell 10. Exempel på avstånd för akut strålskada från den joniserande initialstrålningen vid markexplosion ($h = 0$ m). LD50 innebär 50 % dödlighet.

	1 kt	10 kt	100 kt
LD50	820 m	1 200 m	1 900 m

Tabell 11. Exempel på avstånd för akut strålskada från den joniserande initialstrålningen vid luftexplosion. LD50 innebär 50 % dödlighet. Höjden är olika beroende på laddningsstyrka, och vald så att stötvågseffekten blir nära den optimala mot byggnader.

	1 kt, $h = 150$ m	10 kt, $h = 320$ m	100 kt, $h = 700$ m
LD50	900 m	1 300 m	1 700 m

3.4 Elektromagnetisk puls – utslagen elektronik

En effekt som inte påverkar människor direkt, men som ändå kan få stora konsekvenser, är den *elektromagnetiska pulsen*, EMP, som kan genereras från en kärnvapenexplosion. Styrkan hos EMP blir påtaglig i främst två situationer. Den ena är vid en höghöjdsexplosion utanför jordens atmosfär; i det fallet kan EMP bli betydande över en hel kontinent, samtidigt som övriga effekter från explosionen är försumbara. Den andra situationen är vid en markexplosion; EMP har då betydligt kortare räckvidd, i storleksordningen kilometer, och är endast viktig för mål som tål de övriga verkansformerna. Om inte anpassningar och skyddsåtgärder vidtagits kan EMP förstöra såväl vidsträckta ledningsnät, som elektronikberoende utrustning.

3.5 Kvarvarande strålning – skydd eller evakuering?

De kärnreaktioner som utnyttjas i kärnvapen är av två huvudtyper. Den ena är *fission*, vilket innebär att man klyver tunga atomkärnor. Endast ett fåtal typer av atomkärnor är lämpliga för detta ändamål, främst uran 235 och plutonium 239. Om man klyver en sådan kärna frigörs energi, samtidigt som det bildas två lättare kärnor – så kallade *fissionsprodukter*. Det frigörs även neutroner och gammafotoner, som ingår i den joniserande initialstrålningen som berörts tidigare. Fissionsprodukterna är typiskt mycket instabila, dvs. *radioaktiva*, och kommer sönderfalla i flera steg till dess mer stabila atomkärnor uppnås. Denna sönderfallsprocess är utsträckt i tiden, och sker under avgivande av joniserande strålning, så kallad *kvarvarande strålning*.

Den andra principen för att frigöra energi i ett kärnvapen är *fusion*, vilket innebär att två lätta kärnor slås samman med frigörelse av energi som följd. I flera av de fusionsreaktioner som kan vara aktuella frigörs neutroner med mycket hög energi, vilka räknas in i den joniserande initialstrålningen. Till skillnad från situationen vid fission är de atomkärnor som bildas vid fusionen inte radioaktiva, vilket innebär att de inte bidrar till någon kvarvarande strålning. För att sätta igång fusionsreaktionerna krävs dock avsevärda mängder energi, och det enda kända sättet att åstadkomma detta i ett kärnvapen är med hjälp av en fissionsladdning. Alla kärnvapenexplosioner kommer alltså att innebära

fission, och andelen kan variera från bråkdelar av en procent i en "ren" fusionsladdning, till hundra procent i en fissionsladdning.

Fissionsandelen är avgörande för hur mycket fissionsprodukter det bildas och därmed viktig för att uppskatta hur omfattande den kvarvarande strålningen blir. En annan viktig faktor är hur mycket av fissionsprodukterna som faller till marken som lokalt nedfall och hur mycket som förs högt upp för att under lång tid (månader och år) stanna i atmosfären, för att till sist bli globalt nedfall. Här spelar explosionshöjden en stor roll, som tidigare berörts. Vare sig laddningsstyrkan eller explosionshöjden, såväl som fissionsandelen (i synnerhet), kommer initialt att vara kända annat än genom ungefärliga uppskattningar vid en kärnvapenexplosion.

En annan form av kvarvarande strålning som är aktuell både från fissions- och fusionsreaktioner uppstår när neutronerna från dessa reaktioner kolliderar med atomkärnor i vapenresterna och i omgivningen. När många typer av atomkärnor absorberar en neutron bildas nämligen nya kärnor som är radioaktiva, vilket kallas för *neutroninducerad aktivitet*. Vid en markexplosion kommer det lokala nedfallet av fissionsprodukter att dominera den kvarvarande strålningen, och den neutroninducerade aktiviteten kan då försummas. Vid en luftexplosion tillräckligt högt upp för att undvika lokalt nedfall¹⁸ kan den däremot vara av betydelse.

3.5.1 Radioaktivt nedfall

Vid kärnvapenexplosioner på eller nära markytan kommer de radioaktiva fissionsprodukterna att blandas med markmaterial och till del falla ned lokalt kring nollpunkten och i vindens riktning. Exakt hur nedfallet kommer att ske är svårt att förutsäga, och kräver detaljerad kunskap om de meteorologiska förhållanden som råder vid det specifika explosionstillfället. För att få en grov uppskattning kan man använda nedfallsschabloner som endast beror av laddningsstyrkan, samt vindriktningen och vindhastigheten som antas konstanta. Om fissionsandelen är lägre än 100 % reduceras aktiviteten i proportion till detta.

Aktiviteten hos nedfallet klingar av, och en ungefärlig takt för avklingningen är att stråldoshastigheten t timmar efter explosionen ges av $R_1 t^{-1,2}$, där R_1 är stråldoshastigheten en timme efter explosionen. Det betyder att stråldoshastigheten sju timmar efter explosionen minskat till ungefär en tiondel jämfört med vad den var en timme efter; när ca två dygn gått är den nere på en hundradel, etc.

En tumregel för vilken höjd som krävs för att nedfall inte ska behöva beaktas i en akut situation är att eldklotet från explosionen inte ska nå ner till marken [ENW, §2.128]. Exempel för olika laddningsstyrkor ges i tabell 12. Dessa höjder är betydligt lägre än de höjder som i allmänhet ger en optimal stötvågsverkan. Exempel på nedfallsschabloner ges i tabell 13a-e, se även figur 7a-f ovan. Exempelen gäller laddningsstyrkan 100 kt med 50 % fissionsandel. Schablonerna består dels av ellipser med ena änden i nollpunkten för finare partiklar, dels cirkulära områden kring nollpunkten för tyngre partiklar. Ellipserna "klipps" på det avstånd som motsvarar sträckan som nedfallet approximativt har hunnit vid den givna vindhastigheten. Tabell 14 ger exempel på längsta vistelsetid i ett belägningsfält för att inte överskrida en viss dos.

Tabell 12. Lägsta explosionshöjd för försumbart lokalt nedfall. Höjden för nära optimal stötvågseffekt mot byggnader är också angiven som jämförelse.

	1 kt	10 kt	100 kt
Minsta höjd för försumbart nedfall	55 m	140 m	340 m
Optimal höjd för stötvågsverkan	150 m	320 m	700 m

¹⁸ Men inte så högt upp att den initiala neutronstrålningen vid marken är försumbar.

Tabell 13a. Schabloner för radioaktivt nedfall vid en markexplosion. Stråldoshastigheter 1 timme efter explosionen vid vindhastigheten 18 km/h. Laddningsstyrkan är 100 kt, varav 50 % är fission. Maxutbredningen efter en timme är 18 km, och gråa värden inom parentes indikerar att nedfallet därför ännu inte nått längs hela längden av schablonen. Tiderna i kolumnen "Tid till 1 Gy dos" tar hänsyn till avklingningen, men tider kortare än 15 minuter anges som "<15 min" eftersom stora variationer i stråldoshastigheten i praktiken gör det svårt att förutsäga mottagen dos när man agerar i en sådan miljö.

Stråldoshastighet	Längd	Maximal bredd	Radie vid nollpunkt	Tid till 1 Gy dos	Kommentar
15 Gy/h	7,2 km	0,38 km	210 m	<15 min	Dödlig
10 Gy/h	12 km	0,89 km	340 m	<15 min	Dödlig
5 Gy/h	17 km	1,4 km	480 m	<15 min	Dödlig
2 Gy/h	(38 km)	(3,7 km)	930 m	44 min	Livshotande
1 Gy/h	(60 km)	(6,3 km)	1 300 m	2,5 h	Livshotande
0,5 Gy/h	(79 km)	(8,6 km)	1 600 m	19 h	
0,2 Gy/h	(140 km)	(14 km)	2 400 m	>100 h	
0,1 Gy/h	(190 km)	(19 km)	3 100 m	>100 h	
0,05 Gy/h	(230 km)	(22 km)	3 600 m	>100 h	
0,02 Gy/h	(320 km)	(30 km)	5 000 m	>100 h	
0,01 Gy/h	(380 km)	(36 km)	6 000 m	>100 h	
0,005 Gy/h	(420 km)	(41 km)	6 600 m	>100 h	

Tabell 13b. Motsvarande stråldoshastigheter 3 timmar efter explosionen, med en maxutbredning på 54 km.

Stråldoshastighet	Längd	Maximal bredd	Radie vid nollpunkt	Tid till 1 Gy dos	Kommentar
2 Gy/h	15 km	1,2 km	410 m	32 min	Livshotande
1 Gy/h	26 km	2,4 km	670 m	1,2 h	Livshotande
0,5 Gy/h	39 km	3,8 km	950 m	3,1 h	
0,2 Gy/h	(70 km)	(7,5 km)	1 500 m	19 h	
0,1 Gy/h	(100 km)	(11 km)	2 000 m	> 100 h	
0,05 Gy/h	(140 km)	(14 km)	2 500 m	>100 h	
0,02 Gy/h	(210 km)	(21 km)	3 400 m	>100 h	
0,01 Gy/h	(270 km)	(26 km)	4 200 m	>100 h	
0,005 Gy/h	(320 km)	(30 km)	5 100 m	>100 h	
0,002 Gy/h	(400 km)	(38 km)	6 300 m	>100 h	

Tabell 13c. Motsvarande stråldoshastigheter 6 timmar efter explosionen, med en maxutbredning på 108 km.

Stråldoshastighet	Längd	Maximal bredd	Radie vid nollpunkt	Tid till 1 Gy dos	Kommentar
1 Gy/h	14 km	1,0 km	380 m	1,1 h	Livshotande
0,5 Gy/h	22 km	2,0 km	580 m	2,2 h	Livshotande
0,2 Gy/h	40 km	4,0 km	970 m	8,0 h	
0,1 Gy/h	66 km	7,0 km	1 400 m	33 h	
0,05 Gy/h	93 km	9,9 km	1 800 m	>100 h	
0,02 Gy/h	(140 km)	(15 km)	2 500 m	>100 h	
0,01 Gy/h	(200 km)	(20 km)	3 200 m	>100 h	
0,005 Gy/h	(250 km)	(24 km)	4 000 m	>100 h	
0,002 Gy/h	(330 km)	(30 km)	5 200 m	>100 h	
0,001 Gy/h	(390 km)	(37 km)	6 100 m	>100 h	

Tabell 13d. Motsvarande stråldoshastigheter 24 timmar efter explosionen.

Stråldoshastighet	Längd	Maximal bredd	Radie vid nollpunkt	Tid till 1 Gy dos
0,2 Gy/h	13 km	0,99 km	370 m	5,4 h
0,1 Gy/h	21 km	1,8 km	550 m	13 h
0,05 Gy/h	36 km	3,5 km	890 m	37 h
0,02 Gy/h	64 km	6,8 km	1 400 m	>100 h
0,01 Gy/h	88 km	9,5 km	1 800 m	>100 h
0,005 Gy/h	130 km	14 km	2 400 m	>100 h
0,002 Gy/h	200 km	20 km	3 200 m	>100 h
0,001 Gy/h	240 km	24 km	3 900 m	>100 h
0,000 5 Gy/h	310 km	29 km	4 900 m	>100 h
0,000 2 Gy/h	380 km	37 km	6 100 m	>100 h
0,000 1 Gy/h	420 km	41 km	6 700 m	>100 h

Tabell 13e. Motsvarande stråldoshastigheter 48 timmar efter explosionen.

Stråldoshastighet	Längd	Maximal bredd	Radie vid nollpunkt	Tid till 1 Gy dos
0,1 Gy/h	12 km	0,85 km	330 m	12 h
0,05 Gy/h	17 km	1,4 km	470 m	27 h
0,02 Gy/h	37 km	3,7 km	910 m	>100 h
0,01 Gy/h	59 km	6,2 km	1 300 m	>100 h
0,005 Gy/h	78 km	8,5 km	1 600 m	>100 h
0,002 Gy/h	130 km	14 km	2 400 m	>100 h
0,001 Gy/h	180 km	19 km	3 100 m	>100 h
0,000 5 Gy/h	230 km	22 km	3 600 m	>100 h
0,000 2 Gy/h	320 km	30 km	5 000 m	>100 h
0,000 1 Gy/h	370 km	36 km	5 900 m	>100 h

Tabell 14. Längsta vistelsetid i ett belägningsfält för att hålla sig under en maximalt tillåten dos. Observera att tiden efter explosionen spelar roll, eftersom en given initial stråldoshastighet avklingar snabbare om tidpunkten är kort efter explosionen än långt efter.¹⁹

Tidpunkt och stråldoshastighet vid ingång	Maxdos 0,1 Gy	Maxdos 0,5 Gy
1 h efter explosionen, 1 Gy/h	<15 min	44 min
1 h efter explosionen, 0,1 Gy/h	2,5 h	>100 h
3 h efter explosionen, 1 Gy/h	<15 min	32 min
3 h efter explosionen, 0,1 Gy/h	1,2 h	19 h
6 h efter explosionen, 1 Gy/h	<15 min	30 min
6 h efter explosionen, 0,1 Gy/h	1,1 h	8,0 h
24 h efter explosionen, 1 Gy/h	<15 min	30 min
24 h efter explosionen, 0,1 Gy/h	1,0 h	5,4 h
48 h efter explosionen, 1 Gy/h	<15 min	30 min
48 h efter explosionen, 0,1 Gy/h	1,0 h	5,2 h

3.5.2 Neutroninducerad aktivitet

Vid en luftexplosion som sker tillräckligt högt över markytan kommer fissionsresterna inte att blandas med markmaterial. Vapenresterna kondenserar istället till mycket små partiklar och lyfts till höga höjder i atmosfären. Dessa partiklar tar sedan lång tid (månader till år) på sig att falla till marken som globalt nedfall, vilket betyder att lokalt nedfall i allmänhet inte är ett akut problem vid luftexplosioner [ENW, §9.48].²⁰ Däremot kan det uppstå neutroninducerad aktivitet, som nämnts ovan.

Den neutroninducerade aktiviteten är starkt beroende av vilka material som finns i omgivningen, till exempel markens sammansättning och kommer typiskt att domineras av ett fåtal kortlivade radioaktiva isotoper. Den avklingar därför snabbt och är försumbar efter ett par dygn. Aktiveringen sker i ett cirkulärt område runt nollpunkten och exempel på radier inom vilka en viss stråldoshastighet uppnås vid givna tider efter explosionen ges i tabell 15a-e.

Tabell 15a: Radier runt nollpunkten för neutroninducerad aktivitet i marken 1 timme efter explosionen. Svensk normaljord Effekten är lägre för 100 kt avseende stora stråldoshastigheter, eftersom den luftexplosionen antas ske på betydligt större höjd, varvid neutronstrålningen dämpas på väg ner till marken.

Stråldoshastighet	1 kt h = 150 m	10 kt h = 320 m	100 kt h = 700 m
2 Gy/h	<100 m	<100 m	-
1 Gy/h	<100 m	120 m	-
0,5 Gy/h	150 m	280 m	270 m
0,2 Gy/h	250 m	440 m	530 m
0,1 Gy/h	310 m	530 m	670 m
0,05 Gy/h	420 m	670 m	860 m

¹⁹ Om stråldoshastigheten är 1 Gy/h i ett område vid inträde 1 timme efter explosionen, är den drygt 0,4 Gy/h en timme senare. Om däremot inträde sker i ett annat område med stråldoshastighet 1 Gy/h 24 timmar efter explosionen, är den fortfarande runt 0,95 Gy/h en timme senare. (En timme efter explosionen var stråldoshastigheten mycket hög i det senare området – runt 45 Gy/h.)

²⁰ Nederbörd kan emellertid föra ner radioaktivitet lokalt.

Tabell 15b: Radier runt nollpunkten för neutroninducerad aktivitet i marken 3 timmar efter explosionen. Svensk normaljord.

Stråldoshastighet	1 kt, h = 150 m	10 kt, h = 320 m	100 kt, h = 700 m
2 Gy/h	<100 m	<100 m	-
1 Gy/h	<100 m	110 m	-
0,5 Gy/h	120 m	240 m	200 m
0,2 Gy/h	220 m	400 m	450 m
0,1 Gy/h	300 m	510 m	630 m
0,05 Gy/h	390 m	640 m	810 m

Tabell 15c: Radier runt nollpunkten för neutroninducerad aktivitet i marken 6 timmar efter explosionen. Svensk normaljord.

Stråldoshastighet	1 kt, h = 150 m	10 kt, h = 320 m	100 kt, h = 700 m
1 Gy/h	<100 m	<100 m	-
0,5 Gy/h	<100 m	120 m	-
0,2 Gy/h	170 m	320 m	330 m
0,1 Gy/h	250 m	440 m	530 m
0,05 Gy/h	310 m	530 m	670 m
0,02 Gy/h	440 m	700 m	900 m

Tabell 15d: Radier runt nollpunkten för neutroninducerad aktivitet i marken 24 timmar efter explosionen. Svensk normaljord.

Stråldoshastighet	1 kt, h = 150 m	10 kt, h = 320 m	100 kt, h = 700 m
0,5 Gy/h	<100 m	<100 m	-
0,2 Gy/h	<100 m	120 m	-
0,1 Gy/h	150 m	280 m	270 m
0,05 Gy/h	220 m	400 m	450 m
0,02 Gy/h	310 m	530 m	670 m
0,01 Gy/h	420 m	670 m	860 m

Tabell 15e: Radier runt nollpunkten för neutroninducerad aktivitet i marken 48 timmar efter explosionen. Svensk normaljord.

Stråldoshastighet	1 kt, h = 150 m	10 kt, h = 320 m	100 kt, h = 700 m
0,1 Gy/h	<100 m	<100 m	-
0,05 Gy/h	<100 m	120 m	-
0,02 Gy/h	170 m	320 m	330 m
0,01 Gy/h	250 m	440 m	530 m

4 Slutord

Scenariot som beskrivits ovan är baserat på befintlig kännedom om effekterna från kärnvapen, och är tillämpat på en specifik situation. Avslutningsvis pekar vi på några utvecklingsvägar som skulle möjliggöra förbättrade bedömningar kring ett kärnvapenangrepp.

- Framtagningen av kartor med de olika effekterna illustrerade har gjorts manuellt. Detta skulle kunna automatiseras genom att kombinera modellerna för verkansformerna med GIS-data för var byggnader och befolkning befinner sig. Det skulle möjliggöra enklare framtagning av scenariovariationer både vad gäller kärnvapeninsatsens parametrar, väderläge, såväl som målkoordinater.
- Genom att kombinera detta med bättre spridningsmodeller, kan scenariot förse med mer realistiska belägningsfält.
- Viktigt att skilja på angående de två ovanstående punkterna är framtagandet av realistiska scenarier och bedömning av situationen vid en faktisk händelse. Vid ett kärnvapenangrepp kommer osäkerheten vara betydande och viktiga parametrar okända, vilket kommer omöjliggöra exakta förutsägelser av effekterna.
- Data för olika byggnaders och materials tålighet är experimentellt framtagna för flera decennier sedan. Det innebär att moderna motsvarigheter inte är representerade. Till exempel har många moderna byggnader stora glaspartier i fasaderna. Vidare är många kläder idag så kallade funktionsplagg i syntetmaterial, vilka beter sig på ett annat sätt än till exempel bomullstyg när de exponeras för värmestrålning.
- Likaså är modern elektroniks känslighet för EMP något som bör utvärderas. I föreliggande scenario är detta kanske mindre viktigt, eftersom infrastrukturen för till exempel mobilnätet kan förväntas bli allvarligt skadat av andra verkansformer. Vid en utomatmosfärisk höghöjdsexplosion är dock EMP den enda verkansformen som är relevant.

Bilaga A: Spelkort

Denna bilaga ger ett antal spelkort att diskutera i samband med att scenariot används. Dessa spelkort relaterar till situationer i närområdet runt Nynäshamn en timme efter explosion, Norrköping sex timmar efter explosion, samt Göteborg 24 timmar efter explosion.

Som beskrivits ovan, avklingar aktiviteten så att stråldoshastigheten sju timmar efter explosionen minskat till ungefär en tiondel jämfört med vad den var en timme efter; när 7x7 timmar, dvs. ca två dygn gått är den nere på en hundradel, etc. Detta brukar benämnas 7/10 regeln, och kan användas för att uppskatta hur lång tid det tar innan stråldosen har minskat så att en insats kan genomföras.

Gällande zonindelning för olika stråldoshastigheter enligt RIB [Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2019] så gäller:

- kall zon: har ingen strålning utöver den naturliga bakgrunden
- varm zon: gränsen går vid 1 $\mu\text{Sv/h}$, kräver skyddsutrustning
- het (röd) zon: gränsen går vid 100 $\mu\text{Sv/h}$, kräver särskild skyddsutrustning.

Gränserna avser att minimera långsiktiga effekter för räddningspersonal och är uttryckta som ekvivalent dos i Sievert (Sv). Vi använder den enheten här, medan den tidigare diskussionen om akuta strålskador använder absorberad dos uttryckt i Gray (Gy).

Det finns även ett antal stråldosgränser att förhålla sig till, dvs. stråldoshastighet multiplicerad med exponeringstid.

- Dosgräns som antagits för civila människor i samhället [SSM 2018]. I gällande strålskyddsförordning anges följande: "För arbetstagare som har fyllt 18 år och sysselsätts i verksamhet med joniserande strålning får den sammanlagda årliga stråldosen inte överskrida en effektiv dos på 20 mSv". Detta är avsevärt lägre än vad som kan ge akuta strålskador och hänvisar alltid till stokastiska långsiktiga skador, till exempel ökad cancerrisk. Denna dosgräns gäller dock inte i en radiologisk nödsituation. Förordningen har följande tillägg om sådan situation uppstår: "Så långt det är möjligt ska dosgränsen inte överskridas för arbetstagare som tilldelats särskilda uppgifter i en radiologisk nödsituation samt att personer i allmänheten inte får tilldelas uppgifter som kan leda till stråldoser som överskrider dessa dosgränser".
- Det finns även referensnivåer som anges till 500 mSv gällande radiologisk nödsituation [Miljödepartementet 2018; Strålsäkerhetsmyndigheten 2020]: "Dosgränserna för arbetstagare gäller inte heller när en radiologisk nödsituation inträffar. För arbetstagare finns det dock krav i strålskyddsförordningen på att dosgränserna om möjligt ska underskridas, även under radiologiska nödsituationer. Det innebär att i första hand underskrida dosgränsen för årlig effektiv dos, 20 mSv. När det inte bedöms som realistiskt att underskrida dosgränserna anges att den som ansvarar för räddningsarbetet ska fastställa vilka referensnivåer som ska tillämpas. Referensnivåerna för arbetstagare i radiologiska nödsituationer får inte överskrida 100 mSv effektiv dos om det inte behövs för att rädda liv, förhindra allvarliga strålningsrelaterade hälsoeffekter eller förhindra att katastrofartade förhållanden uppstår. Då får referensnivån överstiga 100 mSv effektiv dos, men inte 500 mSv effektiv dos."

A.1 Spelkort 1: En timme efter explosionen – Nynäshamns omgivningar

“Personal från flera räddningstjänster (RTJ) från Stockholmsområdet åker mot Nynäshamn där en mycket kraftig explosion rapporteras ha skett. Samband med RTJ i Nynäshamn har inte gått att upprätta. Den befarade omfattningen gör man förbereder sig för att det kan vara frågan om ett kärnvapenangrepp. Detta innebär att dosimetrar och doshastighetsinstrument är påtagna och påslagna.

RTJ åker Nynäsvägen genom Haninge kommun. Man närmar sig därmed ungefär i rät vinkel mot den vindriktning som anges av SMHI. Denna riktning antas beskriva utbredningsriktningen för det eventuella radioaktiva material som sprids, och går från nordost till sydväst i en tänkt linje mellan Nynäshamn och Göteborg. En stund efter att kommungränsen till Nynäshamn passerats noteras förhöjda stråldoshastigheter på SRV 2000 och när nivån når 1 $\mu\text{Sv/h}$ stannar man och överlägger. I detta läge tas skyddsmask och tätslutande klädsel på. Resan fortsätter mot Nynäshamn men i höjd med Ösmo som ligger en knapp mil från Nynäshamn noteras värdet 100 $\mu\text{Sv/h}$ på SRV 2000, vilket innebär att man nått gränsen för Röd zon. RTJ grupperar därför i Ösmo med fortsatt påtagen skyddsutrustning. Med den uppmätta stråldoshastigheten är det ingen fara att gränsvärdet 20 mSv ska överskridas ens vid många dygns vistelse på platsen.

Vid denna tidpunkt har det gått ca 45 minuter efter att man fått larmet om explosionen, och i detta läge vet ingen hur situationen ser ut närmare Nynäshamn. Beslut tas att starta upp den medhavda drönaren för en visuell inspektion närmare Nynäshamn. Drönaren kan flyga ca en timme med en fart av 20 km/h, och är försedd med en videokamera för visning i realtid. Drönaren förses också med en SRV 2000, som tar en mindre del av videokamerans bildfält i anspråk. Efter 30 minuter cirklar drönaren över Nynäshamn och fruktansvärda bilder med skadade och döda människor, samt raserade byggnader visas i bildåtergivningssystemet i RTJs främre ledningscentral. Genom det påmonterade mätinstrumentet uppmäts stråldoshastigheter som överstiger 10 Gy/h. Man ser även bränder på många platser i allmänhet och vid raffinaderiet i synnerhet, där även sikten är mycket begränsad till följd av kraftig rökutveckling. Efter en kort stund bryts kontakten med drönaren.”

A.1.1 Några aktuella frågor

- Från informationen från drönaren om stråldosnivåerna finns inga möjligheter att åka in i området. Men hur nära kan RTJ komma för livräddande insatser för att inte själva drabbas av strålskador? Kan RTJ ens stanna under längre tid på nuvarande plats?
- Hur snabbt kommer stråldoshastigheten att minska med tiden? Kommer de att kunna gå in under dagen?
- Kan man vänta på plats och i så fall hur länge? Ska de istället åka runt området och skapa sig en vidare bild av skadeområdet för att sedan åka till närmaste räddningstjänst och planera och förbereda kommande insatser? Vad kan förberedas?
- Hur skadade är tillfartsvägarna till Nynäshamn?
- Finns fler drönare tillgängliga?
- Finns andra hjälpmedel, funktioner i form av RTJ på andra orter, regionens resurser eller statliga myndigheter att tillgå?
- Likaså, vilka andra aktörer (statliga, regionala och lokala) finns?
- Vad kan man sja om gällande fortsättningen: större spridning av radioaktivitet, omslag i väderlek/vindriktning? Är de säkra där de befinner sig? Vad säger intensimetern – är mätvärden stabila över tid, och vad innebär det om de inte är det?

- Kan information och förnödenheter förmedlas in till eventuella överlevande på skadeplats? Vad ska i så fall informationen innehålla och förnödenheterna bestå av?
- Kan helikopter användas för att, på tryggt avstånd (höjd), bättre beskriva och mäta stråldoshastighet, kring skadeplatsen och längs vindriktningen mot sydväst? Vilket visuellt siktdjup krävs? Kan helikopter användas för räddningsinsatser på skadeplats?
- Är ansatsen att använda drönare realistisk? Finns sådana tillgängliga och vilka stråldoshastigheter klarar dessa? Drönaren uppmätte över 10 Gy/h. Vilka stråldoshastigheter kommer att gälla när nya drönare anländer vid senare tidpunkt?
- I rådande informationsläge är varken laddningsstyrka eller explosionshöjd känd. Vilka skillnader skulle det innebära ifall det vore frågan om en luftexplosion, istället för en markexplosion? (Se avsnittet Luftexplosion ovan.)
- Vad skulle konsekvensen bli ifall det är en markexplosion med 1 % fissionsandel, istället för 50 %?

A.1.2 Räkneexempel

Samtliga räkneexempel avseende hur snabbt en viss dos uppnås är gjorda med det förenklande antagandet om en konstant doshastighet, till exempel $1 \text{ Gy/h} * 0,5 \text{ h} = 0,5 \text{ Gy} = 0,5 \text{ Sv}$.

- Stråldoshastighet 10 Gy/h innebär att 500 mSv har erhållits efter 3 minuter.
- Stråldoshastighet 1 Gy/h innebär att 500 mSv har erhållits efter 30 minuter.
- Stråldoshastigheten var enligt drönaren ca 10 Gy/h. Vad är den efter två dygn? 7/10-regeln ger att $7 \times 7 = 49$ timmar motsvarar $10 \times 10 = 100$ gånger lägre stråldoshastighet, det vill säga 100 mSv/h efter två dygn.
- Hur lång tid tar det innan stråldoshastigheten minskat till 10 mSv/h i det hetaste området? Lägg till en faktor 7 på tiden: efter $7 \times 7 \times 7 = 343$ timmar, dvs ca 14 dagar, kommer stråldoshastigheten att vara ca 10 mSv/timme i den hetaste zonen. Hur stor denna zon är vet man ännu inte i detta läge.
- En fissionsandel på 1 % istället för 50 % skulle innebära att aktiviteten hos det radioaktiva nedfallet blir i medeltal 50 gånger lägre: 1 Gy/h blir 20 mGy/h, osv.

A.2 Spelkort 2: Sex timmar efter explosionen – Norrköping

“Larmet har gått i Norrköping om att en stor explosion inträffat i eller omkring Nynäshamn. Det finns tecken på att det kan vara fråga om ett kärnvapenangrepp. Händelsen ska ha inträffat för ca 45 minuter sedan och uppdaterad information ger att mätningar visar på förhöjda strålnivåer på mer än 10 kilometers avstånd från Nynäshamn, där RTJ från Stockholm befinner sig och för närvarande mäter 100 $\mu\text{Sv/h}$ i stråldoshastighet. En timme efter händelsen erhålls en spridningsprognos tillsammans med resultat från en beräkningsmodell som baseras på en kärnvapenexplosion på mark. Utan detaljerad information, men med vetskapen om att det har varit en mycket kraftig explosion så görs antagandet, givet en kärnvapenexplosion, att laddningsstyrkan är 100 kiloton. Spridningsprognosen tillsammans med resultat från beräkningsmodellen och aktuella väderdata från SMHI visar att ett radioaktivt moln kommer att passera Norrköping och detta i sin tur kommer att generera ett nedfall av radioaktivt material. Molnet kommer att nå Norrköping ca 6 timmar efter explosion och stråldoshastigheterna från nedfallet kommer sannolikt initialt att vara i storleksordningen 10 – 200 mGy/h (10 – 200 mSv/h).”

A.2.1 Några aktuella frågor

- Hur ska samhället, RTJ, polis, sjukvård agera?
- Gäller påbud om inomhusvistelse med stängda fönster och ventilation? Hur länge kan medborgarna stanna inomhus?
- Ska medborgarna evakueras och i så fall när, vart och hur? Vilket informationsunderlag krävs för beslut?
- Kan RTJ, polis och sjukvård fungera och i så fall under vilka premisser? Hur kan de förbereda sig för att ha bättre förmåga att agera?
- Blir nivåerna snabbt lägre så att ett alternativ är att vänta? Hur länge i så fall?
- Finns fungerande kommunikationskanaler och verktyg för att kunna följa molnets framfart, nedfallets faktiska storlek samt omslag i väderlek/vindriktning?
- Behövs andra hjälpmedel, funktioner i form av RTJ, sjukvård och polis från andra orter? Stöd från statliga myndigheter?
- Behöver RTJ etc i Norrköping aktivt stödja insatser närmare explosionsplatsen och vad betyder i så fall detta för egen förmåga?
- Är användning och tillgång till egen mätutrustning för att mäta, och att använda eventuella egna drönare för indikering realistiska ansatser?

A.2.2 Räkneexempel

Samtliga räkneexempel avseende hur snabbt en viss dos uppnås är gjorda med det förenklande antagandet om en konstant doshastighet, till exempel $1 \text{ Gy/h} \cdot 0,5 \text{ h} = 0,5 \text{ Gy} = 0,5 \text{ Sv}$.

- Stråldoshastighet 200 mGy/h innebär att 500 mSv har erhållits efter 2,5 timmar.
- Stråldoshastighet 10 mGy/h innebär att 500 mSv har erhållits efter 50 timmar.
- Stråldoshastighet 200 mGy/h innebär att 20 mSv har erhållits efter 6 minuter.
- Stråldoshastighet 10 mGy/h innebär att 20 mSv har erhållits efter 2 timmar.
- Nivå för Röd zon ($100 \mu\text{Sv/h} \approx 0,1 \text{ mGy/h}$) inträffar omedelbart när molnet passerar. Vad innebär detta?

A.3 Spelkort 3: Ett dygn efter explosionen – Göteborg

“RTJ i Göteborg har fått larmet om händelsen i Nynäshamn. Bara några timmar efter larmet är det bekräftat att det finns radioaktivitet som sprids via luften i riktning mot Göteborg, och att det sannolikt rör sig om en kärnvapenexplosion. Information inkommer om att mätningar i området runt Nynäshamn visar på förhöjda strålnivåer. RTJ från Stockholm befinner sig ca en mil från Nynäshamn och har uppmätt 100 $\mu\text{Sv/h}$ i stråldoshastighet på den punkt där de fortsatt befinner sig. Spridningsprognosen tillsammans med resultat från beräkningsmodellen och aktuella väderdata från SMHI visar på att ett radioaktivt moln kommer att kunna nå Göteborg någon gång mellan 20 och 24 timmar efter explosionen, och detta i sin tur kan generera ett nedfall av radioaktivt material. Den prognostiserade stråldoshastigheten som kan drabba Göteborg beräknas till mellan 0,1 – 2 mGy/h (0,1 – 2 mSv/h eller 100 – 2000 $\mu\text{Sv/h}$). Laddningsstyrkan uppskattas till 100 kiloton. Detta pekar på att det är fråga om en fusionsladdning, men närmare kännedom till exempel kring fissionsandel har man inga uppgifter om.”

A.3.1 Några aktuella frågor

- Hur ska samhället, RTJ, polis, sjukvård agera?
- Gäller påbud om inomhusvistelse med stängda fönster och ventilation? Hur länge kan medborgarna stanna inomhus?
- Ska medborgarna evakueras och i så fall när, vart och hur? Vilken information krävs för beslut?
- Kan RTJ, polis och sjukvård fungera och i så fall under vilka premisser? Hur kan de förbereda sig för att ha bättre förmåga att agera?
- Blir nivåerna snabbt lägre så att ett alternativ är att vänta? Hur länge i så fall?
- Finns fungerande kommunikationskanaler och verktyg för att kunna följa molnets framfart, nedfallets faktiska storlek samt omslag i väderlek/vindriktning?
- Behövs andra hjälpmedel, funktioner i form av RTJ, sjukvård och polis från andra orter? Stöd från statliga myndigheter?
- Behöver RTJ etc i Göteborg aktivt stödja insatser närmare explosionsplatsen och vad betyder i så fall detta för egen förmåga?
- Är användning och tillgång till egen mätutrustning för att mäta, och att använda eventuella egna drönare för indikering, realistiska ansatser?
- Kommer dricksvattnet att vara tjänligt? Finns någon plan för att förse staden med rent vatten?

A.3.2 Räkneexempel

Samtliga räkneexempel avseende hur snabbt en viss dos uppnås är gjorda med det förenklande antagandet om en konstant doshastighet, till exempel $1 \text{ Gy/h} * 0,5 \text{ h} = 0,5 \text{ Gy} = 0,5 \text{ Sv}$.

- Stråldoshastighet 2 mGy/h eller 2 mSv/h innebär att 500 mSv har erhållits efter 250 timmar.
- Stråldoshastighet 0,1 mGy/h eller 0,1 mSv/h innebär att 500 mSv har erhållits efter 5000 timmar eller mer än 200 dygn.
- Stråldoshastighet 2 mGy/h eller 2 mSv/h innebär att 20 mSv har erhållits efter 10 timmar.
- Stråldoshastighet 0,1 mGy/h eller 0,1 mSv/h innebär att 20 mSv har erhållits efter 200 timmar eller drygt 8 dygn.

- Nivå för Röd zon ($100 \mu\text{Sv/h} \approx 0,1 \text{ mGy/h}$) får antas inträffa relativt snabbt sedan molnet passerat. Vad innebär detta?

Bilaga B: Metodik för skadevärderingar i scenariot

När inget annat anges är uppskattningarna av effekterna från de olika verkansformerna hämtade från [Wigg 1996], vilka är implementerade i beräkningsprogrammet KlangVerk [Björklund och Goliath 2009].

B.4 Värdering av skadeutfall (tabell 1)

De olika direkta verkansformerna har sammanvägts för att få fram sannolikhetsfördelningar för omedelbar död, svår skada, samt lätt eller ingen skada. För stötvågsskador har tabell 3.18 i [Wigg 1996] tillämpats, medan motsvarande för akut strålskada kommer från sannolikhetsfördelningen i figur 7 i [Rotblat 1981] med skyddsfaktorer från tabell 7.11 i [Wigg 1996]. För vissa andra effekter, såsom brännskada, har distinkta värden använts istället för fördelningar. Figur 8a-e illustrerar detta för människor i olika vistelsemiljöer. I Nynäshamnsfallet har vi antagit att betonghus är av elementtyp, samt att inga personer vistas i källare. Tabell 16 visar antal personer och deras fördelning i zonerna givna i figur 6 ovan.

Vid simulering har en individ klassificeras som ”död” om denne utsatts för omedelbart dödande verkan från husras eller joniserande initialstrålning. Kriteriet för ”svår skada” är att man utsätts för minst en av följande verkningar:

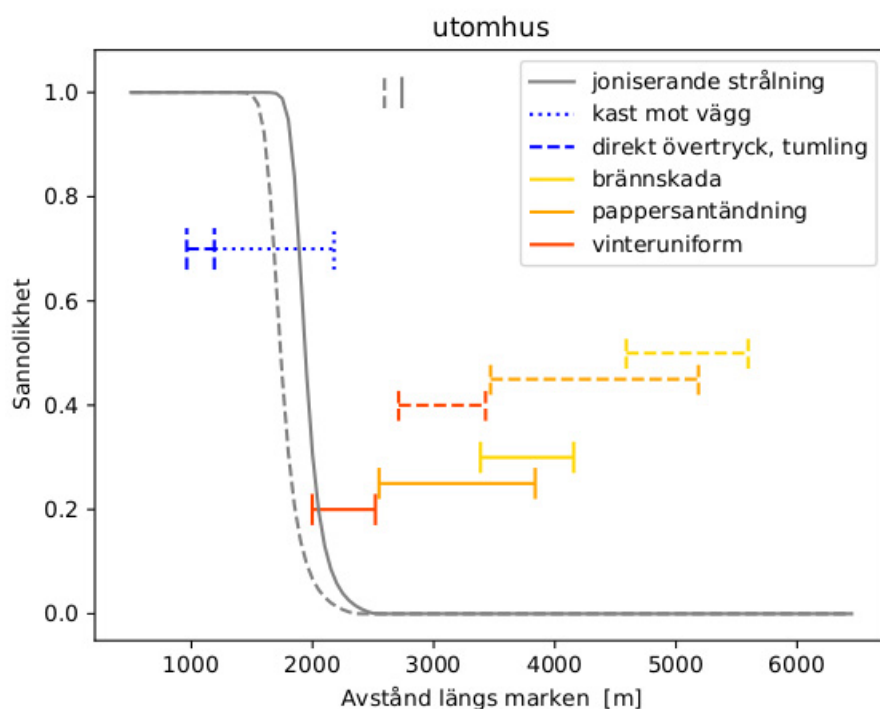
- dödlig dos joniserande initialstrålning (som inte är omedelbart dödande)
- tredje gradens brännskador
- livshotande skada från glassplitter.

Även när minst två av följande skador erhålls anses det ge ”svår skada”:

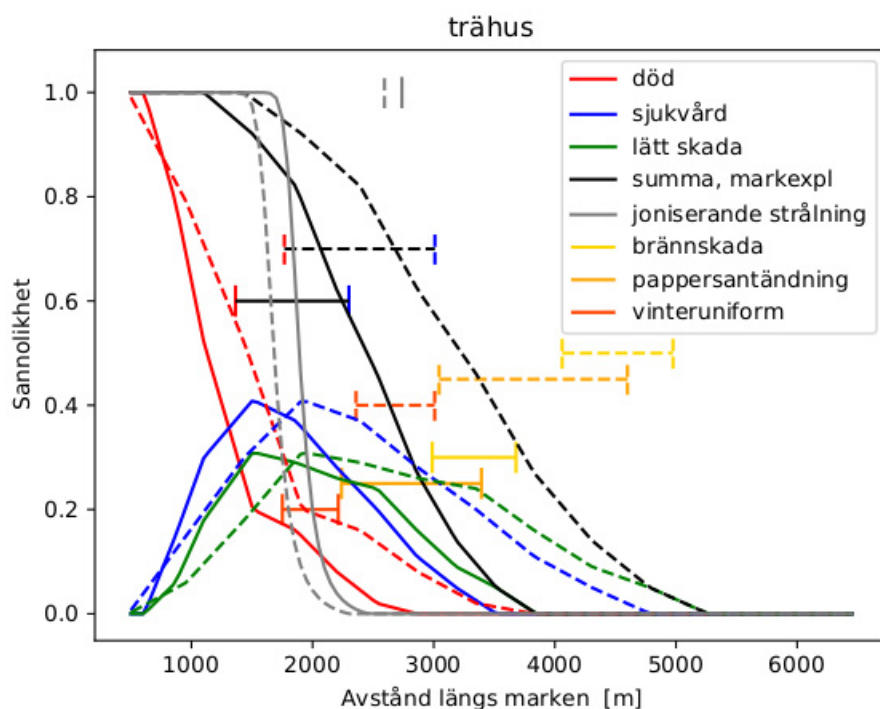
- vårdkrävande skador från husras
- vårdkrävande skador från joniserande initialstrålning
- andra gradens brännskador
- vårdkrävande skador från glassplitter.

I övriga fall räknas individen som lätt skadad/oskadd.

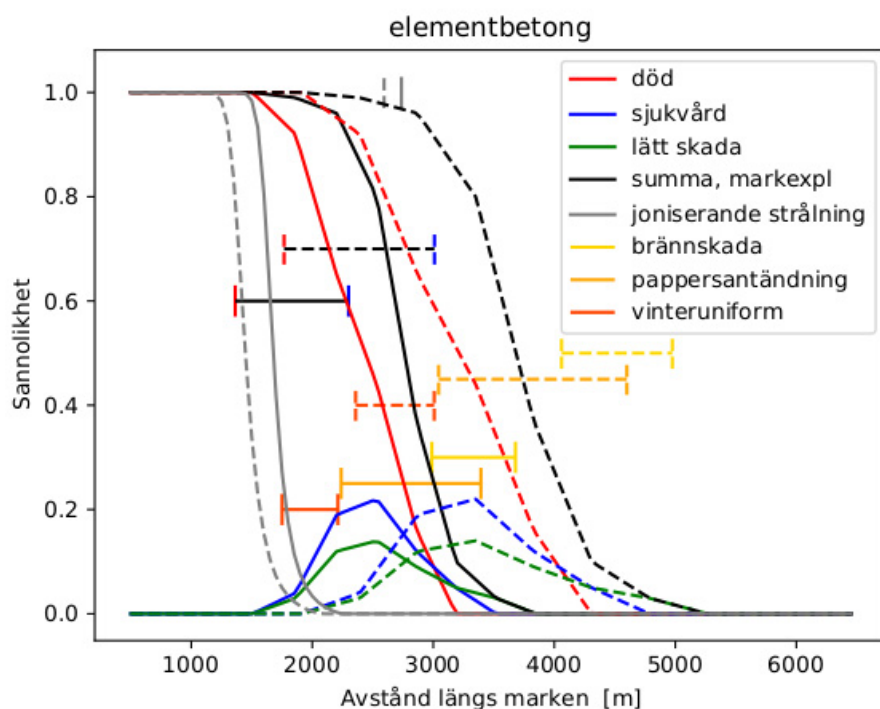
Eftersom figur 8a-e var och en innehåller mycket information, beskriver vi de olika kurvorna samlat istället för i varje figurtext. Heldragna kurvor avser överlag markexplosion, medan streckade är för luftexplosion. Kurvor markerade ”död”, ”sjukvård” och ”lätt skada” syftar på sannolikheten att få sådan skadetyp från byggnadsras på grund av stötvågen om man befinner sig i en byggnad. Grå linjer är sannolikhet för död av strålskada (utan hänsyn till eventuell kombinationsskada) för ”vuxna vid omhändertagande, men ingen specialistvård” (fritt översatt från [Rotblat 1981]). De grå markeringarna (vid sannolikhet 1,0) markerar en stråldos på 0,1 Gy vilket antas vara gränsen för när strålningen kan försvåra annan läkning. Gula horisontella staplar anger brännskada av grad 2 respektive grad 3 på bar hud. Orangea horisontella staplar anger antändning av dagstidning respektive antändning av skrivmaskinspapper i bunt. Orange-röda horisontella staplar anger ”antändning av yttre tygskikt”, respektive ”antändning av yttre tygskikt samt direkta brännskador” för kläder i naturmaterial. Hänsyn tas till dämpning av värmestrålning vid passage genom fönster. Svarta horisontella staplar som är röda till vänster och blåa till höger anger LD50-värde respektive ”behov av vård” för glassplitter. I utomhusmiljö anger blå streckade/punktade horisontella staplar direkt övertrycksskada på stående människa (streckad längst till vänster), tumling från stående (streckad längst till höger), samt kast mot vägg från stående (punktad).



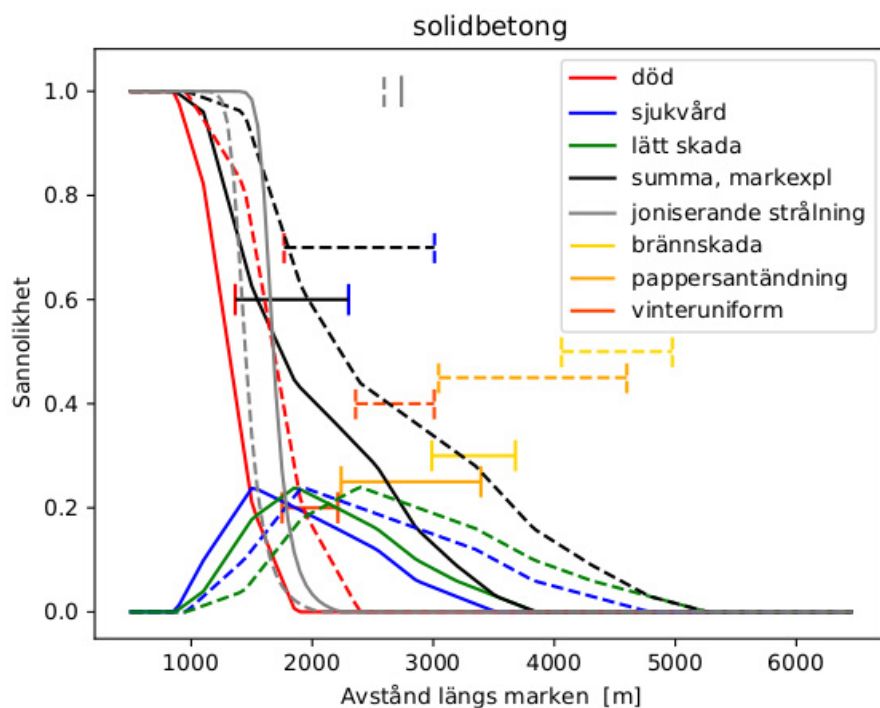
Figur 8a. Skadeutfall för människor utomhus. Laddningsstyrka 100 kt; heldragna kurvor avser markexplosion, medan streckade är för luftexplosion på höjden 700 m.



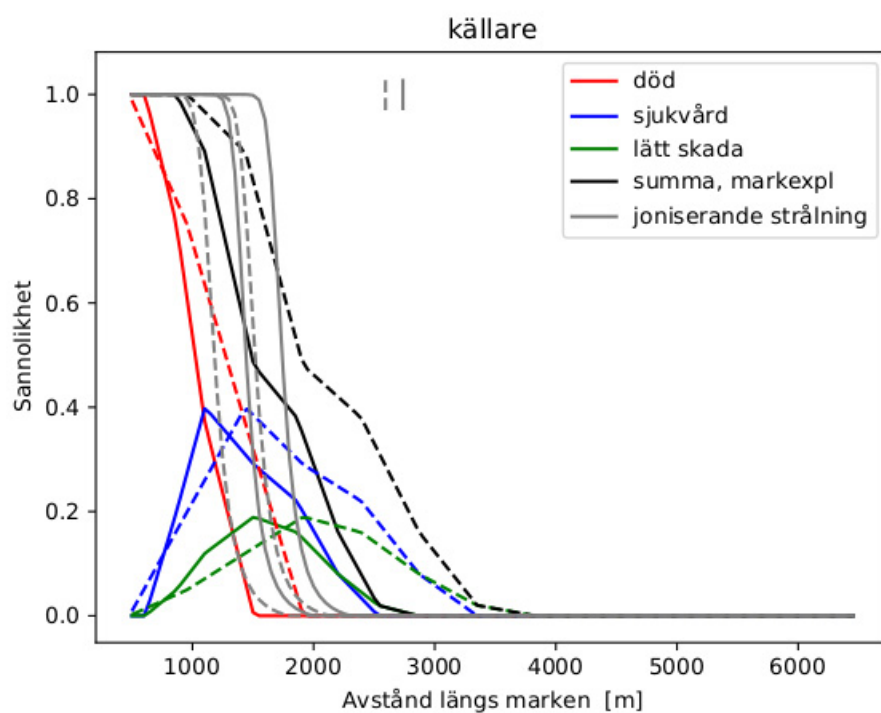
Figur 8b. Skadeutfall för människor i trähus. Död, sjukvård, lätt skada och summa syftar på stötvågsskada; vinteruniform avser antändning orsakad av värmestrålningen. Laddningsstyrka 100 kt där heldragna kurvor avser markexplosion, medan streckade är för luftexplosion på höjden 700 m.



Figur 8c. Skadeutfall för människor i elementbetonghus. *Död*, *sjukvård*, *lätt skada* och *summa* syftar på stötvågsskada; *vinteruniform* avser antändning orsakad av värmestrålningen. Laddningsstyrka 100 kt där heldragna kurvor avser markexplosion, medan streckade är för luftexplosion på höjden 700 m.



Figur 8d. Skadeutfall för människor i platsgjutna hus i solid betong. *Död*, *sjukvård*, *lätt skada* och *summa* syftar på stötvågsskada; *vinteruniform* avser antändning av värmestrålningen. Laddningsstyrka 100 kt där heldragna kurvor avser markexplosion, medan streckade är för luftexplosion på höjden 700 m.



Figur 8e. Skadeutfall för människor i källare. Död, sjukvård, lätt skada och summa syftar på stötvågsskada. Laddningsstyrka 100 kt där heldragna kurvor avser markexplosion, medan streckade är för luftexplosion på höjden 700 m.

Tabell 16. Zonindelning, Nynäshamn.

Zon	Beskrivning	Avstånd [m]	Folkmängd	Fördelning [%] ute – trähus – betonghus
1	Färjehamnen	0 – 500	500	25 – 25 – 50
	Köpcentrum	400 – 500	500	25 – 0 – 75
2	Blandad bebyggelse SV	500 – 1 000	3 500	25 – 25 – 50
3	Mestadels småhus V	500 – 1 000	500	25 – 25 – 50
4	Mestadels småhus på ö S	1 450 – 1 950	200	25 – 55 – 20
5	Mestadels småhus S	1 100 – 1 950	600	25 – 40 – 35
	Skola	1 450 – 1 600	400	30 – 0 – 70
6	Mestadels flerfamiljshus SV	1 100 – 1 800	1 000	25 – 5 – 70
	Skola	1 400 – 1 650	800	30 – 0 – 70
7	Mestadels flerfamiljshus SV	1 100 – 1 750	2 800	25 – 10 – 65
8	Mestadels småhus NV	1 100 – 1 750	1 000	25 – 65 – 10
9	Raffinaderi N	800 – 2 300	200	25 – 25 – 50
10	Mestadels småhus S	2 000 – 3 000	800	25 – 60 – 15
11	Industriområde V	1 750 – 2 400	750	25 – 10 – 65
	Gymnasium	2 000 – 2 100	450	25 – 0 – 75
S:a			14 000	

Av de som är utomhus kommer 25 % vara i lägen där bar hud exponeras för värmestrålning.

Av de som är i byggnader kommer 25 % vara i lägen där bar hud exponeras för värmestrålning, och 25 % (korrelation i 50 % av fallen) vara i lägen framför fönsterrutor i explosionsriktningen.

B.5 Exempelen på direkta effekter (tabell 2–7, samt 10–11)

De skadekriterier som använts för verkansradierna i tabell 2 -7 samt 10 -11 framgår i tabell 17 nedan.

Tabell 17. Skadekriterier för direkta verkansformer. Exponenterna används för att skala om kriterier till andra laddningsstyrkor; för närmare detaljer se [Wigg 1996; Björklund och Goliath 2009].

Kriterium	Storhet	Värde
Trähus raserat	Statiskt övertryck	30 kPa, exponent: 0,34
Hus i betongelement raserat	Statiskt övertryck	25 kPa, exponent: 0,34
Platsgjutet hus i solid betong raserat	Statiskt övertryck	100 kPa, exponent: 0,38
Svår skada på människa, direkt övertryck	Statiskt övertryck	195 kPa, exponent: 1/3
Svår skada på människa, glassplitter	Statiskt övertryck	30 kPa, exponent: 1/3
Tredje gradens brännskada på bar hud	Bestrålning	285 kJ/m ² vid 1 kt 320 kJ/m ² vid 10 kt 383 kJ/m ² vid 100 kt
Skogsbrand vid 50 % luftfuktighet	Bestrålning	250 kJ/m ² , exponent: 1/8
Brand inomhus i möbler	Bestrålning	320 kJ/m ² vid 1 och 10 kt 410 kJ/m ² vid 100 kt
Akut strålskada, LD50 på sikt	Absorberad dos	3 Gy

Vid beräkningar för värmestrålning har sikten antagits vara god (20 000 m).

B.6 Exempelen på kvarvarande strålning (tabell 13a-e, 14 och 15a-e)

Tabellerna 13a-e med schabloner för radioaktivt nedfall är interpolerade ur data från tabell 8.1 i [Wigg 1996]. Fissionsandelen 50 % halverar sedan de erhållna stråldoshastigheterna, och avklingningen bestäms med $R_1 t^{-1,2}$, där R_1 är stråldoshastigheten en timme efter explosionen.

Tabell 14 erhålls genom interpolation i figur 8.2 i [Wigg 1996].

Tabellerna 15a-e är interpolerade ur tabell 8.4 i [Wigg 1996]. Avklingningen bestäms med $R_1 t^{-1,2}$, där R_1 är stråldoshastigheten en timme efter explosionen.

Samtliga dessa tabeller och figurer ur [Wigg 1996] finns inlagda som digitaliserade interpolationstabeller i KlangVerk.

Referenser

- Björklund, Lars, och Martin Goliath. 2009, "Kärnladdningars skadeverkningar – beräkningsprogram med instruktion", Användarrapport FOI-R-2741-SE, FOI.
- Björnerstedt, R., och L. Götherskjöld. 1968, "Skydd, utrymning och räddning. Stadsanalys V. Slutrapport rörande civilförsvarsstudier", Rapport CH 4152-18, FOA.
- ENW: Glasstone, S. och P. J. Dolan (red.) 1977, "The Effects of Nuclear Weapons", U.S. Departments of Defense and Energy.
- Goliath, Martin. 2019, "Kärnvapenfall för totalförsvarsplanering", FOI Memo 6724, FOI.
- IAEA 2006, "Manual for First Responders to a Radiological Emergency".
- ICRP 2007, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", Publication 103, Ann. 37 (2-4).
- Lindqvist Stig, och Björn Oscarsson 1984, "Underlagsstudier till civilförsvarets preliminära grundsyn ABC. Del III. Konsekvenser av kärnvapeninsatser mot befolkningsmål", Rapport C 20541-A3, FOA.
- Lindqvist Stig, Ingemar Widegren, Peter Wulff, Per Ånäs, Thorsten Björkehed, Lars Henricsson, och Jan Schyllander, 1984. "Dimensioneringsstudien. Rapport från förstudie, del 1", Rapport Cfs nr 2.01-12F, Civilförsvarsstyrelsen.
- Miljödepartementet 2018, "Strålskyddsförordning", 2018:506.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2019, "Joniserande strålning, grundutbildning - Modul 10: Zonindelning och personligt skydd", RIB <https://rib.msb.se/Stralskydd/10/index.html>.
- Nato 2010, "CBRN Defence on Operations – Volume I", ATP-3.8.1.
- Rotblat Josef 1981, *Nuclear Radiation in Warfare*, SIPRI.
- Strålsäkerhetsmyndigheten 2020, "Strålskyddsåtgärder vid radiologiska nödsituationer", SSM 2020:15.
- UNSCEAR 2008, "United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation", bilaga D.
- Wigg Lars, 1996, "Handbok för kärnvapenverkan", Användarrapport FOA-R-96-00378-4.1-SE, FOA.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

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

www.foi.se