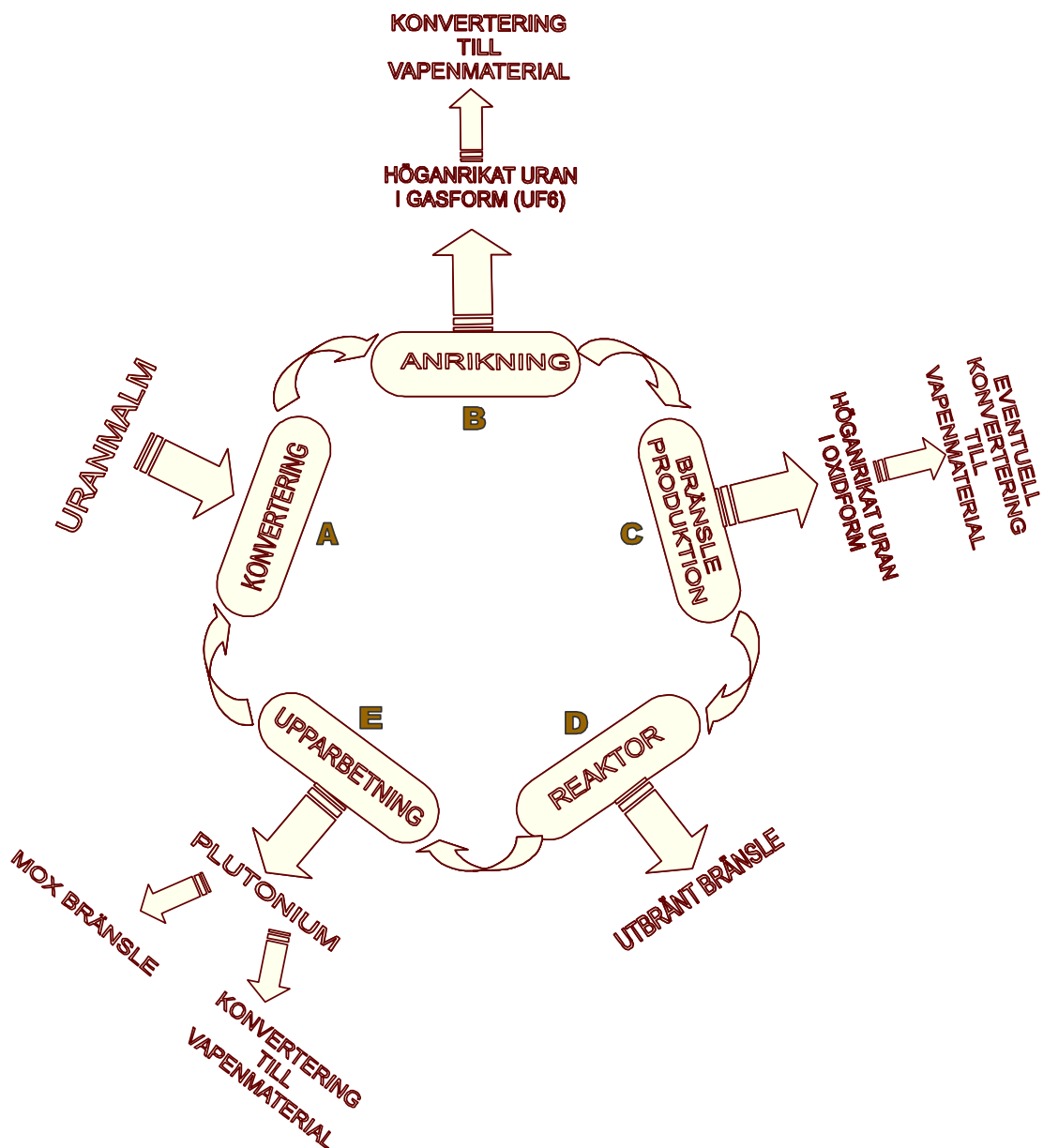


## Primitiva Kärnladdningar – ett realistiskt hot ?

Gunnar Arbman, Anders Axelsson, Ronny Bergman, Lena Melin, Anders Ringbom,  
Lena Oliver, Lennart Widlund, Lars Wigg och Göran Ågren



*Primitiva Kärnladdningar – ett realistiskt hot ?*

Gunnar Arbman, Anders Axelsson, Ronny Bergman, Lena Melin, Anders Ringbom,  
Lena Oliver, Lennart Widlund, Lars Wigg och Göran Ågren

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0735--SE	<b>Klassificering</b> Teknisk rapport
	<b>Forskningsområde</b> 3. Skydd mot massförstörelsevapen	
	<b>Månad, år</b> December 2002	<b>Projektnummer</b> A414
	<b>Verksamhetsgren</b> 2. NBC-skyddsforskning	
	<b>Delområde</b> 31. N-forskning	
<b>Författare/redaktör</b> Gunnar Arbman                      Anders Axelsson Ronny Bergman                      Lena Melin Anders Ringbom                      Lena Oliver Lennart Widlund                      Lars Wigg Göran Ågren	<b>Projektledare</b> Ronny Bergman	
	<b>Godkänd av</b>	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FÖ, KBM	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Ronny Bergman	
	<b>Rapportens titel</b> <i>Primitiva Kärnladdningar – ett realistiskt hot?</i>	
<b>Sammanfattning</b> Rapporten inleds med en beskrivning av dagens hotbild och vilka motiv som kan ligga till grund för aktörer som väljer att använda sig av en primitiv kärnladdning för att uppnå sina syften. Vidare bedöms möjligheten för en mindre grupp eller terroristorganisation att tillverka en fungerande primitiv kärnladdning och sannolik laddningsstyrka för denna. Möjligheter att med hjälp av utsänd strålning detektera en sådan laddningen, samt vilka typer av fissilt material som kan vara attraktiva för framställningen, diskuteras också. Dessutom ges en kort orientering om skadeverkan och dess omfattning vid olika laddningsstyrkor. Slutsatsen är att primitiva kärnladdningar utgör ett allvarligt hot, och att det kritiska steget för framställningen av kärnladdningen ligger i att få tillgång till det fissila materialet – dvs. få tillgång till plutonium eller tillräckligt höganrikat uran. Det mest troliga är att det fissila materialet anskaffas illegalt genom stöld eller köp. Vi bedömer det som osannolikt, att en mindre grupp själv i hemlighet skulle kunna producera det nödvändiga fissila materialet utgående från råmaterial. Den absolut viktigaste åtgärd man kan vidta, är därför att på alla sätt förhindra att färdigframställt klyvbart material kommer på avvägar under lagring eller hantering.		
<b>Nyckelord</b> Uran, plutonium, kärnvapen, primitiva, kärnladdning, detektion, explosion, verkan		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
ISSN 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 14 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0735--SE	<b>Report type</b> Technical report
	<b>Research area code</b> 3. Protection against Weapons of Mass Destruction	
	<b>Month year</b> December 2002	<b>Project no.</b> A414
	<b>Customers code</b> 2. NBC Defence Reserach	
	<b>Sub area code</b> 31. Nuclear Defence Research	
<b>Author/s (editor/s)</b> Gunnar Arbman                      Anders Axelsson Ronny Bergman                      Lena Melin Anders Ringbom                      Lena Oliver Lennart Widlund                      Lars Wigg Göran Ågren	<b>Project manager</b> Ronny Bergman	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Sponsoring agency</b> FÖ, KBM	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Ronny Bergman	
<b>Report title (In translation)</b> <i>Primitive Nuclear Devices – a real threat ?</i>		
<b>Abstract</b> <p>This report starts with a short description of current threats and what may constitute underlying motives for actors optioning use of a primitive nuclear device for their purposes. Furthermore, the necessary Issuing organization means to produce a functioning – although primitive – nuclear device is analysed with particular regard to the connoted feasibility for a minor group or terrorist organisation, as well as an assessment of the likely yield of such a device. A discussion follows on possibilities to detect a primitive nuclear device by means of its emitted radiation, and what kinds of fissile material that appear to be most attractive for the production purpose. In addition, related severe damage, and its range at different yield levels, to exposed individuals and certain types of buildings are surveyed.</p> <p>In conclusion our analysis implies that primitive nuclear devices constitute a serious threat, and that possession of a sufficient amount of fissile material - i.e. plutonium or highly enriched uranium –establishes the critical step towards the accomplishment of a functioning device. Most likely, the fissile material is acquired by illegal means. In our opinion, a small group is incapable of clandestine production, by themselves, of sufficient quantities of fissile material starting from raw material. Hence, it is of utmost urgency to procure efficient means to prevent abduction of significant quantities of fissile material from existing sources during storage or handling.</p>		
<b>Keywords</b> Uranium, plutonium, nuclear weapons, primitive, detection, explosion, effects		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 14 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

## *Primitiva Kärnladdningar – ett realistiskt hot?*

### RESUMÉ AV STUDIEN PRIMITIVA KÄRNLADDNINGAR

- *Hur svårt är det att göra en fungerande primitiv kärnladdning?*
- *Vilka kompetenser och resurser kan behövas?*
- *Verkar det möjligt att få tag på nödvändiga ”råvaror”?*
- *Går det genom strålningsmätningar att upptäcka ett kärnvapen eller kärnvapenmaterial?*
- *Vilken verkan blir det av en primitiv kärnladdning – till exempel om den exploderar i en tätort?*

Dessa frågor behandlas i en nyligen genomförd studie, där FOI har analyserat olika möjligheter för en mindre grupp eller terrororganisation att skaffa sig – eller på egen hand tillverka – en fungerande primitiv kärnladdning<sup>1</sup>. Dessutom bedöms laddningsstyrkor och vilka skadeverkningar man därigenom skulle kunna uppnå, samt möjligheten att detektera strålningen från en sådan laddning. Som en orientering om huvuddragen presenteras här några av de viktigaste resultaten av öppen karaktär. En mer detaljerad och kvantitativ analys görs i en utförligare rapport, som är hemlig.

### **Går det att få tag på kärnvapenmaterial?**

För att tillverka en kärnladdning behövs material där kärnklyvningsprocesser (fissioner) sker så snabbt att stora mängder energi på kort tid kan genereras genom kedjereaktionerna. Därför krävs s.k. klyvbart material, vilket i praktiken innebär plutonium av användbar isotopsammansättning eller höganrikat uran (uran med hög halt av isotopen <sup>235</sup>U). En sekundär effekt av dessa kärnklyvningar är att det skapas en stor mängd radioaktiva produkter.

Det mest kritiska steget i framställningen av en kärnladdning handlar om att få tag på det klyvbara materialet. Man kan antingen producera materialet själv – vilket vi i den följande beskrivningen visar vara en mycket komplicerad process – eller illegalt försöka få tag på det klyvbara materialet genom stöld eller köp. Möjligheterna att idag på illegal väg komma över klyvbart material är svåra att bedöma. Det är framförallt Rysslands, och vissa andra länders (Pakistan, och f.d. sovjetstater) lager med klyvbart material som oroar i sammanhanget. Arbete med att öka säkerheten pågår med internationell hjälp – särskilt i Ryssland. Det finns ett antal verifierade<sup>2</sup> smuglingsförsök med klyvbart material. I alla utom ett fåtal fall rör det

<sup>1</sup> En kärnladdning som inte är lika tekniskt avancerad som ett militärt kärnvapen, men som trots primitivare utformning — och förmodligen också mindre gynnsam isotopsammansättning – kan ge upphov till en kärnexplosion med visserligen osäker men potentiellt hög energifrigörelse.

<sup>2</sup> IAEA driver sedan 1993 en databas som listar smuglingsförsök med radioaktiva material och kärnämne (klyvbart material).

sig om mycket små mängder, som var och en för sig är otillräckliga för en kärnladdning. Dessa och andra rapporteringar i media – inte alltid verifierade – ger dock bilden av att illegal handel med dessa material pågår, och att det möjligen finns sätt att få tag på större kvantiteter.

### PROCESSVÄGAR TILL VAPENVÄRDIGT MATERIAL

Det tekniskt minst komplicerade sättet att få tillgång till klyvbart material är att på något sätt tillskansa sig vapenvärdigt material t.ex. lagrat vapenmaterial eller höganriktat uran från bränsle för forsknings- eller ubåtsreaktorer. För att höganrika uran i erforderliga mängder krävs tekniskt avancerad utrustning, mycket stora mängder energi och hög teknisk kompetens, vilket vi bedömer att en mindre grupp eller organisation inte har och inte heller kan förvärva i hemlighet. För att producera det plutonium som behövs krävs en kärnreaktor och en uppberedningsanläggning som det inte heller är troligt att dessa aktörer kan konstruera eller driva i det fördolda. Mot den bakgrunden verkar det osannolikt, att en mindre grupp på egen hand i det fördolda skulle kunna producera den nödvändiga mängden klyvbart material utgående från allmänt åtkomligt råmaterial.

Om gruppen har kompetens och teknisk kapacitet till viss kemisk bearbetning av materialet så finns det oraffinerat material från kärnbränslecykelns olika delprocesser som kan vara möjliga att använda. Dessa processer illustreras i vidstående figur. Säkerheten vid anläggningar som hanterar detta mer oraffinerade material är sannolikt lägre än vid lager för vapenmaterial, vilket kan underlätta för aktörerna att tillskansa sig en del av detta.

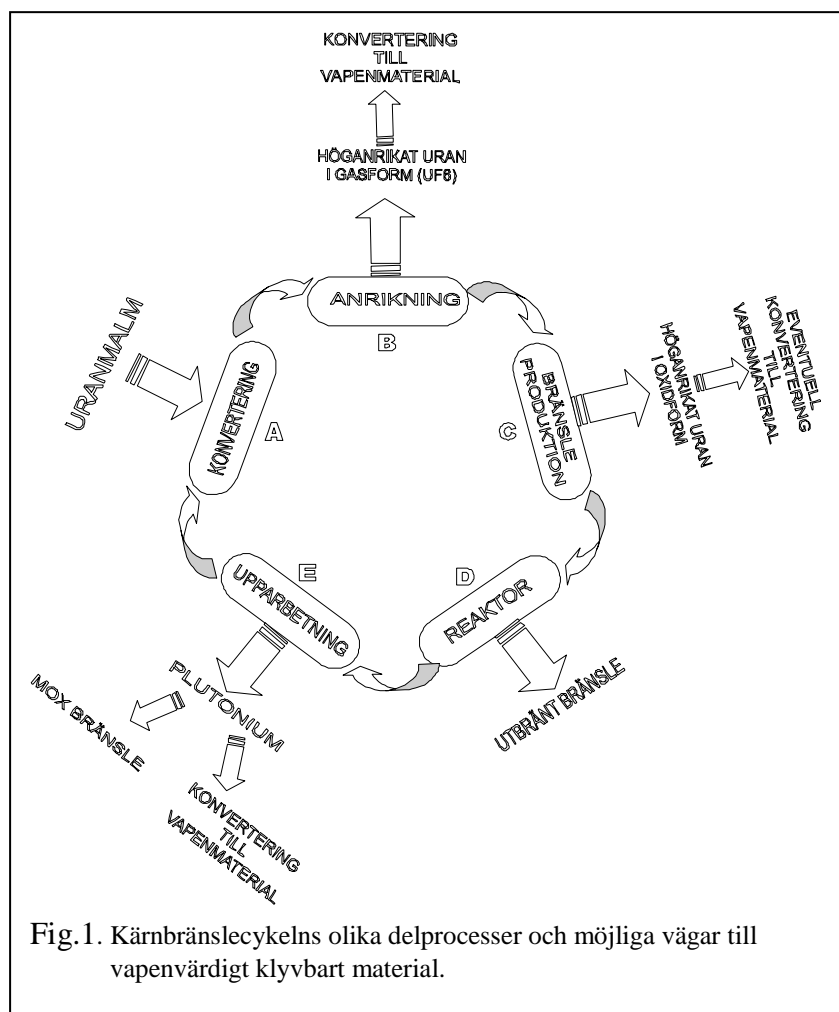


Fig. 1. Kärnbränslecykelns olika delprocesser och möjliga vägar till vapenvärdigt klyvbart material.

I de anrikningsanläggningar som höganriktar uran för t.ex. forsknings- eller ubåtsreaktorer kan slutprodukten (uranhexafluorid, UF<sub>6</sub>) vara ett möjligt utgångsmaterial (väg B i figuren). Genom diverse kemiska konverteringar kan man då få fram uran i metallform som skulle kunna användas i vapensammanhang om anrikningsgraden är tillräckligt hög. Dessa konverteringssteg är betydligt enklare att utföra än själva anrikningen av materialet, men det krävs viss kemisk specialkompetens.

En annan väg kan vara att erhålla utbränt bränsle från en kärnreaktor som man sedan själv kan uppbereda (vägarna D-E i figuren). Det är dock mycket svårt att hantera utbränt bränsle på grund

av den starka strålning som bränslet utsänder. Detta gör att även denna väg osannolik för de tänkta aktörerna.

En mer trolig väg kan anses vara att från färskt MOX<sup>3</sup>-bränsle, baserat på vapenplutonium, separera ut dess innehåll av plutonium. Separationsprocessen kräver samma kompetens och utrustning som vid vanlig uppberedning, men skillnaden är att det färska bränslet har relativt låg aktivitet – dvs. utsänder betydligt mindre joniserande strålning än utbränt uranbränsle – vilket förenklar hanteringen avsevärt.

Det krävs en mängd tekniskt och kemiskt avancerade processer vid framställningen av det klyvbara materialet från råmaterial, något som de tänkta aktörerna sannolikt inte kan klara av. En följd av detta är att konverteringar av material från kärnbränslecykelns senare delar är betydligt enklare att utgå från än från råmaterial. Även för dessa konverteringar krävs dock förhållandevis hög kompetens och avancerad teknologi. Vid framställningen av själva laddningen har i själva verket det svåraste steget eliminerats, om det klyvbara materialet kan erhållas i färdig form.

Användning av plutonium som klyvbart material i en kärnladdning kräver en mer sofistikerad laddningskonstruktion än uran. Som diskuteras vidare i avsnittet nedan, innebär detta att aktörer med begränsade tekniska resurser, därför kan väntas vara mer intresserade av höganrikt uran än plutonium.

## Konstruktion av kärnladdning

Det finns två principiella typer av kärnladdningskonstruktioner: *kanonmodellen* och *implosionsmodellen*. Det är troligt att en mindre grupp skulle välja kanonmodellen för att framställa en primitiv laddning, eftersom implosionsmodellen är betydligt mer avancerad och därigenom tekniskt mycket krävande. I kanonmodellen kan man bara använda uran.

Plutonium kräver en snabbare sammansprängning (något som bara kan uppnås då man använder sig av implosionsmodellen). Anrikningsgraden (halten <sup>235</sup>U) är av stor vikt för framställningen av en fungerande laddning. För att i praktiken kunna åstadkomma en kärnexplosion måste anrikningsgraden överstiga cirka 20 %. Som en jämförelse kan nämnas att anrikningsgraden överstiger 90 % i det material som används i kärnvapen.

Anrikningsgraden bestämmer också undre gränsen för den mängd material som krävs för att åstadkomma en explosion: ju högre anrikningsgrad desto mindre kritisk massa. Det fordras dock en anpassning av laddningskonstruktionen för att få en fungerande kärnladdning med en lägre anrikningsgrad jämfört med material av vapenkvalitet<sup>4</sup>. Exempelvis kan man behöva en större konventionell sprängladdning för att föra samman materialet. Laddningskonstruktionen måste också klara de stora mekaniska krafter som verkar vid den kraftigare hopsprängningen.

### EXPLOSIONSUTBYTET FÖR EN PRIMITIV JÄMFÖRT MED EN OPTIMAL KÄRNLADDNING

För att inom en mindre grupp klara av konstruktionen av en primitiv kärnladdning baserad på kanonprincipen, verkar den tekniska ”tröskeln” vara jämförelsevis låg – såvida gruppens tillgång på höganrikt klyvbart uran är tillräcklig. Detta förutsätter dock att den har tillgång till kompetens inom fysik, kemi, metallurgi, mekanik och sprängämnesteknik.

Den relativt enkla konstruktionen hos en primitiv kärnladdning ger inte samma pålitlighet i initieringen av laddningen som ett mer avancerat militärt kärnvapen. Explosionsutbytet, om det över huvud taget blir en explosion, kan därför variera kraftigt och kan inte förutsägas med någon större säkerhet. Energigifrigörelsen vid en kärnexplosion är dock stor. Även om en ladd-

<sup>3</sup> MOX-bränsle är en blandning av uran- och plutoniumoxid som kan användas i lättvattenreaktorer. Halten av plutonium understiger vanligen 5% i bränsle för lättvattenreaktorer. Halten av den klyvbara uranisotopen <sup>235</sup>U är endast 0.2%.

<sup>4</sup> För uran avser vapenkvalitet anrikningsgrader på lägst ca 93 % för uranisotopen <sup>235</sup>U, motsvarande för plutonium gäller 93% avseende isotopen <sup>239</sup>Pu.

ning som är konstruerad för att frigöra energi svarande mot 10 000 ton TNT (dvs. en laddning på 10 kt) genom ofullständig sprängning "bara" skulle ge ett utbyte motsvarande . någon promille av den optimala laddningsstyrkan, så kan en sprängverkan på denna nivå vara mer än tillräcklig för aktörernas mål<sup>5</sup> – inte minst p.g.a. den psykologiska effekten.

Beträffande förutsägbarheten i laddningsstyrkan bör det också påpekas att det är helt andra krav som ställs på de vapen kärnvapenmakterna har än vad en terrorist skulle kunna tänkas nöja sig med. För ett militärt kärnvapen tolereras bara några procents sannolikhet för lägre än fullt utbyte, vilket kräver mycket hög sammanföringshastighet och därmed en tillförlitlig mekanism för neutroninitiering vid exakt rätt tidpunkt. Detta kräver god kunskap om sprängämnen, neutronkällor samt styrelektronik. En terrorist kan tänkas acceptera högre osäkerhet så länge han är någorlunda säker på att den erhållna explosionsstyrkan ger en avsevärd förstörelse.

## Kan en kärnladdning avslöjas genom mätningar?

Det klyvbara materialet i en kärnladdning, vare sig man väljer plutonium eller uran, är naturligt radioaktivt. Man kan därför vänta sig att både neutron- och gammastrålning i någon mån läcker ut från konstruktionen. Vilken typ av strålning som dominerar strålningssignaturen, och vilken den resulterande intensiteten blir, påverkas framför allt av vilken typ av klyvbart material man valt (isotopsammansättning samt kemisk form och renhet) och vilken mängd material det rör sig om. Även laddningens konstruktion i övrigt (skärmande material och dylikt) inverkar i hög grad på strålningsförhållandena. Svaret på frågan om kärnladdningen kan avslöjas genom mätningar beror också på om man med "avslöja" avser *detektion*, d.v.s. upptäckten av strålning över normal bakgrund, eller *identifikation*, d.v.s. fastställande av att man har att göra med en kärnladdning eller åtminstone med en signifikant mängd klyvbart material.

### DETEKTION AV KÄRNVAPEN

Möjligheterna att detektera relativt sofistikerade kärnvapen har behandlats i flera studier<sup>6</sup>. Resultatet varierar mycket med vilken konstruktion man studerar. Sammanfattningsvis är plutoniumladdningar med sin mycket högre radioaktivitet lättare att detektera än uranladdningar.

Typen av tungt material som omsluter det klyvbara materialet utgör en annan konstruktionsfaktor som spelar stor roll. Vanligen antar man att det klyvbara materialet i ett kärnvapen omges av wolfram eller utarmat uran. Valet av material påverkar kraftigt strålningssignaturen, dels genom dess skärmande verkan och dels, som i fallet utarmat uran, genom att det omgivande materialet självt avger neutroner. En "typisk" uranladdning innehållande wolfram avger så lite strålning att den blir oerhört svår att detektera, medan en plutoniumladdning innehållande utarmat uran bör kunna detekteras med handinstrument på något tiotal meters avstånd i en mätning som får pågå i någon eller några minuter. Detta under förutsättning att inga särskilda åtgärder vidtagits för att ytterligare skärma av strålningen från laddningen.

<sup>5</sup> Jämför bombningen i Oklahoma City där sprängämne motsvarande ca 300 kg (dvs. 0,3 ton eller 0,0003 kt) TNT användes.

<sup>6</sup> Lars-Erik de Geer, "Non-intrusive Detection of Nuclear Weapons on Ships", FOA rapport C 20817-4.1, december 1990  
Steve Fetter et.al., "Detecting Nuclear Warheads", Science and Global Security vol. 1 (1990)



## DETEKTION AV PRIMITIV KÄRNLADDNING

Vi har studerat möjligheterna att detektera en enkel konstruktion, som tillhör kategorin primitiva kärnladdningar. Det blir då ännu svårare att göra några allmänna utsagor eftersom material, konstruktion och omgivande skärmning kan förväntas variera ännu mycket mer än vad som är fallet för sofistikerade kärnvapen. Vi måste därför begränsa oss till att studera en möjlig, och mycket enkel konstruktion. Denna har dock en del egenskaper som i större eller mindre grad kan förväntas dela också med andra "primitiva" konstruktioner. För det första antas det klyvbara materialet vara av lägre anrikningsgrad än i ett sofistikerat uranvapen, dvs innehåller jämförelsevis stor andel uran-238, vilket ökar neutronstrålningen. För det andra innehåller den betydligt mer klyvbart material än vad som krävs för ett sofistikerat kärnvapen. Detta ökar i motsvarande grad den totala mängden avgiven strålning, och därmed möjligheterna att detektera den.

I den följande beskrivningen diskuteras separat de typer av undersökningar som baseras på "passiva" respektive "aktiva" metoder. Härvid avser *aktiv* mätning av sådan strålning som induceras av en extern källa, medan *passiv* avser mätning på den strålning som avges från materialet utan inverkan av extern strålkälla.

### ***Undersökning baserad på "passiv" mätning av strålning från materialet***

Uran- och plutoniumisotopernas naturliga sönderfall ger alfa- och betastrålning, som har så kort räckvidd att det inte kan läcka ut ur laddningen. En del av de isotoper som skapas under sönderfallet avger dock gammastrålning som i vissa fall har tillräckligt hög energi och intensitet för att kunna läcka ut och eventuellt detekteras. Dessutom uppkommer gammastrålning vid spontana eller neutroninducerade kärnklyvningar, genom neutronreaktioner i bränsle och andra konstruktionsmaterial samt genom s.k. bromsstrålning i en sönderfallsprodukt till uran-238, den huvudsakliga beståndsdel i utarmat uran.

Det fissila materialet i kärnladdningen avger även neutroner, både genom s.k. spontan fission och genom att avgivna alfapartiklar reagerar med föreningar av lätta grundämnen som t.ex. syre. Om det fissila materialet används i oxidform (t.ex.  $UO_2$ ) ökar därför neutronemissionen avsevärt, jämfört med vad som är fallet med förhållandevis rent, metalliskt material. Särskilt gäller detta för en uranladdning, då plutonium har en så hög spontanfissionssannolikhet att spontan fission i princip dominerar oavsett halten av lätta grundämnen. Används uran ökar neutronbidraget från alfareaktioner med föreningar med ökad anrikningsgrad medan bidraget från spontan fission minskar med anrikningsgraden. Sett ur den tänkta aktörens perspektiv är således en hög neutronemissionshastighet en nackdel, inte bara ur detektionssynpunkt utan även, och kanske framför allt, ur initieringssynpunkt.

Den enkla laddningskonstruktion vi har studerat visar sig avge tillräckligt med gammastrålning för att låta sig detekteras med en vanlig dosimeter inom någon minut på flera meters avstånd. Med en handburen högupplösande spektrometer på liknande avstånd skulle den karakteristiska energin 1001 keV från en sönderfallsprodukt till uran-238 kunna identifieras inom några sekunder, eller på avstånd upp till flera tiotals meter efter mätning under någon minut. Den beräknade neutronflödestätheten från konstruktionen är så stor, att möjligheterna borde vara goda för detektion av neutronstrålningen med handburna instrument på ett avstånd av någon eller några meter (t.ex. utanför ett fordon där laddningen transporteras), inom vad som kan vara en rimlig tid för en rutinundersökning (någon minut).

Man bör dock observera, att förhållandena både för gamma- och neutronstrålning kan ändras radikalt med relativt små förändringar i konstruktionen, t.ex. genom användning av lite mer eller annan skärmning, lite mindre uran eller uran av högre anrikningsgrad eller en något annorlunda disposition av det klyvbara materialet.

### ***Undersökning baserad på inducerad neutronproduktion eller med identifieringssyfte***

Med en extern neutronkälla av tillräcklig styrka kan man bestråla ett misstänkt objekt. Om det innehåller klyvbart material induceras neutronproduktion i det undersökta objektet. Med en neutrondetektor lämpligt avskärmat från direkt strålning från neutronkällan kan man i princip mäta denna ökning av neutronflödet och sluta sig till att objektet innehåller klyvbart material. Simuleringar ger vid handen att i en omgivning fri från reflekterande material som omöjliggör avskärmningen av detektorn från neutrongeneratoren bör det ökade neutronflödet relativt lätt kunna upptäckas vid körning av neutrongeneratoren någon eller några meter från laddningen. Detta svåruppnåeliga idealfall bör kontrasteras mot en mätning i inomhusmiljö, t.ex. i ett laboratorium med betongväggar, där nettoöverskottet av neutroner som skapas av reaktioner i laddningen blir mycket mindre påtagligt.

För att utöver upptäckten av strålning kunna identifiera ett okänt objekt som en möjlig eller trolig kärnladdning behövs antingen högupplösande gammastrålningsmätningar som kan urskilja för uran eller plutonium karakteristisk strålning eller neutronmätningar. I det senare fallet är s.k. aktiva metoder säkrast, där neutronproduktion genom fissioner induceras av en extern källa, eftersom man då rimligen kan sluta sig till förekomsten av klyvbart material. Neutronstrålning upptäckt med passiv mätning kan också komma från olika typer av radioaktiva preparat, även om sådana är betydligt ovanligare än gammastrålande preparat.

#### **SAMLAD BEDÖMNING OM MÖJLIGHETER TILL DETEKTION**

Sammanfattningsvis är det sannolikt att en primitiv kärnladdning skulle vara lättare att avslöja genom gamma- eller neutronstrålningsmätningar än ett sofistikerat vapen. Om inga särskilda åtgärder vidtagits för att skärma strålningen bör en mycket enkel konstruktion av den typ som här antagits kunna detekteras med vanliga handburna dosimetriinstrument på någon minut och på någon eller några meters avstånd. Med en handburen högupplösande spektrometer skulle det vara möjligt att upptäcka strålningen från den på några tiotals meters avstånd. Även om det är mycket svårt att dra några generella slutsatser är det troligt att andra typer av primitiva konstruktioner i varierande grad skulle dela de egenskaper hos exempelkonstruktionen som gör den lättare att upptäcka än ett sofistikerat kärnvapen.

### **Verkan om kärnladdningen exploderar**

En kärnladdningsexplosion åtföljs av en rad fysikaliska processer. I samband med explosionen uppstår initialstrålning, elektromagnetisk puls, värmestrålning, stötvåg, kraterbildning och ras. Något senare – beroende på omständigheterna – uppstår radioaktivt nedfall, bränder, m.m.

#### **DIREKTA VERKANSFORMER**

Initialstrålningen består av gammastrålning och neutronstrålning, som främst kan skada levande organismer och elektronik. Den elektromagnetiska pulsen (EMP) kan åstadkomma stora skador genom höga spänningar och kraftiga strömmar i elektriska ledare. Däremot ger inte EMP någon direkt påverkan på människor. Indirekt kan dock människor drabbas genom att viktig infrastruktur förstörs. Värmestrålningen, som ju verkar på både människor och material, åtföljs av en ljusblixt som kan förorsaka bländning eller blindhet. Beroende på var explosionen sker kan stötvågen uppträda främst som luftstötvåg, markstötvåg eller vattenstötvåg. (Vid explosioner i vatten uppträder speciella fenomen som inte beskrivs här.) Även vid en luftexplosion, dvs. en explosion som sker på sådan höjd att eldklotet inte berör mark- eller vattenytan, går en del av energin i luftstötvågen ner i marken eller vattnet och åstadkommer där en stötvåg.

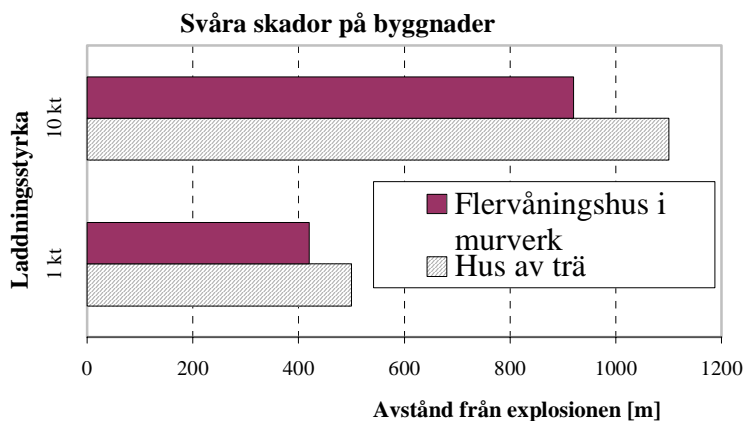


Fig. 2. Avstånd från explosionspunkten där svåra skador väntas uppträda på hus beroende på byggnadstyp och laddningsstyrka.

med av stormstöten och kastas mot exempelvis husväggar eller också drabbas av projektiler som ryckts med av stormstöten. Ett speciellt vanligt exempel på det sistnämnda är då fönster krossas och glassplitter träffar människor i vindriktningen inne i rummet; detta kan ske på tämligen stora avstånd från explosionspunkten. Sedan stormstöten passerat uppstår ett undertryck bakom stötvågsfronten, vilket leder till att en svagare luftstötvåg går i motsatt riktning. Vid en explosion på eller nära marken uppstår direkt under explosionspunkten en krater, som för en 10 kt laddning har en diameter på ungefär 70 m (avser torr mark). Utanför kratern kan markstötvågen förstöra byggnader och infrastruktur som el- och vattenledningar. Om en vattenstötvåg skulle uppstå blir följderna en tryckökning och en svallvåg.

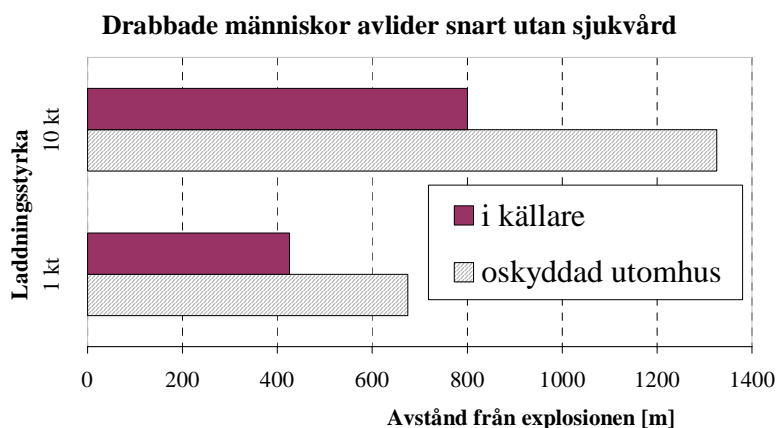


Fig. 3. Avstånd från explosionspunkten där livshotande effekter av initialstrålningen, beroende på laddningsstyrkan, väntas drabba människor, som befinner sig i gott skydd (källare), eller uppehåller sig utan skydd utomhus.

att för människor som befinner sig utomhus så dominerar initialstrålningen verkansbilden för relativt låga laddningsstyrkor (mindre än 10 kt) medan alla de tre direkta verkansformerna har stort inflytande i intervallet 10 - 30 kt. Härav följer att kombinationsskador, dvs. då flera av verkansformerna bidrar till den resulterande effekten, framförallt inträffar i intervallet 10-30 kt. Primitiva kärnladdningar, som väntas ge en explosionsstyrka från praktiskt taget noll till närmare 10 kt, hamnar således i intervallet, där initialstrålningen har störst betydelse.

Luftstötvågen, som initialt utbreder sig med flerdubbla ljudhastigheten, åstadkommer såväl ett statiskt som ett dynamiskt övertryck. Dessa uppfattas som en kraftig tryckökning respektive som en stormstöt, vilka i sin tur skapar olika verkningar på människor, byggnader och materiel. Tryckökningen kan göra att människor förlorar hörseln pga. trumhinnesprängning, eller får allvarigare skador genom att inre blödningar uppstår i lungor och andra organ.

Människor kan dessutom dras

Avstånden (verkansradierna) inom vilka givna skadenivåer uppnås eller överskrids för de direkta verkansformerna blir självklart större när laddningsstyrkan ökar. Eftersom de skilda verkansformerna avtar med olika hastighet som funktion av avståndet från nollpunkten, så kommer dessutom verkansbilden för en given skadenivå att variera med laddningsstyrkan. Detta illustreras i figur 2 och 3 för svåra skador på byggnader respektive på människor.

Mycket översiktligt gäller

## SENA VERKANSFORMER

Bränder pga. värmestrålningen kan uppstå på en mängd platser samtidigt, vilket kraftigt försvårar bekämpningen i synnerhet som vägar och gator kan ha blivit svårframkomliga genom stötvågen från explosionen. Även stötvågens verkningar kan förorsaka bränder genom att el- och gasledningarna slits av. Sannolikheten för branduppkomst beror uppenbarligen på tillgången på antändligt material. Den fortsatta brandspridningen beror av bebyggelsens karaktär och täthet liksom meteorologiska faktorer (vind, temperatur, fuktighet). Brandstormar av den typ som inträffade i Hiroshima kan inte uteslutas.

Den andra viktiga sena verkansformen är radioaktivt nedfall (figur 4). För att sådant nedfall ska uppkomma i stor omfattning krävs en markexplosion – dvs. något som troligtvis skulle gälla om en kärnladdning utlöses av en terroristorganisation. Nedfallet består av vapenrester och markmaterial som följer med, när ”svampen” bildas och stiger uppåt efter explosionen. De tyngre partiklarna faller ner i ett cirkulärt område omkring explosionspunkten, medan de lättare partiklarna påverkas av de vindar som råder i olika höjdsikt, och faller ner på kortare eller längre avstånd från explosionen. Under idealiserade förhållanden (med konstant vindstyrka på alla nivåer och över tiden) kommer de områden där en given dos uppstår genom det vinddrivna nedfallet, att begränsas av en elliptisk kontur, där explosionspunkten ligger i ena brännpunkten. Ju längre in man går från ellipsens periferi desto större blir dosen. Därför brukar man schablonmässigt åskådliggöra beläggningssituationen med ett antal ellipser med gemensam brännpunkt men med olika storlek för olika dosnivåer. Som åskådliggörs i figur 4 kan samma slags former även ritas upp för doshastigheten (Sv per timme). I detta fall anges doshastigheten för situationen en timme efter explosion. Storleken hos ellipserna är främst en funktion av laddningsstyrka och vindhastighet.

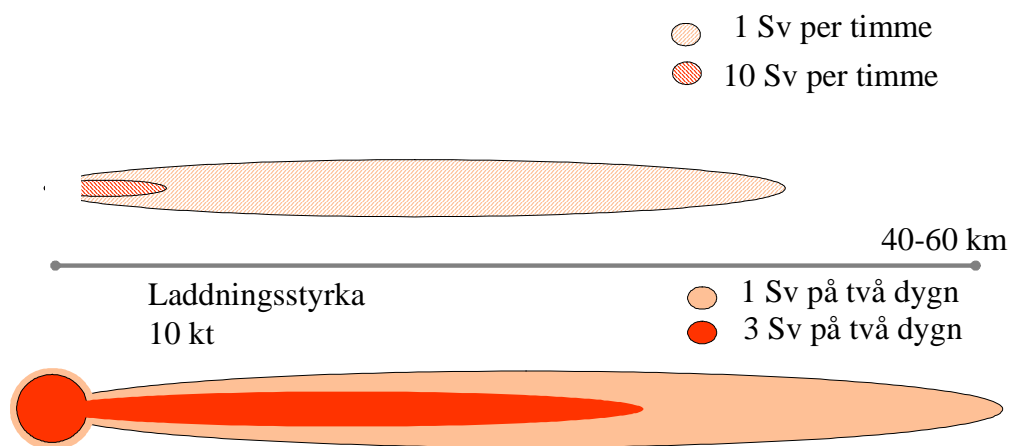


Fig. 4. Explosion i marknivå av en kärnladdning motsvarande 10 kt leder till radioaktiv beläggning på stora avstånd i vindriktningen från explosionspunkten. Gränserna för doshastigheterna (Sv per timme) en timme efter explosionen och doser (Sv) under de första två dygnen anger dimensionerna på områden där doserna till oskyddade skulle kunna bli livshotande. Cirkelytorna till vänster i figuren anger doser från initialstrålningen.

Under verkliga förhållanden varierar vinden såväl mellan olika höjdsikt som över tiden. Detta innebär att nedfallsområdena kan anta högst olika utseende. Bland annat kan mönstret för den radioaktiva beläggningen innehålla ”heta fläckar”, där aktiviteten är avsevärt högre än vad som skulle gälla enligt den idealiserade modellen. För att få en säkrare bedömningsgrund för var de verkliga riskområdena finns, behöver man därför genomföra mätningar. Flygburna mätningar har stora fördelar, genom att man jämfört med mätningar i markplanet minskar exponeringen av mätpersonalen och samtidigt får en tidig översikt av beläggningssläget.

## Slutsatser

### FÖR- OCH NACKDELAR MED EN KÄRNLADDNING UR AKTÖRENS SYNVINKEL

Varför skulle terrorister – eller tänkta aktörer med andra syften – välja en kärnladdning och inte konventionella vapen, vanliga sprängmedel, smutsig bomb (dvs. en kombination av konventionellt sprängmedel och något radioaktivt material som inte ger upphov till fission), eller B- eller C-vapen? Några enkla svar på varför eller när just kärnladdning skulle väljas finns givetvis inte. En aktör som vill använda en kärnladdning har sannolikt gjort en bedömning av dennas symbolvärdet, och vad en eventuell användning innebär ifråga om att ingjuta skräck hos den population man angriper. Valet torde också till stor del styras (och framförallt begränsas) av de praktiska möjligheterna. Detta avser tillgång till lämpligt material, samt gruppens förmåga till konstruktion och effektiv användning – i förhållande till den eftersträ-vade verkan. Flertalet terroristorganisationer uppnår antagligen sina syften med användande av andra vapen.

Bland de faktorer som kan framstå som för- respektive nackdelar sett ur aktörens perspektiv ingår troligen följande:

#### FÖRDELAR MED KÄRNLADDNING:

- Den starka psykologiska och politiska verkan, även om explosionsstyrkan är förhållandevis låg;
- De potentiellt oerhört omfattande skadeverkningarna, om syftet är att maximera konsekvenserna.

#### NACKDELAR MED KÄRNLADDNING:

- Svårigheter att skaffa nödvändigt material och erforderliga kompetenser;
- Osäkerheter om att man kan få till stånd en explosion.

Även om verkan av explosionen inte kan bedömas med någon större säkerhet, kan symbolvärdet av att demonstrera innehavet av kärnladdningen kan vara tillräckligt stort för att motivera användningen.

### Jämförelse med *smutsig bomb*

Utifrån värderingar av kärnladdningen visavi andra medel bör bland de senare särskilt beaktas hotet för samhället med avseende på alternativet ”smutsig bomb”. Även om verkningarna av en smutsig bomb kan bli mycket allvarliga – såväl beträffande effekter på bestrålade människor som ekonomiska följder av den radioaktiva föroreningen – så handlar det om skadedimensioner som ligger flera storleksordningar under, eller som helt saknas, jämfört med det som gäller vid explosion av en kärnladdning. Svårigheterna för den icke initierade att skilja på kärnvapen och smutsig bomb innebär dock troligen en starkare psykologisk verkan på allmänheten vid hot med eller explosion av en smutsig bomb, än vad som annars skulle vara fallet. Detta kan uppenbart utgöra en fördel med utgångspunkt från aktörens bedömning. Möjligheterna att få tillgång till radioaktivt material avsett för den smutsiga bomben är också avsevärt mycket större än i fråga om det klyvbara materialet för primitiva kärnvapen.

Mot bakgrund av en sådan generell diskussion, framstår som troligt att grupper, som har både resurser för och en vilja att utnyttja en primitiv kärnladdning i stället för andra medel, torde rikta sig med hot om eller faktisk användning av primitiv kärnladdning mot en stat eller regering snarare än en myndighet eller företag.

## HUR FÖRHINDRAS FRAMSTÄLLNINGEN AV PRIMITIVA KÄRNVAPEN?

Många av de kontrollmekanismer som man kan utnyttja för att förhindra kärnvapenframställning är inte tillämpliga när det gäller mindre grupper (t.ex. terroristorganisationer) och framställning av primitiva kärnladdningar. Den absolut viktigaste kontrollmöjligheten i det senare fallet är därför att förhindra att färdigframställt klyvbart material kommer på avvägar under lagring eller hantering av materialet. Det är därför av största vikt att skapa en säker lagring och hantering, och att snabbt oskadliggöra ”överflödigt” vapenmaterial genom t.ex. utspädning av höganrikat uran eller förbränning av vapenplutonium (i MOX-form) i kärnreaktorer.

Mycket görs för närvarande bl.a. genom olika samarbetsavtal<sup>7</sup> (främst mellan Ryssland och USA) för att förbättra kontrollen över fissilt material med potential att användas i en kärnladdning. Detta gäller framförallt förhållandena i Ryssland – där kontrollen varit oroväckande svag sedan Sovjets sönderfall. Arbetet med att förbättra förvaringen och kontrollen är ännu inte slutfört, och det kvarstår osäkerheter om huruvida tillräckliga mängder av material av vapenkvalitet eller tillräckligt höganrikat uran kan ha kommit på avvägar under senare tid. Risken för att någon grupp nu har tillgång till användbart kärnladdningsmaterial och kan framställa fungerande primitiva kärnladdningar bör därför inte underskattas.

## KAN VAPENMATERIAL UPPTÄCKAS GENOM MÄTNINGAR?

Om inga särskilda åtgärder vidtagits för att skärma strålningen, bör en mycket enkel konstruktion av den typ som antagits i vår analys kunna detekteras med handburna dos- eller strålningsmätare på någon minut och på någon eller några meters avstånd. Med en handburen högupplösande spektrometer skulle det vara möjligt att upptäcka strålningen från kärnladdningen på några tiotals meters avstånd. Även om säkert gällande slutsatser om detektionen av olika typer av primitiva konstruktioner knappast kan dras från vår studie av ett specifikt fall, framstår det som troligt att andra primitiva kärnladdningar i varierande grad skulle dela sådana egenskaper som gör dem lättare att upptäcka än ett sofistikerat kärnvapen.

## VERKAN AV EN PRIMITIV KÄRNLADDNING

Om en laddning – konstruerad för att frigöra energi svarande mot en laddning på 1 till 10 kt – genom ofullständig sprängning ”bara” skulle ge ett utbyte på någon promille av den optimala laddningsstyrkan, kan ändå en sprängverkan på denna nivå vara mer än tillräcklig för aktörernas mål. Den medför sannolikt kraftig lokal förstörelse t.ex. om explosionen äger rum i eller nära en byggnad. Dessutom uppstår en radioaktiv förorening, som kan bli mycket kraftig, genom utspridning av resterande fissilt material och transport i vindriktningen över stora områden av radioaktiva restprodukter från kärnklyvningen.

Utöver riskerna för fysiska skador och dödsfall förknippade med de direkta verkningarna av explosionen skulle de psykologiska effekterna sannolikt få allvarliga konsekvenser för den drabbade befolkningen och samhället. I synnerhet om explosionen inträffar i en stad skulle dessutom kostnaderna för uppröjningsinsatser, särskilt sanering, kunna bli enorma och få svåröverskådliga konsekvenser under lång tid för det drabbade området.

<sup>7</sup> USA medverkar via DOE och projekt inom programmet US-Russian Material Protection, Control and Accounting program (MPC&A) med att förbättra situationen. Bland annat sammanförs nukleärt material till centrala förvar med bättre säkerhet och inventarietkontroll. Arbetet med detta pågår för fullt och genom den anläggning som är under konstruktion i Mayak (öster om Ural) kommer troligen omkring 40% av plutoniumförrådet av vapenkvalitet att kunna förvaras under bättre kontroll. Det finns dock fortfarande nukleärt material förvarat under oacceptabla former.

Genom Co-operative Threat Reduction program (CTR) sätter USA in pengar bl.a. för att skrota kärnvapenbärande atomdrivna ubåtar. Clintonadministrationens förslag till satsning för år 2002 rörande icke-spridningsfrågor bantades visserligen i ett tidigt skede av Bush, men större delen verkar dock kunna genomföras, bl.a. genom de anslag som tillkommit efter händelserna under hösten 2001.

### **Tillkännagivande**

Arbetsgruppen riktar ett varmt tack till Lars Göran Strömberg, Klas Elmgren och Mattias Waldenvik för konstruktiva synpunkter och granskning av texten, samt till Håkan Nordström, och Richard Olsson för värdefullt underlag till studien.

