

LARS BJÖRKLUND, MARTIN GOLIATH



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.

LARS BJÖRKLUND, MARTIN GOLIATH

Kärnladdningars skadeverkningar

- beräkningsprogram med instruktion

Titel	Kärnladdningars skadeverkningar - beräkningsprogram med instruktion
Title	The Effects of Nuclear Weapons - Calculation Program with Instructions
Rapportnr/Report no	FOI-R--2741--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport
Sidor/Pages	33 p
Månad/Month	April
Utgivningsår/Year	2009
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	UD
Kompetenskloss	17 Kärnvapenfrågor

Extra kompetenskloss

Projektnr/Project no	A290071
Godkänd av/Approved by	Nils Olsson

FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut
Avdelningen för försvars- och
säkerhetssystem
164 90 Stockholm

FOI, Swedish Defence Research Agency
Defence & Security, Systems and
Technology
SE-164 90 Stockholm

Sammanfattning

Rapporten utgör dokumentation och användarhandledning för ett beräkningsprogram för verkansformer från kärnladdningsexplosioner. Underlaget består i huvudsak av öppna amerikanska källor.

Beräkningsprogrammet distribueras tillsammans med rapporten. En förteckning över kärnvapenprov är också bifogad.

Nyckelord: kärnvapenverkan, luftstöt våg, markstöt våg, vattenstöt våg, värmestrålning, joniserande initialstrålning, kvarvarande strålning, elektromagnetisk puls, kärnvapenprov

Summary

This report consists of documentation and instructions for a computer program for calculation of the effects of nuclear weapons. The main references are open American publications.

The computer program is distributed together with the report. A list of nuclear explosions is also attached.

Keywords: effects of nuclear weapons, air blast, ground shock, water shock, thermal radiation, ionizing initial radiation, residual radiation, electromagnetic pulse, nuclear explosions

Innehållsförteckning

1. Introduktion	6
2. Disposition	6
3. De olika formerna av kärnladdningsverkan	7
4. Verkansformernas uppkomst	8
4.1 Eldklotets strålningstillväxt	9
4.2 Övergången till stötvågstillväxt	9
4.3 Frikoppling och därefter	10
5. Allmänt om målverkan	11
6. Modeller av kärnladdningsverkan	11
6.1 Luftstötvåg	12
6.2 Markstötvåg	14
6.3 Vattenstötvåg	14
6.4 Värmestrålning	15
6.5 Joniserande initialstrålning	16
6.6 Kvarvarande strålning	17
6.7 Elektromagnetisk puls	19
6.8 Andra kärnladdningsfenomen	20
7. Användarhandledning för beräkningsprogrammet	21
7.1 Installation	21
7.2 Allmänt om programmet	21
7.3 Beräkningsalternativ	22
8. Exempel	23
8.1 Stötvågsverkan på människa i stadsmiljö	23
8.2 Optimal explosionshöjd för stötvågsverkan	23
8.3 Underjordiskt kärnladdningsprov	24
8.4 Uppkomst av skogsbrand	24
8.5 Initialstrålningsverkan mot människa	25
8.6 Verkansformers skalning med laddningsstyrkan	25
8.7 Verkan mot pansarfordon	26
8.8 Elektromagnetisk puls	28
9. Ordlista	29
9.1 Enheter	33
9.2 Enhetsomvandlingar	33
10. Referenser	33

1. Introduktion

Situationen inom kärnvapenområdet har blivit alltmer svårbedömd efter Sovjetunionens sammanbrott och slutpunkten på det kalla kriget. Nya doktriner och politiska utspel i framför allt USA och Ryssland har i vissa avseenden sänkt tröskeln för insats med kärnvapen. Som exempel kan nämnas att USA numera kan tänka sig begränsade kärnvapeninsatser mot icke-kärnvapenstater som avser att skaffa eller redan har skaffat massförstörelsevapen, eller att Ryssland inte utesluter användande av kärnvapen i regionala konflikter i sitt närområde. Regionala konflikter där en eller flera stater (till exempel Kina, Indien och/eller Pakistan) har tillgång till kärnvapen kan inte uteslutas. Risken för spridning av kärnvapen till nya aktörer inger oro. Utsikten att

terrorister skulle kunna tillverka eller komma över en kärnladdning och sedan använda den bedöms vara mycket liten, men det är likväl ett hot vars följder måste beaktas.

Risken för att Sverige och svensk trupp på hemmaplan behöver möta ett kärnvapenhot är för närvarande liten. Det ökade engagemanget i det internationella samfundets strävan att upprätthålla eller tvinga fram fred i samband med olika konflikter runt om i världen gör dock, med hänvisning till ovanstående, att hotet från kärnvapen inte kan uteslutas. Denna situation kan heller inte antas förbättras under överskådlig tid. Förmåga att bedöma effekterna av kärnladdningsverkan är därför av största vikt.

2. Disposition

I rapportens avsnitt 3 beskrivs kort de olika verkansformerna från en kärnladdningsexplosion, samt de olika explosionstyper man brukar skilja på. Nästa avsnitt handlar om explosionsförloppet och verkansformernas uppkomst, och förutsätter vissa fysikkunskaper. I avsnitt 5 diskuteras målverkan i allmänna ordalag. Det efterföljande avsnittet behandlar modelleringen som ligger till grund för det medföljande beräkningsprogrammet. De olika verkansformerna diskuteras i tur och ordning med tydligt angivande av beräkningsalternativ och modellbegränsningar. En kortfattad användarhandledning för det medföljande beräkningsprogrammet återfinns i avsnitt 7, och följs av en samling med genomräknade exempel. Rapporten avslutas med en ordlista och referensförteckning

Tips:

Den som önskar komma igång med beräkningsprogrammet omedelbart, kan med fördel hoppa direkt till avsnitt 7!

3. De olika formerna av kärnladdningsverkan

Även om flera likheter finns, skiljer sig en kärnladdningsexplosion i många avseenden radikalt från en explosion med konventionellt, kemiskt explosivämne. Framför allt är det förstås mängden frigjord energi som är avsevärt mycket större för en kärnladdning. En ganska typisk kärnladdning frigör energi motsvarande 10 000 ton explosivämne - man säger då att laddningsstyrkan är 10 kiloton (10 kt). Den största kärnladdning som provats hade en laddningsstyrka på över 50 000 kiloton, eller 50 megaton.

Energifrigörelsen hos en kärnladdning sker dessutom betydligt snabbare, och inom en mindre volym än för motsvarande mängd explosivämne. Huvuddelen av energin från en fissionladdning avges under en tiondels mikrosekund (oberoende av laddningsstyrka), vilket resulterar i temperaturer på flera tiotals miljoner grader. En motsvarande mängd explosivämne skulle kräva betydligt större volym - ett klot med ca 10 meters diameter - och ta ungefär en millisekund att detonera i sin helhet (typiska detonationshastigheter för explosivämne är mindre än 10 000 m/s). Temperaturen blir också blygsammare, ”bara” runt 10 000 grader.

Verkansformer

Den frigjorda energin växelverkar med det omgivande mediet och ger upphov till ett antal olika verkansformer, av vilka de viktigaste sammanfattas här.

Luftstötståg. Denna skiljer sig inte väsentligen från stötstågen från konventionella explosioner annat än i fråga om styrkan, som naturligtvis är betydligt större. Stötstågen verkar främst på byggnader, som får omfattande skador inom ett större område, och ger även tryckskador på människa. Den kraftiga vinden associerad med stötstågen kan även ge upphov till så kallade sekundära och tertiära skador på människa, varmed avses skador till följd av kringflygande föremål, respektive ikullkastning. Särskilt i stadsmiljö kan detta vara viktiga källor till skador på människa.

Markstötståg. Explosioner under mark eller på markytan ger upphov till en stötståg i marken.

En luftstötståg inducerar också stötstågor i marken. Markstötstågen verkar främst mot byggnader och underjordiska installationer.

Vattenstötståg. I analogi med markstötståg genereras i tillämpliga fall även stötstågor i vatten. Dessa kan ge omfattande verkan på såväl under- som övervattensfarkoster.

Värmestrålning. De höga temperaturer som uppnås i en kärnladdning medför att en stor del av energin avges i form av värmestrålning. Detta är försumbart för konventionella explosivämnen. Effekten av denna värmestrålningsskud är främst brännskador på oskyddad människa, samt uppkomst av brand.

Joniserande initialstrålning. Energin i en kärnladdning härrör från kärnreaktioner, och i samband med sådana frigörs även olika former av joniserande strålning. De viktigaste i skadehänseende är neutroner och gammafotoner. De verkar främst mot människa och andra levande organismer, men slår även ut elektronisk utrustning.

Kvarvarande strålning. Om explosionen sker tillräckligt nära markytan kommer markmaterial att sugas upp, kontamineras när det blandas med laddningsresterna, och falla ned över stora områden i vindriktningen. Detta kallas lokalt nedfall. Vid explosion på högre höjd är det laddningsresterna i sig som kan ge nedfall, men eftersom de kondenserar till mycket små partiklar, sprids de istället globalt.

Dessutom kan neutronerna i initialstrålningen ge kvarvarande strålning genom neutroninducerad aktivitet i mark och andra omgivande material.

Elektromagnetisk puls (EMP). Denna är inte skadlig för människa, men förstör ledningsnät och elektronisk utrustning.

Utöver ovan uppräknade effekter kan även nämnas störningar av radiokommunikationer.

Explosionstyper

Verkansformernas karaktär och den inbördes energifördelningen mellan olika former av verkan kommer att bero av det omgivande mediets egenskaper. Vissa verkansformer kan helt utebli under vissa omständigheter, medan de kan vara domi-

nerande i andra fall. Man skiljer därför på olika explosionstyper.

Luftexplosioner. Dessa sker i atmosfären under 30 km höjd men tillräckligt högt upp för att det lokala radioaktiva nedfallet skall vara försumbart. Som exempel kan nämnas att en 10 kilotons kärnladdning som exploderar 300 meter över marken kan betraktas som en luftexplosion.

Ytexplosioner. Detta är explosioner som görs så nära markytan att betydande lokalt nedfall kan uppstå.

Underjordiska explosioner. Dessa kan vara mer eller mindre väl inneslutna. För fullständig inneslutning av en 10 kilotons kärnladdning krävs ett explosionsdjup på minst 250 meter.

Undervattensexlosioner. Till skillnad från underjordiska explosioner så är aldrig explosioner under vatten att betrakta som inneslutna. Ytterst få sådana explosioner har genomförts.

Höghöjdsexlosioner. Dessa utförs i rymden eller i atmosfärens yttre delar, ovanför 30 kilometers höjd.

4. Verkansformernas uppkomst

I detta avsnitt ges en översikt av explosionsförloppet vid luftexplosion. Därvid beskrivs särskilt uppkomsten av stötvåg och värmestrålning. En bra referens i sammanhanget är Brode (1968).

Som vi sett frigör en kärnladdningsexplosion enorma mängder energi på kort tid och inom en begränsad volym. På mindre än en mikrosekund har emellertid den frigjorda energin spritt sig till en luftmassa många gånger större än laddningen. Detaljerna kring förloppen i laddningen är därför av liten betydelse för den fortsatta utvecklingen. Det främsta undantaget är den joniserande initialstrålningen, vars tidsförlopp är direkt knutet till kärnprocesserna i laddningen.

Vid detonation i luft kan förloppet grovt indelas i olika faser enligt följande (Bethe 1964):

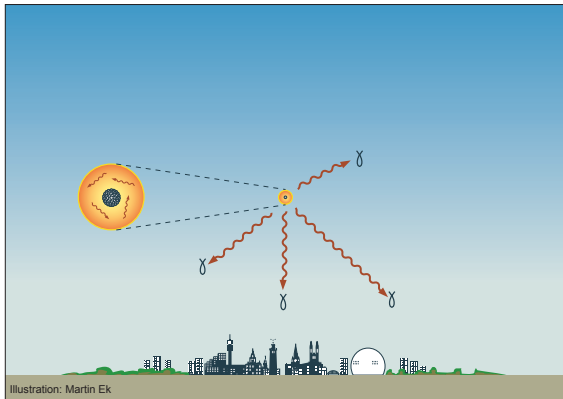
A Värmestrålning tränger ut i den omgivande luften och hettar upp den - ett växande eldklot bildas.

B En stötvåg hinner snart ikapp strålningsfronten. Eldklotets yta utgörs nu av den glödande heta stötvågen, som rör sig utåt. Ett första maximum för värmestrålning nås.

C Stötvågen har så småningom svalnat så pass mycket att den slutar lysa, blir genomskinlig, och lämnar eldklotet bakom sig. Detta kallas att stötvågen frikopplar från eldklotet. Eldklotets yta blir nu hetare, eftersom det som tidigare var innanför stötvågen successivt blir synligt utifrån. Ett andra maximum för värmestrålning nås, varefter eldklotets temperatur sjunker.

D Eldklotet har efter ett tag svalnat så mycket att det blir genomskinligt ända in till de förtunnade laddningsresterna.

E Slutligen sprids kvarvarande energi genom turbulent omblandning i atmosfären - det karakteristiska "svampmolnet" framträder.



Figur 1: En luftexplosion med styrkan 100 kiloton sker på femhundra meters höjd. Direkt i explosionsögonblicket frigörs initialstrålning i form av neutroner och gammafotoner. De sistnämnda rör sig med ljusets hastighet, och har efter en mikrosekund hunnit som längst 300 meter. Samtidigt har ett eldklot bildats och genom strålningstillväxt nått en radie på c:a 20 meter. I centrum av eldklotet befinner sig de kraftigt upphettade resterna av laddningen (grått).

4.1 Eldklotets strålningstillväxt

Inledningsvis expanderar eldklotet genom att värmestrålningen från laddningen tränger ut i den omgivande luften. Eftersom laddningsresternas temperatur initialt är flera tiotals miljoner grader, är det fråga om röntgenstrålning, vars medelfriväg i kall luft är mycket kort (storleksordningen millimeter). Detta leder till att värmestrålningen omedelbart absorberas i luften, som därigenom upphetas. Man har alltså en strålningsfront som rör sig utåt genom diffusion, varvid det innanföriggande klotet svalnar, se figur 1. Expansionen går först mycket snabbt - hastigheten utåt är någon bråkdel av ljushastigheten de första tiondels mikrosekunderna - men när energitillförseln från kärnreaktioner avstannar sjunker hastigheten.

Inuti det heta eldklotet är medelfrivägen för värmestrålningen lång och strålningen därmed rörligare. Detta medför att temperaturen är i det närmaste utjämnad i det inre men sjunker snabbt vid klotets yta. Man brukar därför tala om en "isoterm sfär".

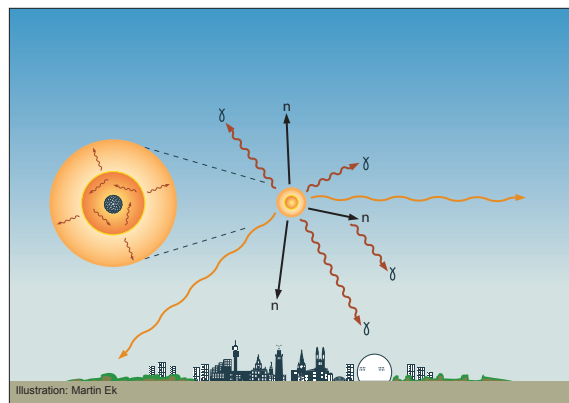
Man skulle kunna tro att den optiskt synliga strålningen för en avlägsen observatör är som intensivast just när strålningen lämnar laddningen, för att sedan avta när eldklotet expanderar. Luftens optiska egenskaper påverkas emellertid initialt av röntgen-, gamma- och neutronstrålning. Det är först när eldklotet slukar detta störda luftlager som dess

yta blir fullt optiskt synlig. Ett första maximum för värmestrålning inträffar först när eldklotets expansion övergått i nästa fas: stötvågsexpansionen. Denna fas inträder när eldklotets temperatur sjunkit till runt 300 000 grader. För en explosion av storleken 100 kt sker detta efter knappt en millisekund.

4.2 Övergången till stötvågstillväxt

Medan eldklotet tillväxer genom strålningsdiffusion, expanderar laddningsresterna utåt i dess inre. I motsats till eldklotets yta, som huvudsakligen är en stålningsfront (utan nämnvärt övertryck), kommer laddningsresterna att ge upphov till en stötvåg som successivt växer sig starkare. Stötvågen fortplantar sig i den luft som slukats av eldklotet, och lämnar laddningsresterna bakom sig. Så småningom hinner den ikapp strålningsfronten, varvid eldklotet övergår från strålnings- till stötvågstillväxt.

Den observerbara värmestrålningen kommer nu från den stötvågsupphettade luften i eldklotets yta, se figur 2. Till att börja med är denna så het att den strålar mest i det ultravioletta våglängdsområdet (fas B I). UV-strålningen ger emellertid upphov till en förvärmning av luften närmast framför stötvågen, vilket medför att den observerade värmestrålningen har en lägre temperatur än den faktiska temperaturen hos fronten. När stötvågen svalnat något, kommer den att stråla direkt (fas B II). Någonstans här nås ett första maximum i strålning



Figur 2: När knappt en millisekund har gått, tillväxer eldklotet genom stötvågens utbredning i omgivande luft. En första puls av värmestrålning tränger ut (orange, långvägig på bilden). Dessutom avges fortfarande joniserande initialstrålning i form av neutroner och neutroninducerade gammafotoner. Inuti eldklotet är den heta isotermiska sfären (mörkt orange), och i centrum laddningsresterna.

för en observatör. Tidsmässigt inträffar detta kort efter eldklotets övergång till stötvågsexpansion, dvs. efter knappt en millisekund för en explosion på 100 kt. Stötvågens fortsatta avsvälning medför sedan att intensiteten nu sjunker.

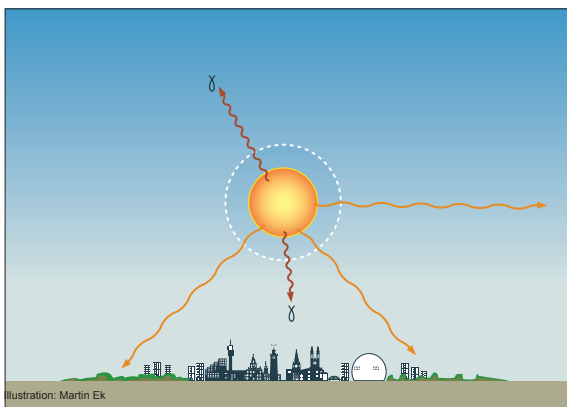
Under tiden som stötvågen driver expansionen av eldklotet fortsätter den heta, centrala delen av eldklotet - isoterma sfären - att tillväxa genom strålningsdiffusion.

4.3 Frikoppling och därefter

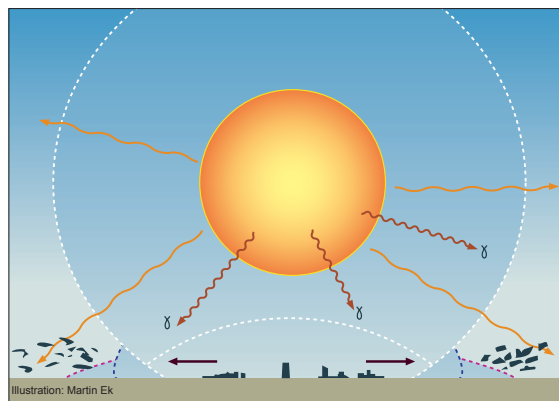
När temperaturen i stötfronten sjunker till runt 2 000 grader är den inte längre varm nog att avge synligt ljus, utan blir genomskinlig¹.

En så kallad avsvälningssvåg åter sig nu inåt i materialet innanför stötfronten. Därigenom blottas hetare regioner, varvid strålningsintensiteten för en observatör återigen ökar, se figur 3 och 4. Till att börja med är det luften mellan stötvågen och den isoterma sfären som strålar, och därmed utgör eldklotets yta (fas C I). Efter hand kommer dock avsvälningssvågen att ha ätit sig ända in till den heta, isoterma sfären. Nu nås ett andra maximum för värmestrålningen.

Avsvälningssvågen fortsätter vidare in i den isoterma sfären (fas C II), som så småningom blir helt upptäen. Temperaturen i centrum är då runt 6 000

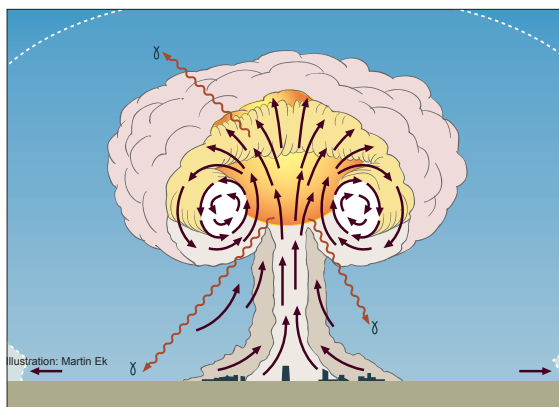


Figur 3: Efter c:a 30 millisekunder (vid 100 kt styrka) har stötvågen svalnat och blivit genomskinlig. Det heta innandömet, som tidigare var dolt, blir nu successivt synligt för en betraktare. En andra, mer utdragen, puls av värmestrålning tränger ut. Initialstrålning avges i form av gammafotoner orsakade av sönderfall av kortlivade fissionsprodukter.



Figur 4: När stötvågen reflekteras mot marken, bildas en förstärkt, nästan vertikal, sk Machfront. Dessutom har stötfronten en "förlöpare" närmast markytan. Denna uppstår eftersom luften där har hettats upp av värmestrålningen, vilket möjliggör en högre stötvågshastighet där.

grader. Luftens atomer börjar nu rekombinera till molekyler igen, med ljusemission och ytterligare energiförlust som följd (fas D I). Fortsatt avsvälning kan nu ske genom adiabatisk expansion av eldklotet (fas D II; detta förutsätter dock att det fortfarande totalt sett råder övertryck i eldklotet). Till sist kommer det att råda lägre tryck i hela eldklotet, jämfört med den omgivande kalla luften. Eldklotet stiger nu (fas E), med ytterligare adiabatisk expansion och turbulent omblandning som följd, se figur 5. Efter runt tio sekunder har eldklotet upplösts.



Figur 5: Den kraftiga expansionen gör att eldklotet blir mycket förtunnat, och hastigt stiger uppåt. Om explosionen sker tillräckligt nära markytan (fallet här är ett gränsfall), kommer markmaterial att sugas upp och blandas med laddningsresterna. Stora mängder material kan på så vis bli kraftigt radioaktiva. De relativt stora partiklarna faller sedan ned runt nollpunkten och i vindriktningen som lokalt nedfall.

¹ Vanlig luft, bestående av diatomära molekyler, blir transparent redan vid temperaturer under 4 000 grader. När den upphettade luften i stötvågen svalnar, bildas mellertid NO_2 , som absorberar ned till 2 000 grader. Den absorberade värmestrålningen bidrar istället till stötvågen, som annars skulle bli betydligt svagare (åtminstone för lägre laddningsstyrkor).

5. Allmänt om målverkan

Eftersom olika mål har olika känslighet mot var och en av verkansformerna, är det naturligt att skilja på den fysikaliska miljön och skadorna som den ger upphov till.

Den fysikaliska miljön kvantifieras av värden på fysikaliska storheter - belastningar - relevanta för de olika verkansformerna (till exempel stråldos, stötvågstryck, etc). Om nödvändiga data är tillgängliga kan dessa värden bestämmas ur modeller och tabellerade data.

Skadorna på ett visst mål bedöms genom att fastställa de värden på belastningar som innebär att givna skadekriterier uppfylls (till exempel "Svåra skador på byggnad av typ x inträffar vid ett statistiskt övertryck större än y kPa"). Utifrån dessa kriterier kan sedan skaderadier bestämmas. Verkanskriterierna kan se mycket olika ut beroende på miljön, till exempel om det handlar om öppen terräng eller urban miljö.

Kombinationen av flera verkansformer kan innebära synergieffekter som leder till större verkan än de enskilda verkansformerna. Ett exem-

pel är stötvåg och värmestrålning i stadsmiljö, där stötvågens förstörelse kan förvärra effekterna av brand. Ett annat exempel är att initialstrålning kan försämra immunförsvaret, så att annars lindriga sårskador blir livshotande. Sådana kombinerade effekter har ej vägts in i de befintliga modellerna.

Laddningsstyrkan är, tillsammans med explosionshöjden, den parameter som är mest avgörande för både direktverkan och det eventuella radioaktiva nedfallet. I en faktisk situation är det alltså av största vikt att göra en någorlunda god uppskattning av denna. En bedömning av laddningsstyrkan kan uppnås genom ett slags "pejling" från observatörer i olika positioner. Härvid bestäms riktning till explosionen och höjdvinkel till molnbas eller molntopp. Genom att lägga in denna information på en karta kan nollpunkten bestämmas, liksom molnbasens eller molntoppens höjd. Ur detta kan man få en grov uppskattning av explosionsstyrkan (se vidare avsnitt 6.8, samt SkyddsR F Stab 1991).

6. Modeller av kärnladdningsverkan

Flera av verkansformerna från kärnladdningar har modellerats och omsatts i beräkningsprogram (se Björklund, m.fl. i referenslistan). Som underlag för modellerna har främst använts öppna amerikanska källor (Glasstone och Dolan 1977 [ENW], Dolan 1978 [CNW]). Uppgifterna i dessa referenser är baserade dels på mätningar vid (framför allt amerikanska) kärnladdningsprov, dels fysikaliska funktionsuttryck för ideala fall. En användbar sammanställning av kärnladdningsverkan, till största delen baserad på dessa modeller, är "Handbok för kärnvapenverkan" (Wigg 1996).

I CNW görs uppskattningar av osäkerheten för underlagen. De relevanta delarna av dessa uppskattningar har sammanställts i Björklund, m.fl. (1993b), och citeras även på lämpliga ställen i denna rapport. I sammanhanget kan nämnas att kärnladdningsproven som bidragit med verkansdata till största delen var luftexplosioner. Vid ytexplosioner kan olika effekter växelverka på ett svårbedömt sätt och ge stora skillnader från fall till fall. Osäkerheten är därför generellt större vid bedömning av verkan för ytexplosioner.

Givet laddningsstyrka och explosionshöjd

medger modellerna beräkning av fysikaliska kvantiteter som funktion av avståndet. Förutom dessa grundläggande indata, kan ytterligare information medge en förfinad bedömning: Stötvågsverkan i stadsmiljö medför ökad risk för sekundära och tertiära effekter på oskyddad människa, varför terrängförhållandena (stad, öppen terräng, etc) är av betydelse. Värmestrålningens verkan påverkas av sikten, samt kan förstärkas genom reflektion, varvid molnighet och förekomst av snötäcke spelar in. Den joniserande strålningens verkan beror av laddningstypen (fissionsladdning, fusionsladdning, etc).

Utgående från dessa modeller kan man enkelt beräkna skaderadier för ett mål med givna verkanskriterier. Ofta kommer en verkansform att vara den dominerande för ett visst mål, varvid motsvarande skaderadie kan ligga till grund för skadebedömning. De kriterier som har använts är tagna från Wigg (1996).

Det medföljande beräkningsprogrammet beräknar fysikaliska storheter från en kärnladdningsexplosion. För flera av verkansformerna finns även skadekriterier för människa inlagda, vilket medger direkt beräkning av skaderadier. I en senare version av beräkningsprogrammet planeras att även beakta verkan på olika typmål, såsom byggnader, militär utrustning, etc. I denna version har detta inte kunnat tas med, men i tabellerna 1 och 3 nedan ges exempel på belastningsvärden för olika skador på vissa typmål. Dessa kan användas för att få en uppfattning om verkansradier mot dessa mål.

I det följande diskuteras de enskilda verkansformerna i tur och ordning. Därvid redovisas särskilt följande information:

- Behandlade effekter
- Referens till modellunderlaget
- Uppskattning av osäkerheten i modellunderlaget
- Effekter som ej behandlas

Exemplifiering med det medföljande beräkningsprogrammet görs i ett senare avsnitt.

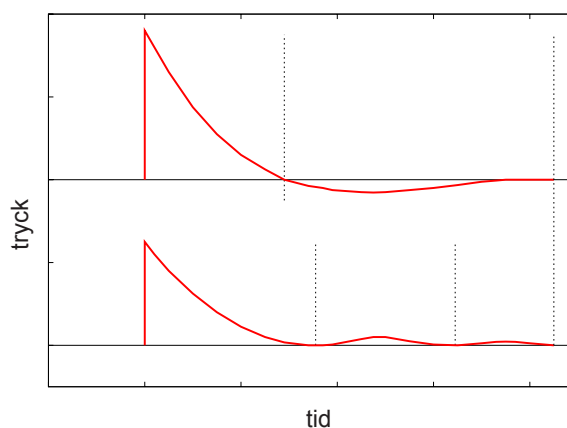
Tjänstbarhet

För många skadetyper krävs att man i kriterierna för **verkan på människa** anger graden av skada. En vanlig militär gradering är tjänstbarhet. Begränsad

tjänstbarhet innebär att en person till mellan 25% och 75% kan fullgöra sina uppgifter. Ej tjänstbar innebär att en person till mindre än 25% kan fullgöra sina uppgifter. I sistnämnda fallet är personen i behov av vård. Ibland finns alternativet LD50, vilket innebär 50% dödlighet.

6.1 Luftstötvåg

En luftstötvåg från en kärnladdningsexplosion rör sig med överljudsfall radiellt ut från explosionspunkten. För en luftexplosion reflekteras stötvågen mot marken, varvid en förstärkning kan uppstå (se även beskrivningen i avsnittet om verkansformernas uppkomst). Verkan från luftstötvåg utgörs primärt av det statiska övertrycket. När stötvågen passerat, sjunker övertrycket för att sedan övergå i ett statiskt undertryck. Det uppstår även en kraftig vind när stötvågen passerat. Denna luftrörelse ger upphov till ett ”vindtryck”, som brukar kallas för det dynamiska trycket, och alltid är positivt. Vinden är först riktad bort från explosionen, men när det statiska övertrycket övergått i undertryck vänder vinden och blir inåtriktad. Efter denna inströmning kan slutligen märkas en svag utåtriktad vind till följd av att den inströmmade luften nu värmts upp, se figur 6.



Figur 6 (efter ENW, figur 3.11): Schematisk illustration av statiska övertryckets (övre kurvan) och dynamiska tryckets (undre kurvan) variation med tiden på ett fixt avstånd från nollpunkten. Ingen som helst tryckförändring märks förrän stötvågen når fram. Efter att stötvågsfronten passerat uppstår en kraftig stötvågsvind. När eldklotet stiger bildas efter en tid istället ett undertryck. Vinden som ger upphov till det dynamiska trycket stannar då av och börjar blåsa inåt.

6.1.1 Fysikaliska storheter

Belastningar och andra fysikaliska storheter relaterade till luftstöt våg som kan beräknas med programmet anges nedan. Underlagen består av kurvor gällande laddningsstyrkan 1 kt. För andra laddningsstyrkor skalas dessa kurvor enligt ENW, avsnitt 3.60 - 3.68. Generellt gäller att osäkerheten uppskattas till runt 20 %. På stora avstånd kan osäkerheten uppgå till det dubbla. Vid explosionshöjder över 10 km får man också räkna med stora osäkerheter. Utöver detta bör man vara medveten om att underlaget gäller för relativt ideala betingelser med plan, öppen terräng. I stadsbebyggelse och kuperad terräng kan förstärkning genom reflektion förekomma, och i skogsbeväxt terräng kan viss dämpning förmodas.

Maximalt statiskt övertryck. Enhet: kilopascal [kPa]. Underlaget består av tabellerade kurvor ur CNW, figur 2-17 till 2-19 "near-ideal" (motsvarar ENW, figur 3.73a-c).

Maximalt dynamiskt tryck. Enhet: kilopascal [kPa]. Det dynamiska trycket är det vindtryck som uppstår av att luftmassorna bakom stöt vågen sätts i rörelse. Underlaget består av tabellerade kurvor ur CNW, figur 2-25 (motsvarar ENW, figur 3.75); CNW, figur 2-24 "near-ideal"; och CNW, avsnitt 2.17 (motsvarar ENW, ekvation 3.55.1).

Statisk impuls. Enhet: kilopascalsekund [kPas]. Detta är statiska övertrycket integrerat över den tid som övertrycket verkar. För vissa måltyper kan detta vara relevant när skadekriterier skall specificeras. Underlaget består av tabellerade kurvor ur CNW, figur 2-35.

Stöt vågens ankomsttid. Enhet: sekund [s]. Underlaget består av tabellerade kurvor ur CNW, figur 2-28 och 2-29 "near-ideal" (motsvarar ENW, figur 3.77a-b).

Statiska övertryckets varaktighet. Enhet: sekund [s]. Underlaget består av tabellerade kurvor ur CNW, 2-33 "near-ideal" (motsvarar ENW, figur 3.76).

Dynamiska tryckets varaktighet. Enhet: sekund [s]. Här avses varaktigheten fram till dess att vinden vänder och blir inåtriktad. Underlaget består av

samma kurvor som för statiska övertryckets varaktighet med omräkning enligt CNW, tabell 2-4 (motsvarar ENW, figur 3.76).

Maximal vindhastighet. Enhet: meter per sekund [m/s]. Programmet beräknar även stöt vågens hastighet. Underlaget består av funktionsuttryck enligt CNW, avsnitt 2-15 (motsvarar ENW, avsnitt 3.55).

6.1.2 Verkan på människa

Kriterier för luftstöt vågens verkan på människa finns medtagna i beräkningsprogrammet. De behandlade skadetyperna är:

Primära stöt vågsskador, som indelas i "spräckta trumhinnor" (här finns två toleransnivåer att välja på), och "direkta övertrycksskador", där fallen "liggande", "stående" och "vid reflekterande vägg" finns.

Sekundära stöt vågsskador, vilket innebär skador från kringflygande föremål i omgivningen. Här skiljer man på penetrerande respektive ej penetrerande projektiler, samt anger även en projektilmassa.

Tertiära stöt vågsskador, vilket är skador till följd av att ha slungats eller blåst iväg. Alternativen är "kast mot vägg" och "tumling längs marken". Man anger även underfallen "liggande" och "stående".

Skador från glassplitter.

6.1.3 Effekter som ej behandlas

Modellerna väger inte in terrängeffekter, såsom reflektionsförstärkning i dalgångar, eller dämpning i skog.

Skadekriterier för typmål är ej medtagna. Detta planeras införas i en senare version av beräkningsprogrammet. I nuläget hänvisas till tabell 1, samt till Wigg (1996), avsnitt 3.2 B och 3.3 B.

Tabell 1 används på följande sätt (se även exempel 8.7): Belastningsvärdena för stöt vågsverkan varierar med laddningsstyrkan W , och de som anges i tabellen gäller för 1 kt. När verkansradien R_1 för 1 kt bestämts, kan motsvarande verkansradie för andra laddningsstyrkor bestämmas genom omskalning $R = R_1 W^k$, där k är en exponent som ges i tabellen. Uppgifterna är hämtade ur (Wigg

Typmål	Måttlig skada	Svår skada (förstörd)	Skalnings-exponent
Betongbalkbro	75	170	0,43
Stridsvagn	220	550	0,5 (W<1kt) 0,4 (W>1kt)
Hjulfordon	80	140	0,4
Barrskog	30	50	0,4
Ytfartyg	40	100	1/3
Stridsflygplan	25	50	1/3
Flervåningshus, betong	40	100	0,38
Flervåningshus, murat	20	40	0,34
Trähus	20	30	0,34

Tabell 1: Värderna för statistiska övertryck [kPa] som ger upphov till stöt-vågsskador på olika typmål. (Tabellen förklaras närmare i texten.)

1996, tabell 3.13). Observera att den omskalade verkansradien gäller för den omskalade höjden $h = h_1 W^{1/3}$, där h_1 är motsvarande höjd för 1 kt. Det är värt att påpeka att både belastningsvärdena för 1 kt och, framför allt, skalningen till andra laddningsstyrkor är approximativa. Detta märks till exempel om man beräknar belastningsvärdena från verkansradier för olika explosionshöjder. Belastningsvärdena för en given laddningsstyrka kommer då att finnas varierande med höjden.

6.2 Markstöt-våg

Kärnladdningsexplosioner genererar markstöt-våg främst på två sätt. Vid explosioner på eller under markytan kopplar explosionen direkt till marken, vilket ger en direktöverförd markskakning. Luftstöt-vågen från en yt- eller luftexplosion inducerar också markstöt-vågor, så kallad luftstöt-vågsöverförd markskakning. Det är främst verkan mot underjordiska installationer som är av intresse vid markstöt-våg.

6.2.1 Fysikaliska storheter

Kraterdimensioner. Kraterdiametri. Enhet: meter [m]. Kraterdjup. Enhet: meter [m]. Kraterdiametri och kraterdjup för ytexplosioner kan beräknas för tre olika marktyper: torr mark, våt mark och fast berg. Underlaget består av skalningsformler och parameteriserade kurvor från CNW, avsnitt 2-48 till 2-50, samt figur 2-74a,b,e och 2-75a,b,e.

Inneslutningsdjup och kavitetens dimensioner. Kavitetens radi. Enhet: meter [m]. Inneslutningsdjup. Enhet: meter [m]. Vid djupa underjordiska explosioner bildas först en sfärisk kavitet och där-

efter en skorstenslikande struktur som sträcker sig från kaviteten och uppåt. Explosionen kan betraktas som innesluten om denna skorsten inte når upp till jordytan. Det minsta djup som krävs för detta kallas inneslutningsdjupet. Underlaget består av funktionsuttryck från ENW, avsnitt 6.86 och 6.89.

Markskakning. Förskjutning. Enhet: meter [m]. Förskjutningshastighet. Enhet: meter per sekund [m/s]. Acceleration. Enhet: meter per sekundkvadrat [m/s^2]. Förskjutning, förskjutningshastighet och acceleration i horisontell och vertikal ledd kan beräknas. För direkt markstöt-våg är marktypen fast berg, medan alternativen för luftstötsinducerad markstöt-våg är torr mark, våt mark eller fast berg. Underlaget består av funktionsuttryck hämtade ur Fortifikationshandbok, del 2 (FortH 2), kapitel 5.

6.2.2 Effekter som ej behandlas

Direktöverförd markskakning för annan mark än fast berg har ej medtagits, eftersom underlag för detta saknas i FortH 2.

Verkan på människa behandlas ej för markstöt-våg.

Skadekriterier för relevanta mål, såsom berg- och byggnader, har ej medtagits, eftersom bedömningen från fall till fall är komplex. Till exempel beror skadeutfallet av egenfrekvenserna hos målet, se vidare FortH 2, kapitel 5. Ur ENW, tabell 6.108, kan formuleras följande tumregel för att grovt uppskatta verkan mot underjordiska anläggningar: Svåra skador kan förväntas om avståndet till nollpunkten är mindre än dubbla kraterdiametri.

6.3 Vattenstöt-våg

Stöt-vågen vid en undervattensexplosion är av betydelse vid verkan mot både under- och övervattensfartyg. Bottendjupet kommer in som ytterligare en parameter i dessa beräkningar.

6.3.1 Fysikaliska storheter

Statiskt övertryck. Enhet: kilopascal [kPa]. Beräkning kan göras antingen för explosion på botten eller för explosion på halva bottendjupet. Underlaget består av tabellerade kurvor ur CNW, figur 2-112 (motsvarar ENW, figur 6.115); och CNW, figur 2-113. Osäkerheten uppskattas till ca 30 %.

Våghöjd. Enhet: meter [m]. Underlaget består av funktionsuttryck ur ENW, avsnitt 6.119 och 6.121. Två olika funktionsuttryck, båda oberoende av explosionsdjupet, ges i ENW. Det ena avser djupt vatten, och är oberoende av bottendjupet inom sitt giltighetsintervall. Osäkerheten anges till 35 %. Det andra avser grunt vatten, varvid våghöjden skalar linjärt med bottendjupet. Ingen uppgift om osäkerhet har givits för detta funktionsuttryck. I övrigt kan nämnas att våghöjdsdata är utelämnade av sekretessskäl i den öppna versionen av CNW.

6.3.2 Effekter som ej behandlas

Explosionsdjup kan ej specificeras fritt i de använda modellerna.

Verkan på människa behandlas ej för vattenstövåg.

Skadekriterier för typmål är ej medtagna. På grund av de komplicerade utbredningsfenomenen för vattenstövåg går det ej att sammanställa enkla kriterier i form av belastningsvärden för givna mål, se vidare Wigg (1996), avsnitt 5.2.

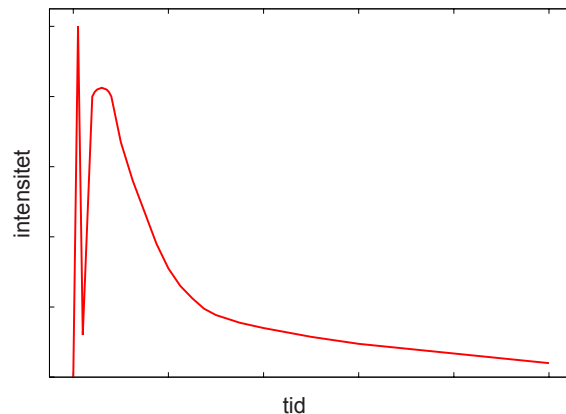
6.4 Värmestrålning

Som beskrivits ovan, kommer värmestrålningen från en luftexplosion (åtminstone vid inte alltför höga explosionshöjder) i form av en ”dubbelpuls”, se figur 7. Huvuddelen, c:a 99 %, av energin sänds ut i den andra pulsen, som alltså är av störst relevans för verkansbedömningar.

I beräkningarna av bestrålning kommer sikten in som en ytterligare parameter. En kategorisering av sikt ges i tabell 2.

6.4.1 Fysikaliska storheter

Bestrålning. Enhet: kilojoule per kvadratmeter [kJ/m²]. Bestrålningen är strålningsintensiteten integrerad över tiden som strålningen varar. Vid denna beräkning måste sikten anges. Tre reflektionsfall finns: ingen reflektion, reflektion mot molntäcke eller snö, samt reflektion både mot molntäcke och snö. Ett molntäcke har betydelse om explosionen sker under molntäcket, varvid reflektion mot molnen leder till en högre intensitet för strålningen. Detsamma gäller om marken är



Figur 7 (efter ENW, figur 2.39): Schematisk bild av värmestrålningens dubbelpuls.

Benämning	intervall [m]	typvärde [m]
Mycket god sikt	30 000 - 50 000	40 000
God sikt	10 000 - 30 000	20 000
Måttlig sikt*	4 000 - 10 000	7 000
Dålig sikt**	1 000 - 4 000	2 000
Mycket dålig sikt***	100 - 1 000	500

* dis, lätt nederbörd

** kraftigt dis, måttlig nederbörd

***dimma, kraftig nederbörd

Tabell 2: Sikttabell.

snötäckt. Beräkningen av bestrålning består av två delar. Först måste explosionsenergens värmeandel bestämmas. Den beror både av laddningsstyrka och explosionshöjd. Därefter bestäms transmittansen, som beror av avstånd, explosionshöjd och siktförhållanden. Underlaget för andelen värme består av parametreringar av kurvor ur CNW, figur 3-18 för explosionshöjder upp till 3 km; och ur ENW, tabell 7.88 och 7.101 för höjder däröver. Osäkerheten i detta underlag uppges till 20 % upp till 3 km, ”tämmligen pålitliga” upp till 15 km, och ”osäkra” över 15 km. Underlaget för transmittansen består av parametreringar av kurvor ur CNW, figur 3-4 till 3-14 (i ENW, figur 7.98 redovisas fallet god sikt, vilket svarar mot CNW, figur 3-13a). Osäkerheten i transmittansen uppges vara runt 30 % för värden större än 0.1. För mindre värden anges att ”fel med en faktor 2 till 10 är inte ovanligt”.

Tid till (andra) strålningsmaximum. Enhet: sekund [s]. Beräkningen tar hänsyn till att tiden till andra maximum minskar när detonationshöjden ökar.

Utänför atmosfären försvinner dubbelpulskaraktären helt, eftersom detta är en effekt av stötvågens uppkomst i luft (se vidare kapitlet om verkansformernas uppkomst). Även tiden inom vilken större delen (c:a 80 %) av strålningsenergin avgivits beräknas. Denna uppskattas approximativt till 10 gånger tiden till andra maximum. Underlaget består av funktionsuttryck ur CNW, avsnitt 3-13 och tabell 3-4 (motsvarar ENW, avsnitt 7.85). Osäkerheten anges vara 25 %.

Eldklotets maximala radie. Enhet: meter [m]. Denna beräknas både för yt- och luftexplosion. Underlaget består av ett funktionsuttryck ur ENW, ekvation 2.128.1. Detta funktionsuttryck avser den minimala explosionshöjd för vilken det lokala radioaktiva nedfallet kan anses vara litet. Lokalt radioaktivt nedfall uppstår när markmaterial sugas upp i eldklotet och kontamineras, vilket brukar anses förekomma om eldklotet kommer i kontakt med markytan. Funktionsuttrycket ur ENW kan alltså anses ge den maximala eldklotsradien vid luftexplosion. För explosion på markytan tillämpas den skalning som anges i ENW, avsnitt 2.127. Osäkerheten anges till 30 %. Vid höghöjdsexplosioner blir eldklotet till följd av den tunnare luften större än vid atmosfäriska explosioner.

6.4.2. Verkan på människa

Följande skadekriterier finns:

Brännskada på bar hud. Här finns alternativen första, andra eller tredje gradens brännskada.

Uniformsklädd personal. Sommar- eller vintermundering måste specificeras. Vid sommaruniform ges skadekriterierna av brännskador på exponerad hud, medan vinterfallet kräver antändning av själva uniformen.

Bländning. Här avses tillfällig förlust av synförmåga. Permanenta skador på näthinna om man tittar mot eldklotet i explosionsögonblicket kan uppstå på mellan halva och dubbla bländningsavståndet. För detta alternativ visas en tabell med exempel på bländningsavstånd i km.

6.4.3 Effekter som ej behandlas

Skadekriterier för uppkomst av brand är ej medtagna. Detta planeras införas i en senare version

av beräkningsprogrammet. I nuläget hänvisas till tabell 3, samt till Wigg (1996), avsnitt 6.4 och 6.5.

Tabell 3 används på följande sätt (se även exempel 8.4): Belastningsvärdena för antändning varierar med laddningsstyrkan W . De som anges i tabellen gäller för 1 kt, och betecknas B_1 . Nödvändig bestrålning för andra laddningsstyrkor bestäms genom omskalning $B = B_1 W^{1/8}$. För skog ges värden för två olika relativa luftfuktigheter (RH). Uppgifterna är hämtade ur (Wigg 1996), avsnitt 6.4. För att antändningen inte ska själv dö, krävs vid låga laddningsstyrkor i realiteten ett högre värde på bestrålningen. Vid laddningsstyrkor lägre än 10 kt bör därför värdet för 10 kt i stället användas (Wigg 1996). Dessa värden är också angivna i tabellen.

Typmål	Antändning	Minvärde*
Skog, 15% RH	200	270
Skog, 50% RH	250	330
Gräs	140	190

* värdet för 10 kt

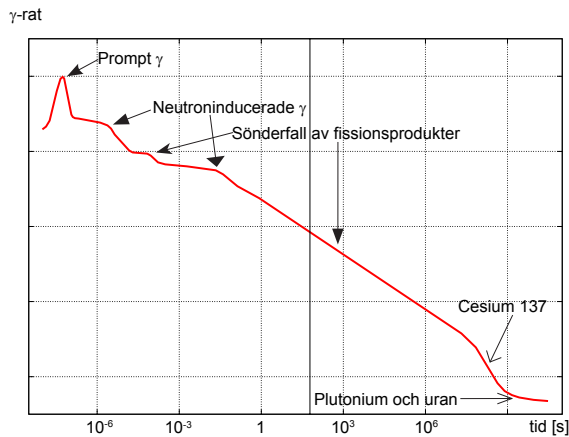
Tabell 3: Värden för bestrålning [kJ/m²] som ger upphov till antändning av olika typmål. (Tabellen förklaras närmare i texten.)

6.5 Joniserande initialstrålning

Joniserande initialstrålning är definierad som den joniserande strålning som avges inom en minut från explosionsögonblicket. Den består dels av neutroner och gammafotoner som är prompta, dvs. avgivna direkt i samband med kärnreaktionerna. Gammafotoner bildas också i neutroninducerade reaktioner när prompta neutroner kolliderar med atomkärnor. Dessutom bildas gammafotoner och betapartiklar när kortlivade fissionsprodukter sönderfaller, varvid den andel som sker inom en minut alltså räknas till initialstrålningen, se figur 8.

Att man valt just en minut beror på att detta ungefär är den tid under vilken joniserande strålning direkt från eldklotet är av betydelse (vid ytnära explosion). Därefter har eldklotet stigit för högt.

Eftersom den joniserande initialstrålningens sammansättning varierar för olika typer av kärnladdningar, måste laddningstypen specificeras vid beräkning av initialstrålning. För närvarande finns generiska alternativ för fissions- och fusionsladdning.



Figur 8: Olika källor för gammastrålning som funktion av tiden. Den heldragna vertikala linjen markerar tidpunkten en minut efter explosionen. Gammastrålning som uppstår före denna tidpunkt räknas till initialstrålningen. Därefter sker främst sönderfall av fissionsprodukter, varvid den avgivna strålningen klassificeras som kvarvarande strålning. Prompta gammafotoner genereras inte vid fusionsreaktioner, men eftersom fusion kräver en fissionsladdning för att komma igång, kan man alltid räkna med förekomsten av prompta gammafotoner.

6.5.1 Fysikaliska storheter

Stråldoser. Enhet, stråldos: gray [Gy]; enhet, dosekvivalent: sievert [Sv]. Totala dosen, samt neutron- och gammadosen beräknas. Resultaten kan ges antingen som doser, eller som dosekvivalenter. Vid omräkningen till dosekvivalent ges gammadosen kvalitetsfaktor 1, medan neutrondosen ges kvalitetsfaktorn 2. Underlaget består av parametriserade kurvor ur CNW, figur 5.9 - 5.17, samt funktionsuttryck från problem 5-1 - 5-3; och parametriserade kurvor ur ENW, figur 8.123a-b, 8.127a-b, 8.130a-b och 8.132, samt avsnitt 8.123 - 8.132. Osäkerheten uppges till 25 % för neutrondoser, medan gammadosen sägs vara inom 50 % och ”avviker sällan mer än en faktor 2” enligt Björklund m.fl. (1993b).

Neutronfluens. Enhet: neutroner per kvadratmeter [$1/m^2$]. Fluensen är flödestätheten integrerad över tiden som neutronflödet varar. Denna kvantitet är den relevanta belastningen vid viss typ av verkan mot elektronik. Underlaget består av parametriserade kurvor ur CNW, figur 5-5 kurva 8 och 5-6 kurva 10 (motsvarar ENW figur 8.117a kurva 8 och 8.117b kurva 10). Rörande osäkerheten i dessa data finns ingen uppgift, men den är rimligen stor.

6.5.2. Verkan på människa

Den stråldos som en människa utsätts för beror av hur väl skyddad denne är. Man talar därvid om vilken skyddsfaktor ett visst skydd kan ge. Skyddsfaktor 0.5 innebär att stråldosen inne i skyddet är 50 % av utedosen (stråldosen utanför skyddet). I tabell 4 ges några typvärden för skyddsfaktorer.

Joniserande strålning påverkar människan på flera olika sätt med olika lång tidsfördröjning, se till exempel Bergman m.fl. (1983, 1991). Därför måste man vid bedömning av akuta strålskador specificera tiden efter bestrålning. De alternativ som finns är en timme, ett dygn, respektive en vecka efter bestrålning.

Oskyddad	1
I stridsvagn	0,5
I fullträffssäker skyddstäckning	0,0001
I flervåningshus, på våningsplan	0,3
I flervåningshus, i källare	0,1
I småhus, på våningsplan	0,8
I småhus, i källare	0,4

Tabell 4: Några typvärden för skyddsfaktorer.

6.5.3 Effekter som ej behandlas

Mer speciella laddningstyper, t.ex. neutronvapen, planeras införas i en senare version av beräkningsprogrammet.

Långsiktiga skador på människa behandlas ej.

Skador på elektronik behandlas ej. Vissa upplysningar ges i Wigg (1996), avsnitt 7.2 B och 7.3 C.

6.6 Kvarvarande strålning

De fissionsprodukter som bildas vid en kärnladdningsexplosion är i stor utsträckning snabbt sönderfallande, och därför mycket radioaktiva². De sönderfall som sker mer än en minut efter explosionen räknas till den kvarvarande strålningen. Dessutom kommer neutronstrålning att orsaka radioaktivitet genom att neutroner infångas i annars stabila kärnor bland laddningsresterna.

² Sönderfallet sker i form av beta- och gammastrålning.

Vid luftexplosion kommer de starkt upphettade laddningsresterna, där nu olika radioaktiva nuklider ingår, att kondensera till partiklar. Dessa partiklar är mycket små, och faller inte till marken lokalt. Istället förs de med luftmassorna och sprids globalt.

Om explosionen sker tillräckligt nära jordytan, kommer markmaterial att sugas upp i det snabbt stigande eldklotet och beblandas med laddningsresterna. Följden av detta blir att laddningsresterna kan kondensera på detta markmaterial som därigenom blir radioaktivt. Eftersom markmaterialet består av relativt stora partiklar, kommer det att falla till marken lokalt och orsaka radioaktivt nedfall. En del av detta nedfall faller rakt ner kring nollpunkten och ger upphov till ett radiellt utströmmande moln runt det karakteristiska svampmolnets bas, kallat basdrag. Det radioaktiva markmaterialet faller också ned över stora avstånd i vindriktningen i form av en utsträckt nedfallsplym. En tumregel är att om eldklotet når ned till marken kan man räkna med att det lokala nedfallet är av betydelse. Observera att det i allmänhet alltså inte räcker med att markmaterial sugas upp och bildar det karakteristiska svampmolnets stjälk - detta sker även för många luftexplosioner. För att markmaterialet ska kontamineras påtagligt måste det dessutom blandas med vapenresterna i eldklotet.

Om explosionen inte sker alltför högt upp kommer även marken kring nollpunkten att bli radioaktiv genom neutronaktivering. Denna neutroninducerade aktivitet avklingar i allmänhet relativt snabbt, och är försumbar inom några dygn.

6.6.1 Fysikaliska storheter

Minsta explosionshöjd för vilken det lokala nedfallet är försumbart. Enhet: meter [m]. Observera att nederbörd kan "tvätta ur" radioaktivitet från explosioner som annars inte skulle ha givit något lokalt nedfall. Sot från bränder som uppstår kan vid hög luftfuktighet underlätta uppkomsten av regn, vilket bland annat inträffade i Hiroshima och Nagasaki. Underlaget består av ett funktionsuttryck ur ENW, avsnitt 2.128.

Dosratens tidsberoende. Enhet: gray per timme [Gy/h]. Aktiviteten för radioaktivt nedfall avtar med tiden. Minskningen med tiden för dosraten

kan approximeras med $I(t) = I_1 t^{-a}$, där I_1 är dosraten en timme efter explosionen, t är tiden efter explosionen i timmar, och a är avklingningsexponenten. Ett ofta använt värde för a är 1.2, men det kan i praktiken variera. I beräkningsprogrammet specificeras exponenten av användaren.

Neutroninducerad aktivitet. Enhet: gray per timme [Gy/h]. För ytexplosioner och ytnära luftexplosioner kommer neutronerna i initialstrålningen att ge upphov till neutroninducerad aktivitet i markmaterial runt nollpunkten. I beräkningsprogrammet kan dosraten till följd av neutroninducerad aktivitet vid en viss tidpunkt efter explosionen bestämmas. Markmaterialets beskaffenhet är av stor betydelse, framför allt förekomsten av natrium och mangan, och i programmet används en sammansättning motsvarande svensk normaljord. Underlaget består av CNW, sida 5-52 – 5-59 med anpassning till svensk normaljord.

Idealiserade belägningsfält. Enhet: kilometer [km]. I beräkningsprogrammet finns möjlighet att beräkna så kallade idealiserade belägningsfält för det radioaktiva nedfallet från ytexplosioner. Dessa består av ett cirkulärt område kring nollpunkten, samt en elliptisk nedfallsplym i vindriktningen. Programmet beräknar radien för det cirkulära området, samt ellipsens längd och bredd. Man bör dock vara medveten om att varierande vindar, nederbörd, etc. ofta kommer att ge ett nedfallsmönster som starkt avviker från detta idealiserade nedfall. Syftet med de idealiserade belägningsfälten är att ge en grov uppfattning om utbredningen för nedfall. De tillgängliga beräkningstyperna för belägningsfält är dosrater en timme efter explosionen, samt doser för de första 48 timmarna efter explosionen. Underlaget består av ENW, tabell 9.93 och ENW, figur 9.26.

6.6.2 Effekter som ej behandlas

Doser vid godtyckligt lång vistelse i belägningsfält behandlas ej. I nuläget hänvisas till Wigg (1996), avsnitt 8.4.

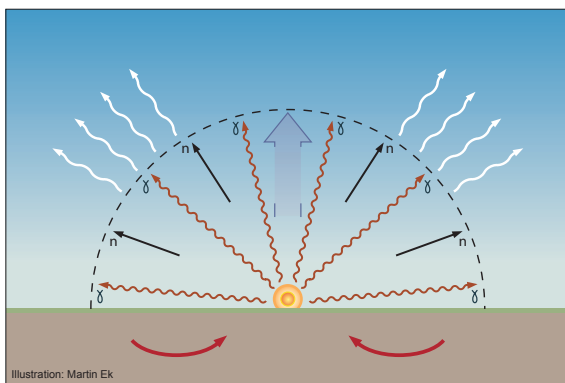
Verkan på människa behandlas ej för kvarvarande strålning. För en sammanställning av verkan på människa se till exempel Bergman m.fl. (1983, 1991).

6.7 Elektromagnetisk puls

Beroende på omgivningen kommer kärnladdnings-explosioner att ge upphov till mer eller mindre starka elektromagnetiska signaler. Denna elektromagnetiska puls, EMP, påverkar inte människa, men kan slå ut elektroniska komponenter. Med tanke på samhällets datorberoende kan detta få förödande konsekvenser. EMP kan under vissa förutsättningar även förstöra vidsträckta ledningsnät, såsom nät för eldistribution.

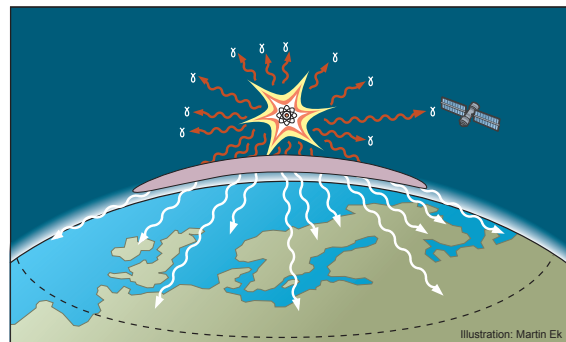
En viktig mekanism för genererandet av EMP är gammafotonerna som avges vid kärnladdnings-explosionen. När dessa tränger in i ett material, till exempel luft, kommer elektroner att slås loss från atomer i mediet. Dessa så kallade Comptonelektroner har hög hastighet och bildar en Comptonström bort från explosionspunkten. Denna omfördelning av elektrisk laddning ger sedan upphov till elektriska stömmar när jämvikt återupprättas. För att elektromagnetiska signaler skall genereras krävs en avvikelse från sfärisk symmetri i den genererade laddningsfördelningen. Därför uppstår EMP i huvudsak i två situationer:

1. När explosionen sker nära markytan. Skillnaden mellan luft och mark bryter därvid effektivt symmetrin, se figur 9. Denna form av elektromagnetisk puls, mark-EMP, är mycket kraftfull men har begränsad räckvidd. Den är bara av relevans för mål som tål verkan från alla andra verkansformer, såsom hårdgjorda underjordiska anläggningar.
2. När explosionen sker utanför jordens atmosfär. Vid sådana höghöjdsexplosioner bryts symmetrin av att det bara är gammafotoner som rör sig



Figur 9 (efter ENW, figur 11.10): Schematisk bild av genereringsmekanismen för mark-EMP. Markytan bidrar till att en asymmetrisk laddningsfördelning uppstår, vilket är en förutsättning för en kraftig EMP-effekt.

i riktning mot jorden som kommer att stöta på några atomer där elektroner kan slås loss. Ännu viktigare för verkan av höghöjds-EMP är att dessa Comptonelektroner kommer att böjas av i det jordmagnetiska fältet, varvid elektromagnetisk strålning genereras. Eftersom denna strålning rör sig lika fort som gammafotonerna erhålls en ”lavineffekt”, och en snabbt stigande, intensiv puls av elektromagnetisk strålning uppstår. Comptonströmmen genereras på hög höjd (runt 30 km), varför effekterna av den höghöjds-EMP (HEMP) som då bildas är kännbara över stora områden. En höghöjdsexplosion över norra Europa kan till exempel slå ut elektronik över hela den europeiska kontinenten, se figur 10.

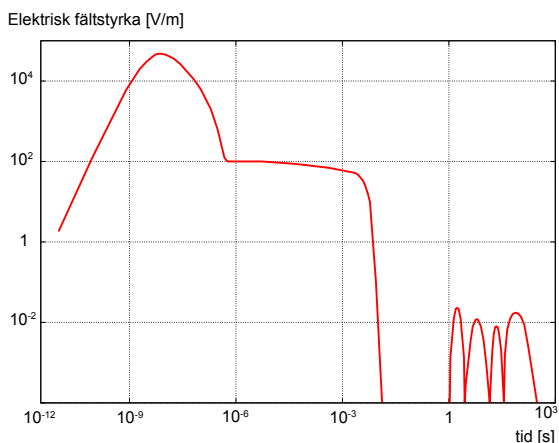


Figur 10: Schematisk bild av hur höghöjds-EMP uppstår. De gammafotoner som kolliderar med atmosfärens övre delar kommer att slå loss elektroner, varvid elektromagnetisk strålning genereras. Satelliten träffas direkt av gammafotoner, varvid systemgenererad EMP (SGEMP) kan uppstå.

Dessa former av EMP är relativt högfrekventa, upp till 100 MHz, eftersom gammafotonerna i initialstrålningen genereras under ett snabbt tidsförlopp. Verkan sker främst på elektroniska komponenter.

Vid höghöjdsexplosioner förekommer också så kallad magnetohydrodynamisk EMP (MHD-EMP). Denna genereras genom att de joniserade laddningsresterna rör sig i jordens magnetfält. De resulterande elektromagnetiska signalerna är relativt lågfrekventa, se figur 11. Det innebär att de kan koppla till, och orsaka skador på, storskaliga ledande strukturer såsom kraftledningsnät.

Slutligen kan gammastrålning, genom att generera Comptonelektroner, ge EMP-effekter direkt i ett system. Detta kallas systemgenererad EMP (SGEMP). Ett exempel på SGEMP är när gammastrålning från en höghöjdsexplosion träffar en satellit i omloppsbanan runt jorden, varvid elektro-



Figur 11: Schematiskt tidsförlopp för en elektromagnetisk puls (skalorna är logaritmiska). Den första toppen uppkommer från prompta gammafotoner, medan den efterföljande plattan hör från neutron-inducerade gammafotoner. De sena, långvariga topparna uppstår genom laddningsresternas rörelse i jordens magnetfält, och betecknas MHD-EMP.

magnetiska fält kan genereras i själva satelliten. Även röntgenstrålning från höghöjdsexplosioner kan orsaka systemgenererad EMP.

6.7.1 Fysikaliska storheter

I beräkningsprogrammet finns möjlighet att bestämma utbredningen av höghöjds-EMP. Detta sker genom att på en karta rita upp nivåkurvor för den elektriska fältstyrkans toppvärden, \hat{E} . Tre olika typer av beräkning kan göras, nämligen elektriska fältstyrkan, samt dess horisontal- och vertikalt polariserade komponenter. Programmet kan bara bestämma relativa nivåer, det vill säga fältstyrkor i förhållande till det maximala toppvärdet på markytan \hat{E}_{\max} . Förutom laddningsstyrka och explosionshöjd, kräver beräkningen ytterligare ett par parametrar: Det som i beräkningsprogrammet kallas för **gammatransmissionen** (enhet: km²/kt) kvantifierar laddningsberoendet både i genereringen av gammafotonerna, och i hur väl fotonerna når fram till genereringsområdet från explosionspunkten³. Det är endast fission som ger prompta gammafotoner. Därför genererar fissionsladdningar fler gammafotoner per kiloton, jämfört med fusionsladdningar. Energirika gammafotoner transmitteras bättre än fotoner med lägre energi, vilket till viss del hjälper upp gammatransmissionen för fusions-

laddningar. Typvärde för fissionsladdning är 1 800 och för fusionsladdning 1 200 km²/kt. **Inklinationen** anger det jordmagnetiska fältets vinkel mot jordytan. För det ideala fallet (en perfekt dipol) ges denna vinkel av latituden. Till exempel är inklinationen på latitud 60° för ideala fallet ungefär 73.9°. Eftersom jordmagnetiska fältet inte är idealt, och varierar både i rum och tid, kan inklinationen specificeras fritt i programmet. **Steglängden** bestämmer nivåkurvornas finhet i plottarna. Om vissa nivåkurvor inte sluter sig, kan detta ofta avhjälpas genom att sätta ett mindre värde för steglängden. Om kännedom om det **maximala toppvärdet** på markytan finns, kan detta anges (ett riktvärde är 25 kV/m). Standardvärdet är 1, vilket innebär att nivåerna då anges relativt maxvärdet \hat{E}_{\max} .

6.7.2 Effekter som ej behandlas

Programmet beräknar inte maxvärdet för elektriska fältstyrkans toppvärde för höghöjds-EMP. När det gäller andra former av EMP, såsom mark-EMP och MHD-EMP, finns inga planer i närtid.

Verkan av EMP på materiel behandlas ej för närvarande. I nuläget hänvisas till Wigg (1996), avsnitt 9.2.

6.8 Andra kärnladdningsfenomen

Svampmolnets dimensioner. Enhet: kilometer [km]. Svampmolnets storlek och form kan variera stort beroende på meteorologiska och andra förutsättningar. Emellertid kan vissa grova skattningar göras, vilka endast beror av laddningsstyrkan. I beräkningsprogrammet (menyvalet Verkansformer: Allmänt) kan höjden till svampmolnets topp och bas ("hattens" över- och undersida), samt "hattens" bredd uppskattas för en given laddningsstyrka. Värdena gäller för ett svampmoln som slutat stiga och stabiliserat sig. Underlagen består av ENW, figurerna 2.16 och 9.96. Notera att dessa underlag avser breddgrader motsvarande USA. Eftersom tropopausen befinner sig på lägre höjd för svenska breddgrader, kan det förväntas att ett svampmoln stabiliserar sig på något lägre höjd vid svenska förhållanden.

³ Enheten km²/kt kan förstås på följande sätt: Antalet gammafotoner som genereras för en viss laddningstyp är proportionellt mot laddningsstyrkan, medan antalet gammafotoner som når fram till en viss punkt avtar med kvadraten av avståndet (om absorption försummas).

7. Användarhandledning för beräkningsprogrammet

De modeller för kärnladdningsverkan som diskuteras ovan har sammanställts i ett beräkningsprogram för Windows kallat KlangVerk. I detta avsnitt beskrivs kortfattat beräkningsprogrammets användning. Ett antal genomräknade exempel på användning ges i ett senare avsnitt.

7.1 Installation

På CD-skivan, som distribueras med denna rapport, finns filen KlangVerkInstall.exe. Om denna körs, kommer filerna för programmet KlangVerk installeras i den katalog som användaren själv anger. Filen KlangVerk.exe är det körbara programmet. Det kan vara lämpligt att skapa en genväg till denna fil. Filen README.txt ger ytterligare information om CD-skivans innehåll.

7.2 Allmänt om programmet

Beräkningsprogrammet består av ett inmatningsfönster där önskade val görs, se figur 12, och ett grafiskt fönster där kurvor plottas. Tanken med inmatningsfönstret är att all nödvändig information för en viss beräkning ska vara synlig - inga undermenyer behöver letas upp för att specificera alternativ. Den övre raden med menyer är alltid tillgänglig. Där specificeras verkansmiljö, verkansform och beräkningsalternativ. I andra raden väljs typ av beräkning. Dessutom visas i tillämpliga fall olika menyer för att ge ytterligare specifikationer, anpassat efter vilken beräkning som valts.

Under de två raderna med menyer kommer ett område där inmatning av relevanta numeriska värden görs. De viktigaste parametrarna som

The screenshot shows the 'KlangVerk' application window with the following configuration options:

- Verkansmiljö:**
 - Fysikaliska storheter
 - Verkan på människa
 - Verkan på typmät
- Verkansformer:**
 - Allmänt
 - Luftstövåg
 - Markstövåg
 - Vattenstövåg
 - Värmestråning
 - Initialstråning
 - Kvarv. stråning
 - EMP
- Beräkningsalternativ:**
 - Beräkning av belastningsvärde för inläst avstånd
 - Beräkning av avstånd för inläst belastningsvärde
 - Plott av avstånd som funktion av laddningsstyrka
 - Plott av belastningsvärde som funktion av avstånd
 - Plott av isokurva för belastningsvärde
- Typ av beräkning:**
 - Statistisk tryck (kPa)
 - Dynamiskt tryck (kPa)
 - Statisk impuls (kPas)
 - Ankomsttid (s)
 - Statiska tryckets varaktighet (s)
 - Dynamiska tryckets varaktighet (s)
 - Vindhastighet (m/s)
- Statistiskt tryck:**

	Min	Max
Ekvivalent höjd 1 kt	0.	500.
Min laddningsstyrka (kt)	0.1	100.
Max laddningsstyrka (kt)	1.	2.E4
Statistiskt tryck (kPa) (antal kurvor)	1	5
- Statistiskt tryck (kPa):**

Statistiskt tryck (kPa)	Min	Max
100.	3.448	6.897E04
200.		
300.		
400.		
500.		
- Färgplott:**
 - Färg
 - Svartvitt

Buttons: BERÄKNA, AVSLUTA, Postscriptfil

Figur 12: Inmatningsfönstret till beräkningsprogrammet.

behöver anges vid beräkningarna är laddningsstyrkan och (oftast) explosionshöjden. Till höger om inmatningsfälten anges tillåtna intervall för inmatningsparametrarna. Dessa intervall bestäms av modellernas giltighetsområden, och är i vissa fall beroende av vilka parametervärden som väljs. Vid inmatning av siffervärden används punkt som decimaltecken, till exempel 4.3 och inte 4,3. Stora och små tal anges vid in- och utmatning med hjälp av tiopotenser. Till exempel kan talet $2 \cdot 10^4$ skrivas på något av följande sätt: $2e4 = 2E4 = 20000$ (vid utskrift skulle programmet välja formen 2E4).

Avstånd kan i tillämpliga fall anges antingen som nollpunktsavstånd (avstånd längs marken till nollpunkten), eller som lutande avstånd (avstånd längs siktlinjen till explosionspunkten). Detta anges genom menyvalet ”nollpunktsavstånd/lutande avstånd” ovanför inmatningsområdet.

På liknande sätt kan explosionshöjden anges direkt som höjden h , eller för vissa fall uttryckt som ekvivalent höjd h_1 . Detta anges genom menyvalet ”höjd/ekvivalent höjd” ovanför inmatningsområdet. Den ekvivalenta höjden är höjden för laddningsstyrkan 1 kiloton som sedan skalas till en höjd för den angivna laddningsstyrkan enligt $h = h_1 W^{1/3}$. Fördelen med att ange ekvivalent höjd är att det är ett sätt att grovt jämföra luftexplosioner med olika laddningsstyrkor. Ett ofta använt standardvärde för luftexplosion är $h_1 = 150$ m.

Önskad beräkning utförs genom att trycka på knappen ”BERÄKNA”.

Programmet avslutas genom att trycka på knappen ”AVSLUTA” eller på krysset i övre högra hörnet av inmatningsfönstret.

Plottar kan genom tryckning på knappen ”Postscriptfil” sparas på fil i PostScript-format, istället för att ritas upp i plottfönstret. Dessa plottfiler placeras i den katalog som programmet är installerat i.

7.3 Beräkningsalternativ

Vilka beräkningsalternativ som är tillgängliga för en viss verkansform, verkansmiljö och belastning

varierar från fall till fall. De vanligaste alternativen är:

- Beräkning av belastningsvärde för inläst avstånd.
- Beräkning av avstånd för inläst belastningsvärde. Vid verkan på människa bestämmer programmet vilket belastningsvärde som gäller, utgående från de skadekriterier som har specificerats, och beräknar verkansradien.
- Plott av avstånd som funktion av laddningsstyrka. Här anges en explosionshöjd, ett eller flera belastningsvärden, samt ett intervall för laddningsstyrka. En kurva för varje belastningsvärde anger sedan på vilket avstånd detta värde uppnås beroende på laddningsstyrkan. Vid verkan på människa plottas en eller flera kurvor för verkansradie, svarande mot de skadekriterier som valts.
- Plott av belastningsvärde som funktion av avstånd. Här anges en laddningsstyrka, en eller flera explosionshöjder, samt ett avståndsintervall. En kurva för varje explosionshöjd anger sedan hur stort belastningsvärde som uppnås beroende på avståndet.
- Plott av isokurva för belastningsvärde. Här anges en laddningsstyrka, samt ett eller flera belastningsvärden. En kurva för varje belastningsvärde anger sedan vilka kombinationer av explosionshöjd och avstånd som ger upphov till just detta värde på markytan.

Observera att alla belastningsvärden refererar till värden på markytan!

Beräknade värden avrundas inte automatiskt till lämpligt antal värdesiffror. Osäkerheten avspeglas alltså inte av antalet värdesiffror, utan är regelmässigt betydligt större, vilket framgår av genomgången i kapitlet ”Modellering av kärnladdningsverkan”.

8. Exempel

I detta avsnitt presenteras ett antal beräkningsexempel, genomförda med hjälp av beräkningsprogrammet. De menyval som gjorts för verkansmiljö, verkansform, etc. i ett enskilt beräkningsfall presenteras i form av en uppräknig. För att underlätta verifiering av egen beräkning, har beräknade värden i vissa fall inte avrundats till lämpligt antal värdesiffror. Däremot sammanfattas resultat med hänsyn tagen till rimlig osäkerhet.

8.1 Stötvågsverkan på mänskliga i stadsmiljö

En kärnladdning med styrkan 100 kt exploderar på 500 m höjd över en stad. Uppskatta stötvågsrelaterade verkansradien på människa avseende "ej tjänstbarhet", dvs. behov av vård föreligger.

Lösning:

I beräkningsprogrammets övre menyrad väljs Verkan på människa, Luftstötvåg och Beräkning av verkansradie. Det finns ett flertal skadetyper relaterade till luftstötvåg att välja mellan. Vi beräknar verkansradier för de skadekriterier som kan betraktas som relevanta i stadsmiljö.

- Primära stötvågsskador
 - Direkta övertrycksskador; Ej tjänstbar/kräver vård; Nära reflekterande vägg: 1376 m.
 - Spräckta trumhinnor betraktas inte som krävande akut vård.
- Sekundära stötvågsskador
 - Penetrerande projektil; Ej tjänstbar/kräver vård; Massa 0.05 g: 753.8 m.
 - Penetrerande projektil; Ej tjänstbar/kräver vård; Massa 10 g: 911.9 m.
 - Ej penetrerande projektil; Ej tjänstbar/kräver vård; Massa 0.5 kg: 1844 m.
 - Ej penetrerande projektil; Ej tjänstbar/kräver vård; Massa 4.5 kg: 2674 m.
- Tertiära stötvågsskador
 - Kast mot vägg e.d.; Ej tjänstbar/kräver vård; Från stående ställning: 3036 m.
 - Tumling; Ej tjänstbar/kräver vård; Från stående ställning: 1972 m.

- Skador från glassplitter; Ej tjänstbar/kräver vård: 2806 m.

Det är naturligtvis svårt att med någon exakthet bedöma hur omfattande personskador som faktiskt uppstår. De sekundära skadorna beror till exempel av tillgången till lösa föremål, etc. Följande sammanställning kan dock göras:

- Inom 1 400 m från nollpunkten kommer åtskilliga människor att ha ådragit sig direkta trycksador som kräver vård.
- Upp till 2 ½ km från nollpunkten förekommer personer med svåra skador orsakade av kringflygande föremål.
- Inom 3 km från nollpunkten har många människor skador till följd av att ha kastats mot föremål, eller mot marken.
- Personer som befinner sig nära fönster kommer att få allvarliga skador av kringflygande glassplitter upp till knappt 3 km från nollpunkten.

8.2 Optimal explosionshöjd för stötvågsverkan

Vid vilken explosionshöjd uppnås största stötvågsverkan mot ett murat flervåningshus? Laddningsstyrkan är 10 kt.

Lösning:

Först av allt måste vi bestämma den belastning, i det här fallet statiskt övertryck, som krävs för svår skada på ett murat hus vid laddningsstyrkan 10 kt. I tabell 1 framgår att belastningsvärdet för 1 kt är 40 kPa. Vi beräknar därvid verkansradien för 1 kt, menyval: Fysikalisk miljö; Luftstötvåg; Beräkning av avstånd...; Statiskt tryck, och finner radien 418.8 m för ytexplosion (explosionshöjd 0 m). Den motsvarande verkansradien för 10 kt ges nu, som diskuteras i samband med tabell 1, genom skalning $R = R_1 W^k$, där k enligt tabellen har värdet 0.34 i detta fall. Vi finner sålunda att verkansradien för 10 kt och ytexplosion är 916.2 m. Vi kan nu bestämma belastningsvärdet som detta motsvarar, menyval: Fysikalisk miljö; Luftstötvåg; Beräkning

av belastningsvärde...; Statiskt tryck, och finner att verkansradien svarar mot ett statiskt övertryck på ca 39 kPa.⁴

En möjlighet är nu att beräkna avståndet för den givna belastningen ("Beräkning av avstånd för inläst belastningsvärde"), och successivt ändra explosionshöjden tills man finner det största avståndet.

Ett smidigare alternativ är att plotta en isokurva. Välj därför "Plott av isokurva för belastningsvärde" och "Statiskt tryck". För laddningsstyrka 10 kt och statiskt tryck 39 kPa erhålls plotten i figur 13. Som synes blir verkansavståndet som störst om explosionshöjden är ca 700 m.

8.3 Underjordiskt kärnladdningsprov

Styrkan hos ett underjordiskt kärnladdningsprov uppskattas seismiskt till 1 kiloton. På hur stort djup måste provet ha skett för att det ska vara rimligt att anta att provet är inneslutet?

Lösning:

I beräkningsprogrammets övre menyrad väljs

Markstötståg. I andra menyraden väljs Inneslutningsdjup. För laddningsstyrka 1 kt fås inneslutningsdjupet 120 m.

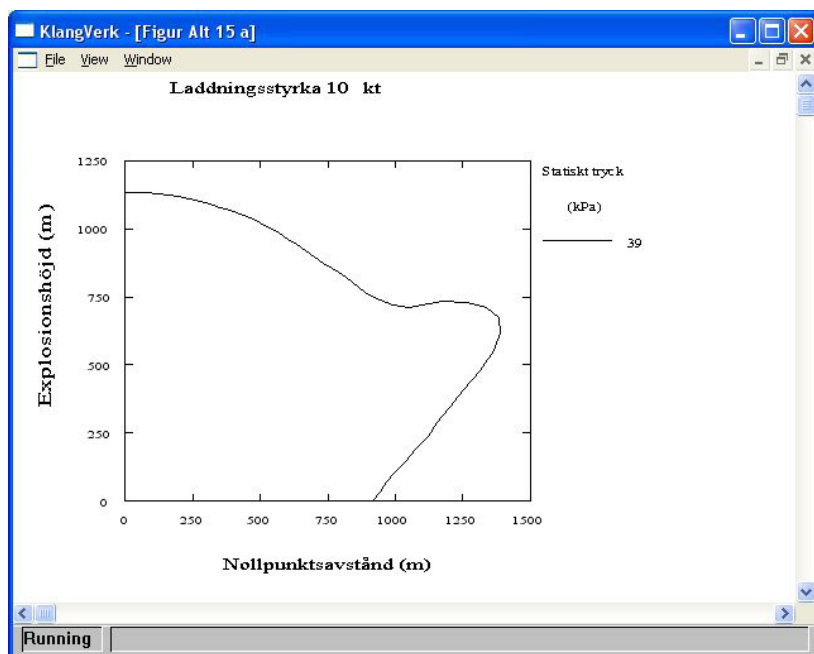
8.4 Uppkomst av skogsbrand

Följande exempel visar hur tabell 3 används: En kärnladdning med laddningsstyrkan 100 kt exploderar på 700 m höjd. Sikten är god. Inom vilket avstånd från nollpunkten kan skogsbränder förväntas?

Lösning:

Vi börjar med att bestämma hur stor bestrålning som krävs för att skogsbrand kan antas uppstå. Enligt tabell 3 behövs 250 kJ/m² för antändning vid laddningsstyrkan 1 kt. Som diskuteras i anslutning till tabellen, måste detta värde skalas om för den aktuella laddningsstyrkan: $B = B_1 W^{1/8}$. För 100 kt finner vi att den nödvändiga bestrålningen är ca 440 kJ/m².

I beräkningsprogrammets övre menyrad väljs Fysikalisk miljö, Värmestrålning och Beräkning av avstånd för inläst belastningsvärde. Typ av beräkning



Figur 13: Verkansavstånd vid olika explosionshöjd. Laddningsstyrka: 10 kt, statiskt övertryck vid marken: 39 kPa. Största verkansavstånd uppnås vid en explosionshöjd runt 700 m. Notera även att vid ca 800 meters explosionshöjd finns ett avståndsintervall runt 900 m där det angivna övertrycket inte uppnås ("svackan" på kurvan). Denna egenhet beror på hur stötstågens reflektion mot markytan samverkar med den oreflektade stötstågen.

⁴ Denna beräkning gjordes som synes för en ytexlosion. I det givna fallet, när skalningsexponenten är mycket nära 1/3, kommer belastningsvärdena vara tämligen oberoende av explosionshöjden. Om man verifierar detta, utgående från skalade verkansradier för olika höjder, är det viktigt att komma ihåg att höjden ska skalas enligt $h = h_1 W^{1/3}$ (se diskussion i anslutning till tabell 1).

blir automatiskt ”Bestrålning”. Vad gäller reflektion väljs ”Grundfall utan reflektion”, eftersom inget annat anges i frågeställningen. Ange laddningsstyrka 100 kt, explosionshöjd 700 m, bestrålning 440 kJ/m², samt sikt 20 000 m (typvärde för god sikt enligt tabell 2). Det beräknade nollpunktsavståndet blir 4 329 m. Skogsbränder kan alltså förväntas inom drygt 4 300 m från nollpunkten.

8.5 Initialstrålnings verkan mot människa

Antag fissionsladdningar med styrkor mellan 0.3 och 30 kt, och luftexplosion på ekvivalent höjd 150 m vid 1 kt. På vilka avstånd uppnås 50 % dödlighet för oskyddad människa till följd av joniserande initialstrålning?

Lösning:

I beräkningsprogrammets övre menyrad väljs Verkan mot människa, Initialstrålning och Plott av verkansradie. I andra menyraden väljs vapentyp Fission och tjänstbarhet LD50-värde. Ekvivalent höjd 150 m anges i relevant inmatningsfält, liksom laddningsintervall 0.3 till 30 kt och skyddsfaktor 1 (oskyddad människa). Programmet genererar nu en plott med tre olika kurvor, svarande mot olika god eftervård för de exponerade människorna, se figur 14. Vid endast omhändertagande är till exempel verkansradien c:a

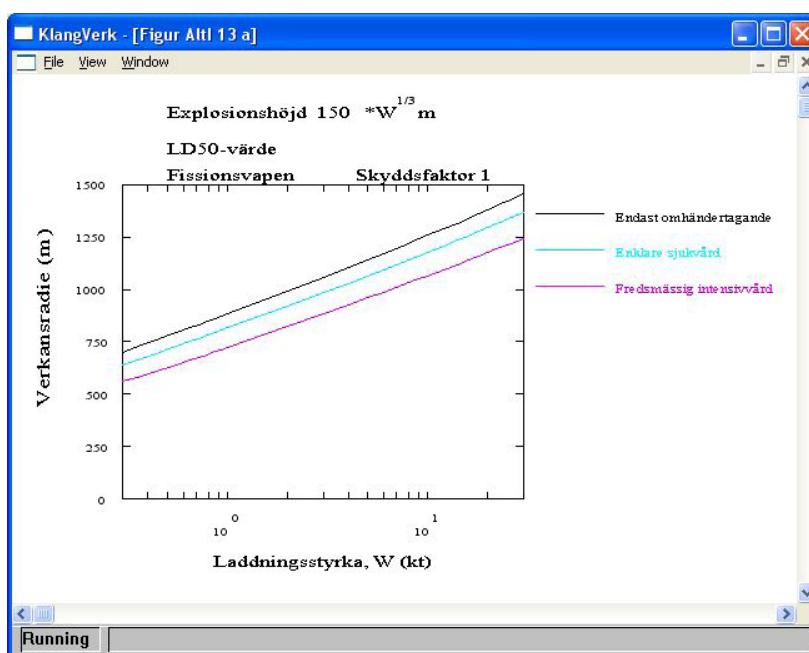
1 300 m vid en laddningsstyrka på 10 kt.

8.6 Verkansformers skalning med laddningsstyrkan

Följande exempel är tänkt som en illustration av att olika verkansformer skalar på olika sätt med laddningsstyrkan. Vi betraktar två luftexplosioner: Den första har laddningsstyrkan 1 kt, och sker på 150 m höjd; den andra är på 10 kt, och sker på höjden 323 m (vilket motsvarar ekvivalenta höjden 150 m för 1 kt).

Vi beräknar först verkansradien avseende tredje gradens brännskada på bar hud för de två fallen. Således görs menyvalen Verkan på människa; Värmestrålning; Beräkning av verkansradie; Bar hud; 3:e gradens brännskada. Sikten antas vara god: 20 000 m. Vi finner, med lämpliga avrundningar, verkansradierna 600 m för 1 kt, samt 1 800 m för 10 kt.

Därefter betraktar vi den joniserande initialstrålningen, och bestämmer LD50 för oskyddad människa i frånvaro av sjukvård: Verkan på människa; Initialstrålning; Beräkning av verkansradie; Fission; LD50-värde; Endast omhändertagande. Skyddsfaktorn sätts till 1, eftersom vi antagit oskyddad människa. Verkansradierna efter avrundning befins vara 900 m för 1 kt, samt 1 250 m för 10 kt.



Figur 14: Verkansradie för joniserande initialstrålning som funktion av laddningsstyrka, avseende 50 % dödlighet för oskyddad människa. Luftexplosion av fissionsladdningar på ekvivalent höjd 150 m har antagits. Tre alternativ avseende graden av vård redovisas: endast omhändertagande (vilket innebär att personen fått första hjälpen, men ingen vård utöver detta), enklare sjukvård samt fredsmässig intensivvård.

Man kan notera att verkansradien för värme-strålning ökar markant när vi går från 1 till 10 kt. Värmestrålningen får större och större betydelse med ökande laddningsstyrka, relativt andra verkansformer, vilket har föranlett att laddningar av megatonstyrka ibland betecknats som ”brandvapen”. För initialstrålningen är ökningen betydligt mindre, vilket beror på att initialstrålningen absorberas i luften. Detta har till följd att initialstrålningen får mindre och mindre betydelse med ökande laddningsstyrka, relativt andra verkansformer. Dessa slutsatser kan visualiseras genom att skissa verkansradierna, se figur 15.

8.7 Verkan mot pansarfordon

Följande exempel visar bland annat hur tabell 1 används: En kärnladdning med styrkan 21 kt exploderar på 430 m höjd, se figur 16. Vilken effekt kan förväntas mot en stridsvagn med besättning?

Lösning:

Inledningsvis är det av intresse att ta reda på explosionstypen. Genom menyvalen Fysikalisk

miljö; Allmänt; Försumbart lokalt nedfall, finner vi att höjden för försumbart lokalt nedfall vid 21 kt är ungefär 190 m, vilket är klart mindre än explosionshöjden. Det är alltså frågan om en luftexplosion.

Stötvågsverkan kan förstöra stridsvagnar vid tillräckligt höga övertryck. För att bestämma verkansradien använder vi tabell 1, där det anges att svår skada på stridsvagn kräver ett statistiskt övertryck på 550 kPa vid laddningsstyrkan 1 kt. För att bestämma verkansradien i det aktuella fallet, börjar vi med att skala om explosionshöjden 430 m till den ekvivalenta höjden för 1 kt: $h_1 = 430/W^{1/3} = 155.9$ m. Därefter räknar vi ut verkansradien vid denna höjd för 1 kt, menyval Fysikalisk miljö; Luftstötvåg; Beräkning av avstånd...; Statistiskt tryck, och finner radien 60 m för 1 kt. Slutligen skalas denna radie till 21 kt, enligt $R = R_1 W^k$, där exponenten i detta fall är 0.4 enligt tabell 1. Resultatet blir ca 200 m. Detta svarar mot ett statistiskt övertryck på ca 510 kPa. Som jämförelse är det statistiska övertrycket vid nollpunkten (rakt under explosionen) ca 670 kPa.

Värmestrålningen bör inte ha någon större



Figur 15: Verkansradier för luftexplosioner med styrkan 1 kt och 10 kt. Röda cirklar avser tredje gradens brännskada, medan vita cirklar anger LD50 för joniserande initialstrålning. Satellitbilden är hämtad med hjälp av Google Earth.



Figur 16: Kärnladdningsprovet Buster Dog genomfördes i Nevada 1951-11-01. Explosionen skedde 430 m över markytan, och laddningsstyrkan var 21 kt. Soldaterna har just klivit upp ur sina skyddsgropar, och befinner sig ca 10 km från nollpunkten. Eftersom det var fråga om en luftexplosion, skedde inget lokalt radioaktivt nedfall (däremot bör neutroninducerad aktivitet genererats nära nollpunkten). Bild: Los Alamos National Laboratory.

effekt i detta fall, men det kan ändå vara intressant att bestämma bestrålningen vid nollpunkten, menyval Fysikalisk miljö; Värmestrålning; Beräkning av belastningsvärde...; Bestrålning; Grundfall utan reflektion. Med nollpunktsavstånd 0 m och god sikt (20 000 m) finner vi att bestrålningen rakt under explosionen är ca $13\,500\text{ kJ/m}^2$.⁵

Slutligen beaktar vi verkan på stridsvagnsbesättningen från den joniserande initialstrålningen. Vi antar fallet att ingen sjukvård är tillgänglig. Kriteriet på dosekvivalenten vid människa är då 4.5 Sv. I beräkningsprogrammet väljs Verkan på män-

niska; Initialstrålning; Beräkning av verkansradie; Fission; LD50-värde; Endast omhändertagande. Enligt tabell 4 ger stridsvagn ett skydd motsvarande skyddsfaktor 0.5, vilket innebär att strålningsnivåerna är halverade inne i fordonet, jämfört med omgivningen utanför (det krävs alltså 9 Sv för att man ska kunna uppnå 4,5 Sv inne i fordonet). Vi finner att verkansradien är ca 1 250 m. Värdet utan skydd är marginellt större: knappt 1 400 m. Om fordonet skulle ge ett betydligt bättre skydd, säg skyddsfaktor 0.1 (45 Sv utanför), blir radien ca 950 m.⁶

⁵ Detta kan tyckas mycket, men om strålningsenergin fördelas jämnt i en decimetertjock stålplåt, hettas denna upp knappt 40 grader (vilket i och för sig är nog så obehagligt om man sitter i fordonet). Alternativt, om strålningen absorberas i den yttre ytan, räcker energin till att smälta knappt två millimeter av stålplåten.

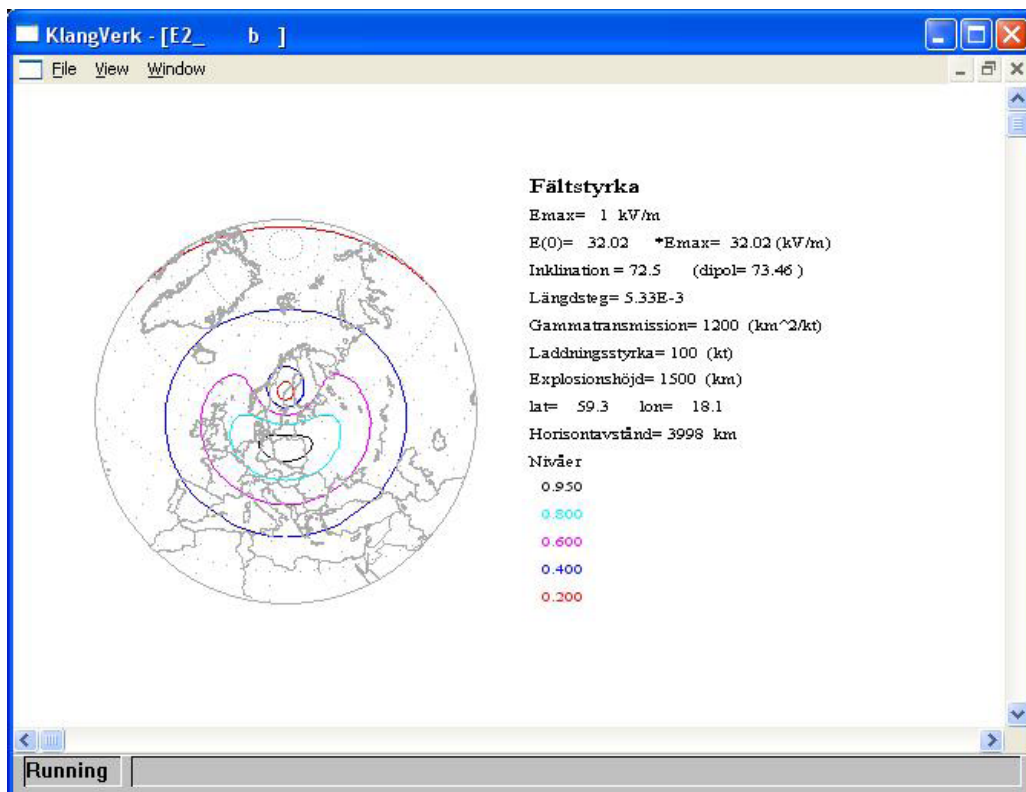
⁶ Som kuriosum kan nämnas att dosekvivalenten vid nollpunkten är runt 3 200 Sv.

8.8 Elektromagnetisk puls

En kärnladdning med styrkan 100 kt exploderar på 1 500 km höjd ovanför Stockholm. Var kommer toppvärdet för den elektriska fältstyrkan vara maximalt? Inklinationen för jordmagnetiska fältet i Stockholm (N 59.3°, E 18.1°) antas vara 72.5°. Gammatransmissionen sätts till 1 200 km²/kt.

Lösning:

Välj verkansform EMP, och ange parametrar enligt ovan. Av den resulterande plotten av nivåkurvor, figur 17, framgår att fältstyrkan kommer att vara maximal i Polen.



Figur 17: Nivåkurvor för den elektriska fältstyrkan från en 100 kt kärnladdning med explosionshöjd 1 500 km rakt ovanför Stockholm. Fältstyrkans maxvärde uppnås i Polen. Kartbildens yttre, cirkulära, begränsning är horisonten sett från explosionspunkten. Detta är också gränsen för det område som berörs av EMP-effekter.

9. Ordlista

Alfapartikel: partikel som utsänds vid vissa Radioaktiva sönderfall. se vidare Alfastrålning.

Alfastrålning: Joniserande strålning med hög förmåga att Jonisera, men kort räckvidd. Skador från alfastrålning är av betydelse främst om man har fått det alfastrålande ämnet internt i kroppen. Vid verkan från Kärnladdningar är alfastrålningen av ringa betydelse.

Atmosfärisk explosion: samlingsnamn för Luft- och Ytexplosioner.

Atombomb: föråldrad, oegentlig beteckning på Fissionsladdning.

Avsvalningsvåg: process under Eldklotets senare utveckling. Se vidare Frikoppling.

Basdrag: Radioaktivt stoft som rör sig radiellt ut från Nollpunkten vid Ytexplosion. Vid explosion under eller över vatten består basdraget av en vattendimma och kallas Dimvåg.

Begränsad tjänstbarhet: se Tjänstbarhet.

Belastning: den fysikaliska storhet som är relevant vid ett visst Skadekriterium.

Bestrålning: intensiteten för Värmestrålning integrerad över tiden som strålningen verkar. Mäts i enheten kilojoule per kvadratmeter [kJ/m²].

Betabrännskador: brännskador till följd av Betastrålning avgiven av Radioaktivt nedfall.

Betapartikel: partikel som utsänds vid vissa Radioaktiva sönderfall. se vidare Betastrålning.

Betastrålning: Joniserande strålning med måttlig förmåga till Jonisation och måttlig räckvidd. Vid verkan från Kärnladdningar är betastrålningen av mindre betydelse.

Boostrad laddning: Fissionsladdning där högenergetiska Neutroner från en liten mängd fusionsmaterial bidrar till en förbättrad förbränning av det fissila materialet. Fusionreaktionerna i sig utgör en försumbar del av Laddningsstyrkan.

Breakaway: se Frikoppling.

Comptonelektroner: elektroner som slås loss när Gammafotoner kolliderar med atomer. Comptonelektronerna kan bidra till uppkomsten av Elektro-

magnetisk puls.

Dimvåg: se Basdrag.

Direkta övertrycksskador: Se Primära stötvågs-skador.

Direkt markstötvåg: Se Markstötvåg.

Direktverkan: den del av Kärnladdningars verkan som genereras inom en minut från explosionsögonblicket. Innefattar Stötvåg, Värmestrålning, Joniserande initialstrålning och delar av Elektromagnetisk puls.

Dos: se Stråldos.

Dosekvivalent: används i strålskyddssammanhang då man tar hänsyn till de olika strålningsslagens verkan på biologisk materia. Detta görs genom att vikta de olika strålningsslagen med så kallade kvalitetsfaktorer. Dosekvivalent mäts i enheten sievert [Sv]. Se även Stråldos.

Dubbelblix: se Värmestrålning.

Dubbelpuls: se Värmestrålning.

Dynamiskt tryck: tryck som uppstår till följd av Stötvågsvinden. Mäts i enheten kilopascal [kPa]. Se även Stötvåg.

Ej tjänstbar: se Tjänstbarhet.

Ekvivalent dos: se Dosekvivalent.

Ekvivalent höjd: explosionshöjd h_1 för Laddningsstyrkan 1 kt. Höjden h skalas sedan med Laddningsstyrkan W enligt $h = h_1 W^{1/3}$.

Eldklot: Laddningsrester och, i förekommande fall, luft, upphettade av Kärnladdningsexplosionen till så hög temperatur att de lyser.

Elektromagnetisk puls: elektromagnetiska signaler genererade vid Kärnladdningsexplosion. Verkan sker främst på elektroniska komponenter och ledningsnät.

EMP: se Elektromagnetisk puls.

Explosionstyp: indelning av Kärnladdningsexplosioner beroende av vilket medium explosionen sker i. Se vidare Höghöjdsexplosion, Luftexplosion, Ytexplosion, Underjordisk explosion, Undervattens-explosion.

Fission: klyvning av atomkärna.

Fissionsandel: andel av den totala explosionsenergin som härrör från Fission. Resten av energin kommer från Fusion. I en Fissionsladdning är Fissionsandelen 100 %, medan en typisk Fusionsladdning kan ha en Fissionsandel på 50 %.

Fissionsladdning: Kärnladdning där den frigjorda energin till allra största delen kommer från Fission.

Fissionsprodukter: kärnor som uppstår till följd av att en atomkärna Fissionerat. Fissionsprodukterna är i regel Radioaktiva med korta Halveringstider.

Frikoppling: fas i Eldklotets utveckling, då Stötvågen svalnat och blivit genomskinlig, varvid eldklotet istället utgörs av de heta gaser som finns innanför stötvågen.

Fusion: sammanslagning av atomkärnor.

Fusionsladdning: Kärnladdning där stor del av den frigjorda energin härrör från Fusion.

Förlöpare: Stötvåg som löper längs markytan före den egentliga stötvågen. Uppstår genom att Värmestrålningen värmt upp markytan, och därigenom också luften närmast marken, vilket leder till en högre stötvågshastighet där.

Förskjutning: markens rörelse vid Markstötvåg. Mäts i enheten meter [m].

Gammafoton: se Gammastrålning.

Gammastrålning: fotoner med hög energi som genereras vid Kärnreaktioner och Radioaktivt sönderfall.

Globalt nedfall: Radioaktiva stoftpartiklar som är för små för att falla till marken i anslutning till explosionen. Se även Urtvättning.

Ground Zero: se Nollpunkt.

Halveringstid: den tid på vilket hälften av alla atomkärnor av ett Radioaktivt ämne har Sönderfallit. Ju kortare halveringstiden är, desto aktivare är ämnet.

HEMP: se Höghöjds-EMP.

Höghöjds-EMP: Elektromagnetisk puls genererad vid Höghöjdsexplosion.

Höghöjdsexplosion: Kärnladdningsexplosion i rymden eller i atmosfärens övre delar, ovanför 30 km höjd.

Inneslutning: se Underjordisk explosion.

Isoterm sfär: det inre av Eldklotet, där temperaturen är ungefär densamma i hela sfären.

Jonisation: bortslagning av elektroner från atomer. se vidare Joniserande strålning.

Joniserande initialstrålning: Joniserande strålning som avges inom en minut från explosionsögonblicket. Den för verkan mest relevanta strålningen är Neutroner och Gammafotoner.

Joniserande strålning: strålning med så hög energi att den förmår Jonisera atomer. Exempel är Neutroner, Gammafotoner, Alfastrålning, Betastrålning, och i viss mån Röntgenstrålning.

Kavititet: hålrum som bildas vid Underjordisk explosion.

Kiloton: se Laddningsstyrka.

Kvalitetsfaktor: se Dosekvivalent.

Kvarvarande strålning: den Joniserande strålning som avges från och med en minut efter explosionsögonblicket. Består i första hand av Radioaktivt nedfall, vars aktivitet främst kommer från Fissionsprodukter, men även i förekommande fall från plutonium eller andra tunga kärnor. Till den kvarvarande strålningen räknas också Neutroninducerad aktivitet.

Kärnladdning: arrangemang där stor mängd energi på kort tid frigörs genom Kärnreaktioner.

Kärnladdningsexplosion: se Kärnladdning.

Kärnreaktion: reaktion i atomkärna. De för energifrigörelse i Kärnladdningar intressanta reaktionerna är Fission och Fusion.

Kärnvapen: vapensystem vars aktiva del utgörs av en Kärnladdning.

Laddningsrester: de mer eller mindre Joniserade resterna av Kärnladdningen efter explosionen.

Laddningsstyrka: mängden frigjord energi från en Kärnladdning. Anges vanligen i kiloton [kt] eller megaton [Mt]. 1 kt motsvarar $4.2 \cdot 10^{12}$ joule frigjord energi, och 1 Mt motsvarar 1 000 kt. Den relativa andelen av laddningsstyrkan för de olika Verkansformerna varierar med laddningsstyrka och Explosionstyp. För Luftexplosion av en Fissionsladdning är fördelningen ungefär 50 % Stötvåg, 35 % Vär-

mestrålning, 5% Joniserande initialstrålning och 10 % Kvarvarande strålning. EMP utgör mindre än 0.01 % av laddningsstyrkan. Stötvågen för en Kärnladdning på 10 kt motsvarar alltså stötvågsmässigt "bara" 5 kt explosivämne.

Laddningstyp: se Fissionsladdning, Fusionsladdning, Neutronbomb.

LD50: Verkanskriterium motsvarande 50% dödlighet, t ex vid akut strålskada.

Lokalt nedfall: Radioaktivt nedfall i anslutning till explosionsplatsen.

Luftexplosion: Kärnladdningsexplosion i atmosfären under 30 km höjd, men på så hög höjd att inget markmaterial sugts upp och kontamineras. Det Radioaktiva stoft som bildas av att Laddningsresterna kondenserar består av så små partiklar att det Lokala nedfallet vanligen är försumbart för luftexplosioner. Se även Globalt nedfall, Urtvättning.

Luftstötvåg: Stötvåg i luft.

Luftstötvågsinducerad markstötvåg: se Markstötvåg.

Machfront: förstärkt Stötvåg som uppstår nära markytan vid Luftexplosion, genom att den reflekterade stötvågen hinner ikapp och samverkar med den oreflekterade stötvågen.

Magnetohydrodynamisk EMP: lågfrekvent Elektromagnetisk puls, genererad vid Höghöjdsexplosion.

Mark-EMP: Elektromagnetisk puls genererad vid Kärnladdningsexplosion nära markytan.

Markstötvåg: Stötvåg i marken. Vid Yt- och Underjordiska explosioner kopplar explosionen direkt till marken vilket genererar en direkt markstötvåg. När en luftstötvåg reflekteras mot, eller propagerar längs, marken genereras också en markstötvåg.

Medelfriväg: den sträcka som en viss typ av strålning eller partikel i medeltal kommer i ett visst material, innan den kolliderar.

Megaton: se Laddningsstyrka.

MHD-EMP: se Magnetohydrodynamisk EMP.

Nedfall: se Kvarvarande strålning.

Neutron: elektriskt oladdad partikel i atomkärnor. Avges i vissa Kärnreaktioner.

Neutronbomb: beteckning på Kärnvapen där Kärn-

laddningen utformats så att Neutroner i så stor utsträckning som möjligt avgas. En större andel av Laddningsstyrkan avgas alltså som Neutroner, vilket inte innebär att andra Verkansformer, såsom Stötvåg och Värmestrålning, uteblir.

Neutronfluens: antal Neutroner per ytenhet. Neutronfluensen är den tidsintegrerade neutronflödestätheten. Mäts i enheten Neutroner per kvadratmeter [$1/m^2$].

Neutroninducerad aktivitet: uppstår genom att Neutroner i den Joniserande initialstrålningen ger upphov till reaktioner i atomkärnor i omgivande material, till exempel marken. Se även Kvarvarande strålning.

Nollpunkt: den plats på jordytan som befinner sig rakt under en Luftexplosion, eller rakt ovanför en Underjordisk explosion.

Primära stötvågsskador: skador på människa som är en direkt följd av det höga Statiska övertrycket i en Luftstötvåg. Det handlar främst om skador på luftfyllda organ, som lungor och tarmar. Ett specialfall är skada på trumhinnorna.

Prompta gammafotoner: se Joniserande initialstrålning.

Prompta neutroner: se Joniserande initialstrålning.

Radioaktiv: ett ämne är radioaktivt om dess atomkärnor kan sönderfalla och därvid sänder ut Joniserande strålning. Aktiviteten mäts i enheten bequerel [Bq], där 1 Bq motsvarar ett sönderfall per sekund.

Radioaktivt nedfall: se Kvarvarande strålning.

Radioaktivt sönderfall: se Radioaktiv.

Rekombination: process då joner och fria elektroner kombineras till atomer och molekyler igen.

Röntgenstrålning: högenergetisk elektromagnetisk strålning. Värmestrålningen under det tidiga explosionsförloppet består till största delen av röntgenstrålning, och bidrar till Eldklotets inledande tillväxt. Dessutom avgas röntgenstrålning vid Höghöjdsexplosioner, vilken kan slå ut satelliter och liknande system. Se även Strålningstillväxt.

Sekundära stötvågsskador: skador på människa till följd av att lösa föremål slungas iväg av den kraftiga Stötvågsvinden.

SGEMP: se Systemgenererad EMP.

Skadekriterium: specifikation av villkor för skada av viss omfattning på ett givet mål. Uttrycks vanligen som ett värde för en fysikalisk storhet. Se även Verkansradie.

Skyddsfaktor: faktor som används för att räkna om Stråldosen i det fria till stråldosen inne i ett visst skydd. Exempel: om ett skydd förmår nedbringa stråldosen till en tiondel av värdet som råder utan skydd, har skyddet skyddsfaktorn 0.1.

Statiskt övertryck: mäts i enheten kilopascal [kPa]. Se vidare Stötvåg.

Statisk impuls: det Statiska övertrycket integrerat över tiden som övertrycket verkar. Mäts i enheten kilopascalsekund [kPas].

Stråldos: mängden absorberad energi per massenhet från Joniserande strålning. Mäts i enheten gray [Gy], vilket är [J/kg]. Se även Dosekvivalent.

Strålningstillväxt: den första fasen av Eldklotets utveckling, då tillväxten sker genom att Värmestrålningen tränger ut i den omgivande luften, som hettas upp.

Stötvåg: skarp tryckökning som bildas vid explosioner i ett medium, till exempel luft. Dess hastighet är större än (eller lika med) ljudhastigheten i materialet som den propagerar i. Den primära verkan från stötvågor hörhör från det Statiska övertrycket. Det uppstår även ett Dynamiskt tryck orsakad av en kraftig Stötvågsvind.

Stötvågstillväxt: fas i Eldklotets utveckling för Atmosfärisk explosion, när det tillväxer genom att Stötvågen, som är så het att den lyser, breder ut sig i den omgivande luften.

Stötvågsvind: vind som uppkommer genom att luftmassan bakom Stötvågen rör sig. Dess hastighet mäts i enheten meter per sekund [m/s]. Se även Stötvåg.

Systemgenererad EMP: Elektromagnetisk puls som genereras när Gammafotoner träffar ett system, till exempel en satellit.

Sönderfall: se Radioaktiv.

Termonukleär laddning: Fusionsladdning. Termen syftar på det faktum att extremt höga temperaturer krävs för att få igång fusionsreaktioner.

Tertiära stötvågsskador: skador på människa till följd av att på grund av Stötvågsvinden ha slungats

mot föremål, eller tumlat längs med marken.

Tjänstbarhet: En fullt tjänstbar person kan fullgöra sina ordinarie (militära) uppgifter till minst 75%. Begränsad tjänstbarhet innebär mellan 25% och 75% av ordinarie förmåga, medan "ej tjänstbar" person kräver vård.

Transmittans: mått på Värmestrålningens energi på ett givet avstånd från explosionspunkten jämfört med motsvarande energi i vakuum. Transmittansen representerar effekten av spridning och absorption i atmosfären, och beror bland annat av sikten.

Underjordisk explosion: Kärnladdningsexplosion under markytan. En underjordisk explosion kan vara mer eller mindre innesluten, varmed menas den grad till vilken kraterbildning och Radioaktivt utsläpp undviks.

Undervattensexpllosion: Kärnladdningsexplosion under vattenytan.

Urtvättning: Radioaktivt nedfall som når marken på grund av att nederbörd "tvättar ur" stoft i atmosfären. Stoft som annars hade spritts globalt kan ge Lokalt nedfall på detta sätt. Se även Globalt nedfall.

Vattenstötvåg: Stötvåg i vatten.

Verkansformer: de olika former av verkan som uppstår vid en Kärnladdningsexplosion. De viktigaste verkansformerna är Stötvåg, Värmestrålning, Joniserande initialstrålning, Kvarvarande strålning, samt Elektromagnetisk puls.

Verkansradie: det avstånd vid vilket ett givet Skadekriterium är uppfyllt. Se även Skadekriterium.

Värmeandel: den andel av Laddningsstyrkan som avges i form av Värmestrålning.

Värmestrålning: strålning som avges till följd av de höga temperaturer som råder i anslutning till en Kärnladdningsexplosion. Vid Atmosfäriska explosioner avges den som en karakteristisk "dubbelpuls", medan det vid Höghöjdsexplosioner väsentligen är en enda puls.

Vätebomb: föråldrad beteckning på Fusionsladdning.

Ytexplosion: Kärnladdningsexplosion som sker så pass nära marken att Eldklotet når marken. Betydande Lokalt nedfall kan därför förväntas. Se även Luftexplosion.

9.1 Enheter

Beteckning	Namn	Exempel på storheter
Gy	gray	total stråldos, neutrondos, gammados
Gy/h	gray per timme	dosrat
kJ/m ²	kilojoule per kvadratmeter	bestrålning
kPa	kilopascal	statiskt övertryck, dynamiskt tryck
kPas	kilopascalsekund	statisk impuls
kt	kiloton	laddningsstyrka
1/m ²	neutroner per kvadratmeter	neutronfluens
m	meter	explosionshöjd, avstånd, kraterdimensioner, kavitetens dimensioner, förskjutning, våghöjd, eldklotsradie
m/s	meter per sekund	stötvägsvindens hastighet, förskjutningshastighet
m/s ²	meter per sekundkvadrat	förskjutningsacceleration
Mt	megaton	laddningsstyrka
s	sekund	stötvägens ankomsttid, statiska tryckets varaktighet, tid till strålningsmaximum
Sv	sievert	ekvivalent total stråldos, ekvivalent neutrondos, ekvivalent gammados

9.2 Enhetsomvandlingar

Alternativ enhet	Värde
1 atm	98 kPa
1 cal/cm ²	42 kJ/m ²
1 Mt	1 000 kt
1 psi	6.895 kPa
1 rad	0.01 Gy
1 rem	0.01 Sv

Den äldre enheten röntgen [R] för exposition motsvarar ungefär en stråldos på 1 rad: 1 R ~ 1 rad = 0.01 Gy.

10. Referenser

Bergman, R. m.fl.: ”Radioaktivt nedfall från kärnvapen”, FOA rapport A40043-A3 (1983); ”Radiak” FOA rapport A40064-4.3 (1991).

Bethe, H. A.: ”Theory of the Fireball”, Los Alamos Report LA-3064 (1964).

Björklund, L., G. Danielson och O. Schelin: ”IDOS. Datorprogram för beräkning av verkan av joniserande initialstrålning från kärnvapen”, FOA rapport, D 20202-4.2 (1992a).

Björklund, L., G. Danielson, O. Schelin och L. Wigg: ”QBER. Datorprogram för beräkning av värmestrålningsverkan från kärnvapen”, FOA rapport, D 20210-4.2 (1992b).

Björklund, L. och G. Danielson: ”TRYCK. Datorprogram för beräkning av stötvägsverkan från kärnvapen”, FOA rapport, D 20222-4.2 (1993a).

Björklund, L., G. Danielson, O. Schelin och L. Wigg: ”PC-program för verkan av kärnvapen. Luft- och vattenstötväg, värmestrålning samt joni-

serande initialstrålning”, FOA rapport, C 40314-4.1 (1993b).

Brode, H. L.: ”Review of Nuclear Weapons Effects”, Ann. Rev. Nucl. Sci. 18, s. 153 - 202 (1968).

CNW: se Dolan (1978).

Dolan, P. J. (ed.): ”Capabilities of Nuclear Weapons”, Defense Nuclear Agency (1978).

ENW: se Glasstone och Dolan (1977).

FortH 2: ”Fortifikationshandbok del 2”, Försvarsmedia (1991).

Glasstone, S. och P. J. Dolan (eds.): ”The Effects of Nuclear Weapons” (3rd ed.), US Departments of Defense and Energy (1977).

SkyddsR F Stab: ”Skyddsreglemente för försvarsmakten Stab”, Försvarsmedia (1991).

Wigg, L.: ”Handbok i kärnvapenverkan”, FOA rapport, R--96-00378-4.1--SE (december 1996).