

FOA ORIENTERAR OM

Kärnvapen



FOA orienterar **Om** Kärnvapen

Nummer **15**
1990

Beställningar av "FOA orienterar om kärnvapen" görs hos Försvarets forskningsanstalt (FOA), 172 90 Sundbyberg, 08-663 15 00.

ISBN 91-7056-076-5

Innehåll

Förord	3
De första åren	4
Kärnladdningars fysik	6
Kärnvapentechnik	11
Verkansformernas uppkomst	18
Stötvågen	23
Värmestrålningen	26
Brand	28
Joniserande strålning	30
Joniserande strålning från kärnvapenexplosioner	32
Strålskador på elektronisk och optisk materiel	38
Strålskador på människa	40
Radioaktivitet i livsmedel	45
EMP	47
Verkan och skydd: samlad syn	50
Vapensystem och arsenaler	55
Doktrinutveckling	61
Rustningsbegränsande avtal	63
Kärnvapenspridning	64
Prov, civil användning och detektion	67
Kärnvapenkriget	72
Sverige och kärnvapnen	79
Litteratur	82

Bilder till detta OM-nummer har välvilligt ställts till förfogande av The Japan Peace Museum, U.S. Air Force, National Archives, Washington D.C., Los Alamos National Laboratory och Lawrence Livermore National Laboratory.

Ansvarig utgivare: Bo Rybeck **Redaktör:** Ulf Ivarsson **Redaktionskommitté:** Tor Larsson, Gunnar Persson, Kerstin Rosander, Lars Stenholm **Medverkande experter:** Gunnar Arbman, Håkan Axelson, Göran Danielson, Lars-Erik De Geer, Anders Fröman, Gunnar Göransson, Kerstin Kocken, Tor Larsson, Stig Lindqvist, Bengt Onnermark, Kerstin Rosander, Ole Schelin, Bo Sjöholm, Lars Göran Strömberg, Lennart Thaning, Thomas Ulvsand, Marianne Wickman, Lars Wigg, Hans-Olov Zetterström **Omslag:** Barbro Forsberg **Teckningar, diagram och layout:** Magnus Aspelin **Tryck:** Ljungföretagen, Örebro 1990

Förord

Kärnvapen har spelat en unik roll under de 45 år de nu har funnits. De har hittills bara använts i krig i form av de två bomberna mot Japan 1945. Trots detta har de sedan andra världskriget haft en central betydelse för stormakternas säkerhetspolitik och militära strategi. De har stått i fokus i förhandlingar om rustningskontroll och nedrustning. Kärnvapennyheter har ofta blivit förstasidesstoff och utlöst heta debatter och kraftiga opinionsyttringar. Hotet om ett förödande kärnvapenkrig upplevs av många som en plågsam realitet.

I serien OM-nummer publicerades 1965 "FOA orienterar om A-stridsmedel". Då hade alla de nuvarande fem kärnvapenmakterna gjort sina första provsprängningar. Supermakterna, särskilt USA, hade stora arsenaler med kärnstridsdelar till många olika typer av såväl taktiska som strategiska vapensystem. Många väntade sig att "kärnvapenklubben" snart skulle få fler medlemmar. I Sverige hade frågan om egna kärnvapen debatterats intensivt, och slutsatsen att en anskaffning inte var ett svenskt intresse var

visserligen ett faktum men hade ännu inte bekräftats formellt.

Sedan 1965 har mycket hänt i vår omvärld. Arsenalerna har utvecklats, framför allt kvalitativt, och sedan 10 à 15 år har supermakterna ungefär likvärdiga kapaciteter. Idéer om ett försvar mot strategiska robotar har åter blivit aktuella. Neutronvapen och kryssningsrobotar har introducerats. Atomvintern har upptäckts som en möjlig konsekvens av ett globalt kärnvapenkrig. Den uppfattning som började växa fram på 1960-talet, att kärnvapen är politiska instrument snarare än militärt användbara stridsmedel, har bekräftats alltmer: "Ett kärnvapenkrig har endast förlorare".

OM-numret 1965 behandlade huvudsakligen verkan av och skydd mot kärnvapen (med undantag för EMP, vars betydelse som verkansform klarlagts först senare). Sedan 1965 har mängden litteratur om kärnvapen ökat kraftigt. Även om alljämt vissa delar är sekretessbelagda finns det i dag ingen brist på allmänt tillgänglig information om den historiska utvecklingen, kärnvapentechniken, de möjliga konse-

kvenserna av kärnvapenkrig och säkerhetspolitiska analyser. Det nya OM-numret bygger på denna litteratur och FOAs egna studier och bedömningar. Avsikten är att ge en bred läsekrets en saklig, sammanfattande beskrivning med en giltighet som inte begränsas till just nu rådande förhållanden.

Man kan nu skönja åtskilliga tecken på att supermakterna anser sig mindre beroende av kärnvapen. Överenskommelser som redan träffats eller som diskuteras innebär en minskning av arsenalerna och inte enbart ett tak för kapprustningen. Steget till en kärnvapenfri värld är dock mycket långt och kanske inte ens möjligt att ta. Inom det svenska totalförsvaret har FOA ett särskilt ansvar för ABC-stridsmedel och kommer inom ramen för detta att följa utvecklingen även i fortsättningen.



Tor Larsson är huvudansvarig för kärnvapenfrågor på FOA.

De första åren

I södra New Mexico, USA, öster om Rio Grande, ligger Jornada del Muerto, Dödens väg, ett ökenområde där många pionjärer dukat under för hetta, torka och svält. Här, tio mil från staden Alamogordo, exploderade världens första kärnladdning den 16 juli 1945. Explosionen utvecklade lika mycket energi som 19 000 ton trotyl. Detta prov, med kodnamnet Trinity, genomfördes av det hemliga amerikanska Manhattanprojektet, som engagerat stora forskningsgrupper i Los Alamos under Robert Oppenheimer och på andra platser. Explosiv frigörelse av kärnenergi hade visat sig möjlig, en tanke som under krigsåren sysselsatt forskargrupper i flera länder sedan Otto Hahn och Fritz Strassmann 1938 upptäckt kärnklyvningen. Inom Manhattanprojektet startades också den 2 december 1942 den första kärnreaktorn under Enrico Fermis ledning.

Hela världen blev medveten om Trinityprovets oerhörda betydelse då kort därefter bomberna fälldes mot Hiroshima den 6 augusti och

mot Nagasaki den 9 augusti. Förlustsiffrorna i Hiroshima och Nagasaki har uppskattats till mellan 150 000 och 200 000 döda och saknade. Förödelsen och förlusterna i Hiroshima var jämförliga med vad som drabbat Dresden ett halvår tidigare. Men här hade *ett* plan, med *en* bomb, åstadkommit samma skada som cirka 2 000 bombplan gjort i Dresden.

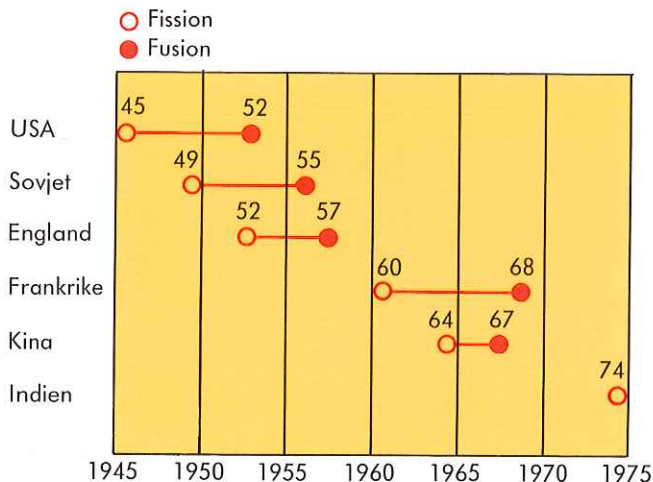
Bedömningarna av de framtida konsekvenserna av de nya vapnen varierade kraftigt. Redan 1945 framfördes åsikter som att krig inte längre var möjligt och att ett verktyg skapats för jordens undergång. En ny era i mänsklighetens historia, atomåldern, hade inletts.

Den 14 augusti kapitulerade Japan och andra världskriget var därmed slut. I USA fortsatte man att utveckla och tillverka kärnvapen. Det amerikanska monopollet bröts då Sovjetunionen sprängde sin första fissionsladdning den 29 augusti 1949. Tre år senare gjorde Storbritannien sitt första prov. Kärnvapenklubben vidgades därmed ytterligare.



I gryningen den 16 juli 1945 exploderade världens första kärnladdning, "Trinity", i södra New Mexico, USA (se kartan härintill). Laddningen hade konstruerats i Los Alamoslaboratoriet som byggdes upp inom Manhattanprojektet och som alljämt är ett av USAs viktigaste kärnvapenlaboratorier. Provladdningen placerades på ett 30 m högt torn. Laddningen var av implosionstyp med ungefär 6 kg plutonium och gav en explosionsstyrka av cirka 19 kt.

Foto: Los Alamos National Laboratory



Diagrammet visar när kärnvapenländerna gjorde sina första prov med fissions- respektive fusionsladdningar. Sovjet ansågs länge ha sprängt sin första fusionsladdning 1953, men nya uppgifter anger årtalet 1955.

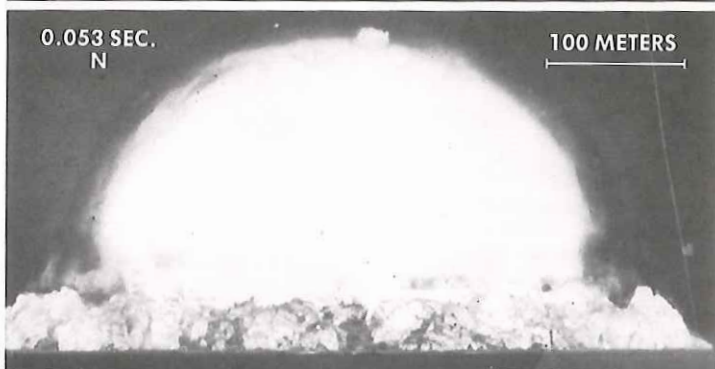
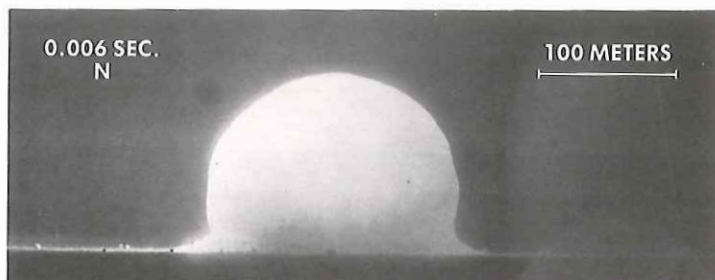
Samtidigt som man i USA provade allt fler fissionsladdningar, arbetade man på en fusionsladdning, en "vätebomb", som skulle kunna ge avsevärt större laddningsstyrka. Den 31 oktober 1952 provsprängde USA sin första väteladdning vid Eniwetakatollen i Stilla Havet. Den utvecklade en energi motsvarande 10 miljoner ton trotyl. Sovjetunio-



nens första fusionsladdningsprov ägde rum i november 1955.

Under samma period arbetade USA också på att konstruera små kärnvapen för taktiskt bruk, främst för den europeiska scenen. Den första kärnladdade artillerigranaten provades 1953 i Nevada.

Kärnvapenkapprustningen mellan supermakterna hade nu börjat, även om den sköt fart på allvar först mot slutet av 1950-talet. När Sovjetunionen år 1957 sände upp "Sputnik", visade de att de i princip kunde skjuta kärnvapenbärande raketer direkt mot USA. Det ledde till att man i USA började bygga sådana vapen i snabb takt. Dessa placerades både på land och ombord på ubåtar, men även det tunga bombflyget behölls och moderniserades. Utvecklingen i Sovjetunionen blev likartad men långsammare.



Bildsekvensen visar utvecklingen av eldklotet vid Trinityprovet. Tiderna räknas från initieringen och mätstickan anger 100 m. Den understa bilden visar det typiska svampmolnet fotograferat från ett avstånd av ungefär 10 km. Bullret från explosionen hördes på åtta mils avstånd. Ljusskenet observerades 40 mil därifrån.

Foto: Los Alamos National Laboratory

Kärnladdningars fysik

Vid en kärnladdningsexplosion åstadkoms en explosiv frigörelse av energi genom reaktioner med atomkärnor. De processer som utnyttjas är såväl klyvning av tunga kärnor (fission) som sammansmältning av lätta (fusion). Man talar därför om två huvudtyper, fissionsladdningar och fusionsladdningar. Varje fusionsladdning innehåller dock en fissionsdel.

I ett konventionellt sprängämne utvecklas energin genom kemiska reaktioner, dvs omfördelningar av atomer mellan molekyler. De bindningar som håller samman atomkärnornas beståndsdelar, protonerna och neutronerna, är av storleksordningen en miljon gånger starkare än de bindningar som håller samman atomerna i molekyler. Det är därför som oerhört mycket större energimängder frigörs då reaktionerna sker med atomkärnor, och det är detta som äger rum i kärnreaktorer och vid kärnladdningsexplosioner. Likaså är det processer av denna typ som svarar för energiproduktionen i solen och andra stjärnor.

Terminologi

Terminologin på detta område är oprecis. Med "kärnladdning" menar man i regel enbart den explosiva anordningen med det minimum av kringutrustning som krävs för att explosionen ska kunna utlösas. Ordet "kärnvapen" antyder att kärnladdningen kompletterats med olika säkerhets- och armeringsmekanismer m m samt att alltsammans byggts in i ett lämpligt hölje för att bli praktiskt användbart. Ibland räknas även vapenbäraren in i begreppet kärnvapen.

I äldre litteratur förekommer en del beteckningar som numera sällan används. Man talade från början om "atombomber" eller "atomvapen" istället för "kärnvapen". Efter fusionsladdningarnas tillkomst betyd-

de atomvapen i regel ett vapen med fissionsladdning, men även uttrycket "uranbomb" eller "plutoniumbomb" förekom. Vapen med fusionsladdning å sin sida kallades, och kallas ibland fortfarande, "vätebomber" eller "termonukleära vapen".

Fissionsladdningar

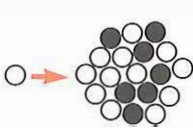
Vissa tunga atomkärnor, framför allt av uran och plutonium, klyvs i två delar då de träffas av en neutron. I samband med klyvningen utsänds två à tre neutroner. ● dessa s k fissionsneutroner kan fås att träffa nya kärnor som klyvs och sänder ut nya neutroner som i sin tur klyver nya kärnor osv, uppstår en *kedjereaktion*. Sannolikheten för att en kärna ska klyvas när den träffas av en neutron beror på neutronens hastighet (energi). Det är ganska få kärnor som både kan klyvas av fissionsneutronerna och som samtidigt går att framställa i större mängder.

I kärnladdningar används uran eller plutonium som innehåller höga halter (mer än 90 procent) av isotoperna uran 235 respektive plutonium 239. Som alternativ till dessa diskuteras ibland andra isotoper och

ämnen som kan framställas i reaktorer eller acceleratorer. Uran 233 har egenskaper som skulle göra denna isotop användbar, men har såvitt känt inte använts i kärnvapen. Orsaken är att materialet är svårhanterligt, eftersom det vid framställningen även bildas andra isotoper som utsänder kraftig gammastrålning. Vissa tunga ämnen, t ex californium, har kritiska massor (definition, se nedan) som är mindre än plutoniums. Dessa ämnen är mycket dyra, kraftigt radioaktiva och ger vid fission inte mer energi per viktsenhet än plutonium. De är därför inte aktuella i kärnladdningar.

För att en kedjereaktion ska upprätthållas krävs att åtminstone en av de utsända neutronerna åstadkommer en ny fission, annars avstannar förloppet. Neutronerna kan förloras genom att de absorberas i kärnor utan att ge upphov till fission. Därför bör man ha ett så rent material som möjligt. De kan också läcka ut från materialets yta. Eftersom neutronen måste få tillfälle att åstadkomma fission innan den lämnar materialet, får volymen inte vara alltför liten. Det krävs en viss minsta mängd material, en s k *kritisk massa*. Hur stor denna är i varje skilt

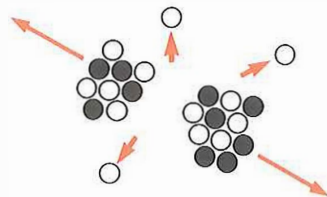
- symboliserar en proton
- symboliserar en neutron



1. En neutron träffar kärnan.



2. Kärnan och neutronen bildar en instabil kärna som genast delar sig.



3. Två medeltunga kärnor, fissionsfragment, utsänds med mycket hög hastighet. Vid processen utsänds också några neutroner.

Figuren visar i tidsföljd förloppet vid klyvning av en tung atomkärna, t ex uran.

fall beror på materialets kärnfysikaliska egenskaper, densitet och form. Den kritiska massan är minst när formen är sfärisk därför att sfären är den kropp som har den minsta ytan vid en given volym. Tabellen härintill visar storleken av några kritiska massor.

Ett sätt att ytterligare minska den kritiska massan är att omge materialet med en neutronreflektor, t ex beryllium. Ämnen med hög densitet används ofta i ett sk tamperhölje med uppgift att fördröja isärspänningen och därmed öka utbränningen. Med utbränning menas den andel av det klyvbara materialet som fissionerar. Vissa ämnen, som t ex naturligt uran, kan samtidigt tjäna både som neutronreflektor och som tamperhölje.

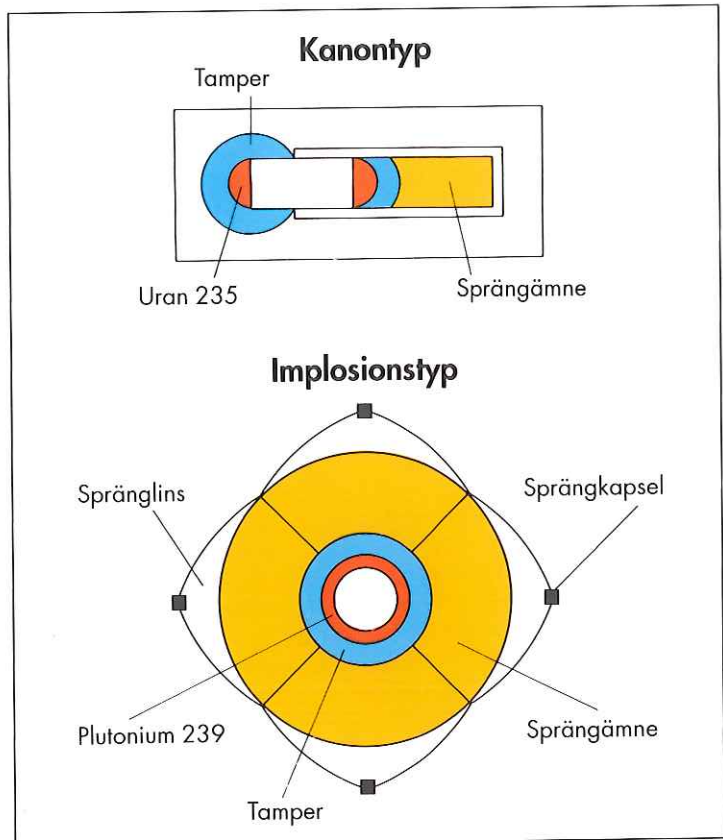
Ströoneutroner från kosmisk strålning och andra naturliga källor kan starta en kedjereaktion så snart en laddning är kritisk eller överkritisk. Det betyder att materialet i en fissionsladdning måste hållas underkritiskt till det ögonblick man vill att den ska explodera. Materialet ska då sammanföras hastigt och utsättas för en skur av neutroner strax före sitt mest hoptryckta tillstånd. Startar kedjereaktionen för tidigt får den ett alltför långsamt förlopp, eftersom materialet inte är tillräckligt överkritiskt. Utbränningen blir då liten.

Den snabba sammanföringen sker enligt olika principer. Materialet kan vara delat i två eller flera mindre bitar, som med ett explosivämne skjuts ihop till en överkritisk massa, *kanonmodellen*. Materialet kan också vara i form av ett sfäriskt skal eller undantagsvis i form av en underkritisk, homogen sfär. Det görs överkritiskt genom hopsprängning och komprimering med ett sprängämne, *implosionsmodellen* (se figurerna härintill). I det senare fallet krävs en detonationsfront som rör sig sfäriskt symmetriskt inåt genom sprängämnet. Detonationen måste då starta samtidigt på hela den sfäriska ytterytan av detta sprängämne. Man åstadkommer detta med speciellt utformade sk spränglinser.

Några kritiska massor

	Bar sfär	Sfär med neutronreflektor
uran 235	46	15
uran 233	16	6
plutonium 239 (α)	10,5	4,5
plutonium 239 (δ)	16	6

De kritiska massorna ges i kg. Neutronreflektorn består av 10 cm naturligt uran. Beteckningarna (α) och (δ) vid plutonium 239 hänför sig till olika faser (kristallstrukturer) med olika densitet. I regel används δ -fasen av bearbetningsmässiga skäl.



Principskisser av de två typerna av fissionsladdningar.

Linserna initieras med sprängkapslar som utlöses med en precision i μ s-området (μ s = miljondels sekund).

Kedjereaktionen ska sättas igång strax innan materialet är som mest överkritiskt. Det görs med hjälp av en neutronkälla, som alstrar neutroner genom kärnreaktioner. Dessa

åstadkoms antingen i en liten partikelaccelerator eller med hjälp av ett neutronpreparat. Det senare placeras med fördel i laddningens mitt. Neutronkällan bringas att avge sina neutroner i precis rätt ögonblick.

Vissa kärnor fissionerar spontant och utsänder därvid neutroner. Speciellt gäller detta plutonium 240,

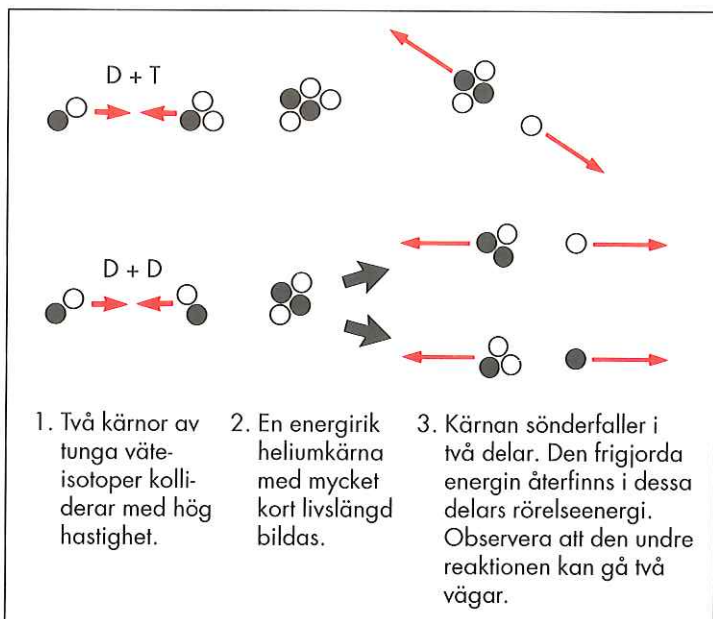
som alltid i mindre mängder åtföljer plutonium 239. För att antalet strö-neutroner ska hållas nere vill man att halten plutonium 240 ska vara låg (under sju procent) i vapenmaterial. Dessutom bör det klyvbara materialet föras samman snabbt. Av de ovan nämnda metoderna är det implisionsmetoden som ger den snabbaste övergången från under- till överkriticitet. Den lämpar sig alltså för plutonium, medan båda metoderna kan användas för uran. Det är dock möjligt att göra en kärnladdning med reaktorplutonium, dvs material som innehåller upp emot 20 procent av plutonium 240. Styrkan hos en sådan laddning blir troligen mycket låg eftersom kedjereaktionen med stor sannolikhet startar så fort överkriticitet uppnåtts. Radioaktiviteten och värmeutvecklingen hos reaktorplutonium medför även hanteringsproblem. Det amerikanska energidepartementet har bekräftat att man 1962 gjorde ett prov med plutonium av reaktorkvalitet och därvid fick en kärnexplosion.

Trinityladdningen var, liksom Nagasakibomben, en plutoniumladdning av implionsstyp, medan Hiroshimabomben, den första uranladdningen, var av kanontyp.

Huvuddelen av den energi som utvecklas vid fissionen återfinns som rörelseenergi i fissionsfragmenten. Det är laddade partiklar som bromsas upp i materialet på en mycket kort sträcka varvid energin omvandlas till värme. Allteftersom kedjereaktionen fortlöper stiger både temperaturen och trycket. Materialet börjar expandera och efter en kort tid är det inte överkritiskt längre. En bidragande orsak till att kedjereaktionen avstannar är också att det klyvbara materialet förbränns. Den största delen av energin utvecklas under omkring 0,1 μ s.

Fusionsladdningar

Kärnenergi kan också frigöras genom sammanslagning av lätta atomkärnor. De är positivt elektriskt laddade, och eftersom lika laddningar

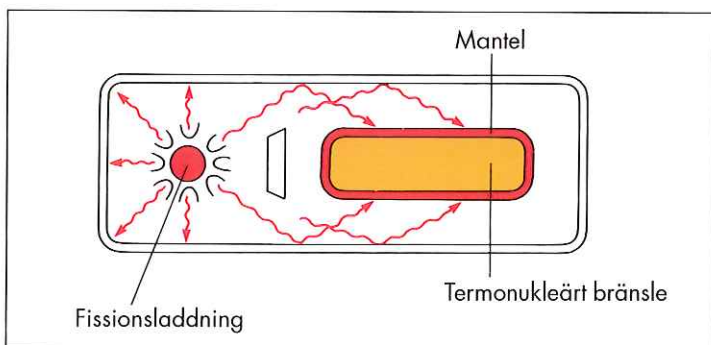


Figuren visar i tidsföljd förloppet för de mest betydelsefulla fusionsreaktionerna i fusionsladdningar. Deuterium och tritium är väteisotoper med en proton och en respektive två neutroner.

stöter bort varandra måste kärnorna ha en mycket hög hastighet för att övervinna denna repulsion. För detta krävs att fusionsmaterialet värms upp till flera tiotal miljoner grader. Av detta skäl kallas sådana reaktioner termonukleära. I fusionsladdningar utnyttjas tyngre isotoper av väte, nämligen deuterium (D) och tritium (T).

Den reaktion som går lättast att "tända" är D+T. Vid denna reaktion sänds det ut en snabb, energirik ne-

utron. En annan reaktion som utnyttjas är sammanslagningen av två deuteriumkärnor, D+D. Den senare reaktionen kan gå två vägar som båda är lika sannolika. I det ena fallet produceras en neutron, i det andra en tritiumkärna, som i sin tur kan utnyttjas i (D+T)-reaktionen. För att åstadkomma de extrema tryck och temperaturer som krävs för en termonukleär förbränning i större skala behöver man en fissionsladdning som tändare.



Principskiss för fusionsladdningar. Den tändande fissionsladdningen har just exploderat och röntgenstrålningen fyller utrymmet kring behållaren med termonukleärt bränsle.

Ibland framförs tanken att man skulle kunna ersätta denna fissions-tändare med t ex en laserinitiering. Teoretiskt skulle detta kunna vara möjligt, men har såvitt känt inte bekräftats experimentellt. I praktiken förefaller det helt orealistiskt att metoden skulle vara användbar i vapensammanhang med hänsyn till de krav som där ställs på bl a vikt, volym och hanterbarhet.

Fusionsladdningens funktionssätt var länge en väl bevarad hemlighet och konstruktionen omges fortfarande med betydande sekretess. Den gängse bilden av hur en termonukleär laddning fungerar är följande:

Det termonukleära bränslet är placerat för sig, skilt från den tändande fissionsladdningen. Då fissionsladdningen exploderar utsänds från ytan ett intensivt flöde av röntgenstrålning. Strålningen får fylla mellanrummet mellan ett ytterhölje och den speciellt utformade behållare som innehåller det termonukleära bränslet. Röntgenstrålningen absorberas i det fasta materialets yttersta lager. Detta upphetas kraftigt och förångas. Ytlaget kan sägas blåsa av och överför då ett tryck mot underlaget, en sorts rekyleffekt. På detta sätt komprimeras och upphetas fusionsmaterialet till sådana nivåer att fusionsreaktioner blir möjliga. Förmodligen krävs det att ett centralt placerat område innehåller såväl D som T för att fusionsprocessen ska kunna starta.

Neutroner som sänds ut vid fission har i allmänhet inte tillräcklig energi för att klyva uran 238. Det har däremot de neutroner som frigörs vid fusionsreaktionerna. Man kan därför låta manteln vara gjord av naturligt uran, som i huvudsak består av uran 238, och låta den fissionera. Laddningar av den typen kallas ibland 3F-laddningar (fission, fusion, fission).

Man antar ofta att hälften av energitvecklingen från en "typisk" fusionsladdning kommer från fission och hälften från fusion.

Den första termonukleära explosionen var USAs prov "Mike" år

Mikeprovet



Den första termonukleära explosionen ägde rum den 31 okt 1952 på Eniwetakatollen i Marshallöarna i Stilla Havet. Den övre bilden visar svampmolnet efter explosionen som hade en styrka av cirka 10 Mt. Den undre vänstra bilden visar provplatsen före explosionen. Experimentladdningen fanns i huset på ön Elugelab högst upp. Laddningen utnyttjade flytande fusionsmaterial vilket krävde stora kylanläggningar. Från huset med laddningen till en bunker nedtill i bilden byggdes en flera km lång tunnel för diagnostiska gammamätningar. Den högra bilden visar att Elugelab försvunnit efter explosionen. Den krater som bildades var 50 m djup och hade en diameter på cirka 2 km.

Samtliga foton: Los Alamos National Laboratory

1952. I den laddningen utnyttjades flytande deuterium med inslag av tritium som bränsle. Hela anordningen var mycket otymplig och vägde drygt 60 ton. Den bestod till stor del av en kylanläggning för att hålla deuteriet flytande (det är gasformigt vid rumstemperatur). Det visade sig dock snart att det gick att göra mer kompakta fusionsladdningar med det fasta ämnet litiumdeuterid (LiD) som bränsle. Litiet deltar aktivt genom att det vid neutronbestrålning ger tritium, som deltar i den termonukleära förbränningen.

IBland ser man termerna "smutsiga" respektive "rena" fusionsladdningar. I en smutsig fusionsladdning kommer en stor del av energiutvecklingen från fission, medan en ren fusionsladdning har ett mindre inslag av fissioner. Radioaktiviteten från en exploderande fusionsladdning kommer huvudsakligen från fissionsprodukterna.

Laddningar med fusionsbidrag

Genom att placera en mindre mängd termonukleärt material i centrum av

en fissionsladdning kan man uppnå en effekt som på engelska kallas *boosting*, förstärkning. De neutroner som sänds ut från fusionerna ger upphov till extra fissioner i det omgivande klyvbara materialet – en sorts efterutbränning. I en boosterladdning uppnås en högre utbränning och energiutvecklingen sker snabbare.

Laddningsstyrka

En kärnladdnings explosionsstyrka anges i enheterna kiloton (kt) och megaton (Mt). 1 kiloton anger en energiutveckling av $4,19 \times 10^{12}$ J och beteckningen kommer av att detta motsvarar energiutvecklingen vid explosion av 1 000 ton trotyl. 1 megaton är lika med 1 000 kiloton. Trinityprovet uppges ha haft en styrka på 19 kt. Japanbomberna var enligt de senaste bedömningarna på 15 kt (Hiroshima) respektive 22 kt (Nagasaki). Det första provet med en fusionsladdning, Mike, gav 10 Mt.

För fissionsladdningar finns det ingen undre styrkegräns. Sker sammanförandet långsamt och neutroninitieringen tidigt kan man få en mycket liten energiutveckling. Där emot finns en övre gräns. Det beror

på svårigheterna att föra ihop tillräckligt mycket klyvbart material till överkritiskt tillstånd utan att man får för tidig tändning. Den största fissionsladdning som sprängts hade en styrka på cirka 500 kt.

Fusionsladdningar kan i princip vara hur kraftiga som helst. Den grundläggande principen för funktionen kan nämligen upprepas så att röntgenstrålningen från en exploderande fusionsladdning i sin tur får komprimera ytterligare en mängd fusionsmaterial. Eventuellt skulle processen kunna upprepas flera gånger. Det finns därför ingen egentlig övre gräns för energiutvecklingen hos en fusionsladdning. Den största termonukleära laddning som provats hade en styrka på cirka 60 Mt (1961 över Novaja Zemlja).

Fullständig fission av 1 kg uran eller plutonium ger en energiutveckling på cirka 17 kt. Fusionsmaterial är mer energirik. Fullständig förbränning av deuterium ger cirka 80 kt per kg. Föreligger deuteriet i formen LiD blir denna siffra lägre och beror på i vad mån litiet deltar i reaktionerna. I extremfallet, dvs då det inte deltar alls, blir den maximala energiutvecklingen ungefär densamma som för fissionsmaterial.

Kärnvapenteknik

Ett kärnvapenprogram omfattar tre verksamheter:

- Framställning av kärnmaterial till laddningar.
- Forskning, utveckling och prov av själva kärnladdningen och prototyp till kärnvapen.
- Serietillverkning, underhåll och demontering av kärnvapen.

I en stormakts produktionsprogram är dessa tre verksamheter ungefär lika resurskrävande. Tillverkas några tusen avancerade kärnvapen per år blir priset per vapen uppskattningsvis 20 Mkr. I ett program för cirka 100 enkla fissionsladdningar till flygbomber blir produktionen av kärnmaterial den dominerande kostnaden (cirka 80 procent). Enligt en FOA-beräkning som redovisades i FN-studien om kärnvapen 1968 skulle priset per vapen i ett sådant program bli omkring 50 Mkr i dagens penningvärde. Som jämförelse kan nämnas att det första hundralet amerikanska kärnvapen torde ha kostat 500 Mkr per styck i

samma penningvärde – om Manhattanprojektets kostnad medräknas. Den tiofaldiga kostnadsminskningen på två decennier illustrerar bl a betydelsen av att ha tillgång till kärndata och kunskap om kärntekniska produktionsmetoder. Sådan information frisläpptes vid de stora "Atoms for peace"-konferenserna 1955 och 1958.

Laddningsmaterial

Uran eller plutonium används i alla kärnladdningar, eftersom även fusionsladdningar innehåller en fissionsdel. I fusionsladdningar ingår dessutom fusionsmaterial, som deuterium, tritium och litium.

Naturligt uran består huvudsakligen av två isotoper, uran 235 och uran 238. Båda har mycket långa halveringstider (se sid 30), 0,7 respektive 4,5 miljarder år. Det uran

som finns i naturen har en mycket låg halt av uran 235.

Plutonium 239 har en halveringstid på 24 100 år och finns därför inte i nämnvärda mängder i naturen. Det måste framställas i särskilda produktionsreaktorer med uranbränsle som körs så att plutoniet får en isotopsammansättning som är lämplig för kärnladdningar.

Uranförekomst

Uran finns i många mineral, bl a ofta i skiffer. I Billingen i Västergötland finns t ex en stor men relativt lågvärdig uranfyndighet. Uranet är mer eller mindre svårt att utvinna, vilket i hög grad påverkar priset.

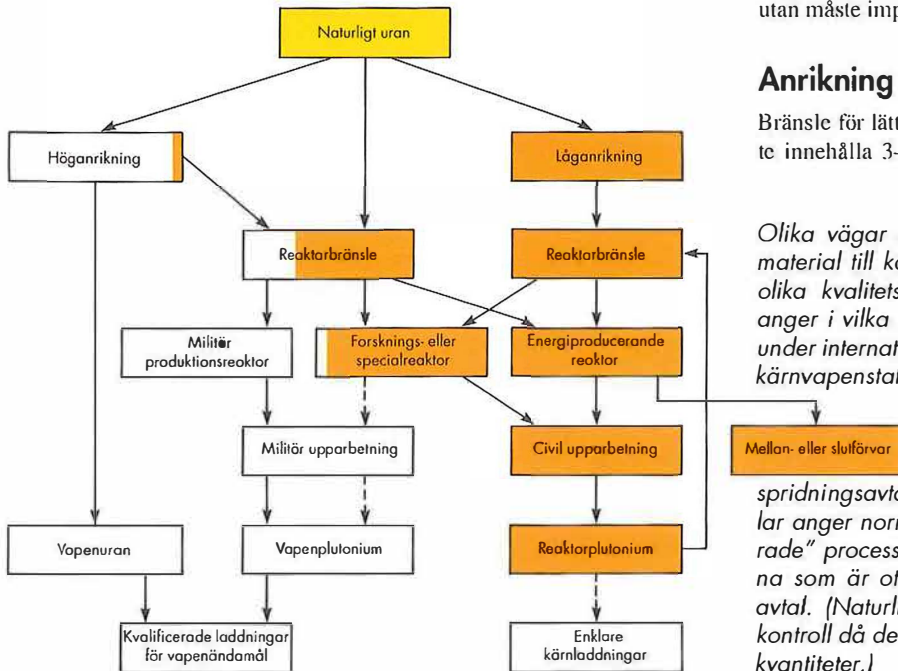
De länder som anses ha de största uranfyndigheterna är Australien, USA, Kanada, Namibia och Sydafrika och det är från dessa länder som det mesta uranet exporteras. Av kärnvapenmakterna har USA, Sovjetunionen, Kina och Frankrike egna tillgångar. Storbritannien har inte några egna brytvärda fyndigheter utan måste importera.

Anrikning

Bränsle för lättvattenreaktorer måste innehålla 3-4 procent uran 235.

Olika vägar att framställa fissilt material till kärnladdningar med olika kvalitetskrav. Bottenfärgen anger i vilka steg materialet står under internationell kontroll i icke-kärnvapenstater anslutna till Icke-

spridningsavtalet. Heldragna pilar anger normala och "accepterade" processer, streckade sådana som är otillåtna under detta avtal. (Naturligt uran står under kontroll då det exporteras i större kvantiteter.)



Material för kärnladdningar innehåller över 90 procent uran 235. Eftersom halten av uran 235 i naturligt uran endast är 0,7 procent, måste alltså uranet anrikas.

Kapacitet att anrika uran fanns till en början enbart hos kärnvapenmakterna, men så småningom har kunskaperna om olika metoder spritts alltmör. Idag har ett tiotal länder större eller mindre produktionskapacitet. Anrikningsmetoderna bygger på att isotoperna 235 och 238 har något olika kemiska och fysikaliska egenskaper. En sådan metod är gasdiffusionsmetoden. Principen är följande: De två isotoperna bildar olika tunga molekyler av den vid metodens arbetstemperatur gasformiga föreningen uranhexafluorid, UF_6 . Molekylerna rör sig med olika hastighet genom ett poröst membran med mycket små porer. Graden av anrikning efter ett sådant steg är emellertid mycket liten. Därför krävs cirka 4 000 steg för att koncentrationen ska bli tillräcklig för vapenmaterial. Anläggningar som grundar sig på gasdiffusionsmetoden finns i USA, Kina, Frankrike och Argentina. Storbritannien hade tidigare en anläggning, men den är numera nedlagd. Den argentinska anläggningen producerar inte några större mängder och är främst inriktad på anrikning till cirka 20 procent. Sovjetunionen har idag endast ringa gasdiffusionskapacitet.

Energisnålare metoder att anrika uran har eftersträvt både för den civila och militära sektorn. En sådan är gascentrifugmetoden, som också utnyttjar uranhexafluorid. Centrifugmetoden har en betydligt högre separationsförmåga än gasdiffusionsmetoden. För att anrika till 90 procent krävs omkring 50 steg. Anläggningar finns i Sovjetunionen, Storbritannien, Holland, Tyskland, Japan, Pakistan och Brasilien. De flesta använder metoden enbart för att framställa reaktorbränsle – med viss tvekan för Pakistan och Brasilien.

Genom att utnyttja uranisotopernas skilda optiska egenskaper kan

man också skilja dem åt med hjälp av laser. Anrikningsgraden är mycket hög och endast ett fåtal steg behövs för att producera material av vapenkvalitet. Forskning och utveckling på området har bedrivits i 10–15 år och inför 1990-talet hade man planerat att ta i bruk en produktionsanläggning i USA. Det är emellertid oklart om och när detta kommer att ske. Arbete med att utveckla lasermetoden pågår även i andra länder, t ex Storbritannien, Frankrike, Sovjetunionen och Japan.

Förutom de här nämnda finns ytterligare några metoder som ännu inte fått någon större spridning eller visat sig konkurrenskraftiga. Det är de aerodynamiska (Brasilien, Sydafrika, Tyskland) och de kemiska (har studerats främst i Frankrike och Japan).

Kärnvapenländerna har sedan flera år slutat höganrika uran för laddningsändamål. Höganrikat uran används fortfarande i viss utsträckning för kärnkraftsdrivna ubåtar, men förråden räcker länge. Totalt torde sedan 1945 ha producerats cirka 1 500 ton höganrikat uran varav supermakterna svarar för över 90 procent. I dag finns betydande mängder i lager.

Plutoniumframställning

Plutonium framställs i en reaktor och kräver tillgång till uran 238. Utsätts denna isotop för neutronbestralning omvandlas urankärnorna genom infångnings- och sönderfallsprocesser till plutonium. Plutoniumisotoperna kan sedan i sin tur omvandlas till andra kärnor, och beroende på hur lång tid neutronbestralningen pågår får slutmaterialet olika sammansättning. Den plutoniumisotop som är användbar i kärnladdningar är plutonium 239. Andra, t ex plutonium 240, är inte önskvärda. Ju längre tid materialet är i reaktorn desto högre blir halten av plutonium 240.

Det plutonium som bildas i en kraftreaktor vid ekonomisk drift är

inte lämpligt för vapenändamål. Vapenplutonium, som innehåller mindre än sju procent plutonium 240, framställs därför i sk produktionsreaktorer, som är speciellt konstruerade för ändamålet. Det måste gå snabbt och lätt att byta bränslestavarna om man ska få en lämplig sammansättning på plutonet.

För att plutonet ska kunna utvinna ur de bestralade uranstavarna måste dessa upparbetas. Det innebär att man behandlar stavarna med mekaniska och kemiska metoder för att skilja plutonium, uran och radioaktiva sönderfallsprodukter från varandra. Strålningsnivån är så hög att arbetet måste ske fjärrkontrollerat, även om strålningen inte når upp till samma nivåer som vid upparbetning av kraftreaktorbränsle. Slutligen överförs materialet i metallisk form.

I USA har man i flera år arbetat med att utveckla en lasermetod för separation av plutoniumisotoper avsedda för det militära programmet. Därmed kan det bli möjligt att utnyttja civila lager av utbränt kärnbränsle för militära ändamål. Det är dock inte säkert att dessa planer förverkligas; bl a finns legala hinder för detta.

Totalt torde sedan 1945 ha producerats cirka 200 ton vapenplutonium. Även här är supermakterna helt dominerande tillverkare. Huvuddelen av detta plutonium finns i kärnvapen.

Tritium och deuterium

I fusionsladdningar och vissa andra laddningar utnyttjas även tritium och deuterium. Tritium produceras, liksom plutonium, i särskilda produktionsreaktorer. I dessa utsätts speciella bränslestavar med isotopen litium 6 för neutronbestralning. Tritium kan också utvinnas ur moderatorn i tungvattenmodererade reaktorer. Mängderna är emellertid inte så stora som de man erhåller i en produktionsreaktor. Försörjningen med tritium inrymmer problem, eftersom ämnet är radioaktivt med en halveringstid på 12,3 år. Det innebär

att tritiuminnehållet i laddningen måste förnyas med jämna mellanrum.

I diskussionerna om ny kapacitet för att producera tritium har även kraftiga acceleratorer föreslagits. Utvecklingen av acceleratorer har varit snabb under de senaste åren. Med en kraftig accelerator och starka jonkällor kan man åstadkomma ett neutronflöde som är likvärdigt med det som produceras av en reaktor.

Av vätet i vanligt vatten utgörs 0,015 procent av deuterium (D). Tungt vatten, D_2O , kan framställas ur vanligt vatten, och det görs kommersiellt för att tillgodose behoven för de tungvattenmodererade reaktorerna inom den civila kärnkraftsektorn. Tungt vatten används också som moderator i de produktionsreaktorer som använder naturligt uran som bränsle.

Konstruktion

Flera faktorer bestämmer kärnvapnens utformning. En viktig faktor är att de måste anpassas till vapenbärarna vad gäller styrka, vikt och dimensioner. Storleken av (och kostnaden för) en strategisk robot bestäms t ex främst av vapenlasten, särskilt om denna består av flera stridsdelar. Lätta och små stridsdelar eftersträvas. Själva vapenlasten

svarar emellertid bara för 10–20 procent av den totala kostnaden för strategiska robotar. Under senare tid torde olika säkerhetsaspekter ha blivit allt viktigare för konstruktörerna.

Andra styrande faktorer är förknippade med lagring och underhåll samt kostnadseffektivitet. Kärnvapen kan utnyttjas i den operativa arsenalen under lång tid. Det finns exempel på vapen som varit utplacerade i 20–25 år. Men kärnmateriel förändras med tiden och även andra komponenter behöver kontrolleras. Det har hänt att man upptäckt fel i serietillverkade kärnvapen på grund av korrosion eller åldringsfenomen. Om felen inte rättsats till skulle dessa vapen fått mycket mindre styrka än den avsedda eller eventuellt inte kunnat explodera. Man måste därför underhålla och modernisera kärnvapen med intervaller på kanske fem år.

Tillverkningen av moderna kärnvapen kräver omfattande resurser. Tekniken för hantering och formning av kärnmateriel är komplicerad och unik. För andra delar som sprängämnessystem, säkringar, kraftkällor och elektronik utnyttjas konventionell teknik men ofta i mycket avancerad form, vilket kan krävas både av vikts- och säkerhetsskäl. Serierna är ofta inte längre än några hundra kärnvapen. Det finns dock

exempel på att vissa kärnvapen tillverkats i 3 000–5 000 exemplar.

Hopsättningsfabriker kan också användas för underhåll och demontering av kärnvapen i syfte att återanvända material och komponenter.

Provexplosioner ingår i arbetet med konstruktion och tillverkning. Omkring 75 procent av de prov som genomförs är förknippade med själva kärnvapnen. Syftet är då att pröva nya konstruktioner, vilket ofta kräver flera provexplosioner, och att bekräfta funktionen innan serietillverkningen börjar. Ursprungligen motiverades proven främst av utvecklingen av nya laddningstyper och, så länge prov i atmosfären var tillåtna, av studier av verkan på materiel. Under senare tid har de flesta proven syftat till att få fram allt säkrare vapen (oftast av fusionstyp) och anpassa dem till nya vapenbärare. Man gör också enstaka prov med vapen ur arsenalerna för att få en kvalitetskontroll. Även om tidigare erfarenheter och datorberäkningar kan utnyttjas, är utvecklingen av kärnvapen i grunden en experimentell verksamhet där provexplosionen ger det slutliga svaret.

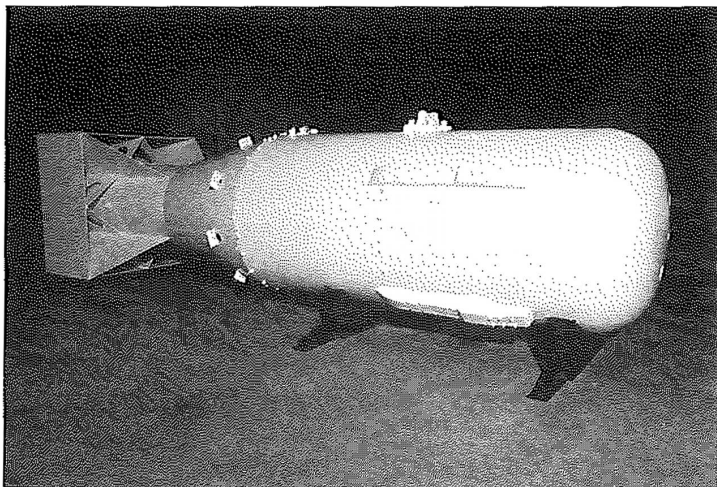
Säkerhet

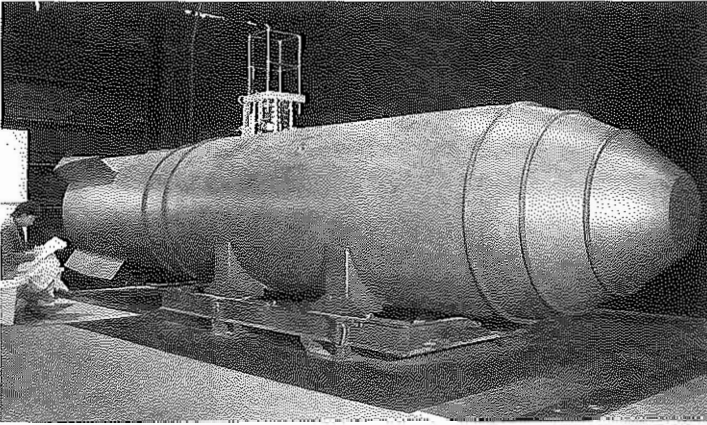
Förstörelsekraften hos ett enda kärnvapen är så enorm att kraven på säkerhet måste vara mycket höga.

Kärnstridsdelens utveckling

Bilderna 1-5 belyser hur kärnladdade stridsdelar utvecklats sedan 1945. Samtliga exempel är från USA. Uppgifter om styrka, vikt och dimensioner är tagna från öppna publikationer och bedöms vara rimligt trovärdiga. Årtalet anger när kärnvapnet ifråga först tillfördes arsenalen.

1. Little Boy, den första fissionsbomben (1945) av kanontyp med cirka 60 kg höganrikat uran. Vikten var 4 ton, diametern 70 cm, längden 3 m och styrkan 15 kt. Little Boy fälldes mot Hiroshima.





2. Den första bomben med en fusionsladdning (1954) som kunde fällas från ett bombplan. Vikten var 21 ton, diametern cirka 1,5 m och styrkan flera Mt.

En olyckshändelse får inte leda till att kärnenergi frigörs. Vapnen får inte heller kunna avfyra av misstag eller utan auktorisation.

Med hänsyn till det stora antal kärnvapen som finns i världen är det ofrånkomligt att olyckshändelser och allvarliga tillbud inträffar. Att döma av de få uppgifter som finns bör så ha skett i några hundra fall. Ingen kärnexplosion har dock ägt rum.

Fyra olyckshändelser har fått stor publicitet. I tre av dessa – 1961 i Goldsboro, North Carolina, USA, 1966 i Palomares, Spanien, och 1968 i Thule, Grönland – var strategiska bombplan med vätebomber inblandade. Det konventionella sprängämnet i några av dessa vapen detonerade, vilket ledde till att plutonium spreds ut i terrängen. År 1980 exploderade en Titan-robot i sin silo i Damascus, Arkansas, USA. Kärnstridsdelen kastades därvid i väg närmare 200 m, men förblev oskadd.

Kärnvapenmakterna har sett allvarligt på säkerhetsproblemen. I samband med anfallen på Japan beslutade man att vapnen skulle armeras först ombord på bombplanen under anflygningen. Under slutet av 1950-talet gjordes omfattande säkerhetsprov vid den amerikanska provplatsen i Nevada. Kärnvapen utsattes då för våldsamt yttre påverkan. Några av dessa prov medförde en ytterst ringa nukleär energifrigörelse, i enstaka fall upp till 1 kt.

Olyckshändelsen i Palomares ledde till att USA utvecklade ett sprängämne som tål extrema slag- och brandpåkänningar utan att initieras. Därmed skulle ett nytt Palomares förhindras. Allt talar för att även Sovjetunionen och andra kärnvapenmakter haft olyckshändelser och tillbud och har vidtagit liknande försiktighetsåtgärder för sina kärnvapen.

De tekniska säkringarna är främst kopplade till det konventionella

sprängämnet och dess tändare, men kan även gälla neutronkällan. Höga tids- och symmetrikrav ställs på initieringen av sprängämnet och därmed förenklas även säkringen. Vapnet kan konstrueras så att en felaktig eller okontrollerad initiering inte leder till en överkritisk konfiguration. Säkringar kan också förhindra den nödvändiga synkroniseringen mellan neutronpulsen och sammanföringsförloppet. I vapen som inte är armerade, t ex vid transport eller låg beredskap, kan man använda mekaniska anordningar som helt förhindrar en kärnladdningsexplosion eller kritikalitetsolycka.

Varje insats av kärnvapen beslutas av statsledningen i kärnvapenstaten. Det är känt att flera olika och oberoende system utnyttjas för att garantera att kärnvapen endast kan



Den 17 januari 1966 kolliderade ett amerikanskt strategiskt bombplan av typ B 52 med ett annat plan under en lufttänkingsmanöver på hög höjd. Båda planen störtade vid Palomares, Spanien. Bombplanet hade fyra fusionsbomber ombord. En bomb hamnade i vattnet och bärgades oskadd tre månader senare från ett djup av 850 m. I två av de tre bomber som störtade till marken detonerade det konventionella sprängämnet och spred ut plutonium. Bilden visar den intakta av dessa tre. Bombens längd är ungefär 4 m, diametern 0,5 m och styrkan omkring 1 Mt.

Foto: Los Alamos National Laboratory

Läckande raketbränsle orsakade en explosion i en silo för en Titan-robot natten till den 19 september 1980 i Damascus, Arkansas. På bilden ser man hur silon slitits sönder. Stridsdelen, som tillverkats i slutet av 1960-talet, hittades i sluppgången 200 m från silon. Höljet hade fått omfattande skador men i övrigt visade sig stridsdelen vara i stort sett oskadd. Ingen radioaktivitet läckte ut.

Foto: Los Alamos National Laboratory



avfyras med tillåtelse av den politiska ledningen. Hur systemen är uppbyggda i detalj är strängt sekretessbelagt, men principerna har antyttis olika handböcker och uttalanden. Om beredskapsskäl så medger kan t ex väsentliga komponenter förvaras åtskilda så att man inte hanterat ett komplett, fungerande vapen.

För att vapnet ska kunna armeras och osäkras krävs vidare en serie åtgärder som måste företas i en bestämd följd, och som förutsätter att officerarna har tillgång till en kodad signal från ansvarig instans. I denna sekvens kan ingå mekaniska och elektroniska lås. För att dessa ska kunna öppnas krävs dessutom att man fått kods signaler, och att två eller flera personer samarbetar, t ex genom att samtidigt vidta vissa åtgärder. En sådan "two-man rule" ingår i det avancerade amerikanska PAL-systemet (Permissive Action Link).

Slutligen är det fullt möjligt att anordna självdestruktionsmekanismer, som gör vapnet funktionsodugligt om någon obehörig avsiktligt eller oavsiktligt försöker forcera säkringarna. Till dessa åtgärder kommer självfallet andra som är aktuella vid all farlig verksamhet, t ex fysisk bevakning av anläggningar, personkontroll, säkerhetsbestämmelser och utbildning.

Skrotning av kärnvapen

Drygt 50 000 kärnvapen finns i dag i operativa vapensystem och bered-

skapslager. Ytterligare ungefär lika många vapen bör ha tillverkats, men sedan demonterats. De dyrbara kärnmaterialen – vapenuran, vapenplutonium och tritium – kan ha an-

vänts i nya vapen eller lagts i förråd. Demonteringen är tekniskt sett enkel.

Situationen blir mer komplicerad om nedrustningsavtal i framtiden

Inget vapen för terrorister

Många stater har den tekniska och ekonomiska kapaciteten att utveckla egna kärnvapen. Den stora svårigheten är att producera kärnmaterial. Att konstruera och tillverka en primitiv fissionsladdning bereder långt mindre bekymmer.

För en terroristgrupp eller ensam galning är situationen helt annorlunda. De kan inte tillverka, utan måste stjäla, det fissila materialet och dessutom konstruera och tillverka laddningen. Fissionsladdningens princip beskrivs i uppslagsböcker och är förledande enkel, men döljer möjligheter till misstag, vilka ofta illustrerats i de "pappersbomber" som har publicerats. Det är inte lätt att tillverka en fungerande laddning. Det kräver kunskaper och resurser för mätningar

och experiment inom flera teknikområden, t ex kärnfysik, detonik, teoretiska beräkningar och hantering av radioaktiva material och sprängämnen. Verksamheten inbjuder till misstag med ödesdigra konsekvenser för aktören.

Från enbart teknisk utgångspunkt kan man inte utesluta att en grupp med hjälp av samvetslösa specialister skulle kunna lyckas. Med hänsyn till kraven på kompetens och resurser, och till att verksamheten måste ske dolt och troligen under tidspress, är det ytterst osannolikt att en eller några enstaka personer skulle lösa uppgiften. Möjligheter för en terrorist att stjäla och utlösa ett kärnvapen torde inte finnas.



Kärnstridsdelens utveckling

3. B61-bomb med en fusionsladdning (1968). Dess längd är 3,6 m, diametern 34 cm och vikten 330 kg. Laddningens längd är mindre än 1 m och styrkan 100-500 kt (variabel) eller i vissa utföranden 10 kt.

lägsta vikt som rapporterats för en laddning är 26 kg. Den minsta kalibern är 15,5 cm, vilket torde vara nära den minsta möjliga.

Kärnvapnets egenskaper kan ändras genom laddningens utformning, i synnerhet om fusionsprocesser utnyttjas. Det mest omtalade exemplet är neutronladdningen som är en svag fusionsladdning. Man har här eftersträvat att maximera antalet utsända högenergetiska neutroner per kt. Idén kläcktes i början av 1960-talet och provades sannolikt redan 1963. Neutronladdningar började tillverkas omkring 1980 för 20,3 cm

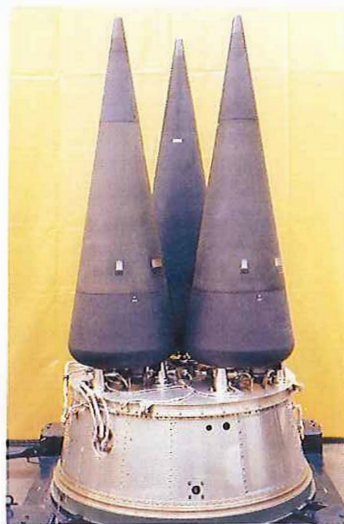
skulle gälla antalet stridsdelar och inte som nu förbjuda vissa typer av vapenbärare och kärnvapenprov. Den stora svårigheten är att kontrollera att befintligt vapenmaterial förstörs och att förhindra nyproduktion i reaktorer eller anrikningsanläggningar. Tritium försvinner av sig självt på grund av den korta halveringstiden. Så är inte fallet med vapenuran eller vapenplutonium, som alltid ingår i kärnvapen. Flera principiellt enkla lösningar finns här. Man kan t ex utnyttja materialet som bränsle i civila kraftreaktorer. De mängder som nu finns i vapnen skulle i princip räcka för drift av världens kraftreaktorer några år. I praktiken skulle det sannolikt ta betydligt längre tid att förbruka vapenmaterialet som reaktorbränsle. Tekniken är känd men det finns inga kommersiella anläggningar för framställning av bränsle med tillsats av plutonium, sk MOX-bränsle. Vapenuran som blandas i lämpliga proportioner med naturligt uran kan utan svårighet tillföras den normala kärnbränslecykeln. Även om en sådan blandning inte skulle användas som bränsle är den dock obrukbar till vapen. Man kan också placera materialen i förseglade förårråd under internationell kontroll. Det är emellertid inte så lätt att hitta lösningar som skulle tillfredsställa alla krav på

säkerhet, övervakning, miljö och ekonomi.

Vapenprestanda

Dagens kärnvapen finns i en mängd olika vapensystem, t ex robotar med räckvidder från några tiotal km till över 10 000 km, flygburna bomber, artillerigranater, torpeder och minor (se vidare kapitlet "Vapensystem och arsenaler"). Laddningstyrkan kan vara från bråkdelar av kt till flera Mt. Det finns stora skillnader mellan olika typer av vapen då det gäller t ex förhållandet mellan styrka och vikt, verkansegenskaperna eller förmågan att motstå yttre påkänningar på grund av speciella insatstekniker eller stridsmiljöer.

Japanbomberna vägde fyra respektive fem ton. Ungefär halva vikten utgjordes av det kraftiga bombhöljet. Den första vätebomben som kunde fällas från ett flygplan (1954) vägde omkring 21 ton och hade en styrka i Mt-området. Stridsdelen till Titan-roboten (1960) uppges ha vägt 3,5 ton och haft styrkan 9 Mt. Moderna kärnvapen med styrkor i intervallet 100-500 kt torde ge en å två kt per kg stridsdelsvikt. Denna kvot kan för Mt-vapen vara högre, för subkiloton-vapen blir den med nödvändighet mycket lägre. Den



Kärnstridsdelens utveckling

4. De tre stridsdelarna (1980) till Minuteman III, en ICBM. Var och en av stridsdelarna har en styrka av cirka 350 kt. Längden på den koniska stridsdelen är 181 cm, diametern vid basen 54 cm och vikten under 350 kg.



W80-1

**LOS ALAMOS
NATIONAL LABORATORY**

Kärnstridsdelens utveckling

5. Kärnladdning (1979) till en flygburen kryssningsrobot. Laddningsdiametern är 30 cm, vikten 130 kg och styrkan cirka 200 kt. Robotens längd är 6,3 m och vikten cirka 1 400 kg.

Samtliga foton i denna serie:
Los Alamos National Laboratory

kärnladdning som en extrem energi-källa, t ex för att pumpa en laser i röntgenområdet. Grundläggande experiment har här genomförts under 1980-talet. Sådana röntgenlasrar i rymden skulle kunna användas för att slå ut anfallande robotar. Det har även föreslagits att man skulle kunna omvandla en del av explosionsenergin till riktad mikrovågsstrålning med mycket hög effekt. Det är emellertid mycket tveksamt om framtida behov motiverar utvecklingen av en ny generation kärnvapen.

Kärnvapen måste vara robusta för att klara de påkänningar som orsakas av insatstekniken. En stridsdel till en strategisk robot ska klara upphetningen vid återinträdet i atmosfären och kanske exploderande kärnvapen i dess närhet. En kärnladdad artillerigranat utsätts vid utskjutningen för kraftig acceleration och rotation. Det mest omtalade exemplet är dock markpenetrerande kärnvapen. Redan under 1950-talet utvecklades en sådan stridsdel som uppgavs kunna tränga igenom 6 m armerad betong eller 36 m lera före explosionen. Kärnvapen utsätts även för en kraftig uppbromsning i vissa sk lay-down weapons. Ett attackplan kan fälla en stridsdel med stålspets, som likt en pil ställer sig i t ex en betongplatta, och som exploderar en halv minut därefter.

artillerigranater och för Lance-roboten.

Man kan även använda en fusionsladdning med så svag fissions-tändare som möjligt för att minimera de radioaktiva restprodukterna. De energirika neutronerna bromsas ned i vapnet, och man får stötvågen som dominerande verkan.

Ett tredje exempel är kärnvapen för ABM-tillämpning (Anti-Ballistic Missiles) som utvecklades och provades kring 1970. Dessa vapen är konstruerade för att ge maximalt ut-

byte av röntgenstrålning. På mycket höga höjder har nämligen röntgenstrålningen en effektiv verkan på rymdobjekt.

Det spekuleras ibland om en tredje generation kärnvapen (de två första skulle då vara fissions- och fusionsvapen). De nya idéerna bygger på någon form av riktad verkan. Strålskärmar kan t ex påverka riktningfördelningen av initialstrålningen och därmed den elektromagnetiska pulsen, EMP.

Ett annat sätt är att utnyttja en



Denna markpenetrerande kärnstridsdel trängde i ett försök 1988 igenom 30 cm betong och bromsades upp först tre meter under markytan i hård lera.

Foto: Los Alamos Science 17/89

Verkansformernas uppkomst

De fysikaliska fenomen, som uppträder i omgivningen av en kärnladdningsexplosion och som på olika sätt kan vålla skador, brukar kallas explosionens verkansformer. De uppkommer till stor del genom att den primära explosionsenergin växelverkar med det omgivande mediet och blir således (delvis) olika beroende på mediets egenskaper. Av praktiska skäl skiljer man därför mellan *luftexplosioner* i atmosfären så högt över marken att eldklotet inte berör markytan, *ytexplosioner* närmare markytan eller i direkt kon-

takt med denna, *underytexplosioner* i mark eller vatten samt *höghöjdsexplosioner* i den starkt förtunnade luften i eller ovanför stratosfären. Luft- och ytexplosioner kan betraktas som grundfallen. De skiljer sig inbördes främst vad gäller det radioaktiva nedfallet.

En kärnladdningsexplosion i luft ger upphov till flera olika effekter: värmestrålning, stötvåg i luft och mark, initialstrålning, radioaktivt nedfall samt sekundärt även neutroninducerad aktivitet och elektromagnetisk puls (EMP).

Vid explosionen utvecklas så mycket energi att temperaturen stiger till flera tiotal miljoner grader. Vapnet är då helt förgasat och gasen joniserad. Den bildar ett s k plasma, och en stor del av energin har form av röntgenstrålning. Plasmata släpper igenom röntgenstrålningen, vilket däremot den omgivande kalla luften inte gör. Röntgenstrålningen absorberas därför i luften och ger upphov till ett snabbt växande strålningsklot av het luft. Klotet, som också har ett mycket högt tryck, börjar expandera, och vid strålningsklotets yta bildas en stötvågsfront som snart börjar breda ut sig i luften snabbare än strålningsfronten. Detta sker för en 20 kt explosion 0,1 ms (ms = tusendels sekund) efter explosionsögonblicket, då strålningsklotet har en diameter av 20 m. Luften i stötvågsfronten är då så upphettad att den glöder. Det har därmed uppstått ett eldklot, vars yta sänder ut ljus och värme till omgivningen, men absorberar den värmestrålning som kommer från området innanför. Så småningom avtar temperaturen och stötvågen blir genomskinlig för strålningen från det mycket varma området innanför. Nu utsänds den största delen av värmestrålningen. Här sker alltså ett komplicerat växelspel mellan röntgenstrålning, värmestrålning och stötvåg som leder till att cirka hälften av den totala energin till slut föreligger som stötvåg och en tredjedel som värmestrålning. Det är luftens fysikaliska egenskaper som bestämmer denna fördelning och inte förhållandena i själva kärnladdningsexplosionen (se figuren härintill).

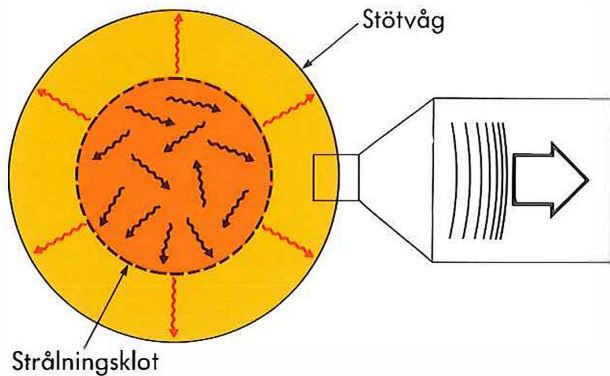
Eftersom bara hälften av den energi som utvecklas återfinns i stötvågen så motsvaras en kärnladdningsexplosion av en viss styrka av en hälften så stark konventionell explosion vad luftstötvågen beträffar.

Utöver luftstötvåg och värmestrålning avger explosionen också

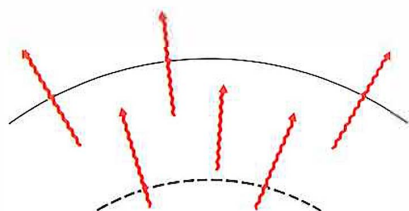
Tre skeden i eldklotets utveckling vid explosion i luft



Eldklotet innan luftstötvågen bildats, då det enbart består av ett strålningsklot.



Eldklotet begränsat av den glödande stötvågsfronten.



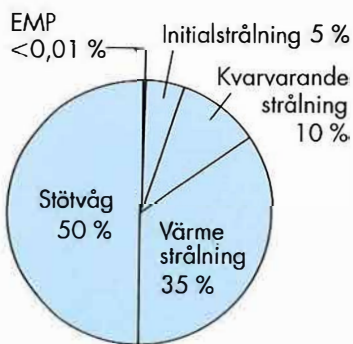
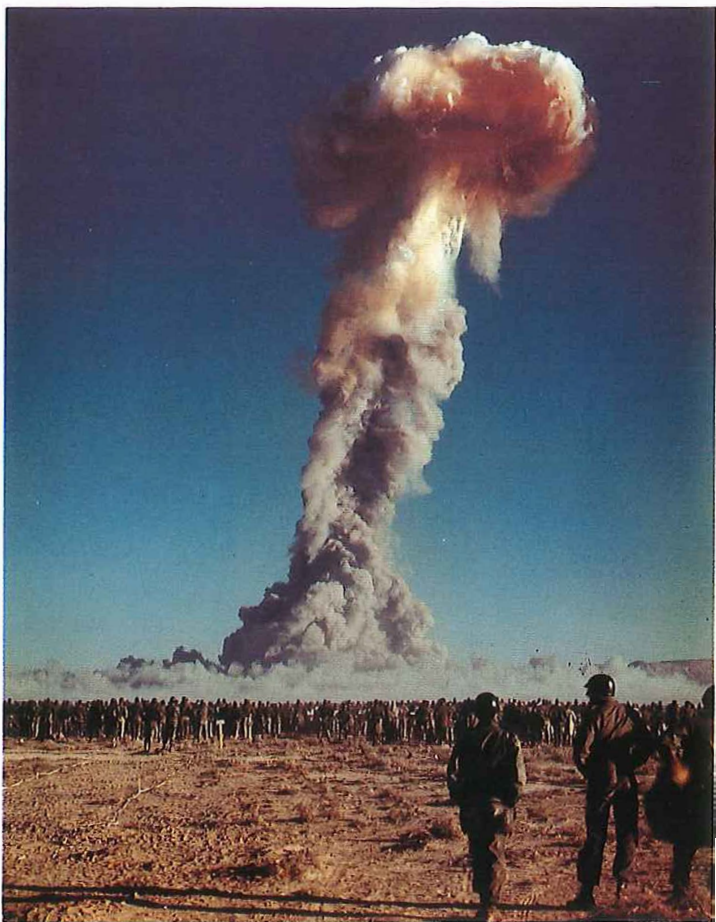
Eldklotet sedan stötvågen blivit genomskinlig för värmestrålningen från det hetare inre området.

Bilderna 1–5 visar kärnvapenexplosioner på olika höjder.

1. Höghöjdsexplosion. Den 9 juli 1962 utförde USA sin kraftigaste provsprängning, "Starfish", på hög höjd. En fusionsladdning på 1,4 Mt exploderade på 400 km höjd över Johnston Island i Stilla Havet. Ljusskenet på bilden hade en yta stor som halva Sveriges. På ön Oahu i Hawaii, cirka 135 mil nordost om nollpunkten*, slogs flera gatubelysningsnät ut. På en intilliggande ö drabbades en radiolänkstation av fel och ytterligare skador på elektronikutrustningar rapporterades. Detta var första gången man observerade sådana skador av EMP vid en höghöjdsexplosion. Bilden togs från ett flygplan på 10 000 m höjd och 1 000 km avstånd.



2. Luftexplosion. Denna luftexplosion, med namnet "Dog", skedde den 1 maj 1952 på provplatsen i Nevada. Explosionshöjden var 320 m och styrkan 19 kt. Soldaterna i förgrunden står 6,4 km från nollpunkten och befann sig i skyddsgröpar vid själva explosionen.



Fördelningen av den totala energin från en explosion av en fusionsladdning i luft.

*Nollpunkten är den punkt på markytan som ligger rakt under (över) explosionen.



3. Ytexplosion. Denna ytexplosion med namnet "Fizeau" ägde rum den 14 september 1957 på provplatsen i Nevada. Laddningen var placerad på ett 150 m högt torn och hade styrkan 11 kt.

joniserande strålning, vilket är unikt för kärnladdningar.

Både vid fission och fusion utsänds neutroner. Dessa absorberas delvis i vapenmaterialet, men många läcker ut och kan ge strålningseffekter i omgivningen. En fusionsladdning ger fler (per kt räknat) och energirikare neutroner än en fissionsladdning.

Neutronerna kan också ge upphov till radioaktiva produkter genom absorption i mark eller annat material (neutroninducerad aktivitet). Dessa utsänder ibland i sin tur gammastrålning.

Från fissionsreaktionerna utsänds gammastrålning. Så sker inte vid fusionsreaktionerna, men de avgivna neutronerna ger upphov till gammastrålning genom absorption och sekundär inelastisk spridning i vapenmaterial och luft. Denna strålning utbreder sig kring explosionspunkten på ungefär samma sätt som neutronerna.

Den strålning som sänds ut i direkt anslutning till explosionen brukar kallas initialstrålning. Man har valt att till initialstrålningen räkna all joniserande strålning som utsänds under den första minuten efter själva explosionen.

Vid passagen genom luften slår gammastrålningen ut elektroner ur luftens molekyler. Elektronerna bildar tillsammans en kraftig strömpuls, som alstrar ett elektromagnetiskt fält. Detta fält utbreder sig som en transient (mycket kortvarig) elektromagnetisk våg, den sekundära elektromagnetiska pulsen, EMP. Dess storlek och form bestäms av intensiteten och tidsförloppet för den allra första delen av initialstrålningen.

De kärnor som uppstår vid klyvningen av uran och plutonium, de sekundära fissionsprodukterna, är radioaktiva. Huvuddelen av det radioaktiva sönderfallet sker genom att betastrålning utsänds samtidigt som ett nytt ämne bildas. I de allra flesta fallen åtföljs betastrålningen också av gammastrålning.

Det radioaktiva nedfallet från en kärnladdningsexplosion uppstår ge-



4-5. Underlytsexplosion. Provexplosionen "Schooner" utfördes i Nevada den 8 december 1968. Avsikten var att se hur man kan använda en kärnladdning för att tex gräva en kanal. En väteladdning på 35 kt exploderade på 108 m djup och gav en krater (bilden nedan) med diametern 260 m och djupet drygt 60 m. Molnet nådde 4,2 km höjd. Foto (bild 1-5): Lawrence Livermore National Laboratory



nom att de radioaktiva ämnena kondenseras i eller på partiklar som sedan faller till marken. Dessa partiklar finns till en början i det svampformiga explosionsmolnet som bildas av det svalnande eldklotet. Molnets höjd över marken liksom dess diameter bestäms av laddnings-

styrkan. Det radioaktiva nedfallet deponeras efterhand på marken och bildar då vad som ofta kallas ett "beläggingsfält".

Vid explosioner på högre höjder i atmosfären leder den tunna luften till att strålningsklotet och eldklotet blir mycket större än för explosioner

på lägre höjder, och värmestrålningens puls får ett annat tidsförlopp.

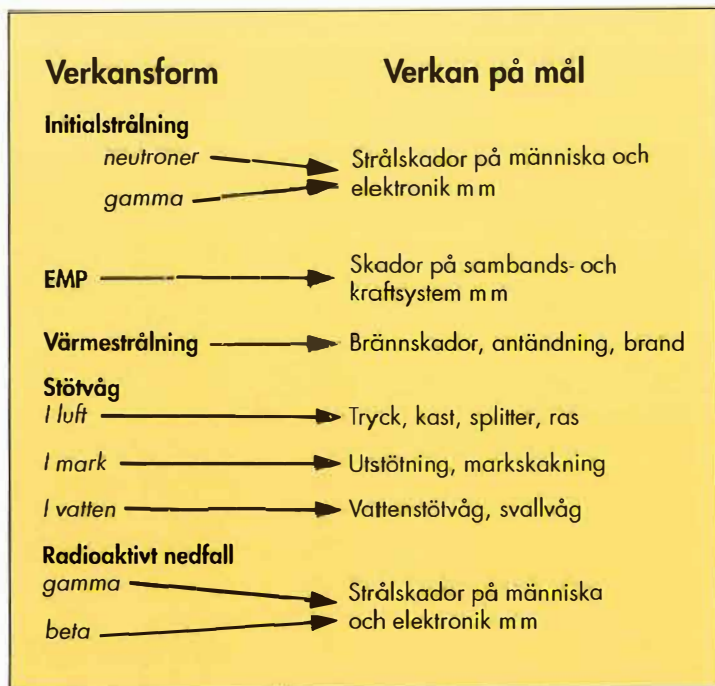
Vid explosioner i rymden kan det bildas ett "eldklot" i form av en skiva i den del av atmosfären under explosionen där röntgenstrålningen absorberas. Röntgen- och gammastrålningen ger vid sin växelverkan med atmosfären upphov till höghöjds-EMP.

Röntgen- och gammastrålningen från en rymdexplosion kan skada objekt i rymden, såsom satelliter eller stridsdelar, antingen direkt eller genom att den åstadkommer en elektromagnetisk puls, s k systemgenererad EMP, i objektet.

Vid explosioner under jord uppstår ett sfäriskt hålrum och en kraftig markskakning. Denna stötvåg kan upptäckas på stora avstånd och utnyttjas för detektion av underjordiska kärnladdningsprov. När gasstrycket sjunker, störtar taket i regel in och fyller hålrummet. Om inte explosionen sker på alltför stort djup bildas en insjunkningskrater på markytan.

En explosion på eller nära markytan ger upphov till en krater, dvs en fördjupning omgiven av en vall av uppkastat markmaterial.

Vid en undervattensexlosion bildas en väldig bubbla innehållan-



de explosionsgaser och vattenånga, samtidigt som en stötvåg breder ut sig i de omgivande vattenmassorna. Effekterna vid ytan beror i hög grad på såväl vattendjup som explosionsdjup. Om explosionsdjupet är måttligt kommer bubblan då den bryter genom vattenytan att ge upphov till ett enormt vattenuppkast och kraftiga svallvågor kring detta.

Allmänt kan sägas att vattnet effektivt skärmar såväl värmestrålningen som neutronstrålningen och den tidigare delen av gammastrålningen. Den senare delen av gammastrålningen, som utsänds från vapengaserna då dessa genombrutit vattenytan och kommit upp i luften, påverkas inte i samma utsträckning.

Stötvågen

Luftstötvågen

Luftstötvågen från en kärnladdningsexplosion har i princip samma egenskaper som stötvågen från en konventionell explosion, men varar längre. När stötvågen passerar ökar det *statiska* trycket (sammanpressningen av luften) först mycket snabbt upp till ett maximalt värde och återgår sedan till atmosfärstryck. Denna övertrycksfas följs sedan av en undertrycksfas som varar längre. Det undertryck som följer är mindre än övertrycket.

Stötvågen ger också upphov till en strömning som i övertrycksfasen kan betraktas som en orkanartad vindstöt från explosionspunkten. Den följs av en svagare vind i motsatt riktning. Vinden i stötvågen ger upphov till ett *dynamiskt* vindtryck som nära explosionspunkten är betydligt större än det statiska trycket. Det dynamiska tryckets tidsförlopp har i princip samma utseende som det statiska.

I början rör sig luftstötvågen avsevärt snabbare än ljudet. På större avstånd från explosionspunkten utbreder den sig med ljudets hastighet.

Stötvågen reflekteras av mark och vattenytor. Den reflekterade vågen utbreder sig genom den luft som uppvärms av den direkta vågen och får därför högre hastighet än denna. Där de två vågorna förenas uppkommer en s k Mach-våg. Den gemensamma fronten kallas Mach-front. Hur långt från nollpunkten Mach-fronten uppstår beror på explosionens styrka och höjd ovanför markytan. Mach-fronten har ett högre statiskt och dynamiskt tryck än den ostörda stötvågen. Mach-fronten är vertikal, vilket gör att i synnerhet vertikala ytor kommer att utsättas för det dynamiska trycket.

Mark- och vattenstötvågor

Stötvågor i mark eller vatten upp-

kommer antingen vid explosionsgasernas direkta kontakt med mark eller vattenytan eller då luftstötvågen träffar ytan.

Markstötvågens tryck har en långsammare stegring och kortare varaktighet än luftstötvågens tryck. Däremot utbreder sig stötvågen snabbare än luftstötvågen utom nära explosionspunkten. Markstötvågens verkan på nedgrävda eller nedsprängda objekt, t ex skyddsrum, kan ta formen av mer eller mindre våldsamma vibrationer. Dessa kan bli verksamma på utrustningen eller människorna där inne.

Vattenstötvågen har i stort sett samma utseende som luftstötvågen. Trycket avtar dock mindre snabbt med avståndet och vågens varaktighet är kortare. Utbredningshastigheten är större än i luft. Förutom stötvågen i vattnet ger en undervattens-explosion upphov till kraftiga ytvågor i vattnet. En 20 kt laddning som exploderar på 30 m djup i 60 m vatten ger en våghöjd på cirka 10 m på 1 km avstånd och 3 m på 3 km.

Luftstötvågens verkan

Luftstötvågen ger kraftig verkan mot byggnader, master, skorstenar, stolplinjor och skog. Mest omfattande blir skadorna normalt då explosionerna inträffar på en viss höjd över marken (se figuren sid 24–25).

Verkan av kärnvapen på bebyggelse skiljer sig från verkan av konventionella explosioner i viktiga avseenden. Luftstötvågen varar längre och påverkar alla delar av en byggnad samtidigt. Omfattande ras inträffar och gatorna blockeras över stora områden. Konventionella laddningar orsakar däremot i regel enbart skador på delar av större byggnader och lokala blockeringar.

Vid en luftexplosion är den direkta luftstötvågsverkan mot gator och vägar liten även i nollpunkten. En 20

kt explosion skadar broar upp till en kilometer från nollpunkten – hur svårt beror på brotypen. Gator och vägar beläggs med rasmassor och kringflygande material. Riskerna för blockering genom raserade hus är störst i områden med murade flervåningshus.

Närmast nollpunkten får man också räkna med brott på nedgrävda ledningar för vatten, avlopp och gas. Brott på vattenledningar kan göra att vattentrycket blir för lågt för brandsläckning, samtidigt som vattenbehovet är mycket stort. Värmestrålningen och luftstötvågen orsakar talrika bränder. Luftstötvågen slår sönder eldstäder, bryter av gasledningarna och förstör olje- och bensinupplag.

Verkan på människa

Det statiska övertrycket kan väntas vara av underordnad betydelse. En människa dör i regel inte av tryckbelastningar upp till 200–300 kPa övertryck. Lungskador kan dock förekomma redan vid lägre övertryck, cirka 70 kPa. Trumhinnorna kan sprängas vid cirka 30 kPa. Ras-, kast- och splitterskador kan uppstå vid betydligt lägre övertryck.

Människor som vistas i det fria kan skadas av kringflygande föremål eller genom att de kastas mot marken, byggnader, träd o d. I båda fallen är det stor risk för skallfrakturer och brott på armar och ben. Luftstötvågen orsakar en långvarig acceleration över en lång vägsträcka. Skadorna blir alltså mindre ju tidigare kroppen bromsas och minst om kroppen har stöd av en vägg e d.

I byggnader, skyddsrum och befästningar kan stötvågen indirekt skada människor genom ras. På längre avstånd från nollpunkten kan människor i byggnader och fordon träffas av glassplitter från fönster eller andra splitter som slungas in

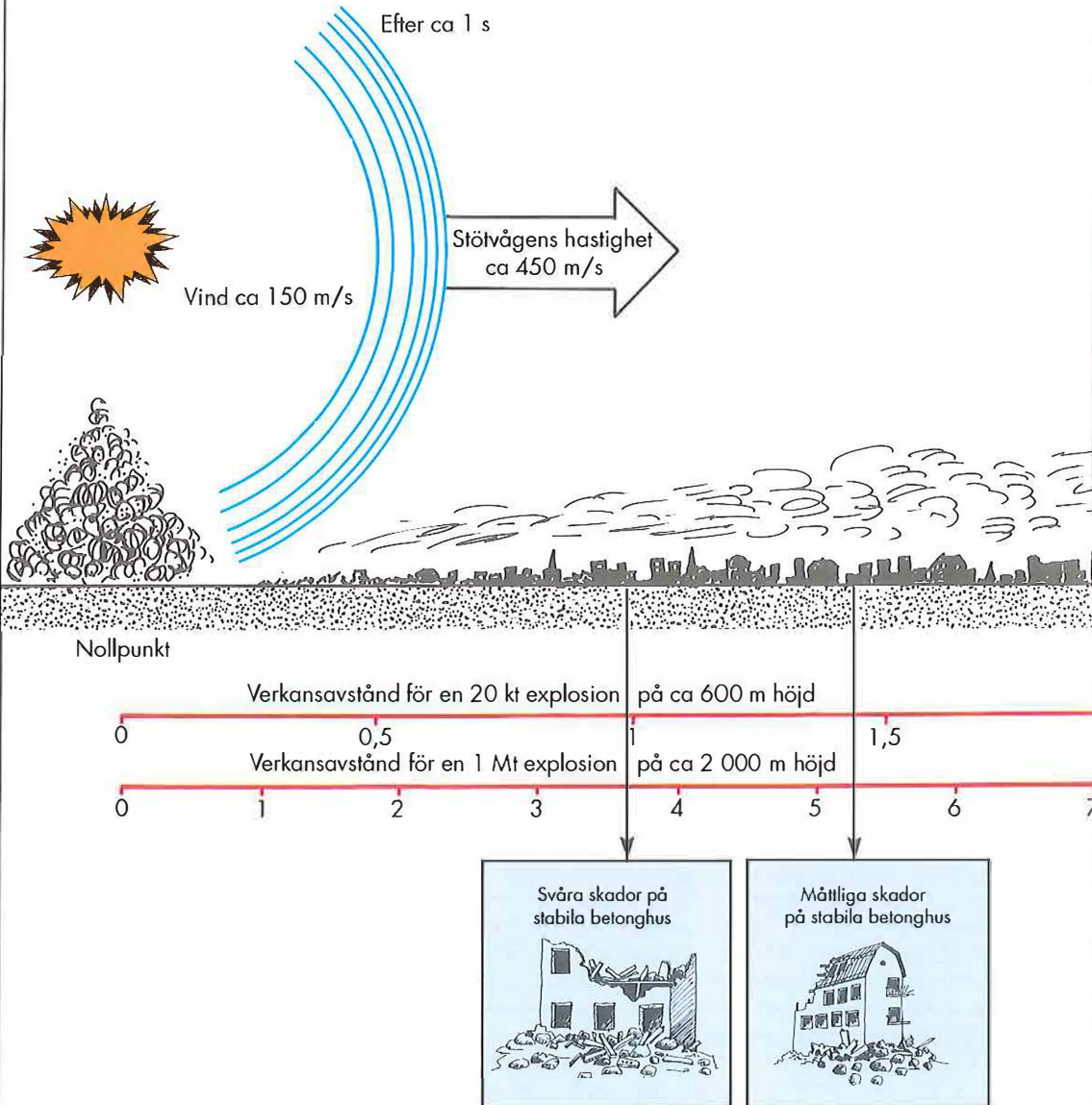
genom fönster och andra öppningar. En kärnladdningsexplosion åstadkommer en enorm mängd kringflygande material – glasbitar, tegel,

sönderbrutet trävirke, betongfragment, trädgrenar m m.

Vid yt- och underjordsexplosioner kan markstötvågen ge omfattan-

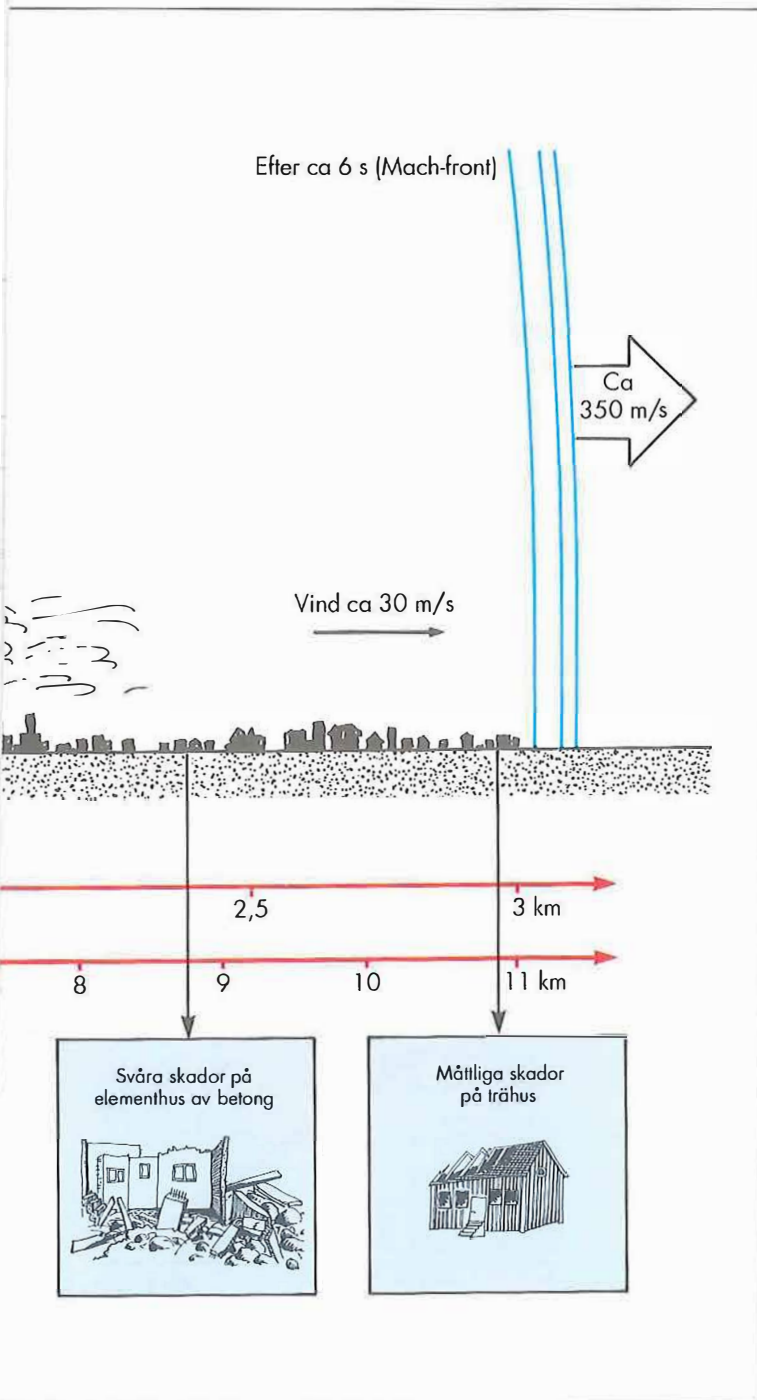
de indirekta skador på människor som vistas i skyddsrum och befästningar, framför allt i bergtrum. Skadorna kan uppstå dels genom mark-

Exempel på stötvågsverkan mot bebyggelse



skakningar, dels genom sk utstötning, dvs att bergummet delvis störts in. Även vattenstöt vågen som uppstår vid yt- och undervat-

tensexpllosioner kan ge liknande effekter i ubåtar och andra fartyg. På ytfartyg kan svallvågen från en explosion i många fall ge stora skador.



Skallagar

Om stöt vågens egenskaper för en viss laddningsstyrka är kända, kan de bestämmas för andra laddningsstyrkor med hjälp av skallagar. Ett givet tryck uppträder på ett avstånd (från explosionspunkten eller från nollpunkten) som är proportionellt mot tredje roten ur laddningsstyrkan om explosionshöjden skalas om på samma sätt. Om en referensladdning på W_1 kt och explosionshöjden h_1 ger ett visst tryck på avståndet L_1 , ger en explosion med styrkan W kt på höjden h samma tryck på avståndet $L=L_1(W/W_1)^{1/3}$ om $h=h_1(W/W_1)^{1/3}$.

Splitter och kastskador

Ett glassplitter som väger mellan ett halvt och ett gram förmår tränga genom bukhålan om anslagshastigheten är cirka 150 meter per sekund. Denna hastighet uppnår splittret efter en vägsträcka av fem meter på ett avstånd av cirka en kilometer från en 20 kt explosion. För 1 Mt är motsvarande avstånd cirka fem kilometer.

Enligt amerikanska källor är det 50 procents sannolikhet för att en person, som slungas mot en vägg med hastigheten tio meter per sekund, dör. En person som väger 75 kg kan beräknas uppnå denna hastighet efter drygt tre meters kaststräcka om avståndet till nollpunkten är en kilometer och laddningen 20 kt. En 1 Mt laddning ger samma verkan på fyra kilometers avstånd. Detta gäller vid luftexplosioner som äger rum på en sådan höjd att den materiella förstörelsen blir maximal.

Värmestrålningen

Den värmestrålning som avges från eldklotet är liksom solljuset sammansatt av infraröd strålning (IR), synlig strålning (ljus) och ultraviolett strålning (UV). Under utstrålningstiden varierar den "effektiva" ytemperaturen mellan 10 000 och 2 000 °C. Värmestrålningens sammansättning blir ungefär hälften ljus, hälften IR och mindre än 1 procent UV.

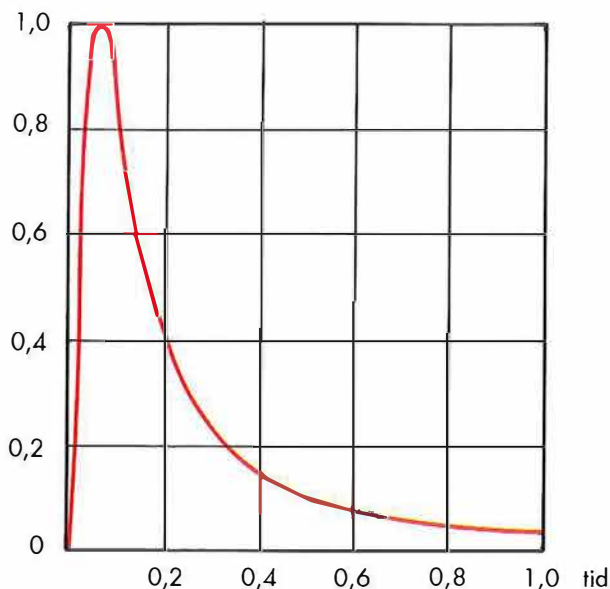
Explosioner i den lägre atmosfären (<30 km) avger värmestrålningen i två tätt på varandra följande pulser. Den första pulsen är mycket kortvarig men intensiv – en ljusblixt. Den andra pulsen är omkring 100 gånger längre och innehåller cirka 99 procent av den utstrålade energin. Pulsens längd ökar med laddningsstyrkan. Den är t ex 0,4 s vid 1 kt, men 9 s vid 1 Mt. Av den frigjorda energin (laddningsstyrkan) avges cirka 35 procent som värmestrålning.

Vid explosioner på mycket hög höjd avges 75–80 procent av energin som värmestrålning, huvudsakligen inom röntgenområdet. Röntgenstrålningen når ej jordytan, men en del kan genom upphettning av atmosfären omvandlas till synlig och infraröd strålning som kan tränga genom atmosfären. Röntgenstrålningen har mycket stor betydelse för verkan mot satelliter och andra föremål ovanför atmosfären. Verkansradierna kan bli tusentals km (vid stora laddningsstyrkor över 10 000 km) mot oskyddade satelliter.

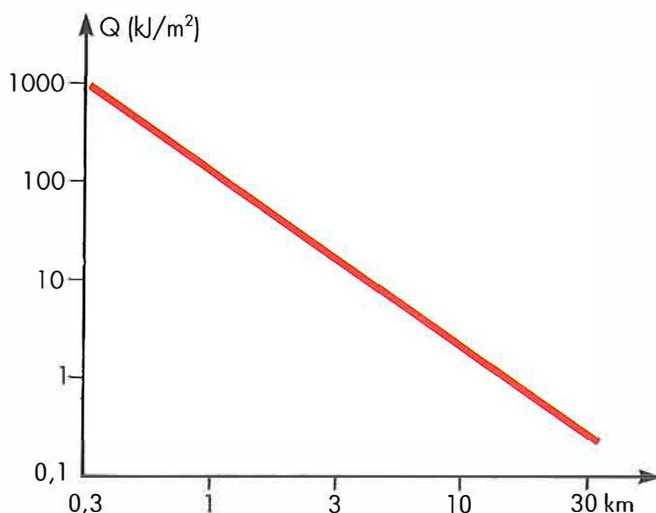
Bestrålning

Den värmeenergi som träffar en yta, räknat per ytenhet, kallas bestrålning och uttrycks oftast i kJ/m^2 . Bestrålningen från en kärnladdningsexplosion beror främst på explosionens styrka och avståndet till explosionen. Andra viktiga faktorer är atmosfärens tillstånd (sikten), fö-

Utstrålnings effekt



Formen hos värmestrålningspulsen är lika för alla explosionsstyrkor W (kt). Pulsens längd t varierar med W och är ungefär $t=0,3 \times W^{1/2}$ s. Skalorna i diagrammet är relativa. I figuren har inte ritats in den första, mycket kortvariga pulsen.



Mottagen bestrålning Q (kJ/m^2) på olika avstånd från en 1 kt explosion vid god sikt. För en explosion med styrkan W kt blir bestrålningen W gånger större.

rekomsten av moln och markens reflektionsförmåga. Bestrålningen är direkt proportionell mot laddningsstyrkan och omvänt proportionell mot kvadraten på avståndet till explosionen.

Atmosfären inverkar på bestrålningen genom sin förmåga att absorbera och sprida strålning (molekyler, damm, droppar). Moln mellan explosionen och målet kan minska bestrålningen avsevärt. Ljusa moln ovanför explosionspunkten och ljusa markmaterial (t ex snö) kan genom reflektion öka bestrålningen mot mål vid markytan.

Trots spridningen kan man i regel anse att värmeinstrålningen utbreder sig rätlinjigt. Detta innebär att skydd mot den direkta värmeinstrålningen erbjuds av varje föremål som kastar en tillräckligt stor skugga.

Verkan på material

Den viktigaste formen av verkan på material är antändning. Bränder kan uppstå i byggnader och terräng. Kläder som antänds kan ge svåra brännskador.

Material skadas genom att värmeinstrålningen absorberas vid ytan och leds in i materialet. För antändliga material kan temperaturhöjningen leda till pyrolys (termisk sönderdelning), förkolning eller antändning vid materialets yta. Metal-

liska material kan smälta, få sämre hållfasthet eller spricka.

Materialets optiska egenskaper har stor betydelse för dess förmåga att reflektera eller absorbera den infallande strålningen. Reflektionsförmågan kan vara mycket olika för synligt ljus och IR-strålning. Likaså reflekterar t ex ett vitt material 90 procent av ljuset, ett svart material endast några få procent.

Viktiga är även materialets termiska egenskaper, framför allt dess värmeledningsförmåga. En låg värmeledningsförmåga kan göra att yttemperaturen blir hög. Därmed ökar risken för antändning.

Verkan på människa

Värmeinstrålningen kan ge skador på både hud och ögon. Bar hud kan få direkta brännskador av strålningen och huden kan också skadas av att klädseln antänds.

Hudbrännskadornas svårighetsgrad bestäms av skadedjupet i huden och den skadade hudytans storlek. Skadans placering på kroppen har också betydelse för hur allvarlig den är; i halsregionen kan andningsvägarna påverkas, brännskador på extremiteterna kan ge invaliditet.

Klädseln kan både öka och minska risken för hudbrännskador. Om klädseln antänds är risken stor för en allvarlig skada på en stor hudyta. Ett

enkelt tyglager som inte antänds ger som regel ett visst skydd, men skador kan ändå uppkomma genom värmeledning till den bakomliggande huden. Om smältbara textilmaterial (plaster) ligger an mot huden kan djupa brännskador uppstå. En flerskiktsskydd kan ge ett gott skydd. Ytskiktet ska då vara svårantändligt och några av skikten ha god distans till varandra.

vilken bestrålning som leder till att oskyddad hud får brännskador eller att tyger antänds varierar med explosionsstyrkan. Om styrkan är liten och bestrålningstiden därmed kort, räcker en mindre mängd bestrålning för att vålla en viss typ av skada än då styrkan är hög och bestrålningstiden lång. Detta beror på att värme hinner ledas bort från materialens (hudens) yta. Tjocka ljusa tyger behöver större bestrålning för att antändas än tunna mörka.

Värmeinstrålningen ger bländande belysning inom ett mycket stort område. För några sekunder kan man bli helt blind. Förmågan att se i dagsljus återkommer inom några minuter medan det kan dröja upp till flera tiotal minuter innan man kan se i mörker igen.

Om en kärnladdningsexplosion inträffar kommer många människor att bländas. Ett mindre antal kommer också att få bestående skador på ögonen, t ex brännskador på näthinnan.

Brand

Om ett kärnvapen exploderar över bebyggelse åstadkommer värmestrålningen otaliga antändningar. Många utvecklas till bränder i byggnader. Luftstötstågverkan mot bl a uppvärmningsanordningar kan också ge upphov till bränder.

Till bilden av det tidiga brandförloppet hör luftstötstågens övriga verkningar, som påskyndar branden. Ventilationen ökar när fönster krossas och dörrar öppnas. Förbrännings hastighet ökar genom att inredningen splittras. Huvuddelen av de antändningar som leder till fortsatt brand uppkommer inomhus efter instrålning genom fönster.

I bostäder antänds textilier och papper, vilket leder till brand i möbler och annan lös inredning. Även byggnadernas utsidor träffas av värmestrålning, främst de som vetter mot explosionen och inte är skuggade av andra byggnader. Är ytorna av brännbart material (t ex trä) antänds de vid bestrålningen men slocknar oftast inom kort. Detta beror dels på att endast ytan har hunnit värmas upp, dels på att luftstötstågen kan blåsa ut elden.

Antändning genom värmestrålning

I brännbara material absorberas värmestrålningen i ytan, varvid materialet upphetas och antänds. För olika material och bestrålningar varierar antändningstemperaturen mellan 400 och 600°C. Vanliga lättantändliga material är inomhus papper, tyg och plaster och utomhus torrt gräs, torra löv och tunna kvistar av gran och tall.

Hur lättantändliga dessa material är beror på deras tjocklek, färg och fuktighet. Tjockleken bestämmer materialets förmåga att leda bort värme från ytan, färgen ytans reflektionsförmåga och fuktinnehållet den vattenmängd som måste förång-

as innan yttemperaturen kan höjas tillräckligt.

Värmestrålningens olika längd för olika laddningsstyrkor inverkar på vilken bestrålning Q_a som behövs för att antända ett material och även på arten av antändning: till glödning, till förbränning med låga eller till tillfällig antändning. I tabellen ges några exempel på hur stor bestrålning Q_a (kJ/m^2) som behövs för att antända några olika material.

Material	10 kt	100 kt	1 Mt
Tidningspapper	150	200	250
Mörka textilier	200	250	300
Torrt gräs, granris	250	300	450

Den bestrålning som krävs för att antända torra, lättantändliga material inomhus och i terrängen uttryckt i kJ/m^2 . För fuktigare, men ej våta material är värdena cirka 50 procent större.

Brandförloppet i en byggnad efter en kärnvapenexplosion bestäms av de antändningar som skett och av luftstötstågens verkningar på huset. En viktig skillnad gentemot fredstida bränder är att bränder som vållas av kärnvapenexplosioner uppstår i mer eller mindre skadade hus. Skadorna kan variera från krossade fönster till spruckna eller delvis raserade byggnader.

Brand i bebyggelse

En kärnvapenexplosion över bebyggelse orsakar samtidigt ett stort antal husbränder. Efter några tiotal minuter sprider sig branden mellan byggnaderna och i rasmassorna. Spridningen sker på olika sätt: genom flammor mellan intilliggande byggnader och rasmassor, genom strålning mellan byggnader samt genom flygbränder. Med flygbränder avses

bitar av brinnande bränslen som följer med brandgaser och vind flera hundratal meter.

Genom brandspridningen växer husbränderna samman till områdesbränder. Om det blåser sprider de sig i vindens riktning (konflagrationsbrand). Är vindhastigheten t ex 10 m/s bedöms en områdesbrand sprida sig med ungefär 100 m/h i slutet kvartersbebyggelse.

I krig har det förekommit områdesbränder av sk brandstormstyp. Kända exempel är Hamburg, Dresden och Hiroshima. Branden alstrar själv vindar av stormstyrka (>25 m/s) hos den luft som strömmar till längs marken. Förbrännings hastigheten blir mycket hög och branden nästan total inom det närmast cirkulära brandområde som uppkommer. Möjligheterna att överleva i detta område är mycket små.

För att det ska uppstå en områdesbrand av brandstormstyp krävs följande:

- Antändningsområdet är ungefär cirkulärt och större än 1 km^2 .
- Det blåser mindre än 4 m/s.
- Mer än vartannat hus är primärantant.
- Bebyggelsen är tät och bränslemängden stor – mer än 30 procent av ytan bebyggd och mer än 40 kg brännbart material per m^2 .

Brand i terräng

Kärnvapenexplosioner över terräng antänder vegetationen över stora ytor, speciellt tunna, torra växtdelar. I skog sprider sig bränderna snabbt till grövre bränslen. Är marken snötäckt antänds vegetationen endast tillfälligt. Spridnings hastigheten varierar kraftigt med vegetationen, fuktigheten och vådret. För barrskog är den t ex 200 m/h och för grön lövskog 20 m/h vid vindhastigheten 5 m/s. Vid mycket torrt och blåsigt väder kan spridnings hastigheten vara avsevärt större, t ex 1 000 m/h i

barskog. Även brändernas förlopp varierar kraftigt med vegetationstypen. Det intensiva flamskedet för barskog är t ex 30 minuter och för torr gräsmark 2 minuter.

I februari 1945 var folkmängden i Dresden fördubblad av flyktingar som försökte komma undan den ryska offensiven. Staden angreps i upprepade vågor av totalt nästan 2 000 amerikanska och brittiska plan. De fällde 3 000 ton bomber inklusive 650 000 brandbomber. Attackerna resulterade i en brandstorm som utplånade 85 procent av stadens centrala delar och dödade 135 000 människor. Foto: Pressens Bild



Människan i brandmiljö

Med brandmiljö menas främst heta gaser, värmestrålning, giftiga gaser och sikthindrande rök. Kontakt med flammor och heta gaser leder snabbt till hudbrännskador. Värmestrålningen från bålet och flammorna kan ge brännskador på oskyddad hud, men också ge kontaktbrännskador genom upphettad klädsel. Flammor, gnistor och värmestrålning kan antända klädseln och därigenom ge svåra brännskador på stora hudytor.

Vid all förbränning bildas den mycket giftiga brandgasen kolmonoxid (CO). I brandens närhet kan koncentrationen av CO uppgå till flera procent. Vid denna koncentration är dödsrisken stor redan efter några minuter.

Även på ett visst avstånd från branden är skaderisken stor. Andra giftiga brandgaser kan också förekomma, t ex svaveloxider, saltsyra och vätecyanid. Blandas de med CO blir brandgaserna ännu giftigare.

Brandgaserna är i de flesta fall blandade med rökpartiklar (sot, droppar m m). Röken kan försämra sikten, vilket kan försena och försvåra utrymningen av en brinnande byggnad. Röken kan också kraftigt irritera ögon och andningsorgan.

Om det brinner utanför ett skyddsrum måste ventilationen omedelbart avbrytas för att inte brandgaser ska sugas in. Då sjunker koncentrationen av syre (O₂) och stiger koncentrationen

av koldioxid (CO₂) i skyddsrummet. Efter 6–8 timmar i ett fullbelagt skyddsrum utan ventilation blir de låga värdena av O₂ och höga av CO₂ livshotande.

En annan fara i skyddsrum är överuppvärmning, dels genom den värme som människorna själva avger (cirka 100 watt/person), dels genom den värme som leds från branden genom skyddsrummets tak och väggar. Temperaturen och fuktigheten stiger i skyddsrummet, så att människorna inte kan avge den värme de själva utvecklar. Följden blir att kroppstemperaturen stiger, i värsta fall till dödliga nivåer, efter 3–4 timmar.

Joniserande strålning

Joniserande strålning är partiklar (t ex elektroner) eller fotoner (elektromagnetisk strålning) med så hög energi att den frigör elektroner i (joniserar) det material den passerar. Instabila atomkärnor gör sig av med sin överskottsenergi genom att sända ut sådan strålning. De sägs därför vara radioaktiva (= strålande). Strålningen kan vara av tre slag: alfastrålning, som består av positivt laddade partiklar (heliumkärnor), betastrålning, som är positivt eller negativt laddade elektroner, samt gammastrålning, som är elektromagnetisk strålning (fotoner) av hög energi. Både alfa- och betastrålning har en väldefinierad räckvidd, vilken i fasta material är kort. Från strålskyddssynpunkt har dessa strålslag därför mindre betydelse.

En nuklid är ett atomslag karaktäriserat av ett bestämt antal protoner och neutroner i kärnan. Nuklider tillhörande samma grundämne kallas isotoper. Nästan alla grundämnena har både stabila och instabila isotoper. Vanligt kol består t ex till största delen av stabila isotoper (till 98,9 procent av kol 12), men kol har också flera instabila isotoper, t ex

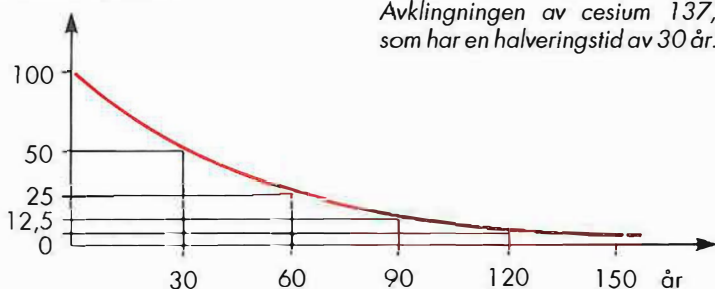
kol 14. Denna sönderfaller med betastrålning till den stabila nukliden kväve 14. *Halveringstiden* för kol 14 är 5 760 år. Efter denna tid har aktiviteten gått ned till hälften. Aktivitet är antalet omvandlingar eller sönderfall per tidsenhet.

Många radioekologiskt betydelsefulla radionuklider ingår i en så kallad sönderfallsserie, som innebär att även sönderfallsprodukterna, "dotternukliderna", är radioaktiva. Ett exempel är toriumserien med radon som en av dotternukliderna.

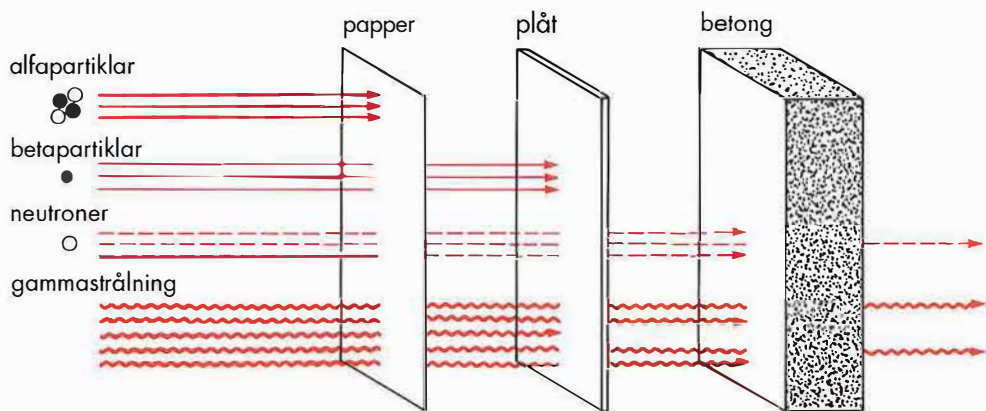
I kärnvapensammanhang förekommer också neutronstrålning. Neutroner är oladdade partiklar men orsakar jonisation när de passerar ett material. Även neutronstrålning räknas således till joniserande strålning.

Gamma- och neutronstrålning kan växelverka med ett medium på två sätt: spridning eller absorption. Vid en spridningsprocess avger strålningen en del av sin energi till en atom i materialet, varefter den "studsar" vidare i annan riktning med reducerad energi. Vid absorptionsprocessen stoppas strålningen helt och all energi övergår lokalt till materialet. Båda slagen av processer är betydelsefulla för såväl den initiala som den kvarvarande strålningen (se följande kapitel). Spridningen får viktiga konsekvenser. Vid passage genom luft diffuseras strålningen och kan vid marken infalla från alla håll mot ett objekt. Genom spridning i luft och vägghänsynpunkt kan strålning tränga in i t ex skyddsrum via ingångsöppningar.

Aktivitet i procent



Joniserande strålningens genomträngningsförmåga



I fråga om neutron- och gammastrålning kan man inte definiera en räckvidd, utan strålningen dämpas successivt under passage genom ett material. Dämpningen kan approximativt beskrivas med en halverings-tjocklek, som anger tjockleken hos ett materialskikt som minskar strålningsstyrkan till hälften. För gammastrålning gäller att ju högre densitet ett material har desto effektivare blir strålningsdämpningen. För neutroner är dessutom materialets sammansättning, speciellt dess vätehalt, av betydelse.

Den avgivna energin kan orsaka förändringar i mediets egenskaper (t ex genom jonisering, kemiska förändringar eller förskjutningar i kristallstrukturen). Vid absorption av neutroner bildas i vissa material radioaktiva nuklider, s k neutroninducerad aktivitet. Strålningen från dessa nuklider har betydelse som kvarvarande strålning.

Detektion och enheter

När strålningen joniserar avger den energi. Som ett mått på den mängd energi som upptagits (absorberats) per massenhet har man infört begreppet absorberad dos eller i dagligt tal dos. Dos används för alla typer av strålning och mäts i J/kg = gray (Gy). ●lika typer av strålning kan dock ha olika biologisk verkan för ett och samma värde på dosen. Därför har man infört en kvalitetsfaktor för varje stråltyp. Dosen uttryckt i Gy ska multipliceras med kvalitetsfaktorn för att man ska få ett mått på dosens biologiska verkan, dosekvivalenten, som mäts i sievert (Sv). Detta begrepp används inom all strålskyddsverksamhet.

Det finns olika typer av detektorer med vars hjälp man kan påvisa strålning. Mer kvalificerade instrument mäter dosrat (se faktaruta) eller dos i luft eller i omgivande material. För ett väldefinierat strålslag kan man kalibrera mätinstrumentet så att det ger direkt besked om dosekvivalenten i vävnad.

Strålningsabsorption

Ungefärliga räckvidder för laddade partiklar

Strålslag	Räckvidd i luft	Räckvidd i kroppsvävnad	Stoppas av
alfa	5 cm	0,05 mm	kläder, papper, hudens övre skikt
beta	10 cm–20 m	upp till 2 cm	3 mm stål, 1 cm betong

Ungefärliga halveringstjocklekar för några material

Strålslag	Stål	Betong	Vatten
gamma från radioaktivt nedfall	2 cm	7 cm	15 cm
gamma i initialstrålning	4 cm	13 cm	30 cm
neutroner	10 cm	9 cm	7 cm

Storheter och enheter

Aktivitet mäts i becquerel (Bq); 1 Bq = 1 sönderfall/s. (Äldre enhet: curie, Ci; 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq.)

Dos mäts i gray (Gy); 1 Gy = 1 J/kg. (Äldre enhet: rad; 1 rad = 10^{-2} Gy.)

Dosekvivalent mäts i Sievert (Sv) och är dosen i Gy multiplicerad med en kvalitetsfaktor. För gammastrålning är kvalitetsfaktorn 1. För neutronstrålning är den mindre väl bestämd men brukar i kärnvapensammanhang numera sättas till 2. I fortsättningen uttrycks "dos" i Sv. Egentligen menas då dosekvivalent. (Äldre enhet: rem; 1 rem = 10^{-2} Sv.)

Doshastighet eller *dosrat* är dos per tidsenhet, t ex gray per timme (Gy/h). På motsvarande sätt uttrycks dosekvivalent per tids-

enhet, t ex millisievert per år (mSv/yr).

Kollektivdos eller *kollektivdosekvivalent* mäts i manGy respektive manSv och är produkten av antalet bestrålade individer och den genomsnittliga dosen (eller dosekvivalenten) till varje individ.

Dosintekning är den totala kollektivdos som en viss mängd aktivitet kan ge upphov till under all framtid.

Observera att aktivitet (i Bq) inte kan översättas till dos (i Gy) eller besläktade begrepp utan att man specificerar strålningens art och energi, strålkällans utsträckning, om bestrålningen är extern eller intern m fl faktorer.

Begreppen kollektivdos och dosintekning tillämpas inte på enskilda individer.

Joniserande strålning från kärnvapenexplosioner

En kärnvapenexplosion ger upphov till joniserande strålning från många olika källor. Strålningen indelas i initialstrålning (inom en minut efter explosionen) och kvarvarande strålning (efter en minut). Den kvarvarande strålningen omfattar dels strålning från radioaktivt nedfall, dels strålning från neutroninducerad aktivitet.

Initialstrålning

I explosionsögonblicket utsänds från kärnladdningen en mycket kortvarig ($< 1 \mu\text{s}$) men intensiv puls av joniserande strålning, den s k prompta strålningen. Den består dels av gammastrålning och neutroner från fissions- och fusionsreaktionerna, dels av gammastrålning från inelastisk spridning av neutroner i vapenhöljet. Dessutom utsänds en mycket intensiv puls av röntgenstrålning. Denna har dock mycket kort räckvidd i normal luft och brukar därför inte räknas in i initialstrålningen annat än vid explosioner i den starkt förtunnade luften på mycket höga höjder ($> 50 \text{ km}$).

All gammastrålning utbreder sig med ljushastigheten ($300 \text{ m}/\mu\text{s}$), medan de snabbaste neutronerna bara har en sjättedel av denna hastighet. Den prompta strålningspulsen utbreder sig under spridning och absorption i omgivande medier (luft och mark), samtidigt som den blir mer utdragen i tiden. Detta gäller speciellt neutronpulsen. Huvuddelen av neutronstrålningen passerar dock på mindre än 1 ms och den prompta gammastrålningen på högst några få μs .

Förutom den prompta strålningen består initialstrålningen främst av ytterligare gammastrålning. De båda viktigaste källorna till denna är spridning och absorption av neutroner i olika ämnen, främst i omgivan-

de luft, samt radioaktivt sönderfall av kortlivade ämnen (fissionsprodukter) som bildas vid fissionerna. Strålningen från neutronreaktionerna har kort varaktighet ($< 1 \text{ s}$). Strålningen från fissionsprodukterna avtar långsammare. Dess tidsförlopp vid marken bestäms dels av att aktiviteten avklingar och dels av att avståndet från markytan ökar när eldklotet under den första minuten stiger allt högre upp. Vid yt- och luftexplosioner svarar strålningen från dessa båda källor och neutronstrålningen för nästan hela totaldosen. Den prompta gammastrålningen har dock avgörande betydelse för uppkomsten av EMP och för strålpåverkan på elektronik.

Redan på måttliga avstånd från explosionen kan strålkällan betraktas som nästan punktförmig. Förutom att initialstrålningen dämpas genom absorption och spridning, så avtar den därför i omvänd proportion till kvadraten på avståndet från explosionen.

Beroende på laddningens typ, styrka, konstruktion mm kan de olika strålkällorna få olika relativ betydelse. Strålningens egenskaper kan därför variera inom ganska vida gränser. Förhållandet mellan neutron- och gammados varierar, liksom de båda strålningskomponenternas spektra. Vanligen kan man inte ta hänsyn till dessa variationer, utan strålningsdata ges för standardladdningar (fission eller fusion) med beroende endast av laddningsstyrkan. Felmarginalen vid beräkningar av dosvärden uppgår därför till en faktor 2 uppåt och nedåt vid laddningsstyrkor under 100 kt. Betydligt större osäkerhet råder vid högre laddningsstyrkor. Störst är osäkerheten när det gäller den maximala doshastigheten.

Då det gäller speciella typer av laddningar kan man inte tillämpa

data för en genomsnittsladdning. Man anser t ex att en neutronladdning på ett visst avstånd kan ge en neutrodos som är 20–30 gånger så stor som den en lika stark fissionsladdning ger.

Radioaktivt nedfall

De radioaktiva ämnen som bildas vid fissionerna binds i eller på de partiklar som bildas i samband med explosionen. Dessa finns till en början samlade i ett radioaktivt moln. I molnet varierar nuklidsammansättningen med tiden. Vissa ämnen sönderfaller och försvinner medan andra byggs upp. Efter en tid kommer därför det radioaktiva stoffet att innehålla mer än 300 isotoper av cirka 40 olika grundämnen.

Partiklar som bildas i samband med en kärnvapenexplosion klassificeras i två grupper. Den ena består av metalloxidkulor, som bildas när vapenångorna kondenserar. Dessa är små och når inte marken förrän efter mycket lång tid, och då som globalt nedfall. Det är på detta sätt som fissionsprodukter från provsprängningar i atmosfären på 1950- och 1960-talen sprits över hela jorden. Den andra gruppen är partiklar som också innehåller vapenrester, men i huvudsak består av material som sugits in i den turbulenta luften, i omkring och under eldklotet. Materialet kan ha varit helt eller delvis smält eller förångat.

Partikeltypernas förekomst och de radioaktiva ämnenas fördelning på partikeltyper och partikelstorlekar beror på var laddningarna exploderat: i fri atmosfär, vid eller nära markytan eller vid eller nära en vattenyta. Den information som finns om partikelbildningen har vi framför allt från prov i Nevada och Stilla Havet. Stor osäkerhet råder därför om hur partikelbildningen skulle se

ut i svensk markmiljö och kustnära havsmiljö.

Luftexplosioner ger i huvudsak endast upphov till mycket små partiklar som leder till globalt nedfall och utelämnas därför i det följande. De partiklar som ger upphov till lokalt nedfall vid ytt explosioner över mark eller strax under markytan har en diameter av minst några tiotals mikrometer (μm) och högst några millimeter.

Vid en undervattensexpllosion på ringa djup skapar explosionen en kraftig vattenpelare, åtföljd av molnbildning. Molnet når inte lika högt som vid en luftexplosion och får en mer blomkålsliknande form. Under detta utbreder sig snabbt ett radioaktivt dimmoln. Så småningom höjer sig dimmolnet och uppgår i blomkålsmolnet och naturliga moln. Mycket litet är emellertid publicerat om nedfallet från undervattensexpllosioner.

Spridning och deposition

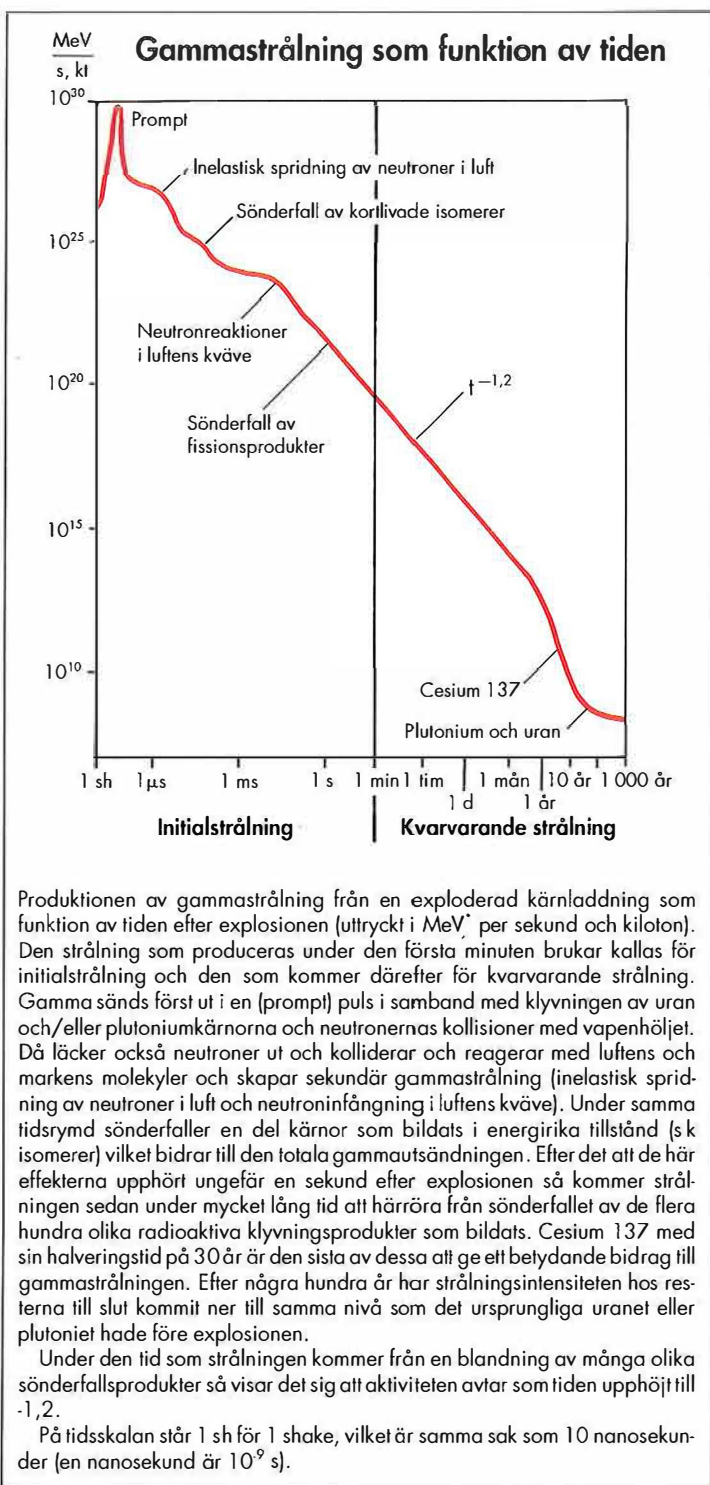
De radioaktiva partiklarna i molnet utgör ingen hälsorisk för människor på marken, eftersom molnet befinner sig så högt upp. Faran uppstår då de fallit till marken och bildat ett belägningsfält.

Molnet förflyttas med vindarna, växer till, deformerar och späds ut på grund av vindarnas variation i tid och rum. Partiklarna i molnet är

Falltider och fallhastigheter

Radie μm	Fallhastighet cm/s	Falltid
1 000	1 500	10 minuter
100	160	1,5 timmar
10	3,5	3 dygn
1	0,035	1 år

Falltider från 10 km höjd för sfäriska partiklar med densiteten $2\,600\text{ kg/m}^3$. Fallhastigheterna avser cirka 5 km höjd.

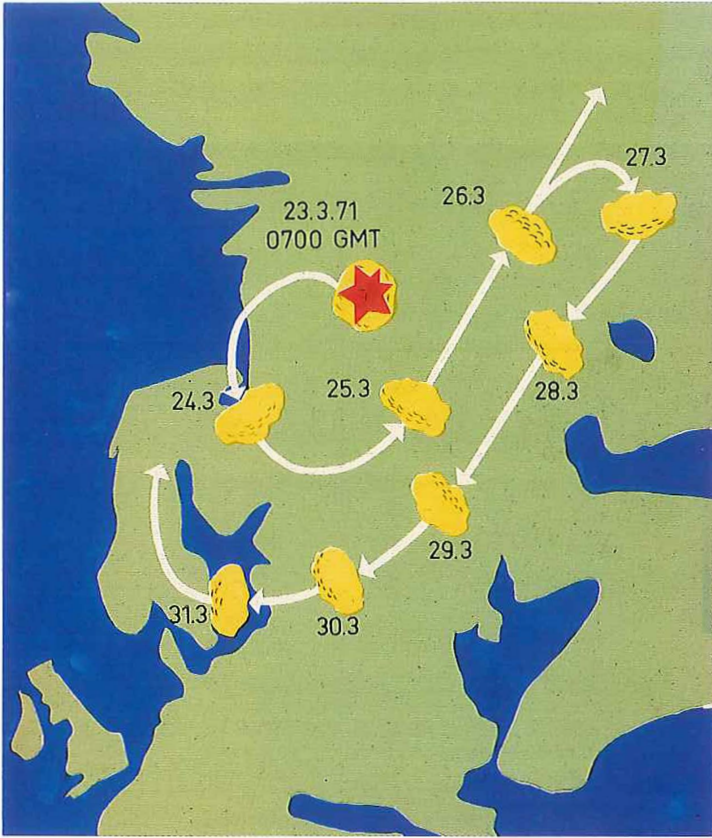


Produktionen av gammastrålning från en exploderad kärnladdning som funktion av tiden efter explosionen (uttryckt i MeV^* per sekund och kiloton). Den strålning som produceras under den första minuten brukar kallas för initialstrålning och den som kommer därefter för kvarvarande strålning. Gamma sänds först ut i en (prompt) puls i samband med klyvningen av uran och/eller plutoniumkärnorna och neutronernas kollisioner med vapenhöljet. Då läcker också neutroner ut och kolliderar och reagerar med luftens och markens molekyler och skapar sekundär gammastrålning (inelastisk spridning av neutroner i luft och neutroninfångning i luftens kväve). Under samma tidsrymd sönderfaller en del kärnor som bildats i energirika tillstånd (så kallade isomerer) vilket bidrar till den totala gammautsändningen. Efter det att de här effekterna upphört ungefär en sekund efter explosionen så kommer strålningen sedan under mycket lång tid att härröra från sönderfallet av de flera hundra olika radioaktiva klyvningsprodukter som bildats. Cesium 137 med sin halveringstid på 30 år är den sista av dessa att ge ett betydande bidrag till gammastrålningen. Efter några hundra år har strålningsintensiteten hos resterna till slut kommit ner till samma nivå som det ursprungliga uranet eller plutoniet hade före explosionen.

Under den tid som strålningen kommer från en blandning av många olika sönderfallsprodukter så visar det sig att aktiviteten avtar som tiden upphöjt till $-1,2$.

På tidsskalan står 1 sh för 1 shake, vilket är samma sak som 10 nanosekunder (en nanosekund är 10^{-9} s).

*Strålningsenergi mäts i enheten elektronvolt (eV), som uttrycker den rörelseenergi som en elektron får vid passage genom en spänningsskillnad av 1 volt. 1 MeV betyder 1 miljon eV.



En beräknad trajektor som visar hur ett radioaktivt utsläpp transporteras i atmosfären. Just detta fall illustrerar hur vi i Sverige kunde upptäcka det läckage som skedde i samband med en sovjetisk civil provexplosion i Ural 1971.

Trajektorier

Vid transport- och spridningsberäkningar är trajektorier ett centralt begrepp. En trajektor är den "väg" ett moln eller en del av ett moln transporteras genom atmosfären. För att bestämma vart ett radioaktivt moln kommer att ta vägen och var ett eventuellt belägningsfält kan uppstå, måste man bestämma molnets trajektorer.

När det gäller att bedöma belägningsfält i närheten av explosionspunkten klarar man sig normalt med trajektorer beräknade från ett stationärt vindfält. För längre avstånd måste dock vindfältets variation i tiden beaktas om man vill få en mer noggrann bestämning av belägningsfältets läge och utseende.

Alla beräkningar av vindfältets variation i tid och rum blir omfattande och kräver mängder av ingångsdata och hög beräkningskapacitet. I en krigssituation är det osannolikt att sådana detaljerade prognoser kan göras. Det är heller inte troligt att man då har tillgång till goda vinddata.

dessutom av olika storlek och har därför olika fallhastigheter, vilket medför att de når marken vid olika tidpunkter, även om de börjar falla samtidigt. Flera olika transportmekanismer (depositionsprocesser) kan vara inblandade:

- Partiklarna faller till marken på grund av sin egen tyngd.
- Partiklarna transporteras nedåt genom atmosfärens turbulens.
- Partiklarna tvättas ut av nederbörd.

För att de radioaktiva partiklarna ska bilda ett belägningsfält måste de deponeras på marken. En viktig faktor är partiklarnas fallhastighet. I tabellen på sid 33 redovisas falltider och fallhastigheter för några olika stora partiklar.

Partiklarna från en ytexlosion har en starthöjd mellan cirka 2 km före en explosion med några kt styrka och 20 km för en explosion i Mt-klass. I båda fallen kommer huvuddelen av de partiklar som är större än cirka 30 μm att nå marken inom någon timme till några tiotal timmar. För dessa partiklar är den egna fallhastigheten helt avgörande för depositionen. Efter en ytexlosion kan 25–50 procent av den totala aktiviteten vara samlad på dessa relativt sett stora partiklar. På grund av att så kort tid hinner förflyta innan de når marken kommer både utspridningen och avklingningen att vara förhållandevis liten. Detta betyder att det är dessa "stora" partiklar som kommer att ge de högsta markbeläggningarna och de största doserna.

För svaga laddningar (några kt) skulle dessa partiklar falla ner inom ett avstånd av 200–300 km från explosionspunkten och för kraftiga laddningar (några Mt) inom de närmaste cirka 1 000 km om vindförhållandena är normala.

I samband med nederbörd kan partiklarna även tvättas ut. Denna typ av deposition kallas våtdeposition och kan vara mycket effektiv, eftersom ett helt vertikalt skikt berörs, ofta 4–5 km tjockt. Vid kraftiga regn- eller snöbyar kan skiktets tjocklek vara upp till 10 km.

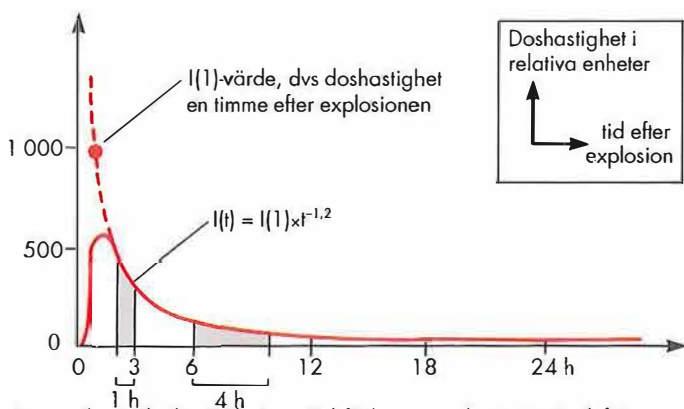
Våtdeposition är mest effektiv för deposition av radioaktiva partiklar från relativt svaga laddningar, eftersom höga laddningsstyrkor innebär att en stor del av partiklarna hamnar ovanför eventuella nederbördsmoln.

Tjernobylolyckans konsekvenser i Sverige är ett betydande exempel på våtdepositionens betydelse. Beläggningfältet utbreddes sig likförmigt med nederbörds mängden natten mellan den 28 och 29 april 1986, då huvuddelen av molnet passerade.

Beläggningfältets egenskaper

Man kan inte fastställa någon skarp gräns för beläggningfältet, eftersom både den naturliga radioaktiviteten (bakgrundsstrålningen) och nedfallsaktiviteten varierar från punkt till punkt.

Beläggningfältets egenskaper bestäms av nuklidsammansättningen, men också av ett antal faktorer som hänger samman med beläggningens fördelning i terrängen och av förekomsten av absorberande material i omgivningen. Exempel på sådana faktorer är markytans struktur, växtligheten och beläggningens



Exempel på doshastighetens tidsförlopp på kort avstånd från en explosion. De markerade fälten motsvarar samma dos.

fördelning mellan mark och träd-kronor eller i djupled i marken.

Doshastigheten* i beläggningfältet följer samma tidsförlopp som aktiviteten, dvs den förändras främst beroende på nuklidernas halveringstider. Inom de första månaderna efter en explosion kan man beskriva doshastigheten med formeln $I(t) = I(1) \times t^{-1.2}$. $I(t)$ respektive $I(1)$ är doshastigheten vid tiden t respektive tiden 1 efter en explosion, vanligen räknad i timmar. Approximativt innebär detta att doshastigheten minskar med en faktor 10 då tiden ökar med en faktor 7. Om t ex doshastigheten är 10 Sv/h efter en timme, är den 1 Sv/h efter sju timmar, 0,1 Sv/h efter cirka två dygn och 0,01 Sv/h efter två veckor. Formeln tar ingen hänsyn till s k fraktionering av nedfallet, dvs att nuklidsammansättningen kan vara olika i olika delar av beläggningfältet.

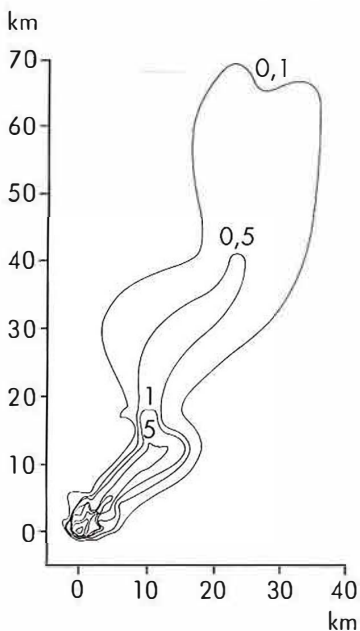
Sönderfallen ger upphov till beta- och gammastrålning. Som riskfaktor dominerar gammastrålningen. Om det aktiva stoffet kommer i kontakt med bar hud kan dock betastrålningen ge upphov till akuta skador.

Till en början stiger doshastig-

heten i en punkt i beläggningfältet på ett sätt som bestäms av avståndet från explosionsplatsen, molnets dimension och vindförhållandena. Vid explosioner på stort avstånd kan det dröja många timmar innan nedfallet börjar. Om nedfallet på den aktuella platsen inte är avslutat inom en timme, kan $I(1)$ -värdet aldrig uppmätas, utan blir ett fiktivt värde som ingår i formeln. Därefter avtar doshastigheten mycket snabbt under de första timmarna men successivt allt långsammare. Det är alltså främst under det första dygnet som stora doser kan erhållas under kort tid. Dessa förhållanden illustreras av figuren härintill.

Skyddsmöjligheter

Det finns olika sätt att aktivt förbättra skyddet mot strålning i en nedfallssituation. Innan nedfallet är känt, måste beslut och åtgärder baseras på prognoser. Då nedfallssituationen har stabiliserats kan man mäta strålnivån (indikering). Skyddsåtgärder, som t ex larm och uppsökande av bättre skydd, kan behövas vidtas mycket snabbt om en explosion har inträffat i närheten. Det är angeläget att så snart som möjligt kartlägga beläggningfältet. I praktiken kommer man att ha ett begränsat antal mätningar i olika



Verkligt beläggningfält (konturer för $I(1)$ -värden) efter en genombrytande underjordisk provexplosion i Nevada. I detta fall var doshastigheten låg, men för en kraftigare explosion vid ytan skulle siffrorna kunna betyda tex Sv/h.

* Doshastigheten kallas i detta sammanhang ofta "intensitet", trots att det fysikaliska begreppet intensitet definieras på annat sätt.

punkter, och ur mätvärdena kan man då försöka konstruera isolinjer som förbinder punkter med samma doshastighet. I det idealiserade fallet, då vindfältet är konstant i tid och rum, blir dessa isolinjer elliptiska. I praktiken kommer konturerna – i den mån de kan fastställas – att kunna bli mycket oregelbundna (se fig sid 35). Av särskilt intresse är det område där skyddsåtgärder snabbt måste vidtas därför att en farlig stråldos kan uppnås på kort tid. Detta område kan bli mycket stort.

Inuti en byggnad kommer doshastigheten att bero på två faktorer. Den helt övervägande delen av strålningen kommer från ämnen utanför byggnaden. Den andra, mindre delen, kommer från gammastrålande ämnen som läckt in i byggnaden.

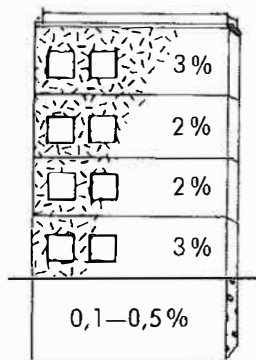
Det skydd en byggnad ger mot gammastrålning från beläggning utanför är inte bara beroende av byggnadsmaterialet. Byggnadens dimensioner och utformning samt var i byggnaden man befinner sig kommer också att ha betydelse. Den gammastrålning som når in i en byggnad kommer huvudsakligen från beläggning på marken och på byggnadens tak.

Neutroninducerad aktivitet

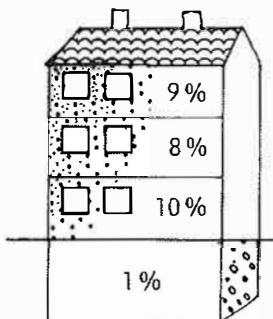
Neutroner i initialstrålningen kan ge upphov till reaktioner i atomkärnor i omgivande material (vapenrester, luft, mark, vatten m m) om de kolliderar med dessa. En del reaktioner leder till att kärnorna blir instabila, dvs att radioaktiva ämnen bildas.

Sådan neutroninducerad aktivitet kan uppstå i många nuklider. Endast några få är dock av praktisk betydelse, eftersom flertalet förekommer i mycket små mängder eller har mycket korta halveringstider. Dessutom är det i första hand gammastrålning som vållar problem, och alla neutroninducerade radionuklider är inte gammastrålande.

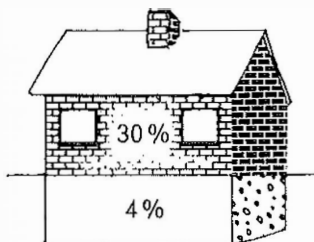
De viktigaste bidragen till neutroninducerad aktivitet i mark, vatten och konstruktionsmaterial ges



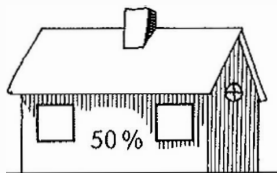
Flerbostadshus av betong med källare



Flerbostadshus av lättbetong med källare



Tegelvilla med källare av betong och källarbätklag av trä



Trävilla utan källare

Exempel på hur olika byggnadstyper och våningsplan skyddar mot strålning från radioaktivt nedfall. Procentsiffrorna anger den andel av dosen utanför byggnaden som dosen inomhus utgör.

av natrium 24, aluminium 28 och mangan 56, som alla förekommer relativt ymnigt och som alla avger både beta- och gammastrålning. Halveringstiderna för dessa nuklider är i nämd ordning 15 timmar, 2,8 minuter och 2,6 timmar. Detta innebär att aktiviteten, t ex i markmaterial med normala halter av dessa ämnen, sjunker till någon procent av den ursprungliga inom loppet av ett dygn.

Den neutroninducerade markaktiviteten är dessutom svag jämfört med den som härrör från fissionsprodukterna. Om lokalt nedfall förekommer kan man bortse från den inducerade aktiviteten. Även efter en luftexplosion, där neutroninducerad markaktivitet är den enda källan till kvarvarande strålning, torde aktiviteten vara försumbar på större avstånd än någon kilometer från nollpunkten.

Såväl i rummet som i tiden är således den neutroninducerade markaktiviteten ett mycket begränsat problem. Detta gäller inte motsvarande aktivitet i luften. Där bildas nämligen kol 14 genom att neutroner reagerar med kväve 14. Kol 14 har, som tidigare nämnts, en halveringstid på 5 760 år. Det sprids dessutom överallt i biosfären, eftersom kol 14 är kemiskt likvärdigt med kol 12 och kan ersätta detta i alla organiska molekyler. Kol 14 kommer efterhand att ge det största bidraget av alla nuklider till hela mänsklighetens dosintekning efter en kärnvapenexplosion. De biologiska konsekvenserna av detta är dock inte dramatiska, eftersom de på grund av den långa halveringstiden kommer att fördelas över många generationer.

Kol 14 bildas oavbrutet i atmosfären genom reaktioner som orsakas av neutroner i den kosmiska strålningen. Ett stort kärnvapenkrig skulle emellertid – liksom de många atmosfäriska proven med starka kärnladdningar i början av 1960-talet – medföra en kraftig ökning av mängden kol 14 i atmosfären under åtskilliga år.



Svenska försvarets nya intensimeter införs 1990 och har ett mätområde mellan 0,001 (strax över naturlig bakgrundsstrålning) och 10 000 mSv/h. Den kan även användas för saneringskontroll.

Foto: Lasse Svenson/FOA

Sanering

Då ett område drabbas av radioaktivt nedfall täcks oskyddade personer och materiel av radioaktivt stoft. Bar hud kan få sk betabrennskador. För att begränsa skadorna måste man sanera människor och materiel. En stor del av radioaktiviteten kan avlägsnas med mycket enkla medel, såsom borstning och vattenspolning. Rengöringseffekten beror på hur stora partiklarna är, men om nedfallet kommer från en explosion i närheten och partiklarna således är stora kan man sanera bort 90 procent

av radioaktiviteten. På längre avstånd blir effekten sämre.

Saneringen organiseras så att flera stationer upprättas och saneringen sker sedan i flera steg. Vid den sista stationen kontrolleras saneringen med en intensimeter som kan mäta betastrålning.

Ibland talar man om områdessanering, dvs sanering av markytan, eventuellt även av bebyggelse. Alla metoder att göra detta är mycket arbetskrävande och ofta tämligen ineffektiva. Tidigt efter ett nedfall kan områdessanering endast övervägas på vissa villkor. Det måste röra sig

Radiakskyddsorganisation *

Då det finns risk för att ett område kan drabbas av radioaktivt nedfall, eller om detta redan har inträffat, är det viktigt att

- varna befolkningen,
- föreslå skyddsvistelse,
- inhämta information om strålnivåer,
- göra riskbedömningar på kort sikt,
- föreslå anpassade skyddsnivåer,
- utarbeta restriktioner,
- besluta om och genomföra utrymning.

För att kunna göra detta har totalförsvaret i Sverige byggt upp en organisation för ledning av bl a radiakskyddet. De civila och militära delarna av totalförsvaret samverkar i denna organisation, som i någon form har existerat sedan 1950-talet. Det är sannolikt att detaljerna i organisationen och dess arbetsrutiner kommer att förändras under de närmaste åren.

* Ordet radiak används ofta, särskilt i sammansättning med andra ord, i betydelsen "radioaktivt nedfall". Ursprungligen är det en försvenskning av den amerikanska akronymen RADIA=RA Diation Identification And Computation.

om en relativt liten yta av lämplig beskaffenhet. Man måste av någon anledning absolut ha personal i området. Maskinell utrustning måste finnas tillhands. Man har också diskuterat att på lång sikt försöka sanera t ex åkermark genom djupplöjning. Kunskapen om hur detta bäst ska göras och vilken effekt som kan uppnås är dock ofullständig.

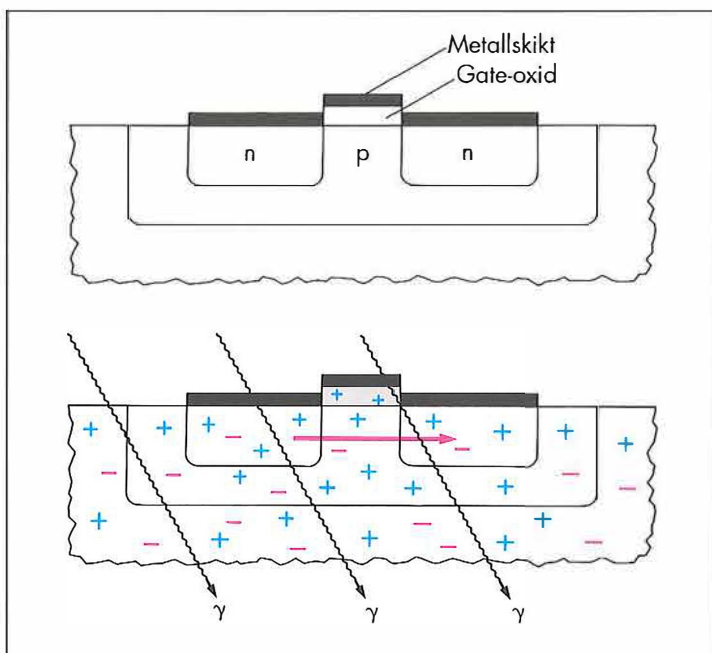
Strålskador på elektronisk och optisk materiel

Joniserande strålning från kärnva-
pen, speciellt gamma- och neutron-
strålning, kan ge skador på materiel.
Fotografisk film förstörs t ex redan
vid mycket låga dosnivåer. Optisk
materiel är också känslig. Den snab-
ba utvecklingen inom halvledartek-
nologin mot mycket små, långt inte-
grerade komponenter har medfört
att elektroniksystem blivit känslig-
are för strålning.

Den s k prompta (se figur sid 33)
delen av initialstrålningen har
mycket hög intensitet och kort var-
aktighet. Den prompta delens totala
stråldos är därför relativt låg, men
strålningen ger ändå upphov till en
viss typ av skador som hör samman
med den höga doshastigheten. Den
övriga delen av initialstrålningen
samt strålningen från radioaktivt
nedfall (med betydligt lägre doshas-
tighet) vållar en annan typ av skad-
or, vilka är relaterade till den totala
stråldosen. Gammastrålning ger i
första hand upphov till jonisation i
material, men även kemiska reaktio-
ner kan följa. Neutroner orsakar så-
väl atomförskjutningar som jonisa-
tion.

Transienta effekter

Den prompta gammastrålningen
kan orsaka både transienta (tillfäl-
liga) störningar och permanenta
skador på elektronik. Dagens elek-
troniksystem innehåller nästan ute-
slutande halvledarkomponenter. I
en halvledare genererar strålningen
fria negativa och positiva laddnings-
bärare. Dessa rör sig i materialet bå-
de genom diffusion och genom in-
verkan av de elektriska fält som
finns i komponenten. Härigenom
uppstår strömpulser. Dessa kan bli
flera tiopotenser större än de norma-
la strömmarna och kan störa elektro-
niksystemet. Effekten är transient



Den övre figuren illustrerar en transistorstruktur av MOS-typ, av vilka det kan finnas miljontals i ett enda chip. Om transistorn står under spänning kan en icke önskad ström uppstå då laddningsbärare frigörs av gammastrålningen. Många andra fenomen kan uppträda.

men kan åstadkomma bestående fel. Minnen, räknare etc kan erhålla felaktig information. Hela system kan i vissa fall låsas. Den allvarligaste effekten är att en komponent hamnar i strömlåsning. Kretsen drar då mycket hög ström. För att få kretsen ur detta tillstånd måste strömmatningen brytas. Strömlåsning kan leda till att kretsen förstörs på grund av upphettning.

Effekter av totaldosen

De totaldosrelaterade effekterna beror huvudsakligen på att fria laddningsbärare, som genereras av strålningen (jonisation), fastnar i isolerande material. Detta gäller t ex för optiska fibrer. I modern elektro-

nik går man mer och mer över från bipolär till MOS-teknologi. Denna har dock visat sig vara mer känslig för strålning. Detta beror huvudsakligen på att laddningar fastnar i den s k gate-oxiden. Nyare oxidisolerade bipolära kretsar kan medföra ökad känslighet för totaldoser i jämförelse med äldre kretsar i bipolär teknik. Som exempel på skador av den totala dosen kan nämnas att

- komponenter kan hamna i permanent ledande tillstånd,
- drivförmågan avtar, dvs systemet orkar inte driva sin last,
- tidsfördröjningar i systemen ökar.

Skadorna är semipermanenta, dvs de återhämtar sig efter det att strålningen upphört. Detta kan emellertid ta flera år.

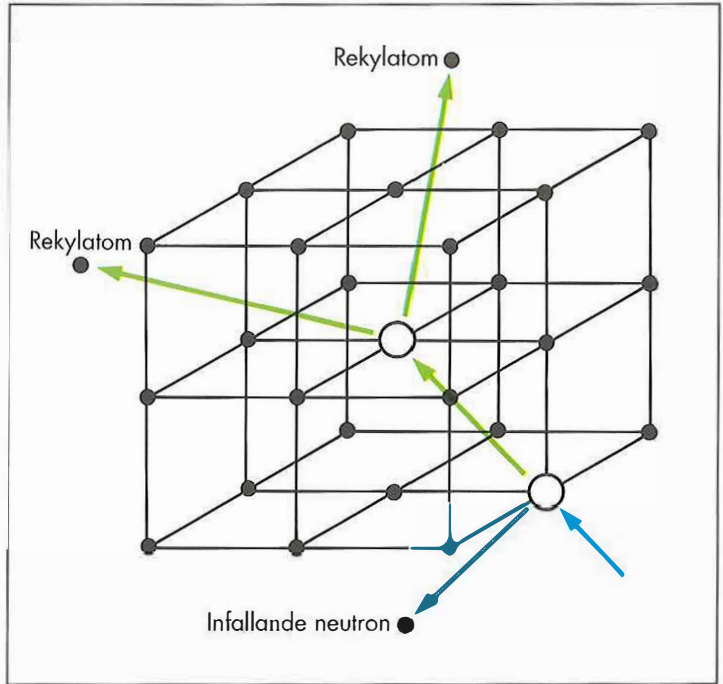
Prompt strålning ger transienta effekter i optiska fibrer, medan den absorberade totaldosen ger bestående skador. De optiskt överförda signalerna dämpas, fibern "svärtas".

Effekter av neutronstrålningen

Neutroninducerade skador är permanenta. De uppstår genom atomförskjutningar, dvs atomer i en halvledares kristallgitter slås ut från sina ordinarie platser. Neutroner ger också en viss jonisation. Bipolära komponenter är betydligt känsligare än MOS-komponenter.

Som exempel på skador kan följande nämnas:

- Förstärkningsfaktorn i transistorer sänks.
- Resistansen i dioder och transistorer ökar.
- Läckströmmarna i halvledarkomponenter ökar.



Atomförskjutningar i ett kristallgitter orsakade av neutronstrålning

Skadenivåer

Skadenivåerna beror på komponentens tekniska utförande, tillverkningsprocess, fabrikat, komplexitet, matningsspänning m.m. Följande exempel ger en grov uppfattning om skadenivåerna.

Prompt gamma: 10^4 - 10^6 Gy(Si)/s orsakar störningar för kretsar i både bipolär och MOS-teknik, men vissa typer av störeffekter kan inträffa vid lägre doshastigheter. Vid cirka 10^6

Gy(Si)/s är sannolikheten för strömlåsning stor hos CMOS-komponenter.

Totaldos gamma: Fotografiska filmers skadegräns ligger på 0,01 Gy. Optisk materiel kan påverkas av doser ned till 5 Gy. MOS-komponenters funktion påverkas vid 10^2 - 10^6 Gy(Si). Vissa MOS-komponenter påverkas vid doser under 10 Gy(Si). Bipolära komponenter är hårdigare men värden ned mot 10^2 Gy(Si) kan förekomma (spe-

ciellt linjära kretsar och nyare typer av kretsar i oxidisolerad teknik).

Neutroner: Under 10^8 n/cm² uppträder inga större problem. Skadegränsen för tyristorer liksom för solceller och optiska isolatorer kan ligga lägre. För bipolära digitala kretsar måste värdet ligga över 10^9 n/cm² för att ge skador. MOS-komponenter är relativt okänsliga. Först vid cirka 10^{11} n/cm² uppträder skador.

Gy(Si) = Absorberad strålningsenergi (joule/kg) i det aktuella materialet, i detta fall kisel (Si). Begreppet dosekvivalent är meningslöst då det gäller strålningens inverkan på material. Därför används i detta avsnitt dosenheten gray (Gy).

MOS = Metal-Oxide-Semiconductor

CMOS = Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

Strålskador på människa

När strålning passerar en cell överförs energi till dess olika molekyler. Många av molekylerna är vatten, och deras dissociation leder till att sk fria radikaler bildas. Dessa är oerhört reaktiva och kan via kemiska reaktioner skada den mest kritiska molekylen i cellen, DNA. Strålningen verkar också direkt på DNA.

För kroppsceller (somatiska celler, dvs andra celler än könsceller) varierar strålkänsligheten mellan olika celltyper; ju snabbare cellty-

pen delar sig, desto känsligare är den för strålning. Hos människan produceras cirka 20 miljarder celler per dygn i tarm och benmärg. Dessa organ är också mest strålkänsliga.

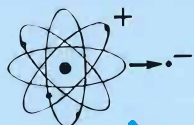
Cellens förmåga att reparera skador på DNA-molekylen är avgörande för cellens överlevnad. En felaktig reparation misstänks kunna ge upphov till sen cancer. I en könscell kan den innebära kromosomskador. Reparationen av DNA-skador sker via enzymatiska processer.

Cellens reaktioner återspeglas i kroppens vävnader, en del celler fungerar onormalt eller dör. Döda celler förs bort, celledelningen ökar och så småningom bildas ärrvävnad.

Strålkänsligheten hos olika organ varierar. Två faktorer är viktiga; dels cellernas förmåga att reparera små skador (subletala) i cellen och dels vävnadens förmåga att initiera nybildning av celler. Just denna förmåga kan man påverka med olika läkemedel. I benmärgen är det fram-

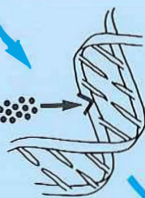
Strålningens verkan i vävnad

Joniserande strålning som kommer in i vävnad förlorar energi genom växelverkan med elektronerna i de atomer de passerar. Detta gäller både laddade partiklar och fotoner.



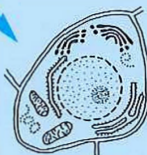
När en elektron, som är negativt laddad, slits loss från atomen, blir denna en positiv jon. Det har uppstått ett jonpar som existerar under 10^{-13} – 10^{-10} sekunder. Elektronen kan också jonisera andra atomer.

Då jonerna rekombinerar till neutrala molekyler inträffar en mängd invecklade reaktioner. En del av dessa leder till att fria radikaler bildas. Fria radikaler är atomkomplex som visserligen är neutrala men ändå starkt reaktiva eftersom de har en oparad elektron i en hög energinivå. Deras livstid är 10^{-7} – 10^{-5} sekunder.



De fria radikalerna deltar i nya reaktioner med varandra och andra molekyler. Överskottsenergin hos radikalerna är tillräckligt stor för att bryta kemiska bindningar. Därigenom kan olika molekyler i cellen, tex DNA, skadas. De kemiska förändringarna kan ske redan inom en millisekund.

De biologiska konsekvenserna kan visa sig inom ett tidsintervall från några timmar till många år efter bestrålningen. Cellen kan helt enkelt dö. Den kan också förändras så att cancer eller genetiska effekter uppstår.



för allt viktigt att några sk stamceller överlever, så att nybildning av celler kan ske och halten av blodceller åter blir normal.

En lång exponeringstid betyder i allmänhet att kroppen tolererar en högre dos, därför att skadan då hin- ner repareras bättre. Förmågan att reparera är dock olika för olika or- gan och dålig för benmärgen.

När det handlar om enbart strål- skador kan chansen att överleva ef- ter en viss dos uppskattas från ett ganska omfattande underlag. Det kommer – förutom från Hiroshima och Nagasaki – från en rad olyckor vid reaktorer, accelerators och med enskilda strålkällor samt vissa strål- behandlingar. Före Tjernobyolyck- an inträffade sammanlagt ett 30-tal olyckor där cirka 100 människor ut- sattes för strålning. I mars 1954 ex- ponerades 23 fiskare för ett kraftigt nedfall från ett amerikanskt kärn- vapenprov vid Bikiniatollen i Stilla Havet. För dessa är kartläggningen av dos, dosfördelning och behan- dling minutöst noggrann. Händelsen har givit kunskap om framför allt intern kontamination, dvs effekten av att radioaktiva ämnen kommit in i kroppen.

Den dödliga dosen för människa anses vara ungefär 3 Sv. Med rätt behandling kan man överleva doser upp till cirka 5 Sv.

Extern och intern bestrålning

Vid en extern bestrålning, dvs då strålkällan befinner sig utanför kroppen, antar man ibland att strål- dosen blir densamma till kroppens alla delar. Detta är en förenkling, eftersom kroppens yttligare delar i viss mån skärmar de djupare liggan- de organen. Om strålningen är rik- tad, blir denna differentiering av do- sen mer utpräglad än vad som är fallet i ett homogent beläggnings- fält, där strålningen kommer från al- la håll. Ofta korrigerar man schab- lonmässigt den dos som mätts upp i luften för kroppens egenskärning

Hår

Efter cirka 3 Sv håravfall. Effek- ter på hårets tillväxt (hårstrå- nas diameter minskar) har observerats efter mindre än 1 Sv.

Hjärnan

Höga doser (≥ 40 Sv) är dödliga inom 2 dagar. Vid ca 100 Sv följer medvetslöshet nästan omedel- bart och döden inom timmar.

Ögonlins

Grumling av linsen vid 0,5-2 Sv. Grå starr vid 5 Sv.

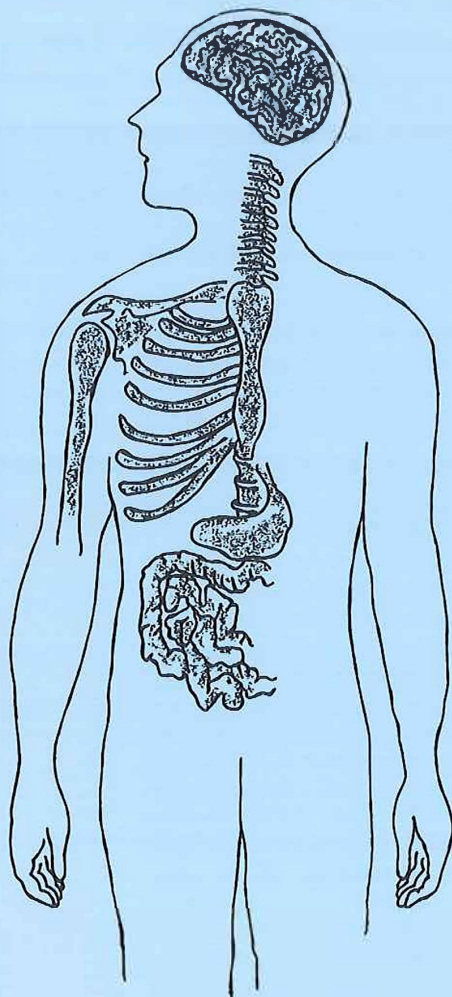
Benmärg

0,5 Sv påverkar nybildningen av blodkroppar. Tillfälligt stopp vid cirka 3 Sv.

Blod

Man kan se att antalet lym- focyter minskar efter 0,2 Sv. En jämförelse mellan antalet lymfocyter dag 1 och 2 är en viktig prognos- metod för strål- skador.

Teckning: Annika Åberg



Matsmältnings- organ

10 Sv stoppar nybildningen av celler i tarmepi- telet.

Testiklar

0,2 Sv ger tillfällig sterilitet, cirka 4 Sv permanent.

Hud

Cirka 6 Sv ger hudrodnad.

genom att multiplicera den med fak- torn 0,7.

Många radioaktiva nuklider kon- centreras till vissa organ om de kommit in i kroppen. Bestrålningen sker då lokalt inom ett litet område.

Kroppens ämnesomsättning skiljer inte mellan en radioaktiv och en stabil nuklid. Jod 131 tas t ex upp i sköldkörteln, eftersom all jod an- samlas där. Den dos man får av in- tern bestrålning till något visst organ

beror både på nuklidens fysikaliska halveringstid och på den biologiska halveringstiden, dvs den tid det tar för kroppen att utsöndra hälften av en viss intagen mängd. Cesium 137 har t ex en fysikalisk halveringstid på cirka 30 år men en biologisk på mellan en och fyra månader. I detta fall spelar följaktligen den fysikaliska avklingningen ingen nämnvärd roll för dosen.

Dosen till avgränsade delar av kroppen kan bli hög. Den inre bestrålningen kan ske under lång eller kort tid. Ett intag av strontium 90 gör t ex att skelettet blir bestrålat under lång tid, medan ett intag av jod 131 ger bestrålning av sköldkörteln under kort tid. Dosen kan bli stor i båda fallen.

För olika strålslag (alfa, beta och gamma) är den biologiska effekten olika stor för en viss dos; alfastrålning är t ex 10–20 gånger mer effektiv än gammastrålning. För den alfastrålning som uppkommer vid radioaktivt sönderfall är räckvidden i vävnader mycket kort, den når inte genom hudlagret. Däremot är alfastrålning mycket skadliga om de kommer in i kroppen. Alfastrålaren radon har effekter enbart på lungvävnaden eftersom den är gasformig och således andas in.

En mängd nedfallsnuklider är betastrålning. Om sådana nuklider deponeras direkt på huden och energin hos strålningen är högre än cirka 1 MeV tränger strålningen genom huden och kan ge upphov till en brännskada.

Akuta strålskador

Den akuta strålskadan, strålsyndromet, uppstår efter bestrålning av hela kroppen med doser över cirka 1 Sv. Direkt efter bestrålningen börjar de tidiga symtomen med illamående, kräkningar och aptitlöshet i cirka 24 timmar. Efter en period utan symtom (cirka tre veckor) utvecklas strålsjuka med feber, frossa, infektioner och trötthet. Dödsorsaken är att nybildningen av celler i benmärgen upphör. Produktionen av vita

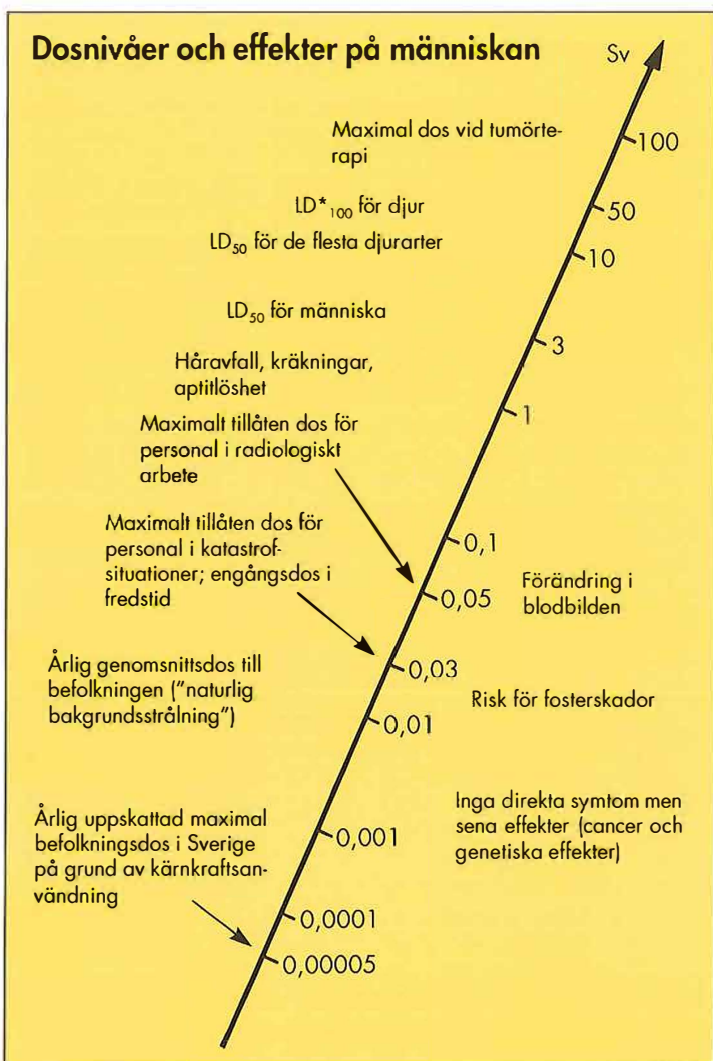
blodkroppar och lymfocyter stannar av och infektionskänsligheten blir oerhört hög. Trombocyterna, som medverkar till att blodet koagulerar, minskar i antal. Små sår och blödningar i tarmen, munhålan och huden uppstår. En människa som fått en helkroppsdos av 3–5 Sv dör inom tre till fyra veckor om ingen behandling ges.

Efter doser mellan 10 och 100 Sv dör celler i tarmen och sår uppstår som ger vätske- och elektrolytförluster. Ännu högre doser verkar direkt på centrala nervsystemet och

orsakar medvetslöshet och tidig död. (Se vidare figuren sid 41.)

Kombinerad skada

Det finns starka växelverkningar mellan sår- eller brännskador och strålskador. En låg dos, 1–2 Sv, blir dödlig om individen samtidigt har en brännskada som är större än 10–30 procent. Sår och frakturer tar längre tid att läka efter bestrålning. Man vet också att den strålskadade har större benägenhet att få chockskador under tiden mellan de första



*LD₅₀ respektive LD₁₀₀ betyder den stråldos som ger 50 respektive 100 percents sannolikhet för dödlig utgång.

symtomen och den fullt utvecklade strålskadan.

Effekter på foster

Man känner till tre slags effekter på människofoster: tillväxthämning, microcefali (förminskad huvud) och mentala störningar hos barnet. Dessa effekter kan man förvänta sig efter ganska låga doser (0,25 Sv). Strålkänsligheten hos embryot varierar under olika stadier, och mest känslig är perioden mellan åttonde och artonde graviditetsveckan. Om fostret utsätts för bestrålning under denna tid är risken för en mental störning senare i livet cirka 40 procent per Sv.

Sena effekter efter låga doser

Akuta strålskador kan betraktas som "deterministiska", vilket innebär att en tillräckligt hög dos alltid ger upphov till samma typ av skada, även om dess svårighetsgrad kan variera. För låga doser gäller inte detta. Skadan kallas då "stokastisk" eller slumpmässig, och innebörden är att bestrålningen ger en viss sannolikhet för att skadan ska uppstå. För att sådana stokastiska skador ska kunna påvisas, fordras att en större grupp människor har bestrålats med jämförbara doser. Av detta skäl relaterar man skadeuppkomsten till kollektivdosen (se ruta sid 31), då det gäller strålinducerad cancer eller genetiska skador.

Att man kan få cancer av låga stråldoser, 50–150 mSv, är väl dokumenterat. Sjukdomen bryter ut efter lång tid. Tillståndet för de överlevande från Hiroshima och Nagasaki har följts under decennierna efter bomben. Under de första åren noterades en ökning av antalet leukemifall, och de nådde sin högsta frekvens efter sju till tio år. Andra cancerformer ökar fortfarande. Man anser att risken för cancer med dödlig utgång är cirka 4–7 procent per manSv, dvs man räknar med 4 till 7 dödsfall per 100 manSv.

För att ge upphov till genetiska effekter måste strålningen ha tillräcklig räckvidd och nå könscellerna. Det är i dessa cellers DNA som genetisk information överförs till nästa generation.

Kromosomala förändringar kan påvisas och mätas men behöver inte visa sig förrän i senare generationer. Omfattande genetiska studier har gjorts på de överlevande från Hiroshima och Nagasaki. Man har hittills inte kunnat se någon ökad frekvens av genetiska förändringar. Modern och känslig DNA-teknik kommer nu att användas för att avslöja eventuella genetiska effekter. Sådana är belagda i försök med djur och växter, och fakta talar för att vi inte kan utesluta att de också kan finnas hos människor. Risken uppskattas till 0,4–1 procent/manSv.

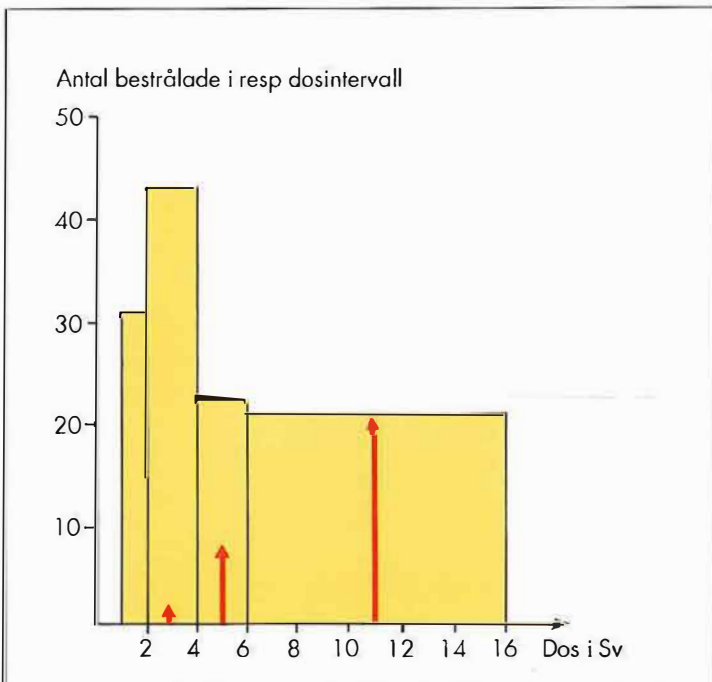
Behandling och motmedel

De tidiga symtomen på akut skada är ospecifika (aptitlöshet, illamående, kräkningar och trötthet). För en

säker diagnos måste man därför följa laboratoriedata av framför allt blodet. Om man undersöker koncentrationen av lymfocyter under första och andra dygnet kan man bestämma vilken stråldos individen fått. En dos av 1–2 Sv reducerar koncentrationen till cirka 50 procent under andra dygnet efter bestrålningen.

De risker man tvingas ta under krig är annorlunda än de som ligger till grund för civila strålskyddsnormer. Det behövs då i allmänhet ingen vård om dosen är mindre än 1 Sv. Högre doser ger märkbara effekter på blodbildande organ. Det är sådana skador som avgör om individen ska överleva, även om doserna är så höga (över 10 Sv) att också tarmens celler skadats.

I fredstid rekommenderas vård vid infektions- eller hematologisk klinik. Risken för infektioner minskar med olika typer av antibiotika och blodtransfusioner. Efter Tjernobylyckan behandlades med gott resultat patienter som fått doser upp till 4 Sv. Här prövades också, men



Tjernobylyckan: Staplarna visar antalet bestrålade människor i vissa dosintervall. Pilarna anger hur många som dött.

utan framgång, benmärgstransplantationer. För att sådana ska lyckas krävs att två villkor måste vara uppfyllda; patientens egen benmärg måste vara i det närmaste utplånad och den transplanterade benmärgen bör vara allogen, dvs immunologiskt lika den egna benmärgen. Det har framkastats som en möjlighet av en del forskare, av andra som science fiction, att inför ett hotande kärnvapenkrig frystorka små mängder "egen" benmärg.

Det finns två typer av förebyggande behandling. Den första går ut på att hindra eller minska upptaget av en radioaktiv nuklid i ett organ. Det mest kända exemplet är jodtablettorna, som förser sköldkörteln med så mycket kaliumjodid att radioaktiv jod inte tas upp utan utsöndras med urinen. Många substanser blockerar upptaget av radionuklider på liknande sätt i andra organ.

Den andra typen av profylax bygger på principen att man kan förmå cellerna att öka produktionen av ämnen som motverkar de skadliga effekterna.

En mängd sådana strålskyddande ämnen har testats världen över. Det effektivaste strålskyddande ämnet man funnit hittills är en fosforförening med arbetsnamnet WR 2721. Det har emellertid också en del obehagliga biverkningar.

Ytterligare en möjlighet att minska eller lindra effekten av strålning är ett biologiskt skydd. De läkemedel man då använder verkar till exempel på sådana mekanismer som celledelingen i benmärgen. Kombinationen av sådana läkemedel och ämnen av typ WR 2721 kan innebära ett ytterligare förbättrat skydd; fler celler överlever och deras nybildning påskyndas.

Strålskador på djur och växter

Den dödliga dosen varierar för olika arter av däggdjur men den är alltid mindre än 10 Sv. För insekter är den cirka 100 gånger högre. Insekternas larvstadier är däremot mycket strålkänsliga.

För växternas celler gäller samma regel som för celler hos djur eller människa; strålkänsligheten är större för celler som delar sig oftare. Bestrålningen innebär att antalet överlevande växter minskar, och att utbytet i form av skörd försämras. Vad spannmål beträffar räknar man med att en dos på mellan 5 och 25 Sv reducerar skörden till hälften. Troligen drabbas endast mindre arealer av så höga doser.

Radioaktivitet i livsmedel

Vid en kärnvapeninsats sprids ett mycket stort antal radionuklider, men endast fyra ger något mera betydande bidrag till interndosen via livsmedel. Utgår man från halveringstiderna blir ordningen följande:

Isotop	Halveringstid
jod 131	8 dygn
strontium 89	51 dygn
strontium 90	29 år
cesium 137	30 år

Jod 131 och även strontium 89 finns således till största delen i färskt nedfall. Den biologiska omsättningen av cesium 137 i människan går mycket snabbare än omsättningen av strontium 90. Det förra upptas främst i muskelvävnad och har en biologisk halveringstid i kroppen på cirka 90 dygn, medan

det senare i stor utsträckning upplagras i skelettet, där det stannar kvar med en biologisk halveringstid på cirka 50 år. Strontium 90 och cesium 137 är de radionuklider som via födan ger det största dosbidraget till människan under den närmaste eller de närmaste generationerna.

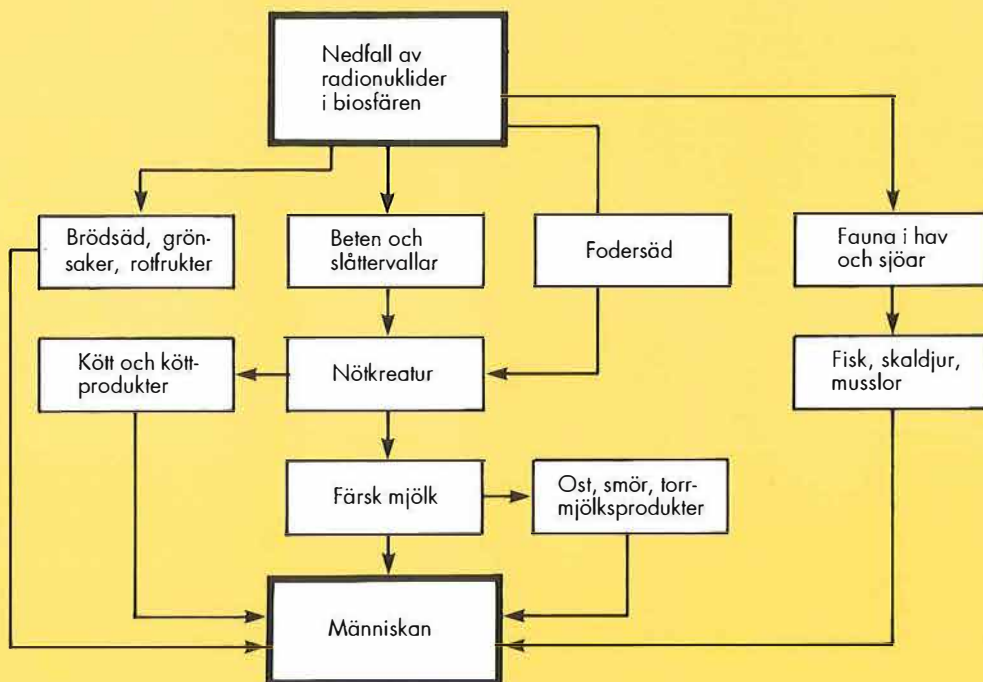
Transportvägar till människan

Den första länken i en näringskedja är de organismer (växter), som kan bygga upp organiskt material av oorganiskt med hjälp av fotosyntesen. Den sista länken är människan. Växter (tex fytoplankton i havet) utgör föda för växtätare, som äts upp av rovdjur, som i sin tur äts upp av andra rovdjur. Det är således antalet

rovdjur som bestämmer hur lång en näringskedja är.

Vår totala diet kommer från växt- och djurriket, från terrestrisk (land) och marin miljö. Vissa växtprodukter äter vi direkt, andra når oss via näringskedjor. För att kunna uppskatta stråldoserna behöver vi bl a veta vad och hur mycket vi äter av de olika livsmedlen, hur de förädlats samt om råvaran lagrats länge (kortlivade radionuklider hinner avklinga före konsumtionen). I figuren härintill visas transportvägarna för radionuklider till några vanliga födoämnen. Den vänstra delen (jordbruksprodukterna) utspelas i terrestrisk miljö, den längst till höger har förenklats till skvatisk miljö. Skillnaden är dock stor mellan marin miljö och insjöar och floder.

Radionuklidens olika transportvägar via föda till människan



Även i randhaven såsom Östersjön, Medelhavet, Röda Havet och Svarta Havet råder speciella förhållanden.

Både cesium 137 och strontium 90 ger ett större dosbidrag via livsmedel från jordbruket än via produkter från havet. Detta gäller även i länder där havsfisk och skaldjur utgör en viktig del av den totala dieten.

De klassiska näringskedjorna *foder-ko-mjolk-människa*, *foder-husdjur-kött-människa* och *sädeskorn-bröd-människa* tillhör kulturekosystemet, eftersom vårt födointag till allra största delen kommer därifrån.

Kedjan *bete (foder)-ko-mjolk* är betydelsefull både på kort (jod 131 och strontium 89) och lång sikt (strontium 90 och cesium 137). Färsk mjölk är en viktig beståndsdel i de nordiska ländernas kost. Vårt intag av strontium 90 kommer huvudsakligen från mjölk och mjölkprodukter, spannmålsprodukter samt frukt och grönsaker. För cesium 137 är källan kött, mjölk och spannmålsprodukter, medan bidraget från frukt och grönsaker är väsentligt mindre med nuvarande svenska kostvanor.

Sker nedfallet under växtperioden blir växternas ovanjordiska delar kontaminerade. Går partiklarna

helt eller delvis i lösning kan vissa radionuklider transporteras in i växten och föras till ätliga delar, t ex ett sädeskorn (direktupptag). Efterhand kommer lösta radionuklider att tas upp genom växtens rotsystem. Hur mycket som tas upp av växten beror bl a på vilken radionuklid det är och när kontamineringen sker. Efter några år kommer rotupptaget helt att dominera över direktupptaget. Konsumtionen av fisk från insjöar medför att radionuklider överförs direkt från sötvattensystem till människa. Dosbidragen är emellertid mycket små i jämförelse med totaldieten.

Över 80 procent av Sveriges befolkning är ansluten till kommunala vattenverk, där vattnet behandlas innan det når konsumenterna. Grundvattentäkter eller enskilda brunnar med grundvatten utgör inget problem, eftersom det tar lång tid för de långlivade nukliderna att transporteras till grundvattnet. Ytvattentäkter, t ex sjöar, är betydligt sämre skyddade.

De interna stråldoser en människa kan få genom intag av radioaktivt kontaminerade livsmedel kommer normalt att vara mycket lägre än de som medför akuta stålskador. Där emot kommer de att bidra till upp-

komsten av stokastiska skador (se sid 43). Detta gäller i synnerhet efter ett kärnvapenkrig, som medfört kraftig beläggning av stora områden, samtidigt som alternativa livsmedelskällor fallit bort.

Naturliga radionuklider i människan

Alla levande organismer innehåller några naturliga radionuklider. Det gäller främst kalium. Isotopen kalium 40 utgör 0,0018 procent av det naturliga kaliet, vilket ger en aktivitet av cirka 31 Bq per gram kalium. Den radioaktiva isotopen kol 14, som förekommer i de biologiska kolföreningarna, produceras naturligt i den övre atmosfären och växterna tar upp den från atmosfärens koldioxid vid fotosyntesen. I genomsnitt innehåller en vuxen person cirka 4,5 kBq kalium 40 och cirka 2,7 kBq kol 14.

EMP

Vid en kärnladdningsexplosion genereras en elektromagnetisk puls, EMP. Denna puls karaktäriseras av höga fältstyrkor, brett frekvensområde – hundradels Hz till flera hundra MHz – och en stigtid som är så kort att den räknas i nanosekunder (ns), alltså miljarddelar sekunder. EMP har ingen effekt på människan, men kan störa eller förstöra känslig elektronik. I takt med en allt flitigare användning av sådan elektronik i samhället har EMP fått en ökande betydelse som verkansform.

Man skiljer på olika former av EMP beroende på var explosionen inträffar i förhållande till markytan.

Om EMP alstras av en kärnvapenexplosion på mer än 30 km höjd talar man om höghöjds-EMP (HEMP). På norra halvklotet uppträder de högsta fältstyrkorna söder om nollpunkten. Det elektriska fältets toppvärde kan där uppgå till tiotals kV/m (se diagrammet härintill). Stigtiden kan vara så kort som några få ns. Pulsenergin är högst någon tiondels J/m².

HEMP berör hela det område som är synligt från explosionspunkten. Sker explosionen på en höjd av 100 km kan t ex hela Skandinavien utsättas för EMP-verkningar. EMP är då den enda verkansform som når ned till jordytan (om man bortser från bländning och risk för ögonskador hos dem som råkar titta upp mot den korta, intensiva ljusblitzen).

Vid en höghöjdsexplosion kommer också initialstrålningen att träffa många satelliter och i dessa alstra skadliga elektriska strömmar och elektromagnetiska fält – s k SGEMP (systemgenererad EMP). Samtidigt joniserar den övre atmosfären på ett sätt som bl a kan störa olika typer av radio- och radarförbindelser.

Vid en explosion på låg höjd eller vid markytan uppstår den svåraste elektromagnetiska miljön. I närheten av explosionspunkten uppträder mycket starka elektriska stömmar i luften – upp till miljarder ampere

ända ut till någon kilometers avstånd. Vid ytexplosioner kan det elektriska fältet bli mångfaldigt starkare och magnetfältet cirka 100 gånger starkare än vid en höghöjdsexplosion, men fältstyrkorna sjunker snabbt med avståndet. På ett par mils avstånd är EMP även från mycket kraftiga ytexplosioner i alla avseenden ofarligare än HEMP-effekterna. De strömmar som inducerats i elektriska ledningar i närheten av explosionen kan dock i många fall skada ansluten utrustning på ännu större avstånd.

EMP är vid en låghöjdsexplosion en av många kärnvapeneffekter och relativt betydelselös i jämförelse med stötvåg, värmestrålning, initialstrålning och radioaktivt nedfall. Elektriska system kan emellertid

drabbas av EMP även långt utanför det område som omfattas av skadeverkningar från övriga direkta verkansformer. Luftexplosioner ger svagare EMP än ytexplosioner.

Vid underjordiska kärnladdningsexplosioner bildas endast en svag EMP, som på sin höjd kan användas för diagnostiska ändamål i närheten av explosionsplatsen. Det samma gäller för explosioner i vatten redan vid explosionsdjup på cirka tio meter.

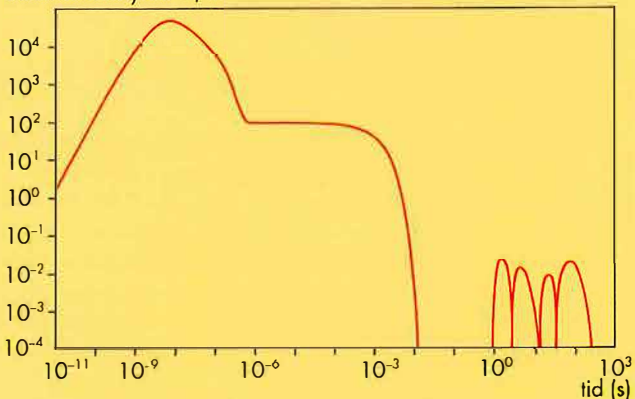
Verkan

Elektriska strömmar induceras i alla ledande strukturer som utsätts för EMP. Genom kombinationen hög fältstyrka och kort stigtid blir strömstyrkan så hög att känslig an-

HEMP

Höghöjds-EMP: Elektriska fältstyrkans tidsberoende för en "hotpuls", dvs en puls som kan användas för verkansberäkningar och skyddsdimensioneringar. Bortsett från de sena delarna är det den infallande pulsen som beskrivs, före reflektioner i markytan etc. Den magnetiska fältstyrkan (uttryckt i A/m) fås approximativt genom division med 377 Ω. De sena delarna av pulsen är s k magnetohydrodynamiskt genererad EMP, MHDEMP. Den kan trots de låga fältstyrkorna ge störningar eller skador på vissa typer av vidsträckta system, t ex elkraftnätet och järnvägarnas signalsystem. MHDEMP liknar de jordmagnetiska störningar som kan uppträda i samband med kraftiga solfläckor.

Elektrisk fältstyrka V/m



sluten elektronik kan skadas. Beräkningar visar att strömmar med toppvärden på ett par kA kan induceras i höghöjdsfallet.

EMP har vissa likheter med blixtnedslag, som också inducerar korta strömpulser i kablar och andra ledande material. Åska ger dock endast lokala störningar, medan i synnerhet höghöjds-EMP verkar över ett mycket stort område samtidigt.

EMP kan särskilt i höghöjdsfallet orsaka störningar och skador som kan leda till partiellt eller totalt bortfall av system för t ex elförsörjning, telekommunikationer, transporter och larmning. System som drivs med lägre effekt, t ex styr- och signalsystem, är i allmänhet känsligare än de som drivs med högre. Också i antenner induceras strömmar som kan slå ut komponenter, anslutna till antenningångar. Alla metallföremål av större utsträckning fungerar i sammanhanget som antenner. Det finns risk för att gnistbildning i anslutning till metallföremål orsakar bränder i ammunition,

bensin m m. Några exempel kan illustrera den mångfald av skador som är möjliga:

- Vid ett höghöjdsprov 1962 slogs delar av gatubelysningen ut på Hawaii (se vidare bilden på sid 19).

- Elektroniska knapptelesoner med minnen kan bli obrukbara redan vid låga EMP-påkänningar.

- FM-bandet i vissa radiomottagare kan sluta fungera om de utsätts för EMP.

- EMP kan ge sådana fel och skador i centraldator eller datanät att utbetalning av pengar inte kan ske till en stor del av landets befolkning.

- Skador på flera ställen samtidigt i elnätet kan leda till clavbrott som är värre än det som ett lokalt haveri orsakade i december 1983 i Mellan- och Sydsverige.

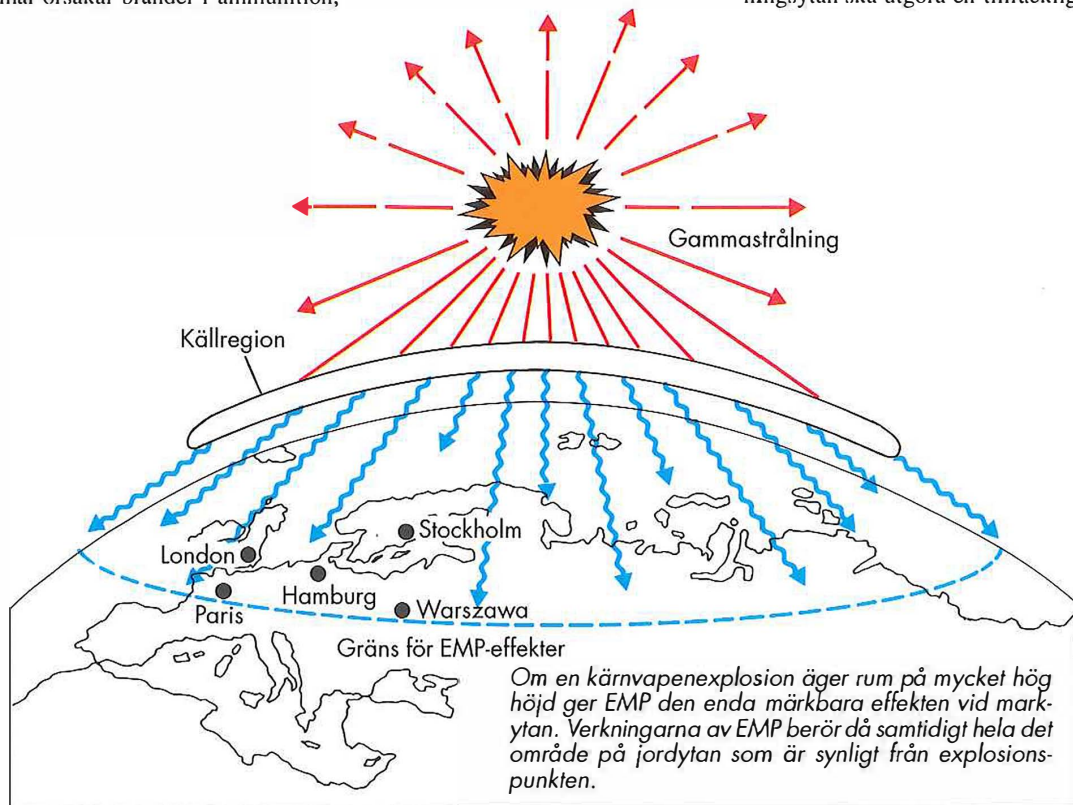
När man bedömer samhällets sårbarhet för EMP-effekten är det viktigt att identifiera de funktioner som

inte får slås ut eller endast tål att vara utslagna under en kortare tid. Både freds- och krigsfall måste beaktas i planeringen, eftersom vi kan drabbas av EMP utan att själva vara i krig. Arbetet kompliceras av att olika funktioner är mer eller mindre nödvändiga beroende på i vilken fas av en eventuell mobilisering vi är.

Skyddsprinciper

Principen för allt tekniskt EMP-skydd är att omge det föremål som ska skyddas med en sluten elektromagnetisk barriär som hindrar skadliga EMP-störningar att tränga in till känsliga komponenter. För mer komplicerade system görs en indelning i olika zoner med var sin barriär.

Man kan skilja mellan tre olika huvudmetoder för att åstadkomma en sådan barriär: skärmning, transientskydd och isolation. Oftast måste man utnyttja en kombination av dessa metoder för att begränsningsytan ska utgöra en tillräckligt



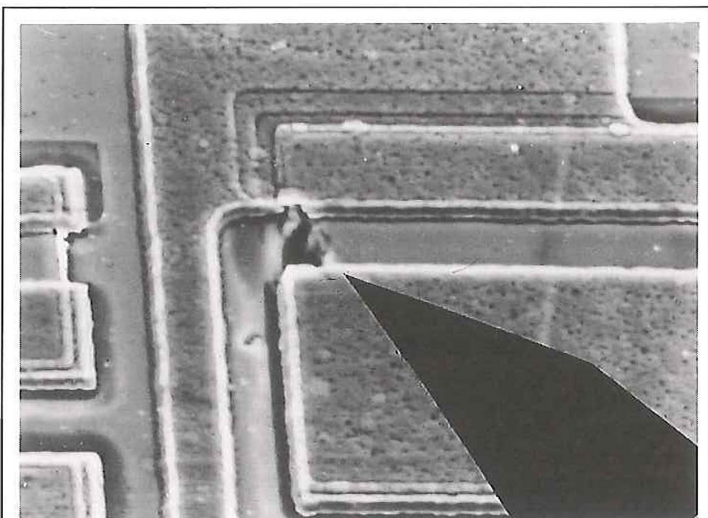
heltäckande barriär och därmed ge tillräcklig skyddsverkan, men i vissa fall räcker det med t ex enbart transientskydd. Som regel är det komplicerat och ofta mångfaldigt dyrare att i efterhand EMP-skydda ett system än att bygga in ett sådant skydd redan från början.

Skärmning. Genom att omge känslig utrustning med ett sammanhängande metalliskt skal hindrar man elektromagnetiska fält att tränga in till utrustningen. Skärmen är ett effektivt skydd, men så snart man drar ledningar genom den måste dessa förses med transientskydd. Om man t ex placerar en radio i en sluten metallbox är den väl skyddad mot EMP, men man kan inte lyssna på den. Antennen måste dras ut genom höljet och därmed är skärmen bruten. Alltså måste antennen förses med ett skydd som hindrar den elektromagnetiska pulsen att nå in till radions känsliga halvledarkretsar.

Transientskydd. Transienter, dvs kortvariga överspänningar, förekommer i en mängd olika former. Transienter uppstår bl a genom brytning av ström, kortslutning och blixtnedslag. Ett transientskydd mot EMP byggs upp med hänsyn dels till systemets antennverkan, dels till dess frekvensegenskaper och tåligkhetsnivåer. De viktigaste transient-skydden är gasurladdningsrör, varistorer, dioder och filter. Vilken typ man än väljer är syftet alltid detsamma – att avleda den EMP-inducerade strömpulsen utan att man därmed också avleder de signaler man behöver.

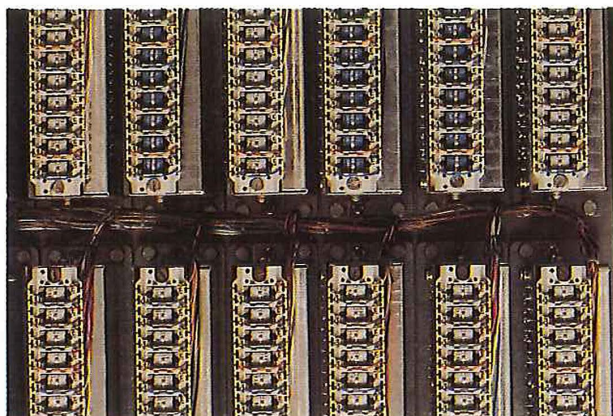
Isolation. I vissa fall väljer man att förhindra ledningsbundna elektromagnetiska störningar genom att isolera utrustningen. Om man samtidigt vill kunna överföra signaler utan att förstöra isoleringen måste överföringen göras utan hjälp av elektriska ledningar, t ex med optiska länkar och radioförbindelser.

Tekniskt EMP-skydd är inte den enda möjliga skyddsåtgärden. Utnyttjandet av tåligare komponenter



Bilden visar en del av mönstret hos en integrerad halvledarkrets, ett sk chips. En hög störspänning mellan anoden och katoden hos en diod har gett ett överslag med kraterbildning i halvledarmaterialet som följd. Vid pilen ser man skadan som i detta fall förstört p-n-övergången (dioden) vilket ger funktionsfel hos IC-kretsen.

Vid lägre störspänningar kan skadan bli sådan att läckströmmen genom dioden ökar, men kretsen fungerar fortfarande i de flesta applikationer. Skadan utgör nu ett *latent fel* som kan utlösas vid ett senare tillfälle, t ex då kretsen utsätts för en urladdning av statisk elektricitet. Foto: FMV: Prov



En kopplingsplint i en av televerkets riksstationer försedd med över-spänningskydd i form av gasurladdningsrör. Skyddet sitter på utsidan av en skärmvägg. Den andra delen av skyddet finns på väggens insida och består av halvledarkomponenter och filter. Gasurladdningsrören skyddar mot energirika transienter från olika källor, t ex åska och EMP. Foto: Lasse Svenson/FOA

minskar kraven på tekniskt skydd. Hög reparationsberedskap kan även avsevärt minska risken eller åtminstone tiden för utslagning av viktiga

system. Man kan också som beredskapsåtgärd koppla ur el- och tele-nätsanslutna system, ta bort eller skjuta in antenner osv.

Verkan och skydd: samlad syn

En beskrivning av varje verkansform för sig ger ingen tydlig bild av explosionens eller explosionernas skadeverknings. Detta avsnitt syftar därför till att sammanställa och jämföra verkansformerna samt att kortfattat kommentera skyddsfrågorna.

Verkan av enstaka luft- eller ytexlosion

De totala verkningarna i närområdet av en kärnvapenexplosion beror framför allt på laddningsstyrkan och explosionshöjden. Laddningsstyrkan avgör hur stora områden som drabbas av olika verkansformer, men också vilka verkansformer som dominerar skadebilden. Det senare är en följd av att de olika skadeavstånden för verkansformerna växer olika snabbt då laddningsstyrkan ökar.

Explosionshöjden avgör i första hand om det blir något lokalt nedfall. En av de viktigaste frågorna i ett tidigt skede är därför om det är en ytnära explosion (med åtföljande omedelbart nedfall) eller en luftexplosion som inträffat.

För laddningsstyrkor under några få kt gäller grovt sett att det är den joniserande initialstrålningen som ger det största verkansavståndet mot oskyddade eller dåligt skyddade människor. I styrkeintervallet 10–100 kt når värme- och stötvågsverkan ungefär lika långt ut medan initialstrålningen relativt sett spelar en allt mindre roll ju högre styrkan är. De starkaste vapnen i kärnvapenmakternas arsenaler är snarast att betrakta som brandvapen, då värmeinstrålningen alltmer dominerar över andra verkansformer ju större laddningsstyrkan blir. Dessa förhållanden illustreras av kurvorna i diagrammet, som också visar att skadeområdets radie växer från knappt en km för "subkilotonladdningar" till flera mil för "multimegatonladdningar".

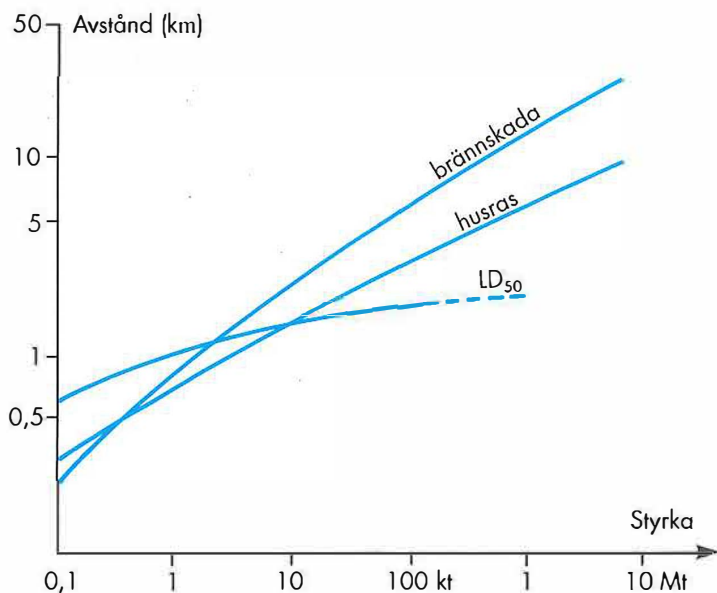
De avstånd som kan avläsas ur diagrammet är endast grova riktvärden. I verkligheten finns ingen skarp gräns för någon viss typ av skadeverkan, eftersom olika exemplar av ett visst slags objekt (t ex hus) har olika egenskaper, och eftersom verkansformernas utbredning påverkas av lokala och tillfälliga faktorer såsom terrängens utscende eller luftens innehåll av stoft och fuktighet. I allmänhet är dock skaderisken nära noll på ett avstånd som är dubbelt så stort som det som fås ur diagrammet.

Diagrammet är konstruerat utan hänsyn till kombinationseffekter, dvs det förhållandet att en typ av skada kan förvärras genom att en annan typ uppträder samtidigt. Biologiska kombinationsskador har berörts tidigare (sid 42). Även materiella skador kan förvärras genom t ex

växelverkan mellan stötvåg och värmeinstrålning. Speciellt gäller detta uppkomst och spridning av brand.

EMP-verkan på oskyddade objekt är alltför beroende av varje objekts detaljerade elektriska egenskaper för att någon motsvarande kurva över skaderadien för låghöjds-EMP ska kunna konstrueras. Mot elektriskt känsliga objekt har EMP från ytexlosioner dock ofta större verkansradie än de övriga verkansformerna – speciellt vid låga laddningsstyrkor, eftersom EMP i motsats till stötvåg och värmeinstrålning är relativt svagt beroende av laddningsstyrkan. Skydd mot höghöjds-EMP ger i allmänhet en markant reduktion av verkansradien.

Oavsett laddningsstyrkan och vindförhållandena kommer området med kraftigt, lokalt nedfall efter en ytexlosion alltid att bli mycket

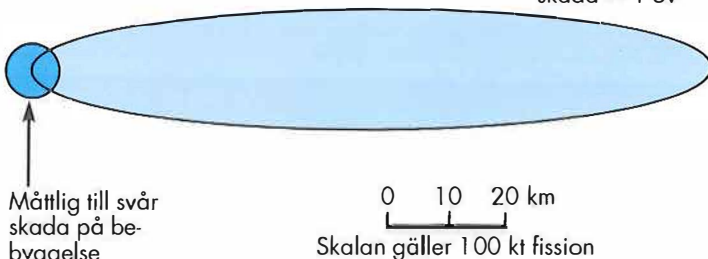


Diagrammet visar hur det avstånd från nollpunkten, där sannolikheten för en viss typ av skadeverkan är cirka 50 procent, ökar med laddningsstyrkan. Explosionen antas ske på s k optimal höjd för stötvågsverkan, vilket innebär cirka 300 m vid 1 kt, cirka 3 000 m vid 1 Mt. Detta medför att initialstrålningen vid markytan blir relativt obetydlig vid laddningsstyrkor över något hundratal kt.

större än området för direkt verkan i form av stötvåg, värmestrålning och initialstrålning. Detta illustreras i figuren härintill. Särskilt stora blir riskerna och problemen i den del av belägningsfältet som är närmast nollpunkten, eftersom strålningens intensitet här kan bli mycket hög, samtidigt som nedfallet kommer så tidigt att ingen förvarning hinner ges. Av detta skäl måste varje kärnladdningsexplosion i ett krig betraktas som en ytexplosion tills motsatsen har kunnat fastställas.

Tvådygnsdoser utomhus

Gräns för akut skada ≈ 1 Sv



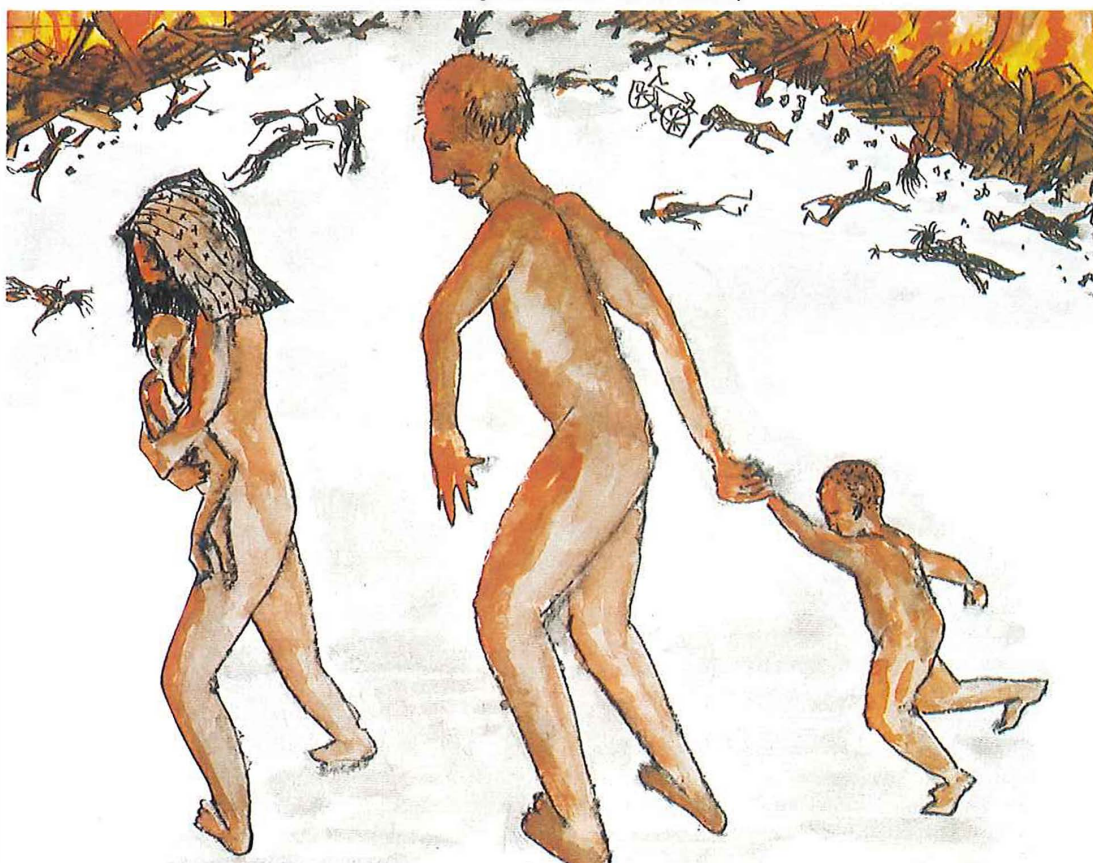
Schematisk storleksjämförelse mellan området för stötvågsverkan och området med lokalt radioaktivt nedfall. Belägningsfältets kontur är definierad av att utomhusdosen under de första 48 timmarna är 1 Sv eller högre.

Verkligheten

Diagrammet måste användas med stor försiktighet. Kurvorna antyder verkansområdets storlek och verkningarnas natur men kan inte ge en sann bild av hur skadorna skulle se ut i en verklig miljö. Ännu mindre säger de något om hur individen drabbas.

“Överallt hörde vi röster som bad om hjälp. Vi försökte ta skydd, våra kläder hade brunnit upp, våra kroppar var täckta av blod och vi storknade av röken.” Ishizu Kazuhiro, 37 år vid bombningen av Hiroshima.

Bilden återgiven med tillstånd av The Japan Peace Museum.





De enda erfarenheter vi har av detta härrör från Hiroshima och Nagasaki. Dessa erfarenheter är utförligt beskrivna i många böcker och rapporter. Även om verkningarna stämmer i grova drag med den schablon som presenterats ovan, finns det många detaljer i verkansbilden som inte skulle gått att förut säga med schablonens hjälp. I Hiroshima stod t ex ett fåtal byggnader kvar relativt nära nollpunkten, låt vara svårt skadade, medan ett stort antal hus på längre avstånd totalförstördes. Detta förhållande – som inte hade nämnvärd betydelse för de

Detta konstverk är målat av Yamagata Yasuko, 17 år vid tidpunkten för bombningen av Hiroshima. Han var i skolan när bomben fälldes.

"... klockan halv åtta lämnade jag skolan och gick mot ruinerna av mitt hem i Nobori-sho. Jag gick förbi Hijiyyaparken. Enstaka kroppar låg på den brända marken. I en vattenbassäng vid ingången till radiostationen lade jag märke till en hög med kroppar. Plötsligt fick jag syn på något fruktansvärd på gatan... Där stod en förstened kvinnokropp med ena benet upplyft som om hon sprang och med ett spädbarn i ett hårt grepp. Jag kommer aldrig att glömma det."

Bilden återgiven med tillstånd av The Japan Peace Museum.

totala förlusterna i människoliv – berodde bl a på att Hiroshima 1945 till övervägande del bestod av en- och tvåvånings träbyggnader samt, i centrum av staden, ett mindre antal stenhus för administrativa och kom-

mersiella syften av vilka somliga byggts speciellt jordskalvståliga.

Ett annat skäl till den våldsamma och vidsträckt ödeläggelsen i Hiroshima var att bränderna utvecklade sig till en brandstorm, som be-

skrivits i kapitlet om brand. Detta innebar att även byggnader som var måttligt skadade av stötvågen brann ned (eller blev utbrända, om de var av sten).

Ser man till individuella skador, framgår det genast att mallar och schabloner ger en överförenklad bild. Om kurvorna i diagrammet på sid 50 vore exakta, skulle det knappast ha funnits någon bland de överlevande i Hiroshima eller Nagasaki som uppvisade akuta strålskador utan att också ha andra (mekaniska eller termiska) skador. I realiteten fanns det flera tusen sådana strålskadefall.

Båda explosionerna skedde så högt över marken att något lokalt nedfall inte kunde uppstå. Däremot visade det sig att bl a sotpartiklar i brandröken fungerade som kondensationskärnor för luftens fuktighet på högre höjd. I båda städerna ledde detta till uppkomsten av ett "svart regn", som också innehöll radioaktiva rester och således lämnade ett visst bidrag till stråldosen, särskilt inom de mer avlägsna stadsdelar där initialstrålningen var försumbar.

Det finns åtskilliga redogörelser för de psykiska reaktionerna hos enskilda överlevande i Hiroshima och Nagasaki, som präglades av uppgivenhet och förtvivlan. En del författare har menat att just kärnvapenexplosionens våldighet medför ett specifikt reaktionsmönster, medan andra har velat se det som ett specialfall av det allmänna "katastrofsyndromet". Särdragen ligger i katastrofens plötslighet och – i Japan – i att dess orsak var okänd. Oavsett vad som är mest riktigt, är otvivelaktigt de psykiska och sociala effekterna en viktig del av den totala verkansbilden, även om de inte låter sig beskrivas med diagram.

Sammanlagd verkan av många explosioner

Skulle kärnvapen komma att användas i ett eventuellt framtida krig, måste man räkna med att ett stort antal explosioner inträffar under en

kort tidsrymd. I så fall framträder inslag i den samlade verkansbilden, som saknas eller är försumbara vid enstaka explosioner, i form av fysikaliska och biologiska effekter "av andra ordningen", som kan få global betydelse efter ett stort kärnvapenkrig. Hit kan räknas radioaktivt nedfall över långa avstånd, klimatpåverkan på grund av brandrök och stoft i atmosfären samt uttunning av ozonskiktet under inverkan av kväveoxider från eldkloten. Dessa frågor, liksom tänkbara konsekvenser av att samhällets infrastruktur skadas allvarligt, diskuteras mer utförligt i kapitlet "Kärnvapenkriget".

Den samlade verkan av en eller flera explosioner i eller utanför stratosfären utgörs främst av de komplexa skador som kan drabba olika delar av vidsträckta (oskyddade) elektriska system. Vissa skador kan vållas genom de ännu mer komplicerade växelverkningarna mellan olika sådana system, t ex mellan el och telenät.

Skydd mot direktverkan och tidigt nedfall

Principerna för att åstadkomma skydd mot var och en av explosionens verkansformer är i flertalet fall enkla och väl kända. Det är dock inte praktiskt eller ekonomiskt möjligt att realisera ett skydd som gör att människor, anläggningar eller materiel kan överleva en kärnvapenexplosion på nära håll. Man måste därför rikta in sig på att minska skadeområdets storlek för en given laddningsstyrka samt på att minska stråldosen från det tidiga nedfallet. I många länder, speciellt i kärnvapenstaterna, har man lagt ned ett betydande arbete på att skydda militära objekt. Däremot är Sverige bland de länder som satsat mest på skydd för civilbefolkningen (inte bara mot kärnvapen utan mot vapenverkan i allmänhet). Av detta skäl redovisas i det följande främst de specifikt svenska förhållandena.

För civilbefolkningen är skyddsrum det viktigaste medlet att minska

skadeutfallet. Det finns för närvarande nästan sju miljoner skyddsrumspplatser i Sverige.

Skyddsrummen ger ett visst skydd mot alla slags vapenverkningsar. När det gäller kärnvapen ska ett skyddsrum klara ett långvarigt övertryck på 50 kPa. Detta krav gäller såväl skyddsrumsstommen som övriga skyddsrumskomponenter, t ex stötvågsventiler för till- och frånluft, stötvågsstyddade in- och utgångar och speciellt utformade kabelgenomföringar.

Ser man till hela skyddsrumbeståndet, dvs skyddsrum som är byggda mellan 1940 och 1990, är skyddsnivån ojämn. Skyddet mot långvarigt övertryck kan sägas variera från nära 0 till 100 kPa. Vad gäller direkt verkan får dock vinsterna inte överskattas. Man bedömer t ex att det avstånd, där flertalet skulle överleva (med inga eller lindriga skador) en 100 kt luftexplosion, är cirka 3 km om de befinner sig i vanliga hus och 1,5–2 km i skyddsrum av ordinär svensk kvalitet. Skyddsrummen ger ett gott skydd mot strålningen från nedfallet, men det gör även många vanliga byggnader och källare. Den stråldos från radioaktivt nedfall man får i skyddsrummet får vara högst 2,5 procent av utomhusdosen. De flesta skyddsrum, speciellt de som är belägna i källare, ger dock ett vida bättre skydd.

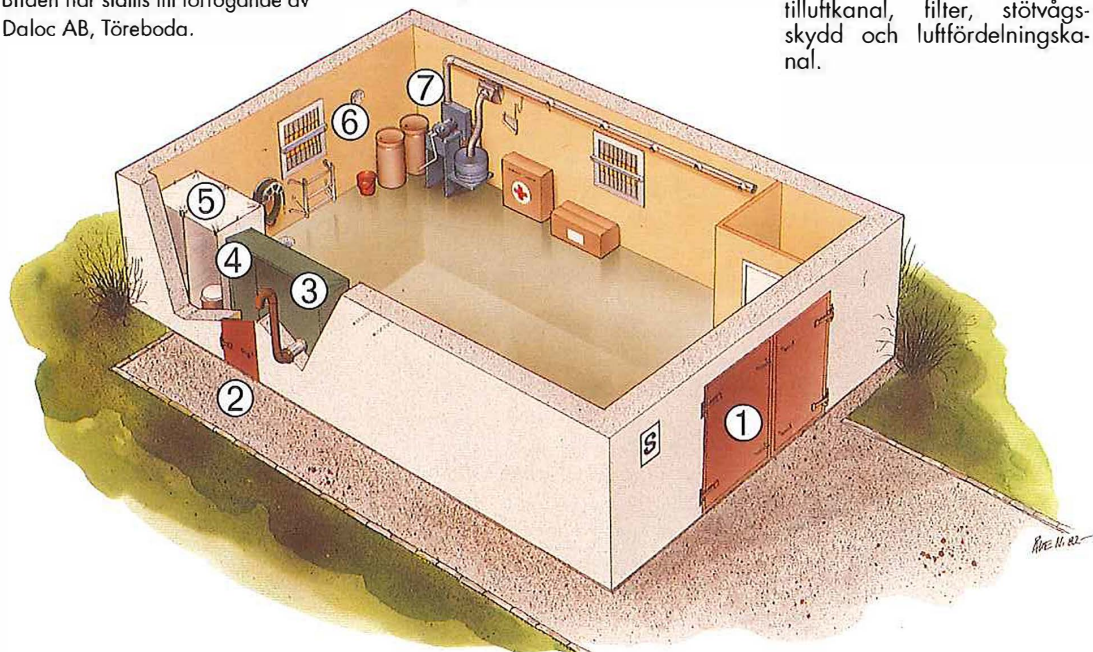
I några av våra större städer finns sk b befolkningsskyddsrum. De byggdes under 1950- och 1960-talen och beräknades ge skydd för dem som måste vara kvar i städerna efter en utrymning. Dessa skyddsrum är mycket stora (ursprungligen planerade för 5 000–18 000 personer). I den planering som nu gäller är befolkningsskyddsrummen fortfarande aktuella, dock inte på samma sätt som ursprungligen var tänkt. Skyddet mot t ex joniserande strålning och värmestrålning är mycket gott. Mot andra verkansformer, t ex långvarig stötvågsverkan, ger dessa skyddsrum ett mycket begränsat skydd. Trots den ansenliga mängden

Exempel på hur ett skyddsrum kan utföras. Detta placeras ovan mark och rymmer 60 personer. I fredstid används skyddsrummet som garage.

Bilden har ställts till förfogande av Daloc AB, Töreboda.

1. Skyddsrumsdörrar anpassade till den fredstida användningen.
2. Normal skyddsrumsdörr.
3. Frånluftkanal med stötvågsskydd.

4. Monterbart gasfång (kan även göras i fast utförande av betong).
5. Torrklösetter.
6. Reservutgång.
7. Luftreningsaggregat med tilluftkanal, filter, stötvågsskydd och luftfördelningskanal.



skyddsrum råder stor brist på skyddsrumspplatser. I ett krisläge finns det därför planer på att bygga s k skyddade utrymmen. Kraven på skydd mot strålning från radioaktivt nedfall är lika stora för skyddade utrymmen som för skyddsrum. Där emot är skyddet mot övriga verkansformer sämre än i skyddsrum.

Om kärnvapen används utanför vårt lands gränser, liksom vid markexplosioner inom landet, kan skadeverkningarna starkt begränsas om befolkningen flyttar från uppehållsplatser som ger dåligt skydd mot strålning från radioaktivt nedfall (t ex småhus av trä) till sådana som ger ett – relativt sett – bra skydd (flerbostadshus av tegelmurverk eller betong). I samband med en sådan omflyttning kan det också vara aktuellt att införa restriktioner för utomhusvistelse och vissa livsmedel.

För vissa situationer, t ex vid kärnvapenexplosioner mycket nära vårt lands gränser eller explosioner

Balanserat skydd

I vissa fall försöker man ge kvalificerad militär materiel och viktiga försvarsanläggningar ett balanserat skydd. Vad gäller materiel innebär detta ofta att den ska klara påfrestningar i samma utsträckning som den personal som betjänar den. Härvid måste man observera att viss materiel kan vara mer exponerad än personalen, och att därför exempelvis strålskador på elektronik kan bli utslagsgivande. Vidare bör man av ekonomiska skäl undvika att göra skyddet mot en viss form av verkan "överstarkt".

Man väljer då en verkansform – vanligen luftstötvågen – som dimensionerande. Detta förutsätter givetvis ett grundläggande antagande om den ungefärliga styrkan hos de kärnvapen som kan komma ifråga.

I kraftigt skyddade anläggningar, exempelvis i berggrum, kan balansering av skyddet innebära att antenner, kabelgenomföringar m m behöver skyddas mot lghöjds-EMP. Vidare måste markskakningseffekterna beaktas.

inom landet, är utrymning i större eller mindre omfattning förberedd. Även i de fall ett hot riktas mot Sverige i syfte att förmå landet till eftergifter finns förberedda utrymnings-

åtgärder (i form av s k snabbutrymning av de större städerna). Så vitt känt har man endast i Schweiz gjort lika (eller mer) omfattande förberedelser för befolkningens skydd.

Vapensystem och arsenaler

Ett kärnvapen kan utformas på många sätt. Det kan t ex vara en flygbomb, men är numera ofta *stridsdelen* eller stridsspetsen på en raket eller robot. Raketen eller roboten är då *vapenbäraren* som för vapnet till målet. Raketer saknar styrning, medan robotar kan korrigera flygbanan eller i vissa fall t o m navigera. På engelska används den gemensamma beteckningen *missiles*. Någon tydlig skillnad mellan vapen och vapenbärare finns inte alltid. En artillerigranat är ett exempel på detta.

Utskjutningsanordningar för robotar m m sägs ofta vara placerade på en *vapenplattform*, särskilt i de fall denna är en farkost (ubåt, flygplan osv). Även gränsen mellan vapenbärare och vapenplattform är suddig; ett flygplan kan vara båda beroende på om lasten är frifallsbomber eller robotar.

Ordet vapensystem täcker både vapen och vapenbärare, ibland även plattformen. Ett komplett vapensystem kan dessutom innefatta komponenter med uppgifter att insamla, behandla och vidarebefordra all den information som krävs för att de övriga komponenterna ska fungera. Dessa system för spaning, ledning, styrning m m brukar ofta (även på svenska) sammanfattas under beteckningen C^3I (= Command, Control, Communications and Intelligence). Här återfinns således bl a radar av olika slag, hydroakustiska sensorer, satelliter för spaning, navigeringsutrustning och telekommunikation samt omfattande nätverk av datorer på olika stabsplatser.

Olika kategorier av kärnvapensystem

Ursprungligen var alla kärnvapen strategiska i den meningen att de var avsedda för strategisk bombning. Syftet var att slå sönder motståndarens krigsindustri och samtidigt de-

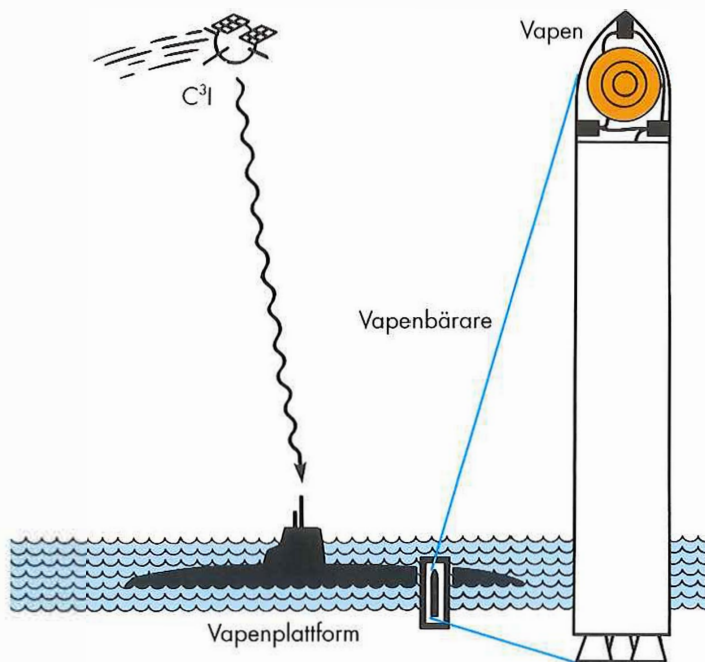
moralisera befolkningen. Redan på 1950-talet hade man emellertid utvecklat vapen som var mer lämpade för rent militära syften på slagfältet. Man började då tala om dessa som taktiska. Sedan dess har arsenalerna tillförts så många olika vapensystem med olika egenskaper att den klassiska indelningen inte är användbar. Något mer ändamålsenligt är att skilja mellan följande tre kategorier:

Centralstrategiska kallas (i USA) de vapensystem med vilka supermakterna direkt kan hota varandras hemländer. Hit hör markbaserade ballistiska robotar med interkontinental räckvidd (ICBM), ubåtsbaserade robotar (SLBM) och vapenburna av flygplan med tillräckligt stor aktionsradie. Flertalet ICBM och SLBM bär numera multipla

stridsdelar med styrkor från mindre än 100 kt till cirka 500 kt. Ett fåtal robotar tros fortfarande ha en enda stridsdel med upp till cirka 10 Mt laddningsstyrka.

Vapensystem med medellång räckvidd (mellan 1 000 och cirka 5 000 km) kallas ibland *eurostrategiska*. Kategorin omfattar främst markbaserade robotar och en mängd flygburna vapen, men även sjöbaserade kan utnyttjas. Styrkemässigt är de eurostrategiska vapnen jämförbara med de centralstrategiska, dvs de medför laddningar på upp till 1 Mt. De geografiska förutsättningarna har gjort att främst Sovjetunionen och Kina samt i viss mån Frankrike byggt upp styrkor med medeldistansvapen.

Bland system med kortare räck-



Symbolisk illustration av vilka komponenter som kan ingå i ett vapensystem. Moderna vapenbärare är ofta raket- eller jetdrivna robotar med större eller mindre förmåga till självstyrning. Vapenplattformar kan vara fartyg, flygplan, markfordon eller fasta markinstallationer. C^3I -system innehåller rymdbaserade, flyg- eller fartygsburna eller markbundna komponenter.

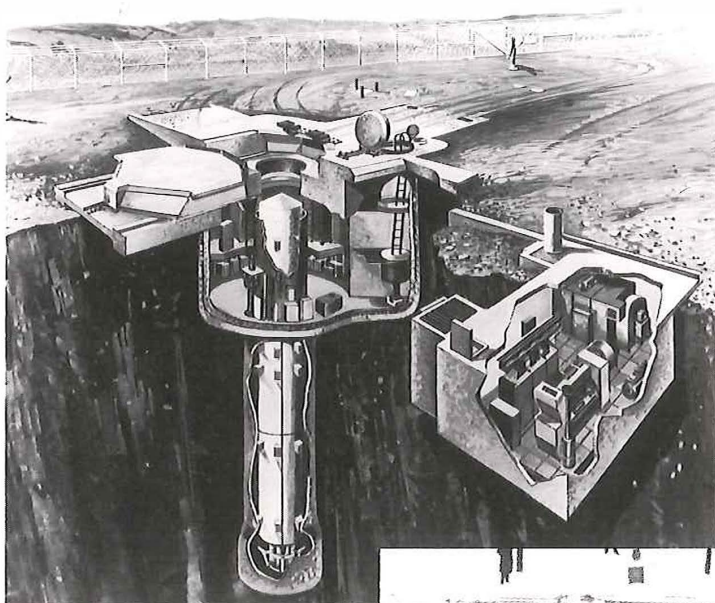
vidd än 1 000 km, som fortfarande ofta kallas *taktiska kärnvapensystem*, finns en uppsjö av olika typer. Flygburna bomber, raketer och robotar utgör en stor undergrupp, men det finns också artillerigranater, mark- och sjöbaserade kortdistansraketer, torpeder och sjunkbomber. Laddningsstyrkorna varierar från bråkdelar av ett kt upp till kanske hundra kt. Detta innebär att många s k taktiska kärnvapen kan användas för vad som förr kallades strategiska angrepp.

Många av vapenbärarna, speciellt de båda förnämnda kategorierna, är ballistiska robotar. Sådana drivs av raketmotorer, som bara brinner under en relativt kort startfas. Där-



Ett amerikanskt strategiskt bombplan av typ B52 faller en kryssningsrobot.

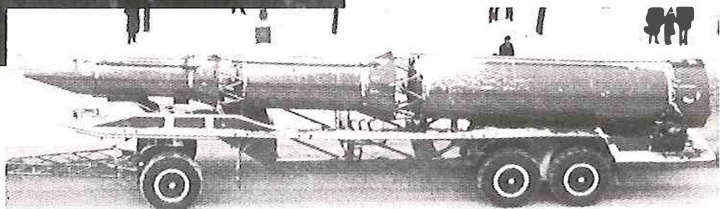
Foto: U.S. Air Force



Tecknarens vision av en silo för en ICBM, ursprungligen avsedd för den amerikanska Minuteman men här modifierad för den nya MX. MX-roboten är närmare 22 m lång, har en räckvidd över 11 000 km och kan ha upp till tio stridsdelar, vardera med en styrka av 300 till 475 kt. Roboten står inuti en vertikal behållare. Observera de mycket kraftiga skydden vid markytan som snabbt dras undan före avfyrningen.

Foto: U.S. Air Force

efter rör sig stridsdelen eller -delarna i kastbana; härav benämningen ballistisk. I motsats till detta är kryssningsrobotar, eller aerodynamiska robotar, reaktionsdrivna miniatyrflygplan. Sådana vapenbärare för konventionella vapen eller kärnvapen har funnits länge. Andra världskrigets tyska V-1 var den första. Det är emellertid först under 1980-talet som lätta men effektiva reaktionsmotorer i kombination med sofistikerade navigeringsmetoder gjort kryssningsrobotar till ett alternativ i alla tre kategorierna ovan. Kryssningsrobotar kan skjutas ut från flygplan, fartyg (inklusive ubåtar) eller ramper på marken.



En sovjetisk ICBM, SS-13, från 1960-talet. Roboten är ungefär 20 m lång, har en räckvidd av 9400 km och har en stridsdel med styrkan något över 0,5 Mt. Sovjetunionen har ett stort antal typer av nya eller modifierade ICBM med tillsammans 6-7000 stridsdelar. En modern ICBM, SS-18, finns i ungefär 300 exemplar. SS-18 har en längd av 32 m, räckvidd 11 000 km och är försedd med tio stridsdelar som vardera har en styrka av cirka 0,5 Mt.

Foto: Soviet Military Power 1981

Kärnvapenmakternas arsenaler

Några säkra och exakta uppgifter på hur många eller hurdana kärnvapen ett visst land förfogar över finns självfallet inte. För vissa typer av vapensystem finns relativt trovärdiga siffror, speciellt sådana som offentliggörs i samband med att något rustningsbegränsande avtal sluts. Hittills har dock bara mindre delar av de samlade arsenalerna beskrivits på detta sätt. Till detta kommer att både kvantitativa och kvalitativa data förändras med tiden. Av dessa skäl är det bara meningsfullt att ange grovt avrundade tal, tendenser som bestått länge och jämförelser som tycks kunna förbli giltiga under relativt lång tid framåt.

Det sammanlagda antalet operativa kärnvapen i världen kan 1990 uppskattas till drygt 50 000. Det överväldigande flertalet tillhör antingen USA eller Sovjetunionen.



En modern sovjetisk kärnkraftsdriven ubåt som i väst kallas Typhoon. Ubåten är 170 m lång och har i ytläge ett deplacement av cirka 18 500 ton. Den kan ha 20 SLBM med räckvidden 8 300 km. Varje SLBM kan ha tio stridsdelar vardera med en styrka av cirka 100 kt.

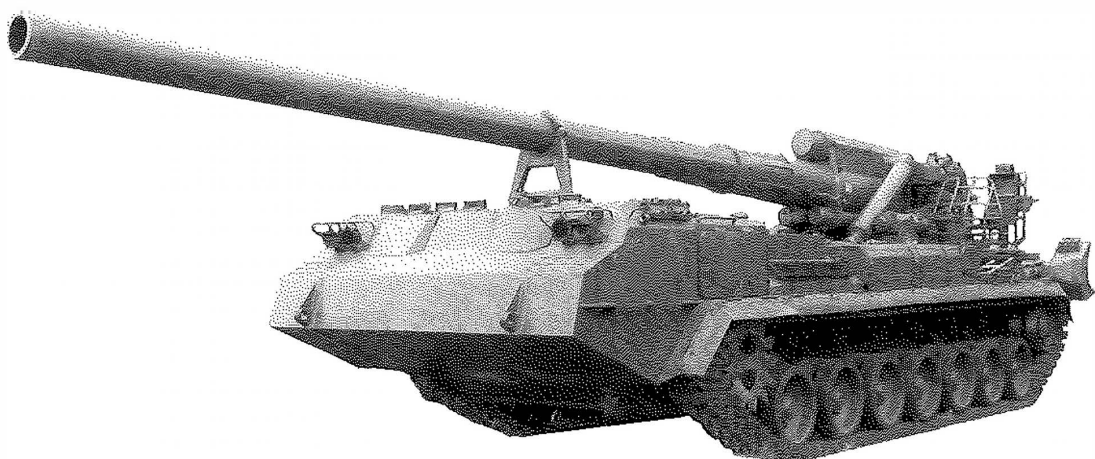
Foto: Soviet Military Power 1990



En fransk markmålsrobot (ASMP) monteras 1986 på ett Mirage(IV)plan. Räckvidden är upp till 300 km. Stridsdelens styrka är omkring 150 kt. Foto: Pressens Bild



En amerikansk kärnkraftsdriven strategisk ubåt av Lafayetteklass, sjösatt 1960. Luckorna är öppnade till 16 Poseidon C-3 SLBM med räckvidden 4 000 km. Varje SLBM kan ha cirka 10 stridsdelar vardera med styrkan 40 à 50 kt. Foto: Svenskt pressfoto



En sovjetisk 20,3 cm bandgående haubits. Skottvidden är åtminstone 30 km. Pjäsen kan skjuta kärnladdade projektiler.

Storbritannien, Frankrike och Kina förfogar vardera över 1 à 2 procent av den samlade arsenalen. Dessutom kan det finnas odeclarerade vapen i länder som inte öppet framträtt som kärnvapenmakter.

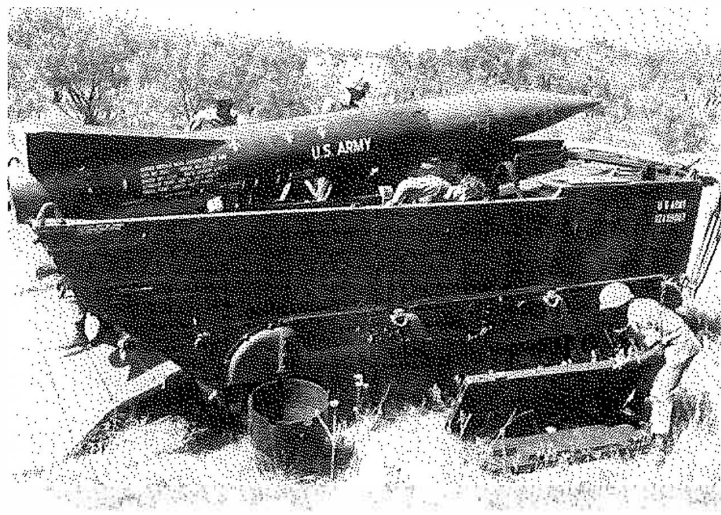
De amerikanska centralstrategiska systemen byggdes ut kraftigt under 1960-talet, medan motsvarande sovjetiska styrketillväxt varit långsammare och pågått under hela 1970-talet. Under 1980-talet har antalet operativa amerikanska kärnvapen minskat genom att föråldrade system tagits ur bruk. USAs arsenal anses nu vara mindre än Sovjetunionens. Detta ändrar inte den strategiska balansen mellan de två supermakterna. Minskningen har i huvudsak gällt taktiska vapen. Även den sovjetiska arsenalen anses ha minskat något under de senaste åren, främst på grund av INF-avtalet.

Naturligtvis är marginella ändringar av redan stora kärnvapenstyrkor relativt ointressanta jämfört med tillkomsten av nya kärnvapenmakter med aldrig så små arsenaler. En enda provexplosion i exempelvis Pakistan eller Sydafrika skulle kun-

na få mycket större globalpolitiska konsekvenser än hundra nya avancerade vapen i USA. Indiens enda kärnladdningsprov 1974 ger i viss

mån fortfarande detta land en särställning.

Den kinesiska arsenalen ökar såvitt man vet långsamt men stadigt.



En amerikansk ballistisk kortdistansrobot, Lance, som sedan 1976 är stationerad i flera NATO-länder. Lance har en maximal räckvidd av 130 km. Olika stridsdelar kan användas, dock i första hand kärnvapen med styrkan ett kt till flera tiotal kt. En neutronladdning för Lance har tillverkats men torde endast finnas i USA.

Ur Jane's Weapons Systems 1988-89. Bilden återgiven med tillstånd av Jane's Information Group.

De brittiska och franska kärnvapnen har börjat moderniseras och kan samtidigt komma att öka betydligt i numerär, om planerna förverkligas. Detta beror framför allt på att båda dessa stater utrustar sina ubåtsbase-rade robotar med multipla stridsdelar.

De amerikanska och sovjetiska arsenalerna består fn av ungefär hälften strategiska och hälften taktiska vapen. Endast dessa två nationer har ett stort antal och ett stort sortiment av taktiska vapen. Bl a torde vardera sidan ha några tusen granater för artilleripjäser med kalibrar mellan 15,5 och 24 cm, gissningsvis med laddningar från 0,1 kt upp till 5–10 kt. Det förändrade politiska läget i Europa kan medföra att antalet sådana kortdistansvapen reduceras kraftigt.

Den sammanlagda laddningsstyrkan är omkring dubbelt så stor på sovjetisk sida som på amerikansk, eller i runda tal 10 000 Mt mot 5 000. De sovjetiska vapnen är således i genomsnitt ungefär dubbelt så kraftiga som de amerikanska.

Vapenteknisk utveckling

Supermakternas arsenaler jämförs i regel genom att man räknar stridsdelar, vapenbärare, samlad styrka osv. Man glömmer då lätt skillnader i den tekniska kvaliteten på de olika vapensystemen. Många av de vapen som bokförts som operativa kan i praktiken vara obrukbara. Många system, som ytligt sett ter sig likvärdiga, kan ha radikalt olika tekniska prestanda.

Det har skett en markant kvalitativ utveckling av kärnvapensystemen. Denna har berört praktiskt taget alla de viktigaste tekniska egenskaperna hos vapensystemens komponenter (se tabellen).

Laddningarna har successivt kun-nat göras mycket mindre och lättare i förhållande till styrkan. I vissa fall har kvoten styrka/vikt ökat mer än hundrafalt sedan 1945. Styrkan ökade språngevis under 1950-talet, genom att fusionsladdningarna kom

Utvecklingen av kärnvapensystem

Komponent	Egenskap
Stridsdel/laddning Vapenbärare	Vikt och volym, styrka, typ Räckvidd, träffsäkerhet, last-förmåga (antal stridsdelar)
Vapenplattform	Sårbarhet (lokalisering, rörlighet, fysiskt skydd mm, ev navigering)
Stödsystem (C ³ I)	Sårbarhet, upplösning, snabbhet
För alla komponenter gäller kravet på största möjliga tillförlitlighet och tillgänglighet.	

till, men senare har man gått ned till betydligt mindre laddningsstyrkor. De multimegatonvapen som finns kvar är i stor utsträckning från 1950-talets slut.

Utvecklingen av vapenbärarna kännetecknas framför allt av att träffsäkerheten på långa avstånd ökat starkt. Detta har medfört att behovet av mycket starka laddningar minskat; en fördubbling av träffsäkerheten är nämligen lika mycket värd som en tiofaldig ökning av styrkan om uppgiften är att slå ut små, "hårda" mål. Samtidigt har detta skapat ett ömsesidigt hot mot framför allt supermakternas ICBM-installationer, ett slags duellsituation direkt mellan vapnen. Detta har

i sin tur i hög grad drivit på den kvalitativa kapprustningen och ibland ansetts kunna underminera den strategiska balansen. Situationen har ytterligare förvärrats av tekniken att placera flera stridsdelar på varje vapenbärare, eftersom detta medför att man skulle kunna slå ut flera av motståndarens vapenbärare genom att offra ett fåtal av sina egna.

Strävandena att göra fasta vapen-installationer mindre sårbara genom fortifikatoriskt skydd kan troligen inte drivas mycket längre. Ett alternativ är att göra de markbaserade robotarna rörliga, och i Sovjetunionen har man på senare år infört några sådana system. Ubåtar är dock fortfarande den minst sårbara platt-



Ett amerikanskt B52 bombplan. Under vardera vingen hänger sex kryssningsrobotar. Vapenlasten för en B52 kan innehålla upp till 24 kärnvapen i form av bomber, kryssningsrobotar och attackrobotar med kort räckvidd.

Foto: U.S. Air Force

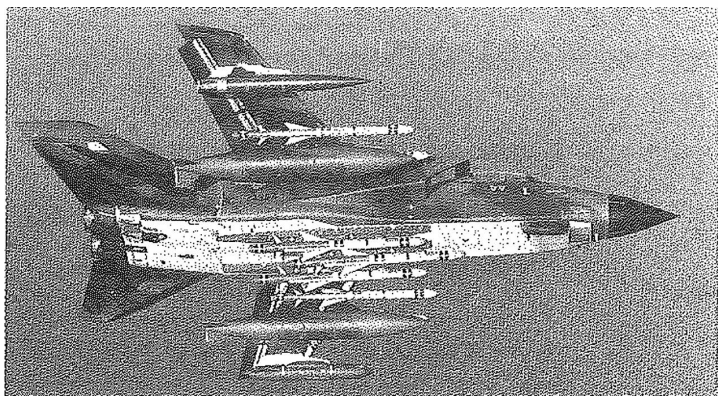
formen. Man har gjort stora ansträngningar att förbättra deras egen positionsbestämning, vilket ökar träffsäkerheten.

C³I är troligen det område där utvecklingen i dag är snabbast och mest livaktig. Mikroelektronikens oerhörda framsteg har möjliggjort många förbättringar, men också introducerat ny och farlig sårbarhet, exempelvis för joniserande strålning och EMP. Kraven på strategiska C³I-system är höga, och systemen ska klara två uppgifter som i viss mån är varandra motstridiga. Å ena sidan vill man säkerställa att felaktig information och obehöriga ingrepp kan elimineras, så att kriget inte bryter ut av misstag. Å andra sidan är det viktigt att systemet fungerar oklanderligt när man verkligen beslutat att aktivera det. För att man ska kunna behålla kontrollen över hur de egna vapnen används, bör C³I-systemen också kunna överleva motståndarens kärnvapenfall.

Teknikutvecklingen på kärnvapenområdet leds av USA. Det är emellertid inte självklart – och det finns inga belägg för – att man på sovjetisk sida anser det nödvändigt eller ens önskvärt att utveckla de egna kärnvapenstyrkorna efter samma linjer som följs i USA, även om så skett tidigare. Detta är något som också kan gälla de övriga kärnvapenmakterna samtidigt som de har mindre ambitioner och resurser.

ABM-försvar

Redan på 1960-talet föddes idén om ett aktivt försvar mot fientliga ballistiska robotar. Deras stridsdelar



Attackversionen av Nato-flygplanet Tornado är i första hand avsett för bekämpning av flygbaser, stridsvagnskoncentrationer och liknande viktiga markmål med konventionella vapen. De engelska Tornadoplanen (bilden) utrustas även med kärnvapen (fyra olika slags bomber). Genom att planet kan lufttankas ökar räckvidden till maximalt 1 250 km.

Foto: Nato's Sixteen Nations 1990

skulle mötas av egna kärnvapenbestyckade luftförsvarsrobotar och oskadliggöras medan de ännu befann sig på hög höjd. Ett sådant sk ABM-försvar visade sig bli tekniskt svårt och dyrbart och det ansågs dessutom kunna hota den strategiska balansen. USA och Sovjetunionen enades därför om att begränsa ABM-systemen till ett enda på var sida. Den sovjetiska anläggningen, som ska skydda Moskva, är fortfarande operativ, medan USA ganska snart demonterade sin.

Idén återupplivades och gavs nytt innehåll 1983 genom president Reagans "strategiska försvarsinitiativ" (SDI). SDI innebar egentligen bara att man samlade och gav ökat stöd åt olika forskningsaktiviteter som redan pågick, och som dessutom pågick även i Sovjetunionen. Det uppseendeväckande var att enligt

Reagan skulle hela USA kunna försvaras med hjälp av nya, exotiska vapen. Sovjetiska robotar eller deras stridsdelar skulle förstöras i sina banor av laserstrålar, partikelstrålar och höghastighetsprojektiler. SDI möttes tidigt av samma invändningar som ABM-försvaret. Efterhand har de tekniska svårigheterna visat sig ännu större än väntat, och sju år efter presidentens tillkännagivande torde det vara ganska säkert att ett heltäckande försvar mot kärnvapen inte kan åstadkommas. Vissa delar av programmet skulle möjligen kunna förverkligas om man satsar tillräckligt med resurser. Det är dock tveksamt om de politiska förutsättningarna för detta fortfarande finns.

Doktrinutveckling

Föreställningarna om kärnvapnets roller och möjliga användning – eller snarare officiella uttalanden om sådana föreställningar – kallas ofta "doktriner". Det finns dock inte någon precis definition av begreppet, som tex avgränsar "kärnvapendoktriner" från "politiska doktriner" eller från "strategier". Ordet doktrin har inte heller samma mening i Sovjetunionen som i USA.

En doktrin kan – men behöver inte – vara utformad som handlingsregler för hur ett krig ska föras. Det kan vidare vara stor skillnad mellan doktrinuttalanden på hög politisk nivå och den (givetvis strängt hemliga) militäroperativa planeringen.

En fråga som diskuterats livligt från tid till annan är kopplingen mellan doktrin och teknikutveckling. Särskilt i USA, där huvuddelen av all offentlig doktrindebatt ägt rum, har somliga hävdat att doktrinerna har drivits fram av den tekniska utvecklingen i stället för av identifierade politiska eller militära behov. Detta är förmodligen till viss del sant, men det gäller snarare enskildheter än de stora linjerna. Däremot har den officiella amerikanska doktrinen anpassats till det efterhand ändrade styrkeförhållandet mellan supermakterna.

Ingen kärnvapenmakt har någonsin öppet sagt sig eftersträva krig. Kärnvapnen har i stället framställts som ett medel att bevara freden genom att de avskräcker en potentiell angripare. Avskräckningen är således den grundprincip på vilken alla officiella doktrinuttalanden bygger.

Avskräckning genom militär styrka är en urgammal idé, men kärnvapnen har tillfört den en ny dimension. En nation kan avskräcka sina grannar från att angripa den genom att vara så stark att angreppet sannolikt misslyckas. Detta kan kallas "avskräckning genom förmåga till motvärn". Kärnvapnets förstörelseförmåga gör emellertid denna form

av avskräckning mindre trovärdig. Den avskräckning som utövas med kärnvapen (mot en kärnvapenbepånad motståndare) är därför huvudsakligen "avskräckning genom hot om vedergällning". Ett sådant hot riktar sig mer mot motståndarens befolkning och samhällsstruktur än mot hans stridskrafter. Redan av detta skäl har många funnit kärnvapenavskräckningen moraliskt betänklig.

Även om man accepterat avskräckningen som princip, kan dess formulering i doktriner vara problemfylld. Doktrinen måste för att vara trovärdig ta rimlig hänsyn till faktiska styrkeförhållanden, till tekniska förutsättningar för dess verkställande samt till politiska ramvillkor såsom alliansförhållanden. Inte minst den sistnämnda punkten har vållat mycket huvudbry inom NATO.

Terrorbalans

Från början hade USA kärnvapenmonopol, samtidigt som inget hot fanns direkt mot landet. I denna situation kunde man hålla sig med en doktrin om "massiv vedergällning", som möjlig konsekvens av varje sovjetisk aggression. Detta skulle verka avskräckande på eventuella sovjetiska erövringsplaner i alla delar av världen, men särskilt i Europa.

Efterhand som Sovjetunionens kärnvapenarsenal växte, förlorade den amerikanska doktrinen sin trovärdighet, och en helt ny situation uppstod med tillkomsten av de interkontinentala raketerna. Nu förelåg plötsligt ett hot direkt mot USA, som svarade med att utlova "garanterad förstörelse" av Sovjetunionen i händelse av ett angrepp på USA. Det dröjde emellertid inte länge innan Sovjetunionen hade motsvarande förmåga, även om det amerikanska övertaget fortfarande var stort. Därmed hade det uppstått ett hot om

"ömsesidig garanterad förstörelse" ("mutual assured destruction" eller MAD), som i lika mån avskräcker båda supermakterna. Detta ömsesidiga hot kallas ibland terrorbalans. MAD bör emellertid inte ses som en doktrin, utan snarare ett konstaterande av sakernas tillstånd som fortfarande råder.

Denna enkla bild kompliceras emellertid av skäl som redan nämnts. Den ursprungliga kärnvapenavskräckningen, nämligen i Europa, blev sekundär i förhållande till supermaktbalansen, och ju mer jämnstarka de båda supermakterna blev, desto mer tvivelaktigt verkade det att USA skulle riskera sin egen odeläggelse för att försvara Västeuropa. Inte desto mindre har denna sk utvidgade avskräckning spelat en central roll för NATO.

NATOs officiella doktrin har sedan 1967 varit "flexible response" eller ungefär "anpassade motåtgärder". Denna föga förvånande princip för Västeuropas försvar avser användningen av både konventionella styrkor, taktiska och strategiska kärnvapen i den omfattning som bedöms nödvändig för att hejda en sovjetisk aggression. Man har dock aldrig nått fullständig enighet om hur doktrinen ska tillämpas för taktiska kärnvapen. I Europa, och särskilt i Tyskland, har man velat se dem enbart som en "snubbeltråd", som utlöser upptrappningen till den strategiska nivån. I USA har man däremot ofta tenderat att betrakta taktiska kärnvapen som ett självständigt element i en hypotetisk krigföring. Båda synsätternas företrädare hävdar att deras ståndpunkt främjar avskräckningen.

"Sista utväg"

Om den nuvarande politiska utvecklingen fortsätter i riktning mot ökad demokratisering av Östeuropas län-

der, möjligen även i Sovjetunionen, och Warszawapaktens gradvisa upplösning, kommer doktrindebatten delvis att bli historia. De taktiska kärnvapnen kommer i framtiden efterhand att spela en allt mindre roll i Europa. I juli 1990 har NATO officiellt meddelat att "flexible response"-doktrinen ska ersättas med en ny, där kärnvapen spelar rollen av "sista utväg".

Vad gäller den strategiska balansen mellan supermakterna har man i USA gjort flera försök att komma bort från MAD-situationen. Strävan har varit att ersätta avskräckning genom vedergällning med avskräckning genom förmåga till motvärn. (Det strategiska försvarsinitiativet kan ses som det senaste av dessa försök.) Problemet här är att ökad förmåga till bekämpning av motståndarens militära styrka också kan

tolkas som ett försök att undergräva den fundamentala balansen. Denna balans mellan de båda supermakterna får anses mycket stabil, särskilt i kraft av de strategiska ubåtsstyrkorna. Ändå har många uttryckt oro över både teknisk utveckling och politiska uttalanden som kan uppfattas så att USA skulle eftersträva förmåga att uthärda och kanske t o m "vinna" ett kärnvapenkrig mot Sovjetunionen. Det mest oroande är att en sådan utveckling förutsätter en strategi som är föga stabil i krislägen, nämligen den att sätta in sina egna kärnvapen mycket tidigt och kanske på blotta misstanken att motståndaren tänker anfalla. Under de senaste åren har dock tendenserna i denna riktning varit avtagande, säkerligen delvis på grund av den politiska avspänningen.

I de övriga kärnvapenmakterna

förekommer i stort sett ingen öppen debatt om kärnvapendoktriner som motsvarar den amerikanska. Sovjetunionen tycks ha accepterat den ömsesidiga avskräckningen som ett faktum. Storbritannien betraktar i huvudsak sina kärnvapen som ett bidrag till NATOs samlade resurser, även om vapnen principiellt skulle kunna tas i bruk efter nationellt beslut, om tillräckligt vitala intressen stod på spel. Kina har inte uttryckt någon egen doktrin, vilket däremot Frankrike gjort. Den franska doktrinen bygger på idén om "proportionell avskräckning", varmed menas att straffet för ett angrepp mot Frankrike ska stå i proportion till värdet av att kunna besegra det. Enligt franskt synsätt kan därför en mindre kärnvapenstyrka vara tillräcklig för att avskräcka en supermakt.



Sovjetiska SS-23-robotar i väntan på att bli förstörda enligt INF-avtalet. SS-23 var en ballistisk robot med längden 7,5 m, vikten 4 ton och räckvidden 500 km. Den kunde förses med en 100 kt stridsdel men även konventionella eller kemiska stridsdelar.

Foto: Blanche/Gamma

Rustningsbegränsande avtal

Internationella förhandlingar i syfte att på olika sätt begränsa kärnvapenupprustningen har pågått sedan 1946, låt vara med flera avbrott. En del förhandlingar har varit multilaterala, dvs många nationer har deltagit. Andra har förts direkt mellan de två supermakterna, mellan Sovjetunionen, USA och Storbritannien eller mellan Sovjetunionen och Frankrike. Ibland har förhandlingarna varit resultatlösa, men många av dem har lett fram till avtal som haft och har avsevärd politisk betydelse.

Flera sådana avtal berörs på andra ställen i denna skrift. Detta kapitel ger en kort översikt över hela den flora av avtal som berör kärnvapen utan att redovisa något av dem i detalj. En sammanställning av avtalen ges i tabellen. Där anges också årtal för (första) undertecknandet.

En grupp av avtal, alla multilaterala, syftar till att förbjuda kärnvapen i vissa områden eller miljöer. Detta förbud kan vara en del av en mer omfattande begränsning, tex i avtalet om Antarktis som demilitariserad zon. Endast två av dessa avtal gäller bebodda områden, nämligen Latinamerika och södra Stilla Havet.

Det Partiella provstoppsavtalet från 1963 förbjuder kärnvapenprov i alla miljöer utom under markytan. Underjordiska prov får inte läcka radioaktiva ämnen utanför det provandes landets gränser. Avtalet har undertecknats av många stater, inklusive USA, Sovjetunionen och Storbritannien, däremot inte av Frankrike och Kina. Det har följts upp bl a genom "Tröskelavtalet" mellan USA och Sovjetunionen, där provens styrka begränsas till 150 kt.

Det viktigaste multilaterala avtalet är Icke-spridningsavtalet från 1968. I detta förbinder sig ickekärnvapenmakter att inte på något sätt försöka skaffa sig kärnvapen och att ställa hela sitt kärntekniska program under internationell kon-

troll. Kärnvapenmakterna lovar i gengäld dels att inte överlåta kärnvapen eller på annat sätt hjälpa någon stat att skaffa sådana, dels att förhandla med varandra för att uppnå kärnvapenedrustning. Vidare tillförsäkras alla nationer rätten till fredligt utnyttjande av kärnenergin. I följande kapitel beskrivs hur Icke-spridningsavtalet kompletterats med säkerhetsåtgärder och exportkontroll. Flera viktiga stater står utanför avtalet, som har kritiserats hårt. Indien opponerar sig mot att avtalet är diskriminerande. Andra stater kritiker riktat sig framför allt mot att nedrustningsförhandlingarna mellan supermakterna inte gett några nämnvärda resultat.

Bland avtalen direkt mellan kärnvapenmakterna finns en grupp som har till syfte att förhindra kärnvapenkrig av misstag. "Heta linjen", dvs direktförbindelsen mellan statscheferna i USA och Sovjetunionen, är den mest kända. Det finns emellertid många fler. Senast kompletterades åtgärderna 1988 genom inrättandet av gemensamma organ för

ömsesidig information, s k Nuclear Risk Reduction Centers.

Avtalen mellan USA och Sovjetunionen om begränsning av strategiska kärnvapen, SALT I (vars giltighet löpte ut 1977) och SALT II (som aldrig formellt trädde i kraft), fastställde balansen till en viss nivå, uttryckt som tillåtna antal vapenbärare av olika slag. Siffrorna innebar inget krav på faktisk nedrustning. Dessutom säkrades balansens fortsatta existens genom kraftiga begränsningar av ABM-försvaret (se även sid 60). Detta avtal gäller fortfarande.

Det enda avtal som medför att existerande kärnvapen skrotas är INF-avtalet (INF = Intermediate range Nuclear Forces) från 1987. USA och Sovjetunionen kom i detta överens om att avskaffa alla markbaserade kärnvapenrobotar med räckvidder mellan 500 och 5 000 km. Avtalet, som nu håller på att genomföras, berör cirka 1 800 sovjetiska och knappt 900 amerikanska robotar. Skrotningen berör enbart vapenbärarna, inte kärnladdningarna.

Avtal rörande kärnvapen

Syfte	Multilaterala	Bi- eller trilaterala
Etablering av kärnvapenfria zoner eller miljöer	Antarktis (1959) Yttre rymden (1967) Latinamerika (1967) Havsbottnen (1971) Stilla Havet (1985)	
Provstopp/ provbegränsning	PTBT (1963)	Tröskelavtalet (1974)
Spridningsförbud	NPT (1968) + exportkontroll	
Undvikande av krig av misstag		Heta linjen (1963) + flera andra
Fastställande av terrorbalansen		SALT I (1972) SALT II (1979) ABM (1972)
Nedrustning		INF (1987)

Kärnvapenspridning

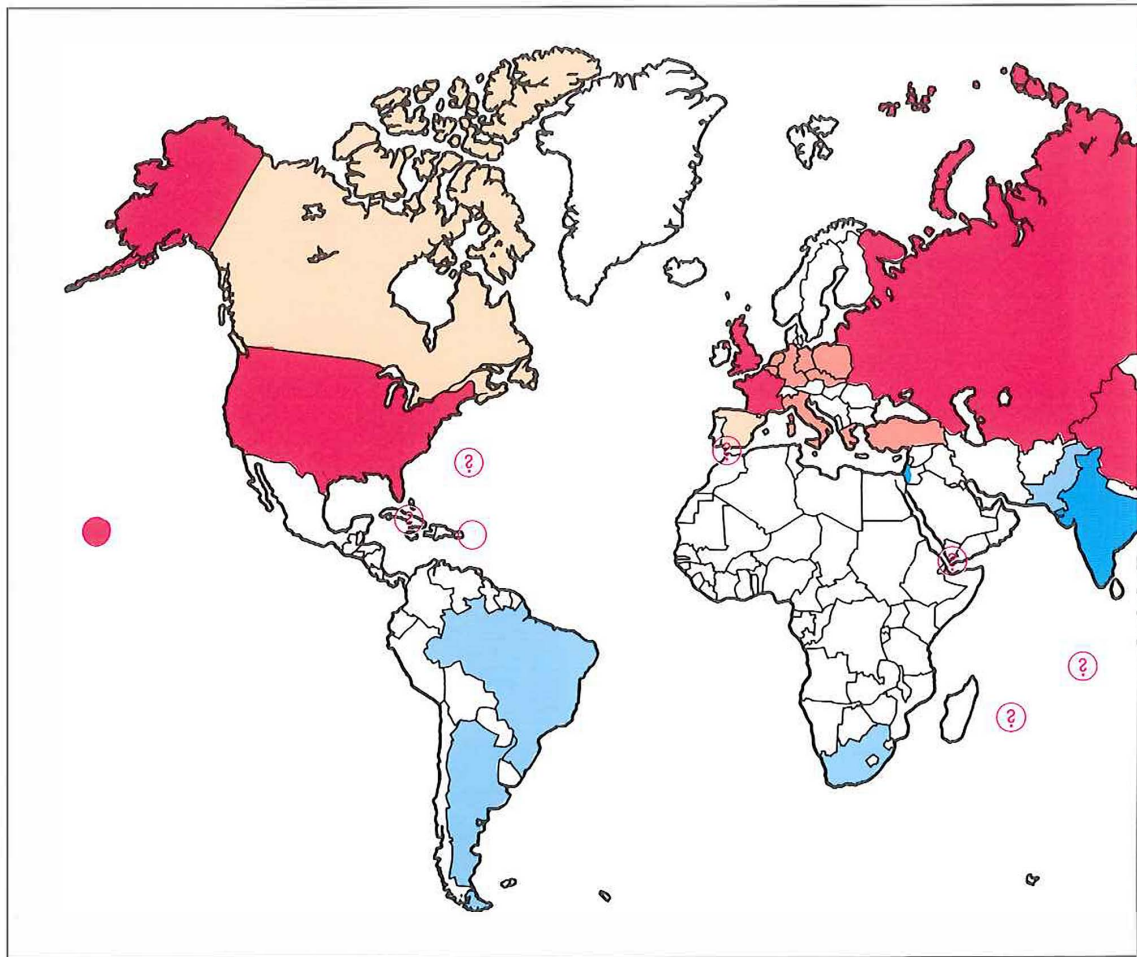
Sex länder har sedan 1945 detonerat kärnladdningar; senast var det Indien som i maj 1974 utförde sitt hittills enda prov. De övriga fem är kärnvapenstaterna USA, Sovjetunionen, Storbritannien, Frankrike och Kina. Dessa har utvecklat sina kärnvapen med hjälp av ett stort antal prov. Många anser att också Israel förfogar över kärnladdningar. Inget prov har dock gjorts i Israel. Även Sydafrika har vid ett par tillfällen i slutet av 1970-talet utpekats som kärnvapenstat. Både Israel och Sydafrika tillhör de s k tröskelländerna och har under 1980-talet varit föremål för särskilda FN-studier.

Tidigare hette det att den avhållande faktorn för kärnvapenspridning är svårigheten att konstruera och tillverka kärnladdningar. Kunskaperna om konstruktion av enklare kärnladdningar och produktion av klyvbart material har emellertid spritts alltmer med åren. För ett stort och växande antal länder är därmed egna kärnvapen inte enbart en fråga om teknisk förmåga, utan mera om vilja och säkerhetspolitiska överväganden. Internationella åtgärder har vidtagits för att i varje fall försvåra för de stater som eventuellt skulle vilja skaffa sig kärnladdningar. Det bör tilläggas att diskussionen om

kärnvapenspridning främst gäller fissionsladdningar och i mindre grad fusionsladdningar, som är mycket mer komplicerade och dyrare att tillverka.

Spridningsläget

Totalt finns i dag 25–30 länder, som anses ha teknisk kompetens att nu eller i en nära framtid (5–10 år) kunna producera kärnladdningar. Det gäller först och främst en hel rad industriländer, som av en eller annan orsak har avstått från att skaffa sig kärnladdningar och visat detta genom att ansluta sig till Icke-sprid-



ningsavtalet. Några av dem är Tyskland, Japan, Kanada, Italien, Belgien, Holland och Sverige.

Flera länder har av olika skäl valt att inte ansluta sig till avtalet. En del av dem brukar betecknas som tröskelländer, dvs länder med väl utvecklade kärntekniska program som står utanför internationell övervakning och som därför betraktas med speciell oro i spridningssammanhang. Främst gäller det Pakistan, Israel, Sydafrika och Indien, men även Argentina och Brasilien räknas till denna grupp. Av dessa länder har Indien visat att de behärskar konstruktion och tillverkning av kärnladdningar genom att ha utfört ett prov. De övriga anses ha nått olika grader av kompetens på området.

Ett absolut villkor för laddnings-

tillverkning är att man har tillgång till klyvbart material av vapenkvalitet. Samtliga länder som klassificeras som tröskelländer har kapacitet att producera plutonium eller höganriktat uran nu eller i en nära framtid. Argentina står på tröskeln till att kunna producera båda, Brasilien kommer inom kort att ha kapacitet att producera uran, Indien kan sedan början av 1970-talet producera plutonium. Detsamma gäller för Israel, medan både Pakistan och Sydafrika har anrikningskapacitet för höganriktat uran.

Att enbart förfoga över det klyvbara materialet är emellertid inte tillräckligt. För konstruktion och tillverkning krävs dessutom kompetens inom många områden som t ex neutronfysik, elektronik, metallurgi och detonik.

Ett kärnladdningsprogram är både ekonomiskt och personellt krävande och kan orsaka stora påfrestningar på det aktuella landet. Forskare och anslag måste i regel tas från annan verksamhet. Ett sådant program förutsätter därför ett politiskt beslut, där motiven för och emot egna kärnvapen rimligen bör ha prövats. I beslutet måste också vägas in riskerna för sanktioner av olika slag mot landet.

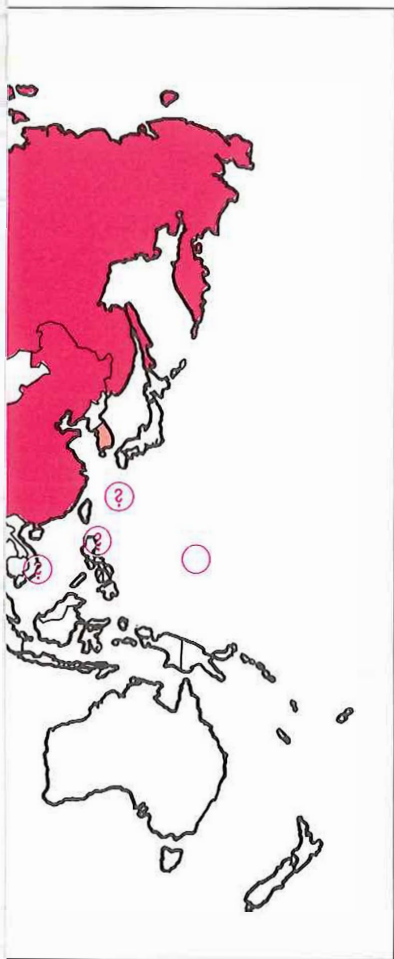
Man bör i det här sammanhanget göra en klar skillnad mellan kärnladdning och kärnvapen. Den kärnladdning som blir resultatet av ett första försök är sannolikt en relativt

enkel och skrymmande konstruktion. Genom att utföra ett prov gör man grannstater och andra uppmärksamma på landets intentioner, kompetens och möjligheter.

Steget från en demonstrationsladdning till ett tillförlitligt, lätt transportabelt kärnvapen är som regel långt. På ett färdigutvecklat kärnvapen ställs dessutom många krav, som innebär komplicerade tekniska lösningar. Dessa är av en helt annan svårighetsgrad än de problem man ställs inför då den första laddningen ska konstrueras. Laddningarna ska också anpassas till vapenbärare, vilket inte heller är något trivialt problem. Det är därför kanske inte fullt motiverat att kalla ett land som utfört sitt första prov för kärnvapenmakt.

Avtal och internationella överenskommelser

Hittills har 141 länder (varav tre kärnvapenländer) anslutit sig till Icke-spridningsavtalet (NPT = Non-Proliferation Treaty). De anslutna icke-kärnvapenländerna har därmed visat att de tar avstånd från kärnvapen för egen del och att de inte heller tänker medverka till att fler länder får kärnvapenkapacitet. Genom att ansluta sig till avtalet, som trädde i kraft 1970, ställer de också samtliga kärntekniska anläggningar i landet under internationell kontroll för att på så sätt garantera att de inte



Kärnvapen finns även i fredstid på många platser över hela jorden. De fem kärnvapenstaterna (mörkrött) har eller har haft kärnvapen lagrade i andra länder (ljusrött). I två länder, Kanada och Spanien, utvecklades emellertid lagren 1984 respektive 1979.

Kärnvapenstaterna har också strategiska ubåtar som med hög beredskap patrullerar i världshaven. De har även flera baser som angörs av hangarfartyg och andra örlogsfartyg eller utnyttjas av flyg (några är här markerade med röd ring). Oftast vare sig förnekas eller bekräftas kärnvapnen ombord (ring med frågetecken).

Vissa länder som inte är anslutna till Icke-spridningsavtalet, de sex sk tröskelländerna, bedöms ha utvecklade kärntekniska program och kärnvapenambitioner (ljusblått). Indien (mörkblått) utförde 1974 en provexplosion.

Underlag från bl a Arkin och Fieldhouse: Nuclear Battlefields, Ballinger Publishing Company 1985

används för annat än civila ändamål. Kärnvapenländerna USA, Sovjetunionen och Storbritannien har åtagit sig att inte hjälpa någon till kärnvapenkompetens och har dessutom förbundit sig att förhandla om kärnvapenedrustning.

Ett annat avtal, vars syfte delvis också är att förhindra spridning av kärnvapen, är avtalet om en kärnvapenfri zon i Latinamerika, vanligen kallat Tlatelolcoavtalet, som (delvis) trädde i kraft 1968. Avtalet har för närvarande 23 länder i Syd- och Mellanamerika som fördragsparter. Ifråga om kontroller kräver avtalet samma åtaganden och skyldigheter som för medlemmar av NPT.

En viktig faktor för spridningen av kärnvapen är olika länders tillgång på anläggningar, utrustning och allmänna kunskaper på området som behövs för att göra kärnladdningar. Det är svårt att förhindra att kunskaper sprids. När det gäller teknisk utrustning finns emellertid internationella överenskommelser som reglerar exporten till länder

som inte är anslutna till Icke-spridningsavtalet. I anslutning till detta avtal finns en grupp bestående av 23 länder (Zanger-kommittén) som utgående från avtalstexten föreskriver vilken typ av utrustning som ska underkastas exportkontroll. Export till stater som inte är anslutna till Icke-spridningsavtalet, kräver att mottagarlandet låter IAEA (International Atomic Energy Agency) kontrollera utrustningen.

Ännu en överenskommelse med syfte att kontrollera exporten är den som träffats av den sk Londonklubben, vars regler även omfattar teknologiöverföring.

Internationell övervakning

Den roll som Icke-spridningsavtalet tilldelar IAEA är enbart att kontrollera att verksamheten inom de civila kärnenergiprogrammen inte utnyttjas för militära syften. IAEA har alltså ingen befogenhet att direkt ingripa mot otillåten verksamhet, utan

endast att rapportera upptäckten. Av de 139 stater som den 1 januari 1989 hade ratificerat avtalet har 80 icke-kärnvapenstater tecknat avtal om kontroll, safeguardsavtal, med IAEA som trätt i kraft. Många av dem har dock ingen större aktivitet på kärnenergiområdet. Även länder som står utanför NPT har ställt vissa delar av sina program under IAEAs övervakning. Det har de gjort genom speciella avtal, som vanligen är ett krav från det exporterande landet (t ex enligt Londonklubbens överenskommelse).

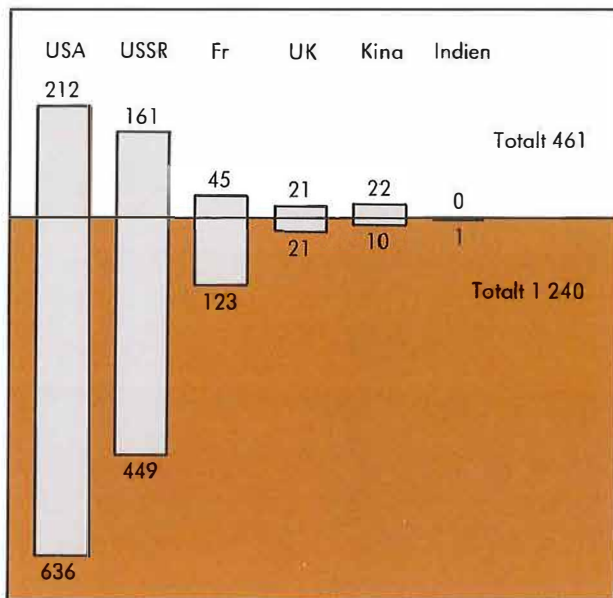
Möjligheterna att utnyttja ett civilt kärnenergiprogram för att framställa material till en kärnladdning måste anses vara mycket begränsade. Det plutonium som produceras vid normal drift har en sammansättning som det är svårt att göra en väl fungerande laddning av. Man tvingas göra täta bränslebyten, vilket är mycket tidsödande, och den internationella kontrollen av de civila kärnenergiprogrammen gör det komplicerat att i hemlighet producera vapenplutonium i reaktorerna.

Prov, civil användning och detektion

Fram till den 1 januari 1990 hade nära 1 700 kärnladdningsprov genomförts i världen. Innan det Partielle provstoppsavtalet trädde i kraft 1963 skedde de flesta proven i atmosfären. Sådana är lättast och billigast att utföra och utvärdera. Men det innebär att ganska stora mängder radioaktiva ämnen spreds runt jorden med vinden, föll och regnade ned mot marken. Där bildade de en global radioaktiv beläggning, som fortfarande ger stråldoser till bl a människan. Dessa miljökonsekvenser ledde kring 1960 till en kraftig opinion mot atmosfärsproven. Avtalet 1963, som bl a förbjöd prov i atmosfären, innebär att man i huvudsak stoppade den globala nedsmutningen. Frankrike och Kina skrev inte på avtalet. Frankrike fortsatte att testa i atmosfären t o m 1974 och Kina genomförde sitt senaste atmosfärsprov i oktober 1980.

Totalt har det sprängts ungefär 550 Mt i atmosfären, vilket motsvarar 40 000 Hiroshimabomber. Härav har 220 Mt varit fissionsenergi och 330 Mt fusionsenergi. Den dominerande delen av fissionsenergin har härrört från klyvning av uran 238 i de stora fusionsladdningarnas tamperhöljen. Antalet prov med sådana laddningar har varit mindre än en tiondel av de cirka 500 atmosfärsprov som gjorts.

Efter 1963 utvecklades tekniken snabbt för att utföra proven under jord. Det är dock svårare att genomföra prov med större laddningar i full skala under jord, eftersom detta kräver dyrbara bormingar av mycket djupa håll. De starkaste underjordiska provexplosionerna har varit på några Mt och har genomförts av USA på Amchitka, en ö i Aleuterna utanför sydvästra Alaska. Sovjetunionens största underjordiska prov har ägt rum på Novaja Zemlja. Den sammanlagda explosionsstyrkan under jord i världen är dock inte större än 80 Mt, uppdelat på cirka 1 240 prov.



Staplarnas höjd anger det antal kärnvapenprov som olika stater utfört under perioden 1945-1989, både i atmosfären (uppåtgående staplar) och under jord (nedåtgående staplar). Det totala antalet prov är drygt 1 700, varav drygt 1 200 underjordiska. Siffrorna är emellertid osäkra. Speciellt USA och Sovjetunionen kan ha utfört betydligt fler prov än de redovisade under 1950-talet.

Utvecklingen av laddningar har kunnat pågå ganska obehindrat efter 1963 och torde bl a ha gällt fissionsändaren i fusionsladdningar. Där emot har möjligheten att vid provexplosioner studera verkan på materiel begränsats kraftigt. Samtidigt har behovet av vapen med hög styrka i arsenalerna uppenbarligen successivt minskat. 1974 undertecknade USA och Sovjetunionen det s k Tröskelavtalet där högsta gränsen för prov sattes till 150 kt.

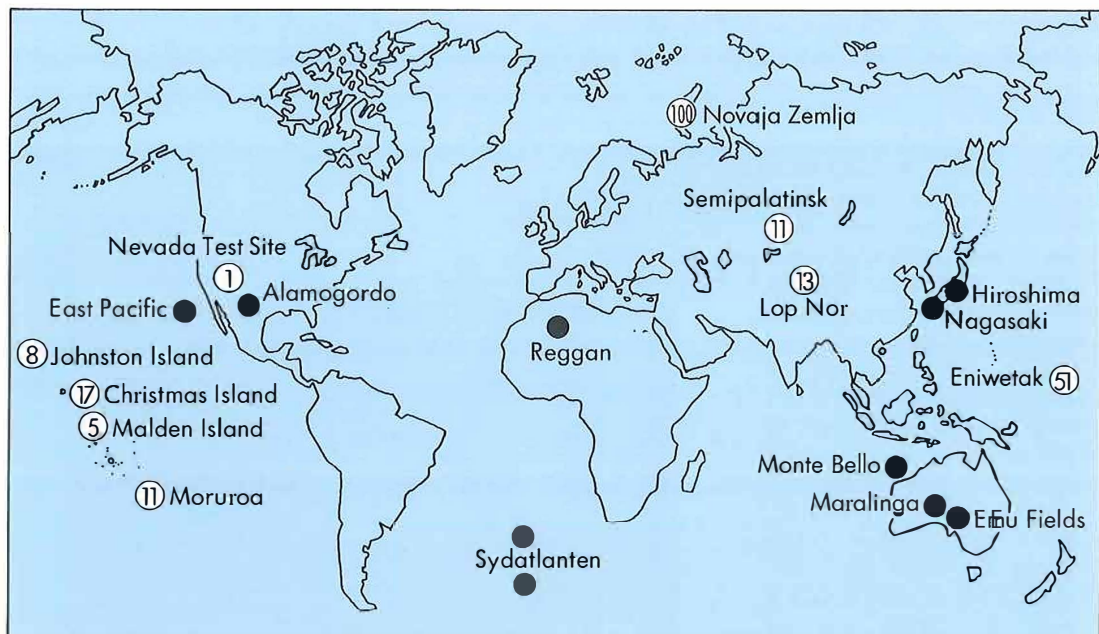
Under 1970- och 1980-talen har man sprängt i genomsnitt en kärnladdning i veckan. Huvudskälet för proven är modernisering och utveckling av stridsdelar. Dessa prov görs oftast i djupa borrhål i berget. Enstaka explosioner per år brukar göras för att undersöka tåligheten mot kärnvapenverkan hos viss militär materiel. Sådana prov utförs i utsprängda tunnlar där man låter

kärnladdningen explodera längst in. Gamma- och neutronstrålningen får träffa den materiel man vill testa. I strålningens väg finns stora portar som sprängs ihop när strålningen passerat, men innan stötvågen når fram.

Civil användning av kärnladdningar

Under sextio- och sjuttiototalen diskuteras livligt möjligheterna att använda energin i kärnladdningsexplosioner till nyttiga civila ändamål. I USA lanserades i detta syfte det s k Plowshareprogrammet.* I ett antal experiment användes kärnladdningar för att spränga upp stora håll i

*Plowshare betyder plogbill. Uttrycket att "smida om svärdet till plogbillar" är hämtat från Jesaja 2:4, som profeterar om fred mellan folken.



Platser för luftexplosioner. Den totala fissionsstyrkan anges i Mt. Där mindre än 0,2 Mt exploderat anges ingen siffra. Huvuddelen av de underjordiska militära proven har USA (och Storbritannien) utfört på Nevada Test Site. Sovjetunionen har utfört dem i Semipalatinsk och på Novaja Zemlja, Frankrike på Moruroa och den närliggande atollen Fangataufa.

Kina har gjort sina underjordiska prov vid Lop-nor i Sinkiang. Civila kärnsprängningar under jord har gjorts på en mängd olika platser, särskilt i Sovjetunionen, där man fram till slutet av 1980-talet uppenbarligen använde kärnsprängningar praktiskt för olika "nyttiga" ändamål.

marken, en teknik som t ex kunde utnyttjas för att bygga vattenreservoarer och kanaler. I programmet ingick också att bättre utnyttja gas- och oljekällor genom att spräcka upp stora volymer berg under jord, liksom att bygga underjordiska reservoarer i saltfyndigheter. Det amerikanska intresset för sådana tillämpningar sjönk dock ganska snart, bl a på grund av den negativa allmänna opinionen. Sovjetunionen har dock fortsatt och genomfört ett stort antal sprängningar över hela landet. I området norr om Kaspiska Havet har Sovjetunionen t ex sprängt ut underjordiska reservoarer för gas. I Sibirien har kärnladdningar använts för att kartlägga berg-

grundsprofiler. Genom att med seismometrar mäta in explosionerna från olika håll kan man få ett slags "tomografibild" av jordskorpan, vilket är intressant för mineralprospektering. Även i Sovjetunionen kommer troligen det civila programmet rätt snart att avstanna av samma skäl som i USA. Inga civila sprängningar gjordes under 1989.

Doser till människan från kärnvapenproven

Den helt dominerande stråldosen till mänskligheten från den samlade militära kärnbränslecykeln kommer från de atmosfäriska provexplosionerna. Dosererna är relativt väl kända,

särskilt genom det arbete som lagts ned av FNs strålskyddskommitté, UNSCEAR. Omfattande mätningar har gjorts av ett stort antal länder för att fastställa markbeläggningen av framför allt de långlivade klyvningsprodukterna cesium 137 och strontium 90.

Den kollektiva dosinteckningen (se kapitlet om joniserande strålning) från de atmosfäriska kärnladdningsproven är av storleksordningen 10 miljoner manSv. Detta innebär, grovt sett, att ett kärnladdningsprov i atmosfären orsakar ett till två cancerfall någonstans i världen per kt laddningsstyrka.

Av den totala dosinteckningen härrör cirka 60 procent från yttre

bestrålning från markbeläggningen, cirka 30 procent kommer från intag av kontaminerad föda och cirka 10 procent är resultatet av att radionuklider inandats medan de var luftburna. Då har inte kol-14 räknats med, som visserligen ger ett dominerande bidrag, men där detta levereras under en mycket lång tidsrymd beroende på den långa halveringstiden (5 760 år).

De underjordiska proven ger mycket små stråldoser till omgivningen. Ibland har det hänt att proven läckt radionuklider, men man kan ändå uppskatta att det inte lett till en samlad kollektivdosintekning som överstiger 10 manSv. Ett sovjetiskt prov i augusti 1987 på Novaja Zemlja, som läckte ovanligt mycket, gav ändå inte mer än cirka 0,01 manSv i Norden.

Plowshareprogrammet och dess ryska motsvarighet spred större mängder radioaktiva ämnen, men dosintekningen härifrån överstiger troligen ändå inte 1 000 manSv.

Detektion

Det Partiella provstoppsavtalet från 1963 innehåller inga bestämmelser om kontroll av efterlevnaden. USA och Sovjetunionen var uppenbarligen nöjda med sina egna kontrollmöjligheter. Sverige har genom åren bedrivit en öppen övervakning som bidragit till att insynen ökat också för de mindre avtalsparterna.

Vid ett antal stationer runt om i landet filtreras stora mängder luft. Innehållet av radionuklider mäts med stora och effektiva germaniumdetektorer. Systemet är mycket känsligt och har vid flera tillfällen upptäckt läckage från underjordiska kärnladdningsprov, både i Sovjetunionen och USA.

Ett fullständigt provstoppsavtal måste dock i första hand baseras på seismiska mätstationer. Ett underjordiskt kärnvapenprov alstrar nämligen alltid seismiska signaler, som kan upptäckas av en seismisk station på flera tusen kilometers avstånd,



En underjordisk explosion har just skett i ett borrar hål några hundra meter under markytan på Nevada Test Site i USA. Det torn som använts som borrhög och för att sänka ned kärnladdningen med sin mätutrustning står undandraget till vänster. Nere till höger på bilden skymtar några av de vagnar som står uppställda för att ta emot de mätsignaler som skickas upp genom borrhålet via kablar (strax innan dessa sprängs sönder).

Man låter proven i borrhål ske på ett sådant djup att man får en sk subsidenskrater, dvs marken ovanför den utsprängda kaviteten kollapsar och bildar en krater av måttligt djup. Bilden visar när detta sker några minuter efter explosionen. Ibland kan det ta flera timmar och ibland bildas ingen krater alls. Då blir man tvungen att avlysa området eftersom man inte vet om och när kollapsen kommer.

Foto: Los Alamos National Laboratory

även om laddningen är relativt svag (<10 kt).

En faktor som begränsar stationens förmåga att upptäcka svaga signaler är det seismiska bakgrundsbruset. Detta motverkas med multipelstationer, dvs flera seismologiska instrument placerade så att man får en bestämd tidsförskjutning mellan varje registrering. Bruset är däremot mer slumpmässigt fördelat.

Sverige har ända sedan 1960-talet varit mycket aktivt på detta område och FOA driver sedan slutet av 1960-talet en seismisk station norr

om Hagfors i Värmland. Området har valts bl a på grund av att den seismiska störbakgrunden är låg. Stationen har mycket god förmåga att upptäcka underjordiska kärnvapenprov i Eurasien, framför allt Sovjetunionen. Prov i Semipalatinsskottområdet, som ligger på 4 000 km avstånd, kan upptäckas ned till styrkor under 1 kt.

Vid nedrustningskommittén i Genève har diskussioner pågått i många år om hur ett globalt seismiskt övervakningssystem skulle se ut och vilken kapacitet det skulle

Efter 20 års drift moderniseras FOAs seismologiska mätstation i Hagfors. I det nya systemet digitaliseras data direkt vid varje mätinstrument och överförs till Stockholm.

Foto: Nils-Olov Bergkvist/FOA

behöva ha. De flesta experter menar idag att ett modernt nätverk av 50–100 stationer är tillräckligt för att övervaka ett lågröskelavtal som omfattar laddningar ned till cirka 5 kt.

Mätvärdena sänds till en eller flera internationella datacentraler (IDC), som analyserar och rapporterar resultaten till de deltagande länderna. Idag görs experiment med internationella datacentraler i Washington, Moskva, Canberra och Stockholm (FOA). Om även inspektioner tillåts på platsen för misstänkta seismiska händelser finns alla förutsättningar för att kunna kontrollera efterlevnaden av ett totalt provstopp.

Supermakterna har i spanings- och underrättelsesyfte flera system för explosionsdetektion. Förutom seismik och detektion av radionuklider används sensorer på satelliter för en global täckning. I det amerikanska satellitprogrammet "Vela" utrustades t ex ett antal satelliter i höga banor med s k bangmetrar. Dessa instrument registrerar den korta dubbelpuls av ljus som är karaktäristisk för en atmosfärisk kärnvapenexplosion. Man har också undersökt möjligheterna att registrera explosionernas påverkan på jonosfären. En klassisk och enkel metod är att mäta ljudvågorna från en atmosfärisk explosion med hjälp av s k mikrobarografer.

Flera övervakningsmetoder som kompletterar varandra behövs i ett globalt verificationssystem. Det visade sig tydligt 1979 då man misstänkte att ett prov ägt rum i Sydatlanten. En dubbelpuls registrerades då av en Vela-satellit, men inga andra bekräftande signaler fanns och världen svävar därför fortfarande i okunnighet om vad som egentligen hände.



Bild från satelliten SPOT av ett av de tre provområdena i Semipalatsinsk, Sovjetunionen. I bildens nedre del syns floden Shagans mörka yta. Man ser också tydligt ett nätverk av vägar mellan små ljusa fläckar på de platser där markarbeten sker och djupa hål borras i vilka kärnladdningen provas. I bildens högra kant vid flodens övre strand syns den krater som uppstod vid en kärnexplosion 1965. Kratern är vattenfylld och har cirka 450 m diameter. Den skapades avsiktligt av en laddning på 125 kt, detonerad på 178 m djup för att blockera floden och forma en vattenreservoar. Återgiven med tillstånd av Satellitbild i Kiruna AB.

Dosintekning från några olika källor

De helt underjordiska kärnladdningsproven	10 manSv
Proven med civil användning av kärnladdningar för grävdamål	1 000 manSv
Tjernobyloolyckans verkningar i Sverige	10 000 manSv
Tillverkningen av kärnvapen	100 000 manSv
Tjernobyloolyckans totala verkningar	1 000 000 manSv
De atmosfäriska kärnladdningsproven	10 000 000 manSv
Ett års påverkan av radondöttrar	10 000 000 manSv

I tabellen jämförs storleksordningarna av den kollektiva dosintekningen från de olika typer av kärnladdningsprov som förekommit med några andra radiologiska företeelser och händelser. Man kan grovt uppskatta konsekvenserna om man räknar med 5 cancerfall per 100 manSv (globala effekter där inget annat anges).

De radionuklider som dominerar dosbilden (förutom kol 14)

Nuklid	Halveringstid	Andel av dosen i procent
cesium 137	30 år	40
strontium 90	29 år	10
zirkonium 95	64 dygn	7
rutenium 106	372 dygn	7
cerium 144	285 dygn	7

Kärnvapenkriget

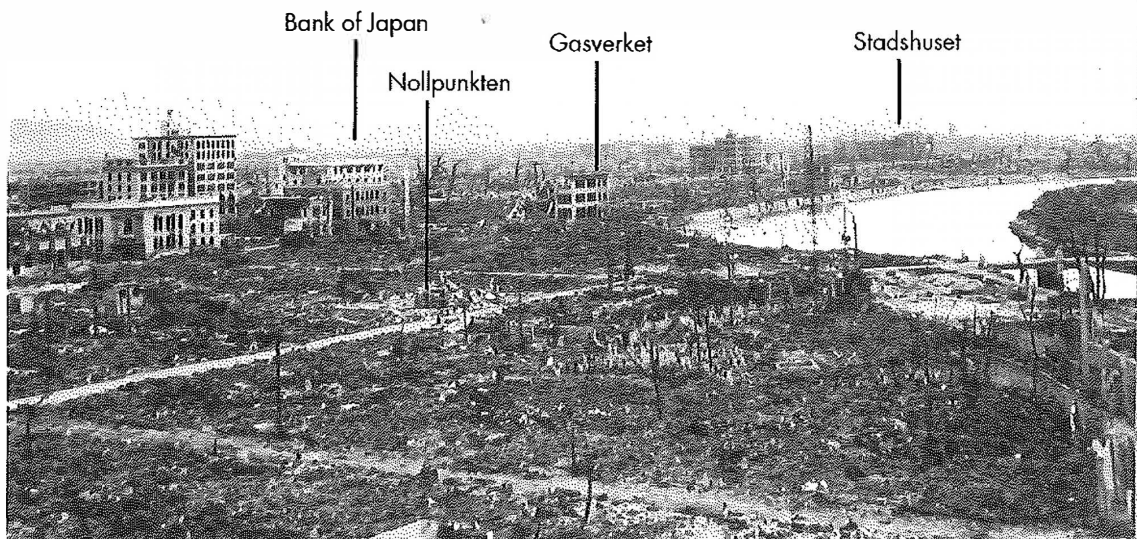
Vad som skulle kunna hända om kärnvapen faktiskt kom till användning i ett krig vet ingen säkert. Erfarenheterna från de enda kärnvapeninsatserna hittills – mot Hiroshima och Nagasaki i augusti 1945 – kan inte generaliseras särskilt långt, som framgått av kapitlet "Verkan och skydd: samlad syn". Det finns således många osäkerheter även beträffande den enskilda explosionens verkan. Det möjliga förloppet av ett krig med kärnvapen, särskilt frågan om kriget kan kontrolleras och begränsas, utgör en annan fundamental osäkerhet. Vad man än tror om detta torde det stå klart att erfarenheterna från de krig som hittills utkämpats inte ger någon nämnvärd ledning.

Om stora mängder kärnvapen någonsin skulle användas, skulle den totala skadeverkan bli mycket större än summan av de individuella explosionernas verkningar. Den mycket omfattande och nästan samtidiga förstörelsen kan bryta sönder samhällets infrastruktur till den grad att motåtgärder och räddningsinsatser blir omöjliga. Till detta kan även de psykiska reaktionerna hos de



Fem bilder tagna av Matsushige Yoshito är de enda fotografier man känner till från Hiroshima den 6 augusti 1945 (om man undantar bilder på explosionsmolnet som togs av besättningarna på de amerikanska flygplanen). Här försöker en polisman lindra plågorna hos brännskadade med hjälp av trasor indränkta i matolja. Matoljan hämtades från ett daghem strax intill polisstationen i bakgrunden. Flickan i den vita kortärmlade blusen var elev i en flickskola. Hon överlevde och kunde identifieras 20 år senare. "När jag kom närmare och lyfte upp min kamera blev sökaren så suddig av mina tårar att jag knappt kunde ta bilden", berättar fotografen.

Foto: Pressens Bild



överlevande bidra. Vidare kommer sekundära effekter att spela en roll. Ett krig med många kärnladdnings-explosioner får därför flera långsiktiga och storskaliga konsekvenser såsom globalt nedfall, påverkan på klimatet och skador på ozonskiktet. Alla dessa storskaliga effekter kan drabba även icke krigförande nationer, kanske i alla delar av världen, under lång tid efter kriget.

Scenarier

Icke desto mindre har man i många studier och utredningar försökt bilda sig en uppfattning om följderna av ett krig med kärnvapen. Sådana studier har gjorts framför allt i USA, men även i andra länder, inklusive Sverige. De svenska studierna har i allmänhet gjorts på FOA eller med FOAs medverkan.

Varje studie av detta slag måste utgå från ett "scenario", dvs en uppsättning grundläggande antaganden. Dessa måste specificera hur många laddningar som används samt för var och en av dem laddningsstyrka, explosionshöjd och typ av mål. För att beräkna förluster – i synnerhet civila sådana – behöver man känna till målens geografiska läge och befolkningstätheten i de drabbade om-

rådena. Vill man göra mer detaljerade analyser krävs antaganden om tidpunkt för angreppet, klimat- och väderförhållanden, tillgången på skyddsrum och räddningsresurser och vilka förvaringsmöjligheterna är. Om studien syftar till att belysa militära konsekvenser kan scenariots tidsförlopp ha stor betydelse.

Påfallande många öppret redovisade studier utgår från ett scenario där befolkningscentra är de primära målen. Dessutom finns en del amerikanska uppskattningar av civila förluster till följd av ett sovjetiskt angrepp på USAs strategiska baser och installationer (ett "counterforce"-anfall) eller vice versa. Det finns också några studier av de civila förlusterna vid ett taktiskt kärnvapenkrig i Europa. Flertalet studier behandlar endast ett ganska kort tidsintervall. Tonvikten ligger således på de kortsiktiga effekterna snarare än på de mer svårbedömda, långsiktiga följderna för samhället

som helhet. Några av de mer allmänt spridda studierna finns upptagna i litteraturlistan i slutet av denna skrift. Nedan ges exempel på en del resultat, som kan anses typiska.

Tidiga förluster

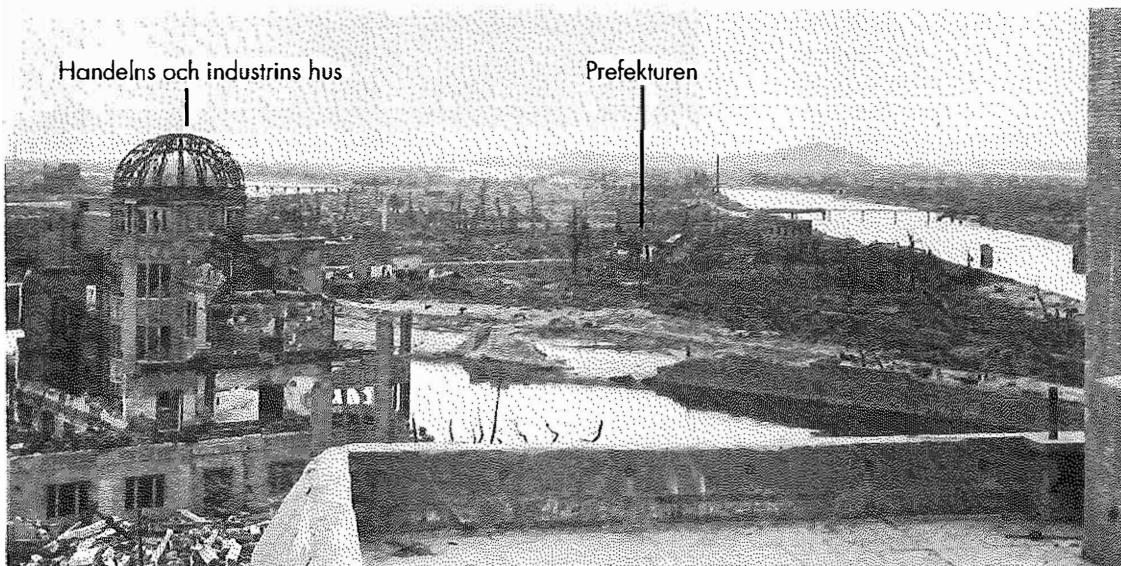
Anfall mot städer

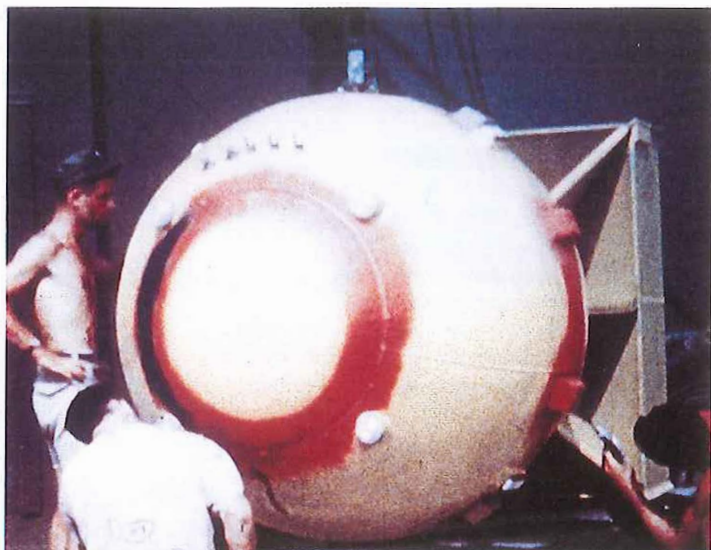
I allmänhet antar man att städer angräps med luftexplosioner, som ger större direkt verkan än markexplosioner, men inget lokalt radioaktivt nedfall. Skadeutfallet bestäms i första hand av laddningsstyrkan samt av stadens storlek och befolkningstäthet jämte bebyggelsens struktur.

En 100 kt luftexplosion på låg höjd över en europeisk stad (med relativt tät bebyggelse av stenhus) med 0,5 –1 miljon invånare väntas kunna döda upp till halva befolkningen nästan omedelbart. Åt-

Hiroshima drygt en månad efter explosionen. Nollpunkten var intill ett sjukhus till vänster i bilden. Endast mycket kraftiga huskonstruktioner kunde delvis motstå stötvågen, tex byggnaden något till höger om mitten av bilden. Den står fortfarande kvar som ett minnesmärke, "atomdomen". Explosionen och de följande bränderna lade 40 procent av stadens bebyggelse i aska och mer än 90 procent förstördes helt eller delvis.

Foto: National Archives, Washington D.C.





"Fat Man", som skulle fällas över Nagasaki, efter hopmonteringen som utfördes på den amerikanska flygbasen på ön Tinian i Stilla Havet (se karta).

Foto: Los Alamos National Laboratory

minstone hälften av alla byggnader inom en radie av 5–6 km skulle förstöras av stötvågen och bränder skulle rasa inom minst samma yta inom en timme efter explosionen. Bränderna leder till ytterligare förluster av människoliv om inte de överlevande snabbt lyckas ta sig ur skadeområdet.*

Mindre städer, sådana som flertallet svenska, kan ödeläggas helt av en explosion i 100 kt-klassen. Studier av svenska städer med omkring 100 000 invånare visar att ett sådant angrepp utan förvarning skulle kunna döda upp mot 90 procent av befolkningen genast.

När det gäller världens jättestäder, med många miljoner invånare, har man i allmänhet föreställt sig ett angrepp med en mycket kraftig laddning (i styrkeklassen 1–20 Mt) eller flera svagare, utspridda över stadens yta. I dessa fall får man räkna med att antalet skadade blir av samma storleksordning som antalet

dödade. En laddning på 1 Mt ger, mycket grovt uttryckt, en miljon dödsoffer (med en osäkerhet på en halv miljon åt båda hållen) och lika många skadefall. Flera svagare laddningar ger större förluster än en enda med samma totalstyrka.

I städer med mycket annorlunda struktur än de europeiska och amerikanska, med t ex vidsträckta, tätbefolkade slumområden med bräckliga byggnader, kan man tänka sig ännu större förluster.

Ett stort kärnvapenkrig mellan USA och Sovjetunionen skulle kunna innebära samtidiga angrepp på många städer och stora industrianläggningar. Båda sidor har mångfalt större arsenaler än vad som behövs för att döda merparten av den andras befolkning och lamslå näringslivet. I en relativt färsk studie har man uppskattat hur många som skulle dödas om 100 av de mest tätbefolkade områdena i USA och Sovjetunionen vart och ett utsattes för

en 1 Mt luftexplosion. Resultatet blev att i USA skulle mer än 70 miljoner offer krävas, i Sovjetunionen ännu fler.

Anfall mot militära mål

Vid en duell mellan supermakterna tänker man sig att den ena sidan sätter in strategiska kärnvapen mot motståndarens kärnvapensilor, baser för strategiskt bombflyg, ubåtsbaser, hangarfartyg och strategiska ubåtar till havs (i den mån deras positioner är kända). Viktiga militära staber, sambands- och ledningscentraler kan också stå på listan över mål. I en sådan attack kan ytexplosioner tänkas förekomma i stort antal, eftersom detta ökar chanserna att förstöra t ex silor för ICBM. De civila dödsoffren skulle då orsakas av tidigt radioaktivt nedfall. Angrepp mot baser för strategiskt bombflyg och ubåtar genomförs troligen med luftexplosioner.

Enligt officiella amerikanska studier dödas mellan 2 och 20 miljoner amerikaner inom 30 dagar efter ett anfall enbart mot de amerikanska ICBM-installationerna. Ett motsvarande anfall mot Sovjetunionen skulle ge liknande siffror. De flesta dör av strålningen från tidigt nedfall från ytexplosioner, även om befolkningen kan vistas i skydd i stor omfattning.

Några studier har försökt belysa följderna av ett kärnvapenkrig i Europa, särskilt i Västtyskland. Man tänker sig då att taktiska kärnvapen med laddningsstyrkor mellan 1 kt och några 100 kt används och insatserna görs enbart mot militära mål.

I ett tätbefolkat område som Centraleuropa blir i ett sådant scenario andelen civila bland de dödade och skadade mycket stor, kanske 10–20 gånger större än de militära förlusterna. I absoluta tal betyder detta mellan 5 och 20 miljoner civila dödsoffer, beroende på hur målen väljs. Den sammanlagda laddningsstyrkan ligger i dessa exempel mellan 20 och 100 Mt, och endast luft-

*En del bedömare anser att många studier underskattar skadorna av värmestrålningen. Av denna anledning använder sig WHO, världshälsoorganisationen, i sina senare studier av en "konflagerationsmodell" (egentligen en brandstormmodell), som försöker ta hänsyn till bränder som uppstår i bebyggda områden.

explosioner förekommer. Om det inträffar markexplosioner stiger antalet döda markant på grund av strålskador, eftersom det inte finns något fullgott skydd, samtidigt som befolkningstätheten är stor.

Långsiktiga verkningar

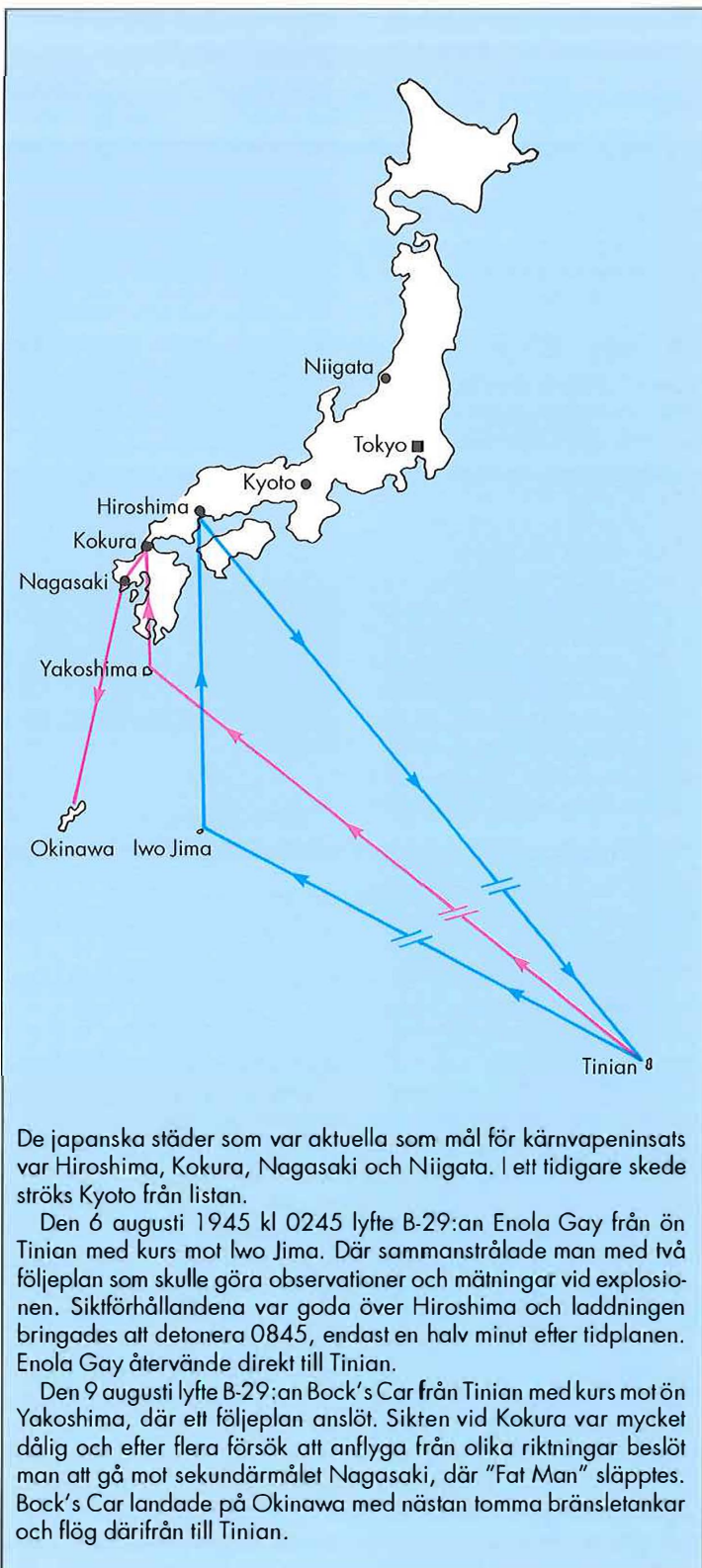
Efter ett angrepp på militära installationer i USA eller Sovjetunionen räknar man i de nämnda studierna med att ländernas näringsliv inte fungerar på flera månader eller kanske år, särskilt inte i belagda områden. Det radioaktiva nedfallet orsakar t ex allvarliga störningar i jordbruket.

Vid ett anfall mot städer och andra civila mål blir konsekvenserna än värre. Då skadas produktionen och distributionen av många varuslag, bl a livsmedel, vilket mycket snabbt kan leda till brist på olika förnödenheter. Transporter, uppvärmning och elkraftsproduktion drabbas omedelbart om oljeraffinerier, kraftverk m m förstörs. Dessutom kommer den kvalificerade sjukvården i stor utsträckning att slås ut, eftersom den är koncentrerad till storstäderna.

Den amerikanska exporten av spannmål och vissa industriprodukter är av vital betydelse för många länder. Om USA slås ut kan man därför vänta sig återverkningar på livsmedelsförsörjningen och hälsotillståndet i en rad nationer som inte direkt berörs av kriget. Detta förstärks naturligtvis om även andra ledande industriländer skulle förhärjas.

Globalt nedfall

Varje kärnladdningsexplosion i atmosfären kommer att sprida radioaktivt stoft över nästan hela det halvklot där den ägt rum. Detta gäller också ytexplosioner, även om den största delen av aktiviteten då deponeras lokalt. Det s k globala



nedfallet är i stort sett försumbart efter en enskild explosion, men efter ett stort kärnvapenkrig med många explosioner under kort tid kan den globalt spridda aktiviteten ge ett betydande dosbidrag. Detta får konsekvenser för människors hälsa även på stora avstånd från det område där explosionerna skett. Som framgår av avsnittet om klimateffekter nedan kan även det andra halvklotet komma att beröras.

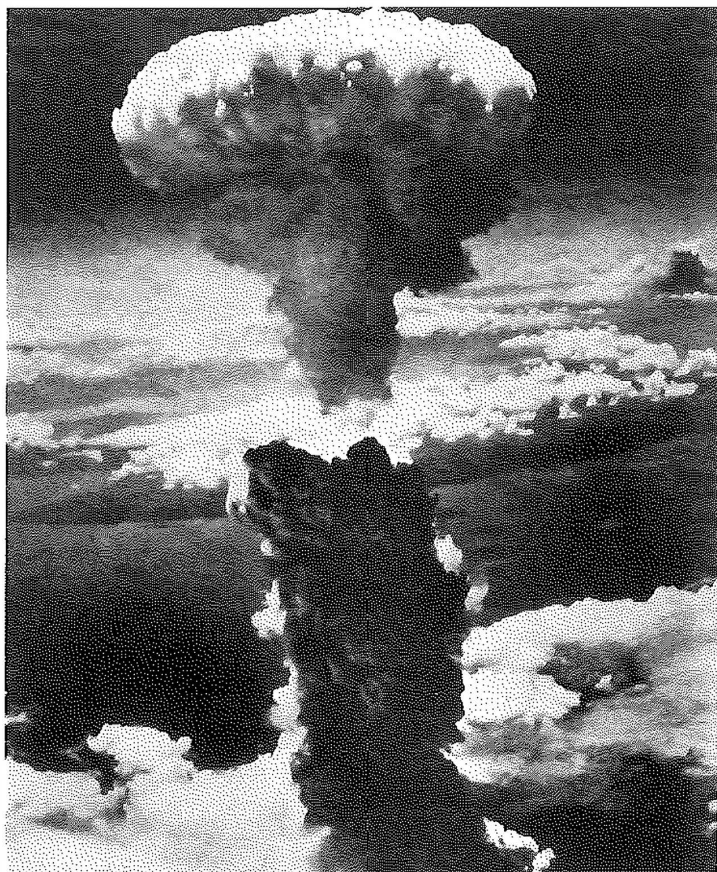
Det globala nedfallet kan inte ge akuta strålskador men däremot bidra till de sena effekterna. Med de kriterier som anges i kapitlet om strålskador på människa, finner man att ett kärnvapenkrig, där i stort sett hela den nuvarande arsenalen utnyttjas, troligen skulle ge upphov till åtminstone ett par tiotal miljoner extra cancerfall över hela världen. Flertalet inträffar på norra halvklotet, och de kan väntas visa sig successivt under en period från 2 till omkring 40 år efter kriget. I en så stor bestrålad population – en stor del av jordens befolkning – får man också räkna med att genetiska effekter blir märkbara.

Dessa konsekvenser är det samlade resultatet av yttre bestrålning och intag av radioaktiva ämnen med födan. Under de första åren efter kriget kan externstrålningen väntas ge det största dosbidraget.

Klimateffekter

Fram till ungefär 1980 ansåg man att klimatet möjligen kunde påverkas av stoft som slungas upp i atmosfären från kärnvapenexplosioner. Stoffet från en stor insats av kärnvapen antogs kunna dämpa solljuset tillräckligt länge för att atmosfärens medeltemperatur skulle sänkas cirka en grad under ett år. Sedan 1982 har man också försökt ta hänsyn till röken från de omfattande bränder som explosionerna vållar. De första analyserna talade om "atomvinter" eftersom det visade sig att atmosfärens nedkylning blir mycket större än vad man förut trott.

Denna generella slutsats står sig,



Svampmolnet över Nagasaki några minuter efter explosionen, fotograferat från ett av de amerikanska flygplanen. Molntoppens höjd torde vara cirka 12 km.

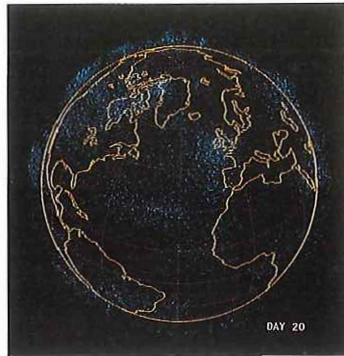
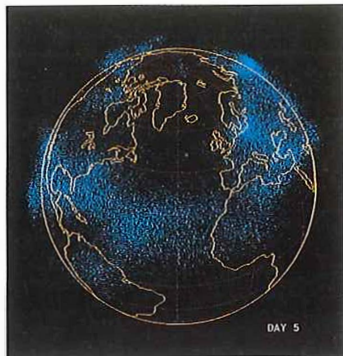
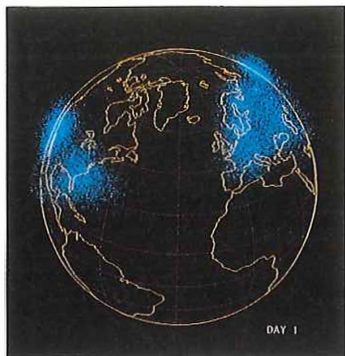
Foto: Los Alamos National Laboratory

även om man genom att utnyttja mer avancerade beräkningsmodeller har kommit fram till något modifierade siffermässiga resultat. Det råder fortfarande osäkerhet kring frågor som hur mycket brännbart material som kan antändas efter en explosion, hur mycket rök och sotpartiklar förbränningen ger upphov till, sotpartiklarnas optiska och andra egenskaper eller hur högt röken stiger i atmosfären. Nyare forskning har dock reducerat dessa osäkerheter till en nivå där de spelar mycket mindre roll än de scenariobundna osäkerheterna (hur många vapen som används, laddningsstyrkorna, målen, explosionshöjden, årstiden, vädret i målområdet vid och efter

explosionen, hur långvarigt kriget är etc).

Brandröken kommer att stiga till flera kilometers höjd och kan i vissa fall bryta igenom tropopausen och tränga in i den lägre delen av stratosfären upp till kanske 15 km höjd. Under rökmolnen faller temperaturen på jordytan snabbt, och i takt med att rökmolnen växer ihop påverkas allt större områden. Inom ett par veckor kommer i stort sett hela norra halvklotet att vara insvept i rök, även om den inte är lika tät överallt.

Den resulterande temperatur-sänkningen i olika områden kan tänkas bli mellan 5 och 25 grader, om kriget äger rum på sommaren. Tem-



Global spridning av brandröken efter ett stort kärnvapenkrig i USA, Sovjetunionen och Europa, enligt en amerikansk datorsimulering. Bilderna visar situationen efter 1, 5 respektive 20 dygn. Varje prick motsvarar cirka 400 ton rök.
Foto: Lawrence Livermore National Laboratory.

peraturen kan i värsta fall förbli abnormt låg i flera veckor, innan den långsamt börjar återgå till normal nivå. Det kan emellertid ta flera år innan atmosfären är helt återställd.

Under normala förhållanden är utbytet av atmosfäriska beståndsdelar ringa mellan de två halvkloten, men så blir troligen inte fallet om det är stora mängder rök i den övre troposfären och den lägre stratosfären. Det skulle alltså kunna bli ett visst temperaturfall även på södra halvklotet, om än inte lika stort som i norr.

Om ett kärnvapenkrig ägde rum under vintern på norra halvklotet, skulle den direkta nedkyllningen troligen inte bli lika allvarlig som på sommaren. Några år efter explosionerna kan temperaturen på båda halvkloten ligga några grader under den normala. Det är osäkert hur stora effekterna på södra halvklotet blir.

Nederbörd och vindar kan också påverkas. Den mest troliga effekten är att regnen minskar, särskilt på kontinenternas inland. Det finns också en risk att sydvästmonsunen,

som ger de mesta regnen i Sydostasien, Indien och delar av Afrika, försvinner eller kraftigt störs en tid efter det stora kärnvapenkriget.

Verkan på ozonskiktet

Eldklotet från en kärnvapenexplosion upphetar luften i atmosfären till så höga temperaturer att syre- och kvävemolekyler sönderfaller. När sedan temperaturen sjunker bildas ett antal olika kväveoxider, som kan nå ozonlagret i stratosfären. Fotokemiska reaktioner inträffar då mellan ozon och kväveoxider, vilket kan resultera i att ozonet delvis förstörs inom loppet av några månader.

Man anser att omkring hälften av det stratosfäriska ozonet kan brytas ned som följd av ett massivt kärnvapenkrig, om detta inträffar under sommaren. Under vintern blir effekten inte lika kraftig.

Skadorna på ozonskiktet medför bl a att den ultraviolette strålningen vid jordytan ökar. Det finns ett bevisat samband mellan hudcancer

och stora doser UV-strålning. Växter och djur kan också påverkas av strålningen. Växtplankton i havet, som är första länken i näringskedjorna, har visat sig vara särskilt känsliga.

Dagens värld kännetecknas av ett invecklat och ständigt större beroende mellan länderna på alla områden. Detta betyder att den globala ekonomin och levnadsförhållandena kommer att utsättas för mycket kraftiga påfrestningar genom varje stort krig. Ett omfattande kärnvapenkrig skulle vara särskilt förödande genom att den mycket snabba förstörelsen inte medger någon omställning av inhemsk produktion, handelsförbindelser m m. Ett plötsligt sammanbrott i världshandeln skulle beröra såväl icke krigförande som krigförande nationer. Om flertalet ledande industriländer skulle slås ut, påverkas de ekonomiska förhållandena för de flesta människorna på jorden. Enligt vissa bedömningar kan antalet människor som svälter ihjäl i icke krigförande nationer till slut bli större än antalet krigsoffer i de krigförande länderna.

Sverige och kärnvapnen

Det svenska kärnvapenprogrammet

Kärnvapnens tillkomst medförde givetvis att man i många länder ville få bättre kunskap om de nya vapnen och deras militära betydelse. Samtidigt ställde man sig frågan om det var möjligt och önskvärt att man själv skaffade sig sådana vapen. Hösten 1945 fick det då nybildade FOA i uppgift av ÖB att studera frågor rörande "atombombens" konstruktionsprincip, funktion och verkningar.

Redan 1948 gjorde FOA, på uppdrag av ÖB, den första utredningen om förutsättningarna för att framställa kärnvapen i Sverige. Önskemålet att Sverige borde skaffa sig sådana vapen framfördes offentligt första gången 1952 av dåvarande flygvapenchefen. ÖB tog upp frågan 1954, och den diskuterades i riksdagen 1955, 1956 och 1957 utan att någon definitiv ställning togs. Opinionsundersökningar 1957 och 1958 tydde på en viss majoritet för anskaffning, men från 1959 och framåt var opinionen övervägande negativ.

Det socialdemokratiska partiet var djupt splittrat i frågan om svensk kärnvapenanskaffning. En intern utredning 1958-59 konstaterade att ett beslut i frågan kunde anstå och formulerade den s k handlingsfrihetslinjen. Denna hade i praktiken Sve-

rige slagit in på redan genom försvarsbeslutet 1958, och formellt ägde den bestånd till 1968. I korthet innebar handlingsfriheten att man varken sade ja eller nej till anskaffning. Ett regeringsdirektiv till FOA angav att ingen forskning med inriktning på tillverkning och provning av kärnvapen fick utföras.

Omfattande säkerhetspolitiska och försvarspolitiska studier genomfördes i början av 1960-talet. Då hade också den internationella synen på kärnvapen börjat förändras. Resultatet blev att Sverige i praktiken avstod från egna kärnvapen redan omkring 1963, även om det formella beslutet kom först i och med 1968 års försvarsbeslut och Sveriges anslutning till Icke-spridningsavtalet samma år (ratificerat 1970). Den sista experimentella verksamheten på FOA som var av någon betydelse för handlingsfriheten, nämligen plutoniumlaboratoriet, avvecklades slutgiltigt 1972.

Kärnvapenhotet i försvarsbesluten

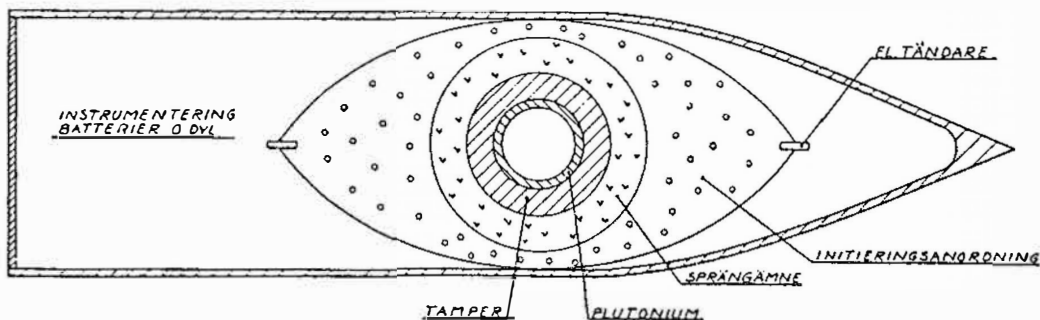
Sedan senare delen av 1950-talet har riksdagen som regel vart femte år tagit ett försvarsbeslut om såväl det militära som det civila försvarets inriktning och omfattning. Varje beslut föregås av ett omfattande arbete i en parlamentariskt sammansatt kommitté som framlagt ett förslag

grundat på en sammanvägning och bedömning av säkerhetspolitiska, ekonomiska, tekniska och strategiska förhållanden och utvecklingar.

Kärnvapenhotet ter sig olika beroende på om man studerar de successiva försvarsbesluten eller om man går efter allmänna opinionsyttringar, ställningstaganden i FN eller liknande, indirekta hotbedömningar. Än ytterligare infallsvinkel ges av våra mer handgripliga erfarenheter.

Det tilltänkta syftet med de eventuella svenska kärnvapnen var inte att etablera någon sorts regional terrorbalans utan närmast att avskräcka en starkare angripare från en invasion med enbart konventionella stridskrafter. Denne potentielle angripare kunde naturligtvis tänkas använda kärnvapen mot Sverige. Här gällde emellertid ett specialfall av den s k marginalstrategin: angriparen hade så få kärnvapen att han inte kunde avdela särskilt många för operationer mot Sverige, med tanke på vad han behövde mot sin huvudmotståndare. De kärnvapen som ändå kunde sättas in mot oss skulle vi kunna klara med skydd i form av bergfasta befästningar och befolkningsskyddsrum, utrymning av civilbefolkningen, utspridning av militära enheter mm samt en fungerande radiaskyddsorganisation.

"Knapphetsargumentet" förlora-



Principskiss av fissionsladdning framtagen vid FOA år 1956.



Ubåt 137 på morgonen den 2 november 1981. Det råder hårt väder och ubåten ska strax dras av grundet. På babords sida ligger det svenska kustbevakningsfartyg, Tv 103, från vilket FOA under natten och den tidiga morgonen gjorde strålningsmätningar.

Foto: Lars-Erik De Geer/FOA

de naturligtvis snabbt sin trovärdighet allteftersom arsenalerna växte i öst och väst. Försvarsbeslutet 1968 innebar ett indirekt erkännande av att kärnvapenhotet i sin tidigare form blivit för starkt. Detta medförde att kärnvapenhotet tenderade att glömmas bort i totalförsvarets arbete, samtidigt som det under slutet av 1970- och början av 1980-talet var mycket levande i det allmänna medvetandet.

1982 års försvarsbeslut (FB 82) försökte motverka detta genom att specificera en rad skyddsåtgärder som borde vidtas. Samtidigt bedömde FB 82 att hotet om direkta kärnvapeninsatser mot Sverige ändå måste anses vara ganska litet, åtminstone om vi lyckats hålla oss utanför ett storkrig under dess konventionella inledningsfas. Det viktigaste argumentet för detta var att kriget troligen skulle få ett mycket snabbt förlopp sedan det trappats

upp till kärnvapennivå, och att eventuella operationer mot Sverige då skulle förlora i betydelse. I gengäld pekade FB 82 på behovet av skydd mot verkningar av kärnvapenkrig i vår omvärld, i första hand radioaktivt nedfall och höghöjds-EMP. Explosioner av misstag i Sverige kan inte heller helt uteslutas. Sådana situationer ställer stora krav inte minst på totalförsvarets civila delar, även om den materiella förstörelsen blir ringa. Detta sk åskådardfall och dess problem hade identifierats tidigare, men FB 82 lade särskild vikt vid det.

Det nu gällande försvarsbeslutet (1987) följer i stort sett linjerna från FB 82, även om kärnvapenhotet som helhet tonats ned ytterligare. Åskådardfallets vikt, jämfört med direktverkansfallet, är snarast större än i FB 82.

Den "inofficiella" hotbedömningen, dvs rädslan för kärnvapenkrig sådan den avspeglas i den all-

männa opinionen, skärptes kortvarigt sedan "atomvintern" fått publicitet. Den torde dock ha dämpats mer och mer under 1980-talets senare hälft, allteftersom supermaktsrelationerna förbättrats.

Kärnvapen och svenskt territorium

Att kärnvapen är en realitet som också angår Sverige påminns vi då och då om. Tre exempel kan illustrera detta:

– Under några år kring 1960 utförde Sovjetunionen ett antal atmosfäriska prov på Novaja Zemlja, med 60 Mt-explosionen den 30 oktober 1961 som höjdpunkt. Dessa prov gav en hel del radioaktivt nedfall på Nordkalotten och som följd av detta ökade naturligtvis halten av radioaktiva ämnen i livsmedel producerade i speciellt norra Sverige. Kontamineringen av livsmedel nådde sin högsta nivå under åren 1964–66. Renköttet kunde då innehålla 1–2 kBq/kg av cesium 137, dvs betydligt mer än vad som ansågs godtagbart efter Tjernobylyolyckan.

– Den 28 oktober 1981 påträffades den sovjetiska ubåten U-137 grundstött i Gåsefjärden utanför Karlskrona. Medan ubåten låg kvar på grundet blev det möjligt för FOA att mäta strålningen från dess förskepp, där torpedtuberna finns, med hög noggrannhet. Resultatet av dessa mätningar tillkännagavs den 5 november av statsministern på följande sätt: "Vad som är ännu allvarligare och vad jag nu för första gången ger offentlighet åt är att enligt de undersökningar som vi företagit är den sovjetiska ubåten med stor sannolikhet bestyckad med kärnvapenladdningar. Med ännu större sannolikhet – en sannolikhet som gränsar till visshet – kan det sägas att uran 238 finns ombord. Och ingen har kunnat finna någon annan användning för detta uran. Detta gör att det här i själva verket rör sig om den mest uppseendeväckande kränkningen mot Sverige sedan andra världskriget."

– I början av 1980-talet stod de nya amerikanska kryssningsrobotarna med lång räckvidd i fokus. Det blev plötsligt klart att om sådana robotar skulle skjutas från fartyg till havs mot mål i Sovjetunionen, skulle ett viktigt anflygningsstråk gå genom svenskt luftrum. Frågan var då om en kärnladdningsexplosion skulle bli följden, i händelse att svenskt luftförsvar skulle lyckas skjuta ned en robot. Svaret blir nej, med tanke på robustheten hos moderna kärnvapen – såvida inte roboten armerats före nedskjutningen.

Kärnvapen i svensk nedrustningspolitik

Sverige har länge spelat en aktiv roll i den internationella nedrustningspolitiken, främst inom FN:s ram. När det gäller kärnvapenfrågor har Sverige länge varit framträdande bland de alliansfria staterna, delvis tack vare den kompetens som byggdes upp under 1950- och 1960-talen. Bland de frågor som Sverige främst engagerat sig i kan nämnas övervakning av det Partiella provstopp-

avtalet (PTBT) samt kravet på fullständigt provstopp. Det är i ljuset av detta man ska se tillkomsten och utvecklingen av den seismiska multipelstationen i Hagfors och den insamling och analys av luftburen radioaktivitet som görs i Sverige med syfte att detektera brott mot PTBT. Utöver provstopp har Sverige aktivt verkat för icke-spridning och kärnvapenfria zoner.

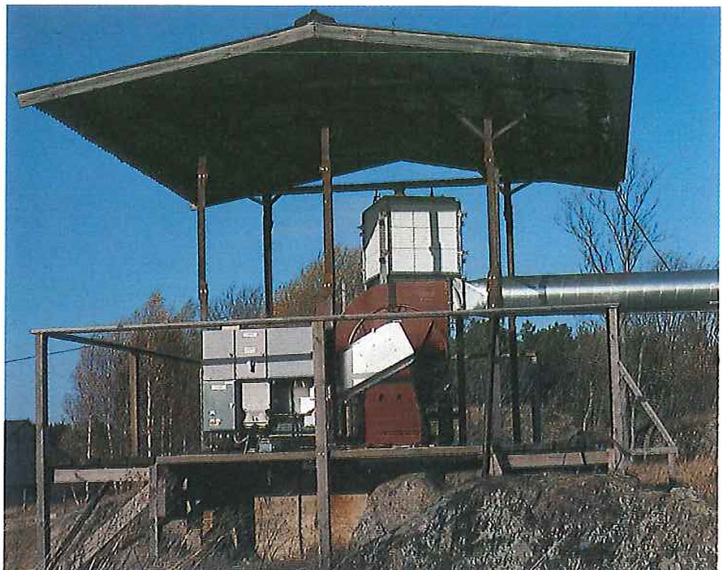
Sverige har också deltagit i de tre allmänna kärnvapenstudier som FN:s generalförsamling låtit göra, 1968, 1980 och 1990. De två sistnämnda har tillkommit på svenskt initiativ och under svenskt ordförandeskap. I 1968 års studiegrupp var FOAs dåvarande generaldirektör Martin Fehrm svensk delegat; i de båda senare studierna har FOA medverkat i en rådgivande roll.

FOAs nutida verksamhet på kärnvapenområdet

FOA har ett särskilt ansvar inom totalförsvaret då det gäller kärnvapenfrågor (liksom frågor rörande bio-

logiska och kemiska stridsmedel), eftersom de flesta andra myndigheter och institutioner inte har någon kontinuerlig bevakning av dessa. Ansvaret omfattar bl a uppföljning och värdering av hotet, främst i tekniska termer, rådgivning till andra totalförsvarsmyndigheter vid avvägning och utformning av skyddsåtgärder, expertmedverkan och underlagsframtagning i samband med Sveriges internationella agerande samt vidmakthållande av åtminstone en minimiresurs av expertkompetens för krigsorganisationens behov. De nuvarande resurserna medger experimentell forskning endast inom ett fåtal delområden; huvuddelen av verksamheten är således teoretisk eller utredande till sin art.

Den kärnvapenrelaterade forskningen vid FOA nådde sin största omfattning ungefär år 1965 och motsvarade då cirka 300 helårsarbetande. Den nuvarande verksamheten motsvarar omkring 35 helårsarbetande.



På FOAs försöksstation Grindsjön utanför Stockholm finns en av sju insamlingsstationer för luftburen radioaktivitet. Miljontals m³ luft passerar varje vecka filtren. Tre gånger per vecka skickas de till laboratoriet i Stockholm där de analyseras med avseende på radioaktiva ämnen. En koncentration motsvarande en enstaka atom i ett normalt vardagsrum räcker för att ett avtalsbrott ska avslöjas. Foto: Sylve Arnzén/FOA

Litteratur

Listan omfattar ett litet urval av litteratur som kan vara lämplig för fördjupade studier av kärnvapenfrågor. Inga tidskriftsartiklar har tagits med, inte heller rent vetenskapliga publikationer eller mycket svåråtkomlig litteratur.

Arbeten som belyser kärnvapen ur flera olika aspekter är bl a

- FN:s kärnvapenstudier 1968, 1980 och 1990. De två första finns på svenska (*Kärnvapen – verkan, kostnad, risker*, Folk och Försvar 1968 respektive *Världen och kärnvapnen*, Folk och Försvar 1981), den tredje väntas komma ut i svensk översättning 1991.
- Wallin, Lars: *Strategiska kärnvapen 1945–1983*, Folk och Försvar 1984.
- *Strategic Defenses, Ballistic Missile Defense Technologies, Anti-Satellite Weapons, Countermeasures and Arms Control*, Office of Technology Assessment, Princeton University Press 1986.

Detaljerade beskrivningar av existerande kärnvapensystem, produktionsanläggningar mm finns i

- Cochran, Thomas m fl: *Nuclear Weapons Databook*, Ballinger. Hittills har 4 volymer utkommit (1983–89), som behandlar USA (vol. 1–3) och Sovjetunionen (vol. 4).

Årligen utkommande publikationer såsom *Military Balance* och *SIPRI Yearbook* ger mindre detaljerad men fortlöpande uppdaterad information om vapensystem m m.

Atombombens tillkomsthistoria och användningen mot Japan skildras i många böcker, tex

- Groves, Leslie: *Now It Can Be Told. The Story of the Manhattan Project*, Harper & Brothers 1962 (omtryckt 1983, Da Capo Press).
- Rhodes, Richard: *The Making of the Atomic Bomb*, Simon & Schuster 1986 (på svenska: *Det sista vapnet*, Hammarström & Åberg 1990).

För en principiell beskrivning av kärnvapens verkningar är det grundläggande verket

- Glasstone, Samuel & Philip I. Dolan: *The Effects of Nuclear Weapons*, U.S. Department of Defense and U.S. Department of Energy, 3:e uppl. 1977.

En detaljerad redovisning av atombombsskadorna i de japanska städerna är

- *Hiroshima and Nagasaki. The Physical, Medical and Social Effects of the Atomic Bombings*, Hutchinson 1981 (japanska originalet 1979).

Radioaktivt nedfall och därmed förknippade problem behandlas på svenska bl a i

- *Radioaktivt nedfall från kärnvapen*, FOA rapport A 40043-A3, t. br. 1983.
- Walinder, Gunnar: *Radiologisk katastrofmedicin*, FOA 1981.

Studier av de möjliga konsekvenserna av kärnvapen-användning och kärnvapenkrig finns i stort antal. Utöver de redan nämnda FN-rapporterna finns bl a följande nyare internationella arbeten:

- *Effects of Nuclear War on Health and Health Services*, WHO, 1984 (2:a uppl.) (på svenska: *Kärnvapenkrigets effekter på folkhälsan och hälso- och sjukvården*, Svenska läkare mot kärnvapen, 1989).
- *Environmental Consequences of Nuclear War*, Vol. I-II, Scientific Committee on Problems of the Environment of the International Council of Scientific Unions, John Wiley & Sons 1985–86.

Konsekvenser av kärnvapeninsatser i eller nära Sverige och tillhörande skyddsproblem diskuteras i

- *Underlagsstudier till civilförsvarets preliminära grundsyn ABC*, del I–III, FOA rapport C 20539-A3, C 20540-A3, C 20541-A3, juni 1984. (De tre delarna har följande författare och underrubriker: Schelin, Ola: *Konsekvenser av kärnvapeninsatser utanför Sverige*; Cronholm, Gunnar: *Misstagsnedslag alternativt nedskjutning av kärnvapen inom svenskt territorium*; Lindqvist, Stig & Björn Oscarsson: *Konsekvenser av kärnvapeninsatser mot befolkningsmål*.)
- Artursson, Gösta & Henry Lorin (red.): *Kärnvapenkrig*, KAMEDO rapport nr 52, FOA 1986.
- Wigg, Lars m fl: *CISK 2 – Vapenverkan. Delrapport 2. Kärnvapen – insats i landet*, FOA rapport C 20709-2.6, juni 1988.

Kärnvapendoktriner och -strategi är temat för ett stort antal böcker. Ett par betydande verk från olika tidpunkter är

- Kahn, Herman: *On Thermonuclear War*, Princeton University Press 1969 (2:a uppl.).
- Freedman, Lawrence: *The Evolution of Nuclear Strategy*, Macmillan 1989 (2:a uppl.).

En översikt av de politiska problem som hänger samman med kärnvapenspridning ges i

- Goldblat, Jozef (red.): *Non-proliferation: The Why and the Wherefore*, SIPRI (Taylor and Francis) 1985.

Om det svenska "kärnvapenprogrammet" och diskussionen kring det kan man läsa i

- *Neutralitet-Försvar-Atomvapen* (rapport från socialdemokratiska partistyrelsens kommitté för studium av atomvapenfrågan), Tiden 1960.
- Forsberg, Olof: *Svensk kärnvapenforskning 1945–1972*, Försvarsdepartementet 1987-04-21.



Ett litet steg mot en kärnvapenfri värld. I den här smällen förstörs en sovjetisk medeldistansrobot, SS-20, i enlighet med INF-avtalet. Ur Soviet Military Power 1990

*Bilden på baksidan föreställer "atomdomen", en byggnad som stod nästan rakt under nollpunkten i Hiroshima och nu är minnesmärke. Huset ritades av den tjeckiske arkitekten Jan Letzel och invigdes i april 1915. Det hyste en motsvarighet till våra handelskammare.
Foto: Lars-Erik De Geer/FOA*



Den internationella litteraturen om olika aspekter av kärnvapen är omfattande men det har inte givits ut någon populär översikt på svenska på mycket länge. I denna skrift har experter vid FOA sammanfattat den senaste kunskapen på området från kärnladdningarnas fysik och konstruktion till kärnvapenkrigets globala effekter. I särskilda kapitel diskuteras den svenska kärnvapenpolitiken och våra insatser för att kontrollera provstoppsavtalet.

Även om ett kärnvapenkrig ter sig alltmer osannolikt fortsätter kärnvapenmakterna att modernisera sina arsenaler. Antalet vapenbärare minskar men de ersätts med effektivare och träffsäkrare vapensystem. Ett antal länder står på tröskeln till att bli medlemmar av kärnvapenklubben. Hur framgångsrik nedrustningspolitiken än blir kommer man aldrig att kunna förbjuda kunskapen om hur kärnvapen tillverkas och risken för ett krig med kärnvapeninsatser kan därför inte helt uteslutas.