

Forskning

Icke-spridning och kärnämneskontroll

Ane Håkansson
Thomas Jonter

Juni 2007

SKI perspektiv

Bakgrund och syfte

Avsikten med detta projekt var att sammanställa ett kursmaterial som behandlar hur den nukleära kärnämneskontrollen – safeguards – fungerar i praktiken idag och hur den historiskt har vuxit fram. Det framtagna kompendiet vänder sig både till högskolestudenter och till safeguardberörda i industrin.

Resultat

Det kompendium som nu föreligger kommer att användas både inom och utom landet som kursmaterial vid utbildningar. Det är delvis ett resultat av ESARDA:s (European Safeguards Research and Development Association) arbetsgrupp TKM (Training and knowledge management) som årligen utbildar studenter från hela Europa. Avsikten är även att använda det i samband med utbildningar i forna Sovjetstater och andra internationella samfund.

Inom landet ges numera kurser vid Uppsala universitet som använder detta utbildningsmaterial. Kompendiet föreligger både i svensk och engelsk form (SKI Report 2007:44) och är nedladdningsbara från SKI:s hemsida (<http://www.ski.se>).

Handläggare

Kåre Axell och Joakim Dahlberg har varit SKI:s handläggare för detta projekt.

Projektnummer

SKI 200510004

Diarienummer

SKI 2005/126

Forskning

Icke-spridning och kärnämneskontroll

Ane Håkansson
Thomas Jonter

Juni 2007

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Förord

Författarna till detta kursmaterial är docent Ane Håkansson, verksam på Institutionen för fysik och astronomi, avd för tillämpad kärnfysik vid Uppsala universitet och docent Thomas Jonter, verksam på Ekonomisk-historiska institutionen vid Stockholms universitet.

Vår tanke med detta kurskompendium är att det ska utgöra en introduktion i safeguards och nukleär icke-spridning. Texten är i första hand skriven för universitetsstudenter som vill fördjupa sig i icke-spridningsfrågor. Exempelvis kommer det att användas som kursmaterial för doktorander inom teknisk-naturvetenskaplig fakultet vid Uppsala universitet samt studenter på utbildningen inom internationella relationer vid Stockholms universitet. Kompendiet kan även med fördel läsas av personer som avser att arbeta med icke-spridningsfrågor i internationella organisationer, myndigheter och företag.

Kompendiet består av två delar: I del I av kurskompendiet (kapitel I.1 – 12) behandlas de historiska, politiska och legala aspekterna av framväxten av en global kärnämneskontroll. I del II (kapitel II.1 – 9) sammanfattas de tekniska aspekterna, d v s några av de mät- och övervakningsmetoder som används inom kärnämneskontrollen idag. Även den fysikaliska bakgrunden till de olika metoderna behandlas.

Vår ambition är att detta kompendium ska vara ett ”levande” dokument där ny information, nya förhållanden och ny teknologi ska kunna införas efterhand. På grund av områdets vidd har vi också tvingats utelämna vissa aspekter som t ex att vi, i denna utgåva, valt att inte behandla s.k. förstörande mätmetoder.

Vid SKI och särskilt avdelningen ”kärnämnes- kärnavfallssäkerhet” har flera personer läst kurskompendiet och givet värdefulla synpunkter och kommentarer. Ett stort tack riktas framför allt till Kåre Axell, Göran Dahlin, Joakim Dahlberg, Lars Hildingsson, Mats Larsson, Stig Isaksson och Eric Hägglund för de råd och den hjälp de gett i synnerhet då det gäller innehållet i kapitel 1-12. Vidare vill författarna tacka Leif Nilsson och Tor Wennerberg för hjälp med layout och allmän ”språkvård”.

Uppsala, Stockholm, våren 2007

Ane Håkansson

Thomas Jonter

Förord	5
Förkortningar	9
Del I Vad är nukleär icke-spridning?	11
Kapitel I.1	12
Inledning	12
1.1 Vad är ett kärnvapen?	13
Kapitel I.2 Framväxten av en global kärnämneskontroll	18
2.1 Historisk bakgrund: 1939 – 1945	18
2.2 Den stora kapplöpningen: vem får fram kärnvapen först?	19
2.3 Historisk bakgrund: perioden 1945-1957	21
2.4 ”Atoms for Peace”-programmet lanseras	24
2.5 Historisk bakgrund: perioden 1957-1990	27
2.6 Problem på vägen - Indien och Israel	29
2.7 Perioden 1991-2006.....	30
Kapitel I.3 Icke-spridningsregimer.....	31
3.1 Internationella regimer – olika skolbildningars syn	32
3.2 Den explicit legala överenskommelsen	38
3.3 Explicita icke legala överenskommelser	39
Kapitel I.4 Exportkontrollregimer	39
Kapitel I.5 Fysiskt skydd, transportsäkerhet och illicit trafficking	42
Kapitel I.6 Kärnämneskontroll/safeguards	44
6.1 IAEA:s safeguards-system	45
6.2 Kärnämneskontroll - inspektion steg för steg.....	48
6.3 Safeguards-mål	49
6.4 Hur IAEA kontrollerar att målen har uppfyllts	51
6.5 Tilläggsprotokollet (Additional Protocol) och dess konsekvenser.....	52
Kapitel I.7 Slutord: kan man tala om ett övergripande fungerande nukleärt icke-spridningssystem?.....	53
Kapitel I.8 Sveriges nukleära historia.....	55
8.1 Sverige och tungvattenlinjen 1945-1970.....	55
8.2 Sveriges första reaktor – R 1	56
8.3 Uppförandet av R 2 och kärnenergisamarbete med USA.....	57
8.4 Ågestareaktorn.....	58
8.5 Marviken.....	58
8.6 Lättvattenreaktorerna tar över	60
Kapitel I.9 Den svenska kärnämneskontrollen [102]	61
9.1 Inspektion och övervakning.....	62
9.2 Vad är det som reglerar och styr safeguards-arbetet i Sverige?	63
9.3 Vad sker vid en inspektion?	64
9.4 Internationella inspektioner vid svenska kärnkraftverk.....	65
Kapitel I.10 Exportkontrollen i Sverige	65
10.1 Hantering av exportansökan	68
Kapitel I.11 Fysiskt skydd och transportsäkerhet i Sverige	69
11.1 Fysiskt skydd	69
11.2 Transportsäkerhet	70
Bilaga I.1 (Levels of Physical Protection to be Applied in International Transport of Nuclear Materials).....	72
Del II Kärnämneskontrollens verifierande funktion.....	75
Kapitel II.1	76
Inledning.....	76
1.1 Grundläggande metodik för att uppnå performance och assurance	79

1.1.1 Tekniska områden.....	79
1.1.2 Icke-tekniska områden.....	81
Kapitel II.2 Energiproduktion med hjälp av kärnkraft	83
2.1 Fissionsprocessen	85
2.1.1 Bindningsenergi.....	85
2.1.2 Energiutveckling i fissionsprocessen	86
2.2 Kort om reaktorfysik	87
2.2.1 Kedjereaktionen.....	87
2.2.2 Reaktortyper	89
2.3 Kärnbränsle.....	91
Kapitel II.3 Icke-förstörande mätningar inom kärnämneskontroll.....	93
3.1 Produktion av gammastrålande fissionsprodukter.....	95
3.2 Detektering av gammastrålning.....	99
3.2.1 Scintillationsdetektorer	100
3.2.2 Fotomultiplikatorrör	102
3.2.3 Halvledardetektorer	103
3.2.4 Jonkammare.....	106
3.3 Produktion av neutronemitterande isotoper.....	106
3.3.1 Detektering av neutroner	107
Kapitel II.4 NDA-teknik baserad på gammastrålning. Kvantitativa mätningar	108
4.1 Utbränningskontroll med hjälp av gammamätning	109
4.2 Datorbaserad tomografi	110
4.3 Andra instrument	113
Kapitel II.5 Gammastrålningsteknik, Kvalitativa mätningar	114
5.1 Instrument för mätningar av egenskaper hos utbränt kärnbränsle (The spent fuel attribute tester, SFAT).....	114
5.2 Andra kvalitativa metoder	116
5.2.1 Apparatur för observation av Cherenkov-strålning	116
Kapitel II.6 Metoder baserade på neutronmätningar	118
6.1 Neutrondetektorsystem för mätningar på bestrålat bränsle (FDET)	118
Kapitel II.7 Övervakning inom nukleär kärnämneskontroll.....	120
7.1 Statiska scenarier	121
7.2 Dynamiska scenarier	123
7.2.1 Satellitövervakning.....	129
7.2.2 Seismisk monitorering.....	129
7.2.3 Miljöövervakning	130
Kapitel II.8 Framtiden	130
Kapitel II.9 Sammanfattning	132
Bilaga II.1 Exempel på bränsledeklaration för ett bränsleelement (A05) som skall mellanlagras i CLAB.....	135
Referenser.....	138

Förkortningar

AE	AB Atomenergi
AK	Atomkommittéen
BTC	Basic Technical Characteristics
CDT	Combined Development Trust
C/S	Containment and Surveillance
CTBT	Comprehensive nuclear-test-ban treaty
CVD	Cherenkov Viewing Device
DA	Destructive Assay
DFA	Delegationen för atomenergifrågor
DI	Design Information
DIV	Design Information Verification
ENSRA	European Nuclear Security Regulators Association
FA	Facility Attachment
FOA	Försvarets forskningsanstalt
FOI	Totalförsvarets forskningsinstitut
IADA	International Atomic Development Authority
IAEA	International Atomic Energy Agency
IPPAS	International Physical Protection Advisory Service
INSSP	Integrated Nuclear Security Support Plans
KTH	Kungliga Tekniska Högskolan
ISP	Inspektionen för strategiska produkter
MBA	Material Balance Area
MTCR	Missile Technology Control Regime
MUF	Material Unaccounted For
NDA	Non-Destructive Assay
NF	Nationernas förbund
NPT	Non-proliferation Treaty of Nuclear Weapons
NSG	Nuclear Suppliers' Group
PSP	Particular Safeguard Provision
RFK	Reaktorförläggningskommittéen
SA	Subsidiary Arrangement
SIR	Safeguards Implementation Report
SKI	Statens kärnkraftinspektion
SPQ	Small Quantities Protocol
SQ	Significant Quantity
SSAC	State System for Accountancy and Control
SSI	Statens strålskyddsinstitut
SÄPO	Säkerhetspolisen
UNAEC	United Nations Atomic Energy Commission
USAEC	United States Atomic Energy Commission
WAES	Wide Area Environmental Sampling
VOA	Voluntary Offer Agreement
ZK	Zangger Committee

Del I Vad är nukleär icke-spridning?

Thomas Jonter

Kapitel I.1

Inledning

Syftet med nukleär icke-spridning är att förhindra spridning av kärnvapen. Stater, regionala och internationella organisationer har sedan de första atombomberna föll över Japan 1945 på olika sätt sökt att reducera möjligheterna för nationer att nå kärnvapenkapacitet. Resultatet av dessa strävanden har idag lett till ett internationellt system av samarbete mellan länder. Avtal, fördrag och konventioner har undertecknats och ratificerats. Globala och regionala organisationer samt nationella myndigheter har bildats i avsikt att stoppa det illegala flödet av nukleära ämnen och utrustning som kan användas till att tillverka kärnvapen. Det är inget perfekt system och inte ett system som alla världens stater efterlever. År 1945 fanns det en kärnvapenstat – USA. Idag finns det åtminstone nio stater som har kärnvapenkapacitet – USA, Ryssland, Storbritannien, Frankrike, Kina, Indien, Pakistan, Israel (dock har inte Israel erkänt att landet har kärnvapen) och Nordkorea. Kan man mot den bakgrunden tala om ett framgångsrikt arbete mot kärnvapenspridning? Det beror på vad man menar med ”framgångsrikt” och vilket perspektiv man har på vad som borde vara möjligt. Optimisten skulle säkert säga att det kunde ha sett mycket värre ut. Med tanke på att en mängd stater umgicks med planer på att skaffa kärnvapen på 1950- och 1960-talet, kunde antalet kärnvapenstater ha legat kring 30 - 40 om inte arbetet mot kärnvapen-spridning hade varit framgångsrikt. Dessutom har inget kärnvapenkrig ägt rum sedan augusti 1945, skulle optimisten möjligen tillägga, och kanske hävda att stater som Sydafrika, Ukraina och Kazakstan har frivilligt av sagt sig sitt kärnvapeninnehav. De system av olika internationella avtal och organisationer som varit i funktion har trots vissa fel och brister fungerat väl, enligt optimisten. Pessimisten skulle förmodligen lyfta fram argument som exempelvis att icke-spridningsarbetet inte lyckats förhindra att ytterligare 8 stater förutom USA skaffat kärnvapen. Detta faktum har knappast gjort världen säkrare, snarare tvärtom. Fler nationer har under senare år försökt och försöker få fram massförstörelsevapen, såsom Irak och Iran och under år 2006 genomförde Nordkorea sitt första kärnvapenprov. Förmodligen är det bara en tidsfråga innan kärnvapen kommer att användas igen i en konflikt, skulle nog pessimisten hävda. Vi får inte glömma att två kärnvapenladdningar släpptes över Japan i augusti 1945. Till detta skulle säkerligen pessimisten lägga hotet från terroristgrupper, som enligt vissa experter försökt skaffa kärnvapen. Dessutom får vi heller inte glömma att det varit nära ett kärnvapenkrig vid åtminstone ett par tillfällen. Kubakrisen 1962 är ett bra exempel på detta, skulle nog pessimisten tillägga.

Nej, vi kan inte tala om ett perfekt och färdigt system. Icke-spridningsarbetet utgör en process i ständig utveckling. Nya konflikter och hotbilder skapar nya behov av åtgärder men kan samtidigt utgöra nya möjligheter för utveckling och förstärkning av den gemensamma säkerheten. Exempelvis när sovjetkommunismen föll samman uppstod en mängd problem på det nukleära området. Kärnämnen, utrustning och komponenter, till och med kompletta kärnvapen, kom på drift när övervakning och kontroll inte längre

fungerade. Samtidigt innebar detta kaos att dörren öppnades för flera nybildade stater att ansluta sig till internationella organisationer och ta emot bistånd från den rika världen i syfte att skapa moderna och effektiva nukleära infrastrukturer. Ryssland började samarbeta med USA, EU och andra stater och organisationer för att lösa de enorma problem som uppstod i och med Sovjetunionens sammanbrott. Kalla krigets död innebär visserligen nya hot och problem, men samtidigt har detta faktum lett till den ökade insikten att vi måste samarbeta globalt för att lyckas förhindra spridning av kärnvapen.

Ett första syfte med del 1 av detta kompendium är att beskriva framväxten av detta globala nukleära icke-spridningssystem och dess centrala uppgifter. Ett andra syfte är att diskutera fördelar och nackdelar med dess nuvarande utformning i syfte att besvara frågan: Kan vi idag tala om ett fungerande globalt icke-spridningssystem? Behöver det stärkas ytterligare och i så fall vad och hur?

1.1 Vad är ett kärnvapen?

Vare sig vi väljer att betrakta de nationella och globala ansträngningarna på det nukleära icke-spridningsområdet med optimistens eller pessimistens ögon, måste vi först bekanta oss med detta globala system så som det ser ut idag. Därefter kan vi diskutera eventuella fel och brister. Och en första fråga som infinner sig är: Vad är det exakt som inte ska spridas och därmed kontrolleras och övervakas? För att kunna besvara denna fråga mer specifikt, behöver vi först förstå vad som behövs för en framställning av kärnvapen. Rent generellt behövs följande ingredienser:

Motivation. Det finns alltid en anledning till att en stat skaffar kärnvapen. Det kan handla om en förändrad (verklig eller inbillad) hotbild eller att en stat vill skaffa sig stormaktstatus för att vinna inflytande och makt på den internationella arenan (vissa säkerhetspolitiska experter har hävdats att detta var en av de viktigaste anledningarna till att Frankrike och Indien bestämde sig för att bli kärnvapenmakter).

Vetenskaplig, teknisk och organisatorisk kompetens. Det räcker inte med att enbart en tillräckligt utvecklad kunskap i kärnfysik och kärnkemi är för handen. Även andra områden som exempelvis klassisk mekanik, termodynamik, kinetisk teori samt urans och plutoniums metalliska egenskaper, måste ingå i den vetenskapliga kunskapen. Denna vetenskapliga kunskap ska dessutom kunna omsättas i teknisk tillämpning i form av konstruerandet av nödvändiga anläggningar som exempelvis reaktorer och uppberednings och/eller anrikningsanläggningar och överhuvudtaget skapa en teknisk infrastruktur för att möjliggöra detta. Och för att kunna koordinera alla dessa vetenskapliga och tekniska resurser inom ramen för ett effektivt program, krävs en omfattande organisationsförmåga.

Finansiella resurser. Att samla ihop fissilt material av vapenkvalitet för att sätta ihop en mindre sofistikerad bomb behöver inte kosta stora pengar om man hittar en villig säljare (det är den typen av enklare bomber som vissa experter menar att terrorister skulle kunna klara av att tillverka), men däremot krävs omfattande ekonomiska resurser för utveckla ett kärnvapenprogram. För ett program krävs reaktorer, en stab av skickliga vetenskapsmän, tekniker och yrkesmän som hanterar avancerade monterings- och konstruktionsarbeten. Det krävs också en mängd specialdesignat materiel i form av stål och betong, och dessutom måste en kärnvapenarsenal underhållas, delar ska utbytas och repareras. Allt detta tar stora finansiella resurser i anspråk.

Kärnämnen av vapenkvalitet. Ett kärnvapen kan antingen bygga på principen fission eller principen fusion. I en fissionsbomb åstadkoms en explosiv kedjereaktion i en laddning innan själva vapnet sprängs isär och frigör ytterligare energi. Hur stor sprängverkan blir beror på mängden fissilt material, antal atomkärnor som splittras och antalet bildade fissioner som kan åstadkommas innan själva vapnet sprängs isär. Huvudsakligen kan man tala om två typer av fissionsbomber vilka bygger på olika tekniska och vetenskapliga principer. Den första varianten av fissionsbomb kallas på engelska "gun barrel"-typ (kanonrör). I denna kärnvapentyp trycks en underkritisk massa av höganrikat uran (^{235}U) iväg i ett rör, som initieras av en explosion, mot en annan underkritisk massa för att skapa en kedjereaktion. Det är tämligen enkelt att tillverka en "gun barrel"-typ av kärnvapen, men svagheter i tekniken är att vapnets explosionskraft har en tendens att förhindra att stora delar av det fissila materialet genomgår en fissionsprocess. Som en konsekvens av detta blir sprängverkan mindre eftersom det blir svårt att utnyttja den fulla potentialen hos det fissila materialet.

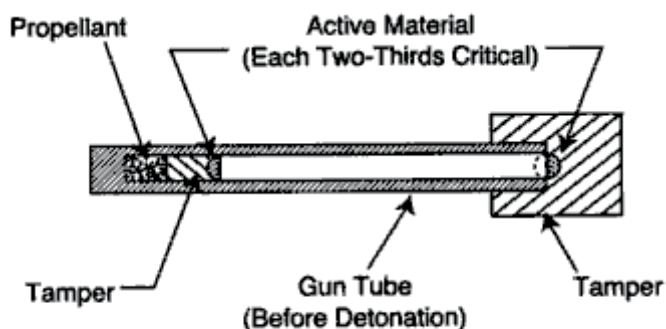


Figure 2-VII. Gun Assembly Principle

Figur 1: "Gun barrel"-typ (kanonrör) av kärnvapen

Den andra varianten av fissionsladdning bygger på den mer tekniskt avancerade principen implosion. I en implosionsbomb komprimeras en underkritisk sfärisk massa av fissilt material, antingen ^{235}U eller plutonium, tills det blir kritiskt och en kedjereaktion uppstår. Det fissila materialet är omgivet av en neutronreflektor, oftast beryllium, och en tungmetall tamperomslutning av ^{238}U eller Wolfram. Runt denna anordning finns i sin tur en ihålig sfär i vilken en konventionell explosion kan detoneras i syfte att skapa en enhetlig, symmetrisk implosion varvid själva tamperomslutningen trycks in mot det fissila materialet och en kedjereaktion uppstår. Den konventionella explosionen åstadkommer i denna bombvariant, till skillnad från i "gun barrel"-typen, en verkan som leder till många repetitioner av den fissila reaktionen och därmed kan det fissila materialet utnyttjas i större utsträckning. Det innebär m. a. o. att sprängverkan blir större och mer förutsägbar i jämförelse med den enklare "gun barrel"-typen.

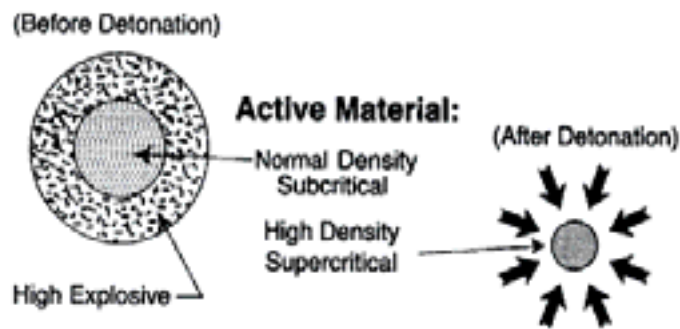


Figure 2-VIII. Implosion Assembly Principle

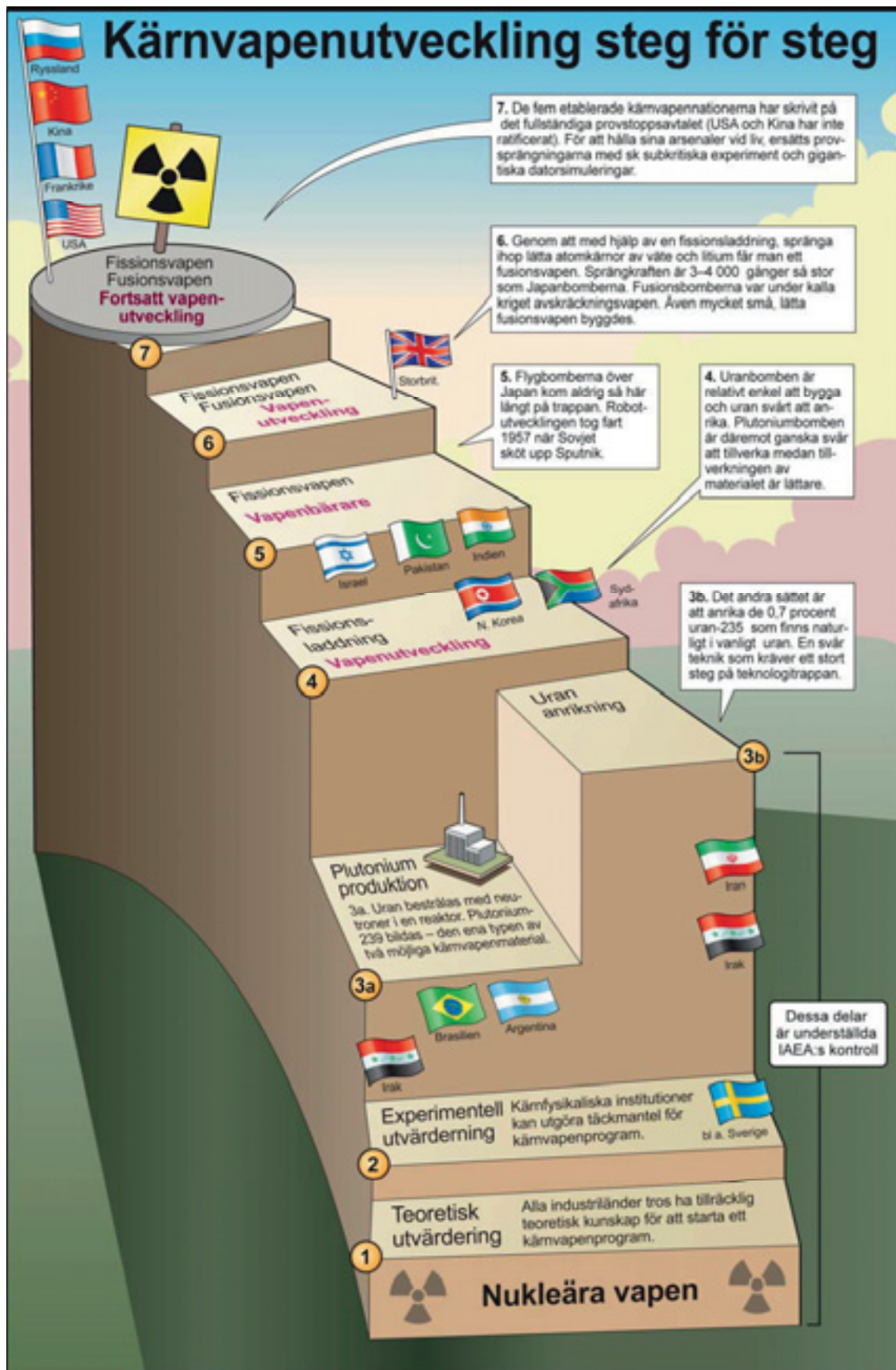
Figur 2: Implosionsbomb

Om ^{235}U väljs som klyvbart material måste uranet genomgå en anrikningsprocess i flera steg. Väljer man däremot att tillverka en plutoniumladdning måste uranet upparbetas i en upparbetningsanläggning i syfte att separera plutoniet. Det är både kostsamma och tekniskt komplicerade processer. I en fusionsbomb, eller termonukleär laddning som den också kallas, sammanförs (fusioneras) två isotoper såsom tritium och deuterium. Dock måste denna process initieras av en annan stark energikraft, vanligen en fissionsladdning, som startar fusionsreaktionen. Dessa två steg kan ytterligare få en förstärkning i och med ett skal av ^{238}U som omsluter de två första laddningarna. ^{238}U är en isotop som i sig självt inte kan användas för att åstadkomma en explosiv kedjereaktion. Däremot kan ^{238}U manipuleras till att producera kärnklyvningar om det utsätts för ett konstant externt bombardemang av neutroner som utlösts av andra fissioner eller fusioner. Rent teoretiskt kan en oändlig serie steg av fission-fusion-fission-fusion uppstå och detta vapens sprängverkan är avsevärt mycket större än den renodlade fissionsbomben. Å andra sidan kräver en tillverkning mer av teknisk och vetenskaplig precision. För att den mer tekniskt avancerade fusionsbomben ska fungera, behövs förutom tritium eller deuterium även ^{235}U eller plutonium vilka fungerar som utlösare av laddningen.

- [1] **Annan nödvändig utrustning.** Även om punkterna 1-4 förverkligas innebär det inte att kärnvapenkapaciteten uppnåtts. Kärnvapnen måste kunna skjutas iväg eller släppas på ett fungerande och effektivt sätt. Ett vapenbärarsystem måste utvecklas. Det kan röra sig om att konstruera strids- eller bombflygplan eller att designa u-båtar till att fungera som vapenbärare. Markburna missiler kan också användas, men vilket system som än väljs handlar det om avancerade tekniska projekt. Även om exempelvis stridsflygplan kan köpas av annan stat måste dessa delvis genomgå en omkonstruktion för att passa den framtagna kärnvapentypen [1].
- [2] **Förmågan att genomföra kärnvapenprov.** Det tillverkade kärnvapnet måste testas för att se om det fungerar effektivt eller om vissa omarbetningar behöver göras. Det krävs en mängd tekniska och vetenskapliga resurser för att kunna genomföra tester av hög kvalitet.

Figur 3 anger de huvudsakliga tekniska stegen som måste tas för att producera ett kärnvapen av fissionstyp. Som framgår av figuren finns det två alternativa vägar som leder till en första laddning. Antingen produceras en plutoniumladdning (en tillverkningsprocess som inbegriper upparbetning av uranet) eller en uranbomb (^{235}U

som tas fram genom en anriktningsprocess). Vare sig man väljer plutonium eller ^{235}U som klyvbart material, sammanfaller alla produktionssteg i en vapenutveckling med en fredlig utvinning (kärnenergi eller kärnkraft) fram till och med fissilt material. I det påföljande steget sker en process där kärnämnet får karaktären av vapenkvalitet. De system som de flesta stater i världen har för att producera kärnkraft kan i princip användas till att framställa kärnämnen av vapenkvalitet om vissa tekniska arrangemang görs, som exempelvis separering av uranet och tätare byten av bränslet i de använda reaktorerna. Mot den bakgrunden är det givetvis viktigt att en övervakning och kontroll sker av alla kärnenergianläggningar (reaktorer, förvaringsanläggningar, laboratorier etc.), vilka i någon mening hanterar kärnämnen som i befintligt skick eller efter vissa processer kan användas i en kärnvapenframställning. Som framgår av de sex huvudsakliga aspekterna av en kärnvapenframställning ovan, bör ett effektivt säkerhetssystem på det nukleära icke-spridningsområdet innefatta flera delar. Den viktigaste delen, eller komponenten, som bör förhindras att spridas är de kärnämnen som kan användas i en kärnvapenframställning. Vad innebär detta och vilka åtgärder har det lett till i syfte att förhindra icke-spridning på global, regional och nationell nivå? Är det enbart kärnämnen som ska övervakas och kontrolleras enligt internationella bestämmelser? Av ovanstående genomgång framgår det att det är flera ämnen och komponenter som måste kontrolleras och övervakas. Ett effektivt system på icke-spridningsområdet borde också innefatta en kontroll av utrustning och andra komponenter som kan ingå i en kärnvapenarsenal. Men så enkelt fungerar det inte. Orsakerna till detta är många och en del av dessa behandlas i kapitel 2 i vilket kärnämneskontrollens historiska utveckling analyseras. Att få fram effektiva och bindande avtal som de flesta av världens stater accepterar och efterlever, är en svår konst mot bakgrund av att stater många gånger har olika politiska och ekonomiska intressen. Det som en stat ser som en framgång i det globala icke-spridningsarbetet, kan uppfattas av ett annat land som ett nationellt hot. Ytterst beror framgången i det internationella samarbetet på hur effektivt världens stater förmår att samarbeta med varandra. Och det beror i sin tur på hur mycket nationer litar på varandra och i vilken grad de avtal som slutits om nukleär icke-spridning efterlevs. Idag kan vi tala om ett tämligen omfattande globalt system inom nukleär icke-spridning som griper in på flera områden; det är inte bara kärnämnen som kan användas i en kärnvapentillverkning som kontrolleras utan även en rad andra produkter och komponenter regleras av olika internationella och regionala organisationer. Som redan sagts är det inte fråga om ett för alla tider perfekt system. Det är ett system i ständig förändring och det beror på att världen ständigt förändras. Under kalla kriget kontrollerades världen av de bägge supermakterna USA och Sovjetunionen. Det var en bipolär och tämligen förutsägbar värld som behärskades av två vapentekniskt någorlunda jämbördiga makter som stod mot varandra på den globala arenan; de dominerade världen, kontrollerade flödet av kärntekniska produkter och höll därmed andra potentiella ”uppstickare” stängna. USA och Sovjetunionen sökte bundsförvanter bland världens stater och konsoliderade två block som stod i beroendeställning till respektive sida i det kalla krigets spel. Idag lever vi i en multipolär och därmed också en mindre förutsägbar värld. Ett globalt samarbete kan därför sägas vara viktigare idag. Blockbildningens försvinnande har lett till nya former av hot: terrorism och en ökad grad av inomstatliga konflikter som hänger ihop med Sovjetunionens och öststatskommunismens sönderfall. Många experter har också hävdat att riskerna för kärnvapenspridning har ökat sedan Sovjetunionens fall. Osäkerheten och frånvaron av en stabil säkerhetspolitisk ordning kan leda till att vissa stater försöker skaffa nukleära massförstörelsevapen. Efter terrorattacken den 11 september 2001 i USA har också rädslan ökat för att terrorister ska lyckas skaffa någon form av massförstörelsevapen, inklusive kärnladdningar.



Figur 3

Kapitel I.2 Framväxten av en global kärnämneskontroll

2.1 Historisk bakgrund: 1939 – 1945

När såddes det första fröet till vad som senare kom att betecknas som kärnenergin och dess utnyttjande? Det är omöjligt att ange något exakt datum eller peka på en enskild direkt avgörande upptäckt. Att tingen vi ser med blotta ögat i sin tur består av mindre beståndsdelar, har mer eller mindre varit ett faktum i de lärdas diskussioner sedan urminnes tider. Redan under antiken spekulerades det om tingens minsta beståndsdelar i form av vad Demokritos kallar ”atomer”. Under 1600- och 1700-talet utvecklade upplysningsmän atommodeller över världens uppbyggnad. Exempelvis föreställde sig Isac Newton något som liknande biljardbollar i miniatyr som utgjorde de mekaniska rörelsernas spel i universum. Men det fanns även vetenskapsmän som i modern tid har tvivlat på atomens existens. Den världsberömde tyske fysikern Max Planck ansåg t. o. m. att atomen var mer att betrakta som en brittisk uppfinning, och om nu en sådan materie skulle finnas, hävdade han, kan den inte vara mekanisk till sin karaktär. En mekanisk atom, skriver Planck i sin doktorsavhandling från 1879, strider mot termodynamikens andra lag [2].

Men 1911 kunde atomen för första gången upptäckas i ett experiment som utfördes av nyzeeländaren Ernest Rutherford. Denne nyzeeländare hade inspirerats av Henri Becquerels och makarna Pierre och Marie Curies forskning om radioaktivitet [3]. Att atomen var upptäckt var en sak, en helt annan var att kunna förstå och utnyttja dess inneboende energi. Under 1920- och 1930-talet flyttades forskningsfronterna framåt i en hisnande fart och det var både fysiker och kemister som deltog i denna accelererande vetenskapliga utveckling. Här kan namn som Niels Bohr, Otto Hahn, Albert Einstein och Robert Oppenheimer nämnas. Nej, något exakt datum går nog inte att fastställa. Men om man ändå ska försöka sig på en datering och i synnerhet då det går att tala om ett avgörande genombrott för kärnenerginns direkta civila och militära utnyttjande, är den 6 januari 1939 inget dåligt val. Det var nämligen den dagen som de tyska fysikerna Otto Hahn och Fritz Strassman i tidskriften *Naturwissenschaften* redogjorde för att de hade upptäckt en ny typ av nukleär reaktion – fissionen. I ett experiment hade de bombarderat en uranatom och lyckats klyva den till två lättare element. Deras österrikiska kollega Lise Meitner noterade att denna fissionsprocess frigjorde energi som skulle gå att utnyttja i större skala, vilket hon också visade i ett experiment tillsammans med Otto Frisch. Ett par veckor senare kunde den ungerska fysikern Leo Szilard, verksam i New York, observera att två neutroner frigörs när en neutron som redan frigjorts i processen kolliderade med en annan (^{235}U) atom [4]. Dessa upptäckter väckte förhoppningar. Fysikerna drömde om en värld där energifrågan var löst för all framtid.

Det var dock inte den civila användningen som först kom att engagera de politiska ledarna i Tyskland, Storbritannien, USA och Sovjetunionen. Världen var på väg mot ett världskrig, vilket också var ett faktum i september 1939, och av den anledningen var det den militära användningen som fick politiker i ledande ställning att engagera sig i kärnenergifrågan. Nu påbörjades en sekretessbelagd och för den stora allmänheten

okänd kapplöpning mellan stormakterna att först nå målet att få fram en atombomb. Ryktesvågorna gick höga strax före och under andra världskriget; informationer inströmmade till de olika stormakternas underrättelsetjänster om de övriga staternas försök att skaffa kärnämnen och planerna på tillverkning av kärnvapen. Även ledande vetenskapsmän engagerade sig i frågan. Exempelvis skev Albert Einstein, efter vädjan från bland andra Leo Szilard, ett brev till president Roosevelt i augusti 1939, där det påstods att Tyskland hade påbörjat experiment i syfte att få fram höganrikat uran för en kärnvapenframställning. I brevet rådde den världsberömde fysikern president Roosevelt att satsa resurser på att utveckla kärnvapen innan Nazityskland skulle lyckas med detta [5].

Vid sidan av anrikat uran är plutonium (^{239}Pu) det ämne som används i kärnvapenladdningar eller som energialstrande källa i civilt syfte. I slutet av 1940 lyckades den svenskättade kemisten Glenn Seaborg och dennes forskarteam vid University of California att producera en fällning ^{239}Pu . Seaborg gav detta ämne namnet plutonium efter vårt solsystems yttersta planet, Pluto, som också är namnet för underjordens Gud och rikedomens Gud i den romerska mytologin. Två år senare, den 2 december 1942, lyckades den italienska fysikern Enrico Fermi genomföra den första atomklyvningen i världens första reaktor som byggts under fotbollsstadium vid University of Chicago. Därmed hade den första artificiella produktionen av plutonium ägt rum. Ett stort steg mot att kunna utnyttja den frigjorda energin hade tagits. Samma år sjösatte president Roosevelt ett gigantiskt projekt att ta fram amerikanska kärnvapen – det s.k. Manhattanprojektet. Albert Einstein hade nu blivit bönhörd.

2.2 Den stora kapplöpningen: vem får fram kärnvapen först?

Brittiska forskare, som vid denna tid var världsledande, knöts till Manhattanprojektet tillsammans med forskare som flytt från Tyskland. Även om brittiska och amerikanska forskare hade ett visst informationsutbyte under de första krigsåren, kan man inte tala om ett planerat samarbete. Den brittiska regeringen hölls utanför Manhattanprojektet och först efter ett flertal förhandlingar lyckades briterne med att bli accepterade som ”junior partner”, tillsammans med Kanada i delvis koordinerade program, vilket enbart tillät en begränsad tillgång till den amerikanska kunskapen. Avtalet som slöts i augusti 1943, det s. k. Quebecavtalet, fick till konsekvens att en gemensam organisation på hög politisk nivå upprättades och kallades *Combined Policy Committee*.

Storbritannien och USA hade bestämt sig för att ingenting yppa om Manhattan-projektet till Sovjetunionen. Även om Sovjetunionen var en allierad i kampen mot nazityskland, var det inte troligt att de skilda ideologiska och ekonomiska systemen i öst och väst skulle för all framtid leva i fredlig samexistens. Men även Frankrike, som också låg långt framme inom den kärntekniska forskningen, hölls utanför detta samarbete under krigsåren. Från amerikansk sida litade man inte riktigt på att den franska exilregeringen skulle klara av att agera som en stark och pålitlig samarbetspartner; det fanns en rädsla för att hemlig information skulle kunna läcka eller utnyttjas politiskt av fransmännen i syfte att vinna nationella fördelar. Storbritannien å andra sidan strävade efter ett vidgat samarbete med Frankrike under perioden 1940-42 både politiskt och militärt. Ett starkt Frankrike sågs som en garanti för att hålla ett framtida Tyskland stängin. Dessutom

fanns det andra anledningar till att söka samarbete med Frankrike: landet förfogade över en omfattande vetenskaplig kompetens, och hade tillgång till tungt vatten samt att det franska imperiet möjligen satt på stora tillgångar av uran och torium som kunde utnyttjas både civilt och militärt. Den brittiska hållningen ändrades under 1942-43 då framförallt premiärminister Churchill insåg vikten av att knyta banden närmare till Förenta staterna. Den tidigare politiken att eftersträva oberoende på kärnenergiområdet offrades i och med Quebecavtalet. Från och med nu var Storbritannien tvunget att samköra sin kärnenergiolitik med den amerikanska regeringen. Samarbete och informationsutbyte med tredje part utan USA:s samtycke omöjliggjordes. Men på en punkt gav dock inte Storbritannien efter: man gav inte upp möjligheten att skaffa kärnvapen efter kriget. I det avseendet kan man tala om en amerikansk eftergift eftersom USA:s politik även strävade efter att förhindra britterna från att skaffa kärnvapen [6].

Redan 1940-41 bedömde amerikanska experter att det skulle vara möjligt att tillverka ett kärnvapen laddat med uran som skulle kunna spela en avgörande betydelse för krigets utgång. Civilt utnyttjande av kärnenergin i form av elproduktion ansågs också möjligt men det skulle ta mer tid i anspråk. Men eftersom fiendelandet Tyskland, och kanske även Sovjetunionen, försökte tillverka kärnvapen ansågs det viktigt att förhindra att dessa fick tillgång till framförallt grundämnet uran. Även ämnet torium, som på sikt skulle kunna användas i olika kärnenergiprogram, borde kontrolleras, hävdade amerikanska och brittiska beslutsfattare. Tillgången till stora mängder uran, eller alternativt torium i kombination med en viss mängd uran, är de grundläggande förutsättningarna för att starta ett kärnenergiprogram och därmed också en kärnvapentillverkning. Dåtidens kunskap om världens uranfyndigheter var begränsad. Geologer hade dittills inte haft anledning att genomföra omfattande inventeringar av världens uranfyndigheter. Den huvudsakliga världsproduktionen av uran under mellankrigstiden skedde i belgiska Kongo där stora fyndigheter påträffats. Amerikaner och briter visste att Tyskland hade skaffat sig ett lager av uranoxid av kongolesisk ursprung vid ockupationen av Belgien och Frankrike. Nu gällde det att förhindra tyskarna från att förvärva uran från de icke-ockuperade områdena. Underrättelsetjänsterna på den allierade sidan hade skaffat sig upplysningar om att Tyskland hade ett kärnvapenprojekt på gång. Utgången av kriget berodde på vilken av de konkurrerande makterna som vann kapplöpningen [7].

Men hur långt hade Tyskland kommit i sina kärnvapenförberedelser? Det var en osäker faktor. Men när de allierade erövrade Strasbourg i november 1944, kunde de värsta farhågorna skingras. Efter en genomgång av tyska atomforskarens dokument kunde det konstateras, att det knappast förelåg någon risk för att Nazityskland skulle kunna framställa kärnvapen under pågående krig. Men det var inte bara Tyskland som utgjorde ett hot. Sovjetunionen kunde också tänkas vilja försöka att utveckla kärnvapen. Från angloamerikanskt håll visste man inte mycket om vad som hände på kärnenergiområdet i Sovjetunionen. Faktum var att den ledande ryska kärnfysikern Igor Kurchatov redan hade informerat sin regering under ledning av Josef Stalin 1939 om möjligheterna till att utnyttja fissionsenergin i militära syften [8]. Året därpå kom de ryska forskarna igång med ett kärnvapenprojekt i laboratorieskala [9]. Den tyska invasionen satte dock tillfälligt stopp för dessa utvecklingsförsök. Dessutom hämmades de sovjetiska kärnvapenplanerna av bristen på uran. Vid den tiden var kunskapen om uranmalmstillgångar i Sovjetunionen mycket begränsad. Vissa undersökningar hade gett vid handen att en mindre anspråksfull brytning var möjlig i Centralasien. Det var inte förrän strax efter krigsslutet som den sovjetiska prospekteringen kom igång på allvar.

Den första cyklotronen som användes inom vapenprojektet iordningställdes först i september 1944 och dessutom saknades andra viktiga ingredienser som grafit och tungt vatten [10].

Både Storbritannien och USA genomförde hemliga kartläggningar av världens urantillgångar i syfte att vinna kontroll över dessa. Exempelvis sammanställdes en amerikansk utredning under 1944 där 11 stater rangordnades utifrån de uppskattade produktionsmöjligheterna. I kategorin ”excellent” återfanns endast Belgiska Kongo som uppskattades äga 50 % eller mer av världens tillgångar. Kanada, USA och Tjeckoslovakien, Ryssland, Portugal och Madagaskar hamnade i gruppen ”good”, och under beteckningen ”fair” hamnade Bulgarien och Sverige. Slutligen klassificerades länderna Brasilien och England att tillhöra grupperingen ”poor”. Sverige hamnade alltså på 9:e plats och framstod som en potentiell intressant producent även om rapporten talade om: ”Very low grade ore. No reported production but potential possibilities considered fairly good”.

I juni 1944 slöts ett avtal mellan USA och Storbritannien, *Combined Development Trust* (CDT), med målsättningen att vinna kontroll över världens råvarutillgångar av uran. Det viktigaste målet blev att få inflytande över världens dominerande uranfyndighet i Belgiska Kongo vilket också skedde under åren 1944-45 då ett hemligt avtal slöts med den belgiska exilregeringen om kommersiellt utnyttjande av dessa. Under våren 1945 gjordes en undersökning av britterna som ändrade uppfattningen om betydelsen av de svenska urantillgångarna. Nu ansågs dessa (även om de var låghaltiga) som en av de tre-fyra viktigaste i världen, och de enda verkligt omfattande i västvärlden. Alla övriga kända urantillgångar samt det uran som redan hade producerats hade USA och Storbritannien kontroll över. Detta effektiva uransamarbete hade lett till att USA tillsammans med Storbritannien hade kontroll över 97 % av världens uranproduktion [11]. Sovjetunionen antogs enbart förfoga över små lager [12]. De stora tillgångar av uran som senare kom att utnyttjas av den sovjetiska krigsmakten i Centralasien, Östtyskland och Estland var vid denna tid inte upptäckta eller till fullo under inventering. Det var först strax efter kriget som de stora kartläggningarna av främst de centralasiatiska fyndigheterna påbörjades [13].

2.3 Historisk bakgrund: perioden 1945-1957

Den 6 augusti 1945 föll den första kärnvapenladdningen över Japan. Det var en uranbomb med namnet ”Little Boy” som detonerade i Hiroshima och som i slutet av året hade släckt ca 140 000 människoliv. Fem år senare hade siffran döda som en direkt följd av ”Little Boy” stigit till 200 000. Invånarantalet i Hiroshima var under den här tiden runt 400 000 [14]. Dessa siffror säger en hel del om den sprängkraft som världens första kärnvapenladdning besatt [15]. Tre dagar senare, den 9 augusti, föll den andra laddningen över Japan. Den här gången var det en plutoniumbomb som släpptes över staden Nagasaki. I december 1945 hade 70 000 dött i Nagasaki och efter ytterligare fem år var siffran uppe i 140 000 [16]. Det stod nu klart att ett vapen med en vidunderlig sprängkraft hade utvecklats. Nu gällde det att begränsa detta vidunderliga vapen från att sprida sig.

Den 25 april 1945, drygt tre månader innan de två kärnvapenladdningarna släpptes över Japan, rapporterade USA:s krigsminister, Henry Stimson, till president Truman att kontrollen över kärnvapnet ”will undoubtedly be a matter of the greatest difficulty and would involve such thoroughgoing rights of inspection and internal controls as we have never heretofore contemplated” [17].

De tre stater som slöt Québecavtalet och som tillsammans kontrollerade uran- och toriumproduktionen under kriget, tog också det första steget till att försöka hitta en global lösning på problemet. I november 1945 lanserade USA, Storbritannien och Kanada en gemensam strategi, *Three Nation Agreed Declaration on Atomic Energy*, vars andemening var att den nybildade överstatliga organisationen FN borde sköta övervakningen och tillsynen av den globala användningen av kärnenergin i syfte att enbart gynna en fredlig användning. Kort därefter hölls ett möte i Moskva där USA och Storbritannien föreslog skapandet av ett nytt organ, *United Nations Atomic Energy Commission (UNAEC)*, i linje med *Three Nation Agreed Declaration on Atomic Energy*. Sovjetunionen accepterade förslaget men hävdade att UNAEC:s arbete skulle underställas Säkerhetsrådet med dess inbyggda vetorätt vilket amerikanerna och britten gick med på. I januari 1946 bildades UNAEC och under de påföljande åren väcktes olika förslag på hur kärnvapnen skulle avskaffas samt hur den fredliga användningen skulle kunna säkerställas. Det var många gånger radikala förslag som maldes sönder av det begynnande kalla krigets spel mellan supermakterna. Ett exempel är den amerikanska kommissionen under ledning av utrikesministern Dean Acheson och David Lilenthal, som publicerade en rapport i mars 1946. I rapporten presenterades ett förslag om att avskaffa alla kärnvapen samt att skapa ett kontrollsystem för övervakning av kärnenergin fredliga användning. Förslaget vilade på den grundläggande förutsättningen att ett kontrollsystem av inspektioner och övervakning baserat på de enskilda nationerna inte var tillräckligt. Enbart ett internationellt organ skulle kunna klara av att upprätthålla ett sådant system. När väl denna internationella ordning fungerade effektivt, hävdas det i Acheson-Lilenthal-rapporten, skulle USA upphöra att tillverka kärnvapen och skrota de som redan fanns. Dessutom skulle Förenta staterna överlämna alla data och relevant information om forskning och utveckling till denna organisation [18].

Acheson-Lilenthal-rapportens tankar genomsyrade ett uppmärksammat förslag som presenterades för UNAEC av den amerikanska diplomaten, Bernard Baruch, den 13 juni 1946. Förslaget syftade till att skapa en organisation, *International Atomic Development Authority (IADA)*, vilken antingen skulle äga förfoganderätten eller utöva kontroll över alla världens kärnenergiaktiviteter. En första uppgift skulle bli att insamla och upprätthålla fullständig och exakt information om världens samlade innehav av uran och torium. Därefter skulle IADA ta kontroll över dessa kärnämnen. Baruch-planen hade till avsikt att skapa en internationell organisation med reell makt att hantera världens transaktioner av kärnämnen. Enligt förslaget skulle även IADA äga befogenhet att genomföra sanktioner mot stater som inte efterlevde denna internationella reglering. Organisationens beslut skulle inte kunna bli föremål för veto från någon stat. Sovjetunionen under Stalin ställde sig kallsinnig till detta förslag. I Stalins ögon innebar förslaget ett upphävande av vetorätten vilken ansågs som en av de viktigaste principerna i det system som de fyra segrarmakterna från kriget hade etablerat. Segrarmakterna – Frankrike, Sovjetunionen, Storbritannien och USA – var de stater som skulle upprätthålla ordningen i världen, inte en överstatlig organisation, enligt sovjetiskt sätt att se. Dessutom hade den sovjetiska statsledningen bestämt sig för att tillverka egna kärnvapen. Baruch-planen skulle helt enkelt omöjliggöra ett sovjetiskt

kärnvapenprogram. Även på amerikansk sida fanns det många som var skeptiska till realismen i Baruch-planen. Den sovjetiska utrikesministern Andrei Gromyko lade fram ett motförslag sex dagar senare. I det sovjetiska förslaget vände man på logiken i Baruch grundidé, som kan sammanfattas som ”först kontroll sedan avrustning” och hävdade att det vore bättre om man började med att förstöra alla kärnvapen (senast tre månader efter en internationell konvention ägt laga kraft) och först därefter skulle IADA kontrollera att avtalet efterlevdes. Ett år senare föreslog Sovjetunionen att en organisation skulle bildas liknande det arrangemang med rapportering och inspektioner som skapades 20 år senare i och med *Non-proliferation Treaty of Nuclear Weapons* (NPT). Det fanns dock en viktig skillnad i jämförelse med NPT: i det ryska förslaget var det USA:s och Sovjetunionens kärnenergiaktiviteter som skulle bli föremål för kontroll. Förenta Staterna och dess allierade fann förslaget otillräckligt och förkastade det. Överhuvudtaget ledde inte diskussionerna i UNAEC till någon framgång. Redan i slutet av 1949, efter 200 sessioner, gick UNAEC i graven [19].

I september samma år genomfördes det första sovjetiska kärnvapenprovet. Beskedet kom som en chock för amerikanska beslutsfattare. De hade antagit att det skulle ta runt 20 år för Sovjetunionen att bli världens andra kärnvapenstat [20]. Kalla kriget var nu ett faktum och de ansträngningar för att skapa en globalt förankrad kärnämneskontroll, som stöddes av de båda supermakterna, ansågs från och med nu och en bra tid framöver som rena och skära illusioner. Parallellt med de förslag om att skapa en global kontroll av kärnenergin, vidtog därför den amerikanska regeringen åtgärder för att utifrån ett rent nationellt intresseperspektiv begränsa tillgången för andra stater till kärnämnen och andra produkter vilka kunde användas i en kärnvapentillverkning. USA:s övergripande kärnenergiolitik under hela kalla kriget kan sammanfattas i följande huvudmål:

- Att öka USA:s militära styrka, att via olika samarbetsformer maximera amerikanska kärnvapenintressen och i motsvarande grad förhindra andra länders egna försök av skaffa nukleära massförstörelsevapen;
- Att förhindra spridning av kärnvapen;
- Att upprätthålla kontroll av försäljningen av kärnämnen och annan utrustning som kan användas för en kärnvapentillverkning;
- Att skapa ett utländskt beroende av USA på kärnenergiområdet. Genom att skapa detta beroende bedömdes USA kunna kontrollera andra staters utveckling av kärnenergin [21].

År 1946 kom den första lagstiftningen i syfte att hantera kärnenergianvändningen i USA, den så kallade McMahon-lagen. I samband med denna lag skapades *United States Atomic Energy Commission* (AEC) som hade till uppgift att se till att lagen efterlevdes i USA samt att kontrollera den amerikanska handeln på kärnenergiområdet. Huvudtanken bakom den amerikanska lagstiftningen var att den skulle stoppa exporten av strategiskt viktiga nukleära ämnen och produkter till andra stater. Dock skulle viss export tillåtas i de fall de ansågs gynna amerikanska vetenskapliga och militära intressen. Även samarbetsparterna Storbritannien och Kanada drabbades av den amerikanska exportkontrollen. Från USA:s sida hävdades det att innan en mer globalt fungerande hantering av kärnenergiprodukter kan uppnås, måste flödet stoppas helt. Under åren närmast efter kriget förhandlade de tre staterna med varandra och 1948 slöts ett nytt avtal, det så kallade *Modus Vivendi*, som avlöste det avtal som fungerat under kriget. Även om detta avtal ingicks, var den amerikanska hållningen restriktiv i praktiken. Det var enbart kontrollsamarbetet rörande uran och tritium som fungerade fullt ut [22]. Sammanfattningsvis kan man säga att under perioden fram till 1953 förbjöd amerikansk

lagstiftning export av klyvbart material och utrustning som kunde användas att producera kärnenergi i industriellt syfte. AEC gav licens för användning av dessa produkter inom USA och export till utlandet [23].

2.4 "Atoms for Peace"-programmet lanseras

I oktober 1952 blev Storbritannien världens tredje kärnvapenmakt. Det stod nu helt klart att USA:s monopolkontroll inte utgjorde det övergripande globala skyddet mot spridning av kärnvapen. Det fanns en stor rädsla för att flera stater ganska snart skulle kunna nå kärnvapenkapacitet eftersom både fakta om tillverkningstekniken och kärnämnen spred sig. Dessutom talade olika rapporter om den snabba tillväxten av den sovjetiska vapenarsenalen. I en amerikansk officiell rapport från 1952, *Candor Report*, sägs det att inom kort kan Sovjetunionen besitta kapaciteten att utplåna 100 av USA:s nyckelindustrier och därmed vinna tredje världskriget [24]. Ett globalt samarbete måste etableras för att uppnå en effektiv global kontroll. Det var mot den bakgrunden som president Eisenhower lanserade programmet "Atoms for Peace" i december 1953 som innebar en ny fas i den amerikanska kärnenergiolitiken. Grundidén gick ut på att kärnvapenmakterna skulle samarbeta och upprätta en gemensam kärnenergi bank av kärnämnen och teknologi som skulle kunna utnyttjas av andra stater för att utveckla den civila kärnenergin. År 1954 gjordes ett tillägg till McMahon Act vilket tillät USA att exportera även klyvbart material och reaktorer samt annan utrustning. Nu hade det första steget tagits mot att skapa en internationell kontroll av kärnenergin. Eisenhowers politik gick ut på att satsa på ett vidgat internationellt samarbete då det gällde forskning och utveckling av kärnkraften. Från och med nu tilläts överföring av atomresurser till andra länder - även i form av höganrikat uran och plutonium - om mottagarlandet förpliktade sig att inte använda det förvärvade nukleära materialet för kärnvapenframställning [25].

"Atoms for Peace"-programmet kan sägas ha varit en del av det kalla krigets spel mellan supermakterna. Till att börja med ställde sig Sovjetunionen skeptisk till de amerikanska planerna. Den sovjetiska utrikesministern Molotov menade att om Eisenhowers idé om att inrätta en global bank av fissilt material förverkligades, skulle risken för spridning av fissilt material öka. Ett nytt förslag togs fram där idén om en gemensam förvaringsbank som ägde och kontrollerade kärnämnen övergavs till förmån för ett koncept vilket innebar att den överstatliga organisationen skulle användas som kontrollstation (clearing house) för transaktioner av kärnämnen. I detta förslag skulle alltså inte det internationella organet äga eller förvara det fissila materialet utan agera som kontrollant. År 1955 påbörjade åtta stater ett arbete med att ta fram en konkret fördragstext för den internationella organisationen som två år senare skulle få namnet *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Staterna var USA, Storbritannien, Frankrike, Kanada, Australien, Sydafrika, Belgien och Portugal. De fem sista staterna hade tagits med eftersom de var viktiga uranproducenter vid den här tiden. När väl denna Eight Nation Negotiations Group hade enats om en gemensam fördragstext, skulle andra stater inbjudas att delta. Samma år påbörjade Sovjetunionen förhandlingar om ett deltagande i IAEA-organisationen [26], en situation som knappast hade varit möjlig om Stalin fortfarande suttit vid makten (Stalin dog 1953).

I augusti 1955 hölls en viktig konferens i Genève där riktlinjerna för detta jättelika samarbete drogs upp. Det var världens dittills största vetenskapliga konferens med över 1500 delegater och över 1000 presenterade vetenskapliga uppsatser. Det var också den första gången som sovjetiska forskare tilläts delta i en vetenskaplig konferens tillsammans med vetenskapsmän från västvärlden. Konferensen innebar att sekretessen på en rad områden togs bort. Frankrike gick så långt att man avslöjade teknologin bakom att upparbeta använt bränsle för att få fram plutonium. Efter denna konferens var det enbart tekniken att tillverka kärnvapen och anrikning av uran, som fortfarande var sekretessbelagda aktiviteter inom kärnenergiområdet [27].

Under hösten 1955 beslutade FN:s generalförsamling att åttastatsgruppen skulle expandera till en grupp bestående av tolv stater. I denna grupp ingick även Brasilien och Indien och därmed representerades även Tredje världen. Den 27 februari 1956 formulerade denna tolvnationsgrupp ett förslag till fördragstext som fortfarande idag i stort sett har samma form och innehåll. Fördragstexten innehåller två huvudsyften: 1) att främja globalt spridande av civil nukleär teknologi och kunskap och 2) att denna teknik och kunskap ska vara föremål för tillsyn och kontroll för att förhindra kärnvapenspridning (Artikel II). Dessa två generella syften kan i sin tur delas upp i fem huvudsakliga mål för IAEA och som uttrycks i de nuvarande artiklarna:

- Att främja forskning och utveckling och tillämpning av fredlig kärnenergi (Artikel III.A.1);
- Att tillhandahålla ämnen, service, utrustning och anläggningar för sådan forskning, utveckling och tillämpning av kärnenergi ”with due consideration for the needs of the underdeveloped areas of the world” (Article.III.A.2);
- Att utveckla utbyte av vetenskaplig och teknisk information (Artikel III.A.3);
- Att skapa och tillämpa safeguards i syfte att garantera att ingen nukleärt relaterad assistans eller tillgång som IAEA är associerad med används i militära syften (Artikel III.A.5);
- Att etablera och utveckla en säkerhetsstandard på det nukleära området (Nuclear safety standards, Artikel III.A.6) [28].

IAEA:s arbete och inriktning har både en politisk och ekonomisk karaktär och därför bestämdes det att organisationen underställs FN:s Generalförsamling. Och eftersom delar av IAEA:s verksamhet kan få säkerhetspolitiska konsekvenser beslutades det att även Säkerhetsrådet ska tillhandahållas rapporter rörande information inom ramen för dess kompetens. Detta arrangemang kom att innebära att Säkerhetsrådets medlemmar skulle kunna utöva vetorätten för att blockera sanktioner och åtgärder. Det var exakt detta förhållande som Baruchplanen försökte undvika men som Sovjetunionen vägrade att acceptera [29].

En så kallad Board of Governors inom IAEA:s organisationsstruktur skapades med stor exekutiv makt vilket innebär att FN:s generalförsamling enbart kan rekommendera vissa förslag till åtgärder. I praktiken bestämmer Board of Governors det mesta inom safeguards-området; att utforma och godkänna safeguards-system, utse inspektörer och godkänna safeguards-avtal. Board of Governors är också det organ som avgör om en stat inte anses efterleva de safeguards-skyldigheter som bestämts [30]. Om så anses vara fallet rapporterar Board of Governors till Säkerhetsrådet och Generalförsamlingen, vilket skedde år 1991 då Irak inte ansågs ha efterlevt det avtal om safeguards som fanns mellan den irakiska regeringen och IAEA.

Hur är detta viktiga organ sammansatt? Som det mesta som har att göra med internationellt samarbete, är det en fråga om politik som baseras på makt, historiska realiteter och förmågan att förhandla. Efter ett antal diskussioner i "twelve nation-group" om hur ett sådant organ skulle utformas där olika principer för deltagande var föremål för dispyter, kom Indien med ett förslag som vann genomslag. I förslaget, som också förverkligades, delades världen upp i åtta regioner: Nordamerika, Latinamerika, Västeuropa, Östeuropa, Afrika och Mellanöstern, Sydasien, Sydostasien och Stillahavsområdet och Fjärran östern. Oberoende av denna geografiska uppdelning skulle världens fem mest avancerade stater inom kärnenergitekniken (vilket också inkluderade produktionskapacitet av kärnämnen) utgöra en grupp. Även om staterna aldrig nämndes med namn i det indiska förslaget, var det helt klart att det handlade om USA, Sovjetunionen, Storbritannien, Frankrike och Kanada. Samtidigt skulle de närmast mest avancerade staterna utifrån samma kriterium utses men dessa skulle hämtas från de regioner som inte representerades av den första gruppen av fem toppstater. Det var underförstått att Brasilien skulle representera Latinamerika, Indien Sydasien, Sydafrika Afrika och Mellanöstern, Japan Fjärran östern och Australien Sydostasien och Stillahavsområdet. Belgien, Portugal, Tjeckoslovakien och Polen blev också medlemmar i organet med anledning av den höga grad av uranproduktion som ägde rum i dessa stater. En medlemsplats viktes för att bistå med teknisk hjälp och denna uppgift föll på de nordiska länderna, en representation som skulle rotera mellan Danmark, Finland, Norge och Sverige. Sedan dess har Board of Governors medlemsplatser växt till 35 stater, toppgruppen har utökats från fem till tio stater (inklusive Kina), och Mellanöstern har gått samman med den Sydasiatiska regionen [31]. Under perioden 2004-2007 ingick även Sverige i IAEA:s styrelse (Board of Governors). Nästa gång Sverige tar plats i styrelsen är hösten 2011.

Den stora knäckfrågan blev hur det globala safeguards-systemet skulle utformas och fungera i praktiken. I artikel II står det att organisationen ska förhindra kärnvapenspridning (Artikel II). Men hur skulle man kunna enas om ett system som tog hänsyn till medlemsstaternas olika intressen och som kunde accepteras av supermakterna USA och Sovjetunionen? De förslag som arbetades fram och blev föremål för diskussioner och förhandlingar hade som förebild Förenta staternas bilaterala samarbetsavtal på kärnenergiområdet som nu slöts på bred front inom ramen för "Atoms for Peace"-programmet.

Samma år som IAEA bildades skapades en annan viktig överstatlig organisation, nämligen Euratom. Rom-fördraget, som skulle reglera ett gemensamt Europas ekonomiska, politiska och sociala angelägenheter avsåg också att hantera kärnenergifrågor. En europeisk gemenskap ansågs behöva en gemensam kärnenergi politik och av den anledningen bildades Euratom. Med USA:s uppmuntran formulerades Rom-fördragets inspektionsbestämmelser på ett näst intill identiskt språk som IAEA-förordningarna (Statutes). Detta gäller även OECD-systemets kärnämneskontroll som hanterades av European Nuclear Energy Agency. De inspektionsrättigheter som IAEA har under Artikel XII i fördragstexten kan sammanfattas i fem punkter:

- Att undersöka och godkänna utformningen av anläggningar där kärnrelaterade verksamheter äger rum (men enbart för att kontrollera att dessa inte används för militära syften (Artikel XII.A.4);

- Kräver att verksamhetsdokumentation (operating records) upprätthålls (Artikel XII.A.3):
- Rätten att begära och motta rapporter (Artikel XII.A.3);
- Godkänna metoderna för att upparbeta använt bränsle (Artikel XII.A.5);
- Skicka inspektörer till anläggningar med vilka IAEA har safeguardsavtal. Inspektörerna ska i princip få tillgång till alla platser, alla data och personer vilka har en anknytning till nukleära aktiviteter som är underställda safeguards (Artikel XII.A) [32].

Inspektörerna måste rapportera alla fall av avvikelser från dessa safeguardskrav till IAEA:s generalsekreterare vilken i sin tur är skyldig att rapportera dessa till Board of Governors. Det sistnämnda organet kan i händelse av konstaterat fall av icke uppfyllelse av avtalet kräva av staten i fråga att fullgöra sina förpliktelser. Board of Governors kan också meddela denna vägran till efterlevnad till övriga medlemsstater och Säkerhetsrådet samt Generalförsamlingen. En viss sanktionsmöjlighet finns för IAEA (Artikel XII.C.), men i slutändan är det Säkerhetsrådet som får avgöra huruvida och i så fall på vad sätt mer omfattande sanktioner bör genomföras [33].

Efter segdragna förhandlingar hade nu 12 nationsgruppen lyckats få fram en fördragstext. Men det skulle dock dröja ända till 1970-talet, efter det att NPT-fördraget undertecknats och ratificerats, innan IAEA kom att ta över safeguards-ansvaret på bred front. En av anledningarna till att IAEA inte kom att ta över kärnämneskontrollen under denna tid, berodde på att organisationen inte kom att spela den starka rollen av kontrollstation för fissilt material som planerades från början. En andra anledning var att Sovjetunionen och vissa stater från tredje världen var motståndare till att IAEA skulle ha detta övergripande ansvar [34]. En tredje anledning var USA:s agerande under denna tid. Från amerikansk horisont ansågs inte IAEA ännu äga den stabilitet som behövdes för att hantera en övergripande kärnämneskontroll.

Samarbetsavtalen som slöts mellan USA respektive Sovjetunionen å den ena sidan och olika stater å den andra, var bilaterala och säkerhetskontrollen var en angelägenhet som reglerades och kontrollerades av de två parter som undertecknat överenskommelsen. Det första avtalet slöt USA med Turkiet 1955 och år 1959 hade Förenta staterna ingått samarbetsavtal med 42 stater. Avtalen löpte oftast på 5-10 år, i vissa fall 20-25 år. Sovjetunionen tog upp kampen med USA, i synnerhet i tredje världen, och 1968 hade 26 samarbetsavtal slutits.

De flesta av de avtal som ingåtts av USA hade formulerats på så sätt att kärnämneskontrollen i framtiden kunde flyttas över till IAEA, om så blev önskvärt. Sovjetunionen krävde varken bilateral kärnämneskontroll eller att IAEA senare skulle överta safeguardsansvaret. Istället lovade samarbetsstaten att enbart använda den mottagna hjälpen i fredliga syften samt att ge tillbaka kärnämnen till Sovjetunionen när de använts [35].

2.5 Historisk bakgrund: perioden 1957-1990

De första fem åren i IAEA:s historia var fyllda av ideologiska diskussioner och kantade av praktiska problem även om mycket gjordes för att utveckla kompetenser och

kunskaper för att leva upp till de mål som stipulerats. Men IAEA och dess medlemsstater lyckades inte under denna första tid skapa ett övergripande fungerande system för att förhindra spridningen av kärnvapen. Under 1950- och 1960-talet hade också flera stater planer på att skaffa sig kärnvapenkapacitet. Exempelvis hade stater som Sverige, Schweiz, Spanien och Frankrike och Kina påbörjat forskning i syfte att tillverka nukleära massförstörelsevapen. Mot den bakgrunden hävdade president Kennedy i början av 1960-talet att det fanns en uppenbar risk att världen kunde rymma 15-25 kärnvapenstater om något decennium om inget allvarligt gjordes för att förhindra denna utveckling. Visst fanns det idéer och visst gjordes vissa framsteg för att förhindra denna utveckling. Irland hade redan 1958 hävdats att FN:s Generalförsamling borde enas om ett avtal som förhindrade "wider dissemination of nuclear weapons". Förslaget blev aldrig föremål för omröstning vid den tiden men det inspirerade till fortsatta ansträngningar inom FN och IAEA.

I december 1961 antog nämligen Generalförsamlingen i FN en resolution som vilade just på ett irländskt förslag om att påbörja förhandlingar om ett fördrag mot spridning av kärnvapen. Förhandlingar tog vid och olika fördragstexter diskuterades och till slut blev det ett avtal som stater kunde börja underteckna. Den 14 februari 1967 undertecknade de latinamerikanska staterna ett icke spridningsavtal – the Treaty of Tlatelolco, sedermera Treaty for the Prohibition of Nuclear Weapons in Latin America – och utgjorde därmed ett viktigt steg mot det övergripande avtalet om icke-spridning som undertecknades 1968 [36]. The Non-Proliferation Treaty (NPT) trädde i kraft år 1970 och år 2007 har 189 stater ratificerat det.

NPT kan sägas äga tre syften:

- att förhindra spridning av kärnvapen;
- att verka för kärnvapenedrustning;
- att befärma fredlig användning av kärnenergin

Fördraget består av elva artiklar. Artikel I förbjuder kärnvapenstater att överföra kärnvapen och kärnladdningar till annan part. Dessutom förbjuds kärnvapenstater att bistå, uppmuntra eller förmå icke-kärnvapenstater att nå kärnvapenkapacitet. NPT förbjuder vidare, enligt Artikel II, gruppen icke-kärnvapenstater från att mottaga eller försöka producera egna kärnvapen eller kärnladdningar. I enlighet med artikel 3 har den sistnämnda gruppen även förbundit sig att teckna ett safeguards-avtal med IAEA om kontroll och övervakning av kärnämnen i de fall staten i fråga hanterar nukleärt material och utrustning som omfattas av IAEA:s riktlinjer. Safeguards-avtalet har till konsekvens att IAEA har rätt att kontrollera att staternas innehav av kärnämnen stämmer överens med vad länderna har deklarerat.

Sverige, för att ta ett exempel, är medlem i IAEA och har undertecknat och ratificerat både NPT och safeguards-avtalet. Det innebär att staten Sverige har förbundit sig att inte tillverka eller medverka till att andra stater tillverkar kärnvapen. IAEA utför inspektioner på svenska anläggningar för att kontrollera att avtalet efterföljs och den svenska statliga myndigheten Statens kärnkraftinspektion (SKI) är den nationella organisation som är skapad för att ansvara för att avtalen efterlevs. SKI:s verksamhet regleras av svensk lagstiftning och de regelsystem som tagits fram mot bakgrund av de krav som IAEA ställer och vad de nationella behoven kräver. Sverige är också ett EU-land sedan 1995 vilket innebär att unionen övervakar och kontrollerar de svenska kärntekniska aktiviteterna. Kommissionen sköter denna verksamhet genom Euratom Safeguards. Kommissionen å sin sida har ett avtal (INFCIRC/193) och en

överenskommelse (New Partnership Approach) med IAEA vilket innebär att dessa två överstatliga organisationer samarbetar och i vissa fall förekommer en samkörning dem emellan för att undvika dubbelarbeten. De regler och föreskrifter som ytterst styr Sveriges och andra EU-staters tillsyn och kontroll regleras av EU-fördraget och NPT-fördraget samt tillhörande safeguards-avtal.

Artikel IV handlar om rätten för stater, som har undertecknat NPT-fördraget, att förfoga över och använda kärnämnen i syfte att bedriva forskning eller producera kärnenergi för civilt bruk. NPT har som det uttrycks i punkt 3 ovan som uppgift att befrämja en fredlig utveckling av kärnenergin för de stater som är anslutna till NPT-regimen. Det är exakt den rätten som Iran idag hävdar när omvärlden påstår att staten Iran skaffar sig nukleär kapacitet för att skaffa sig kärnvapen. Eftersom civil och militär utveckling av kärnenergin till stora delar sammanfaller, menar vissa experter och forskare med kännedom på området, att Iran utnyttjar NPT-fördraget för att kunna köpa och på annat sätt förvärva kärnämnen och utrustning för att tillverka kärnvapen. NPT-fördraget bygger trots allt på principen att de parter som undertecknat och ratificerat detsamma också menar vad de lovat även om en kontroll- och övervakningsverksamhet är inbyggt i systemet (se vidare kapitel 6 om hur safeguards fungerar i praktiken).

Artikel VI handlar om en omstridd förpliktelse, nämligen kärnvapenstaternas löfte om att medverka till kärnvapenbegränsning och kärnvapenavrustning. Det har bestämts att konferenser ska hållas vart femte år i syfte att utvärdera och utveckla NPT-systemet. Dessa konferenser skulle förutom att beakta förslag till åtgärder för att minska kärnvapenarsenalerna i världen och kärnvapenedrustning även tjäna syftet att bistå icke-vapenstater med att utveckla civil kärnenergi. Exempelvis handlade 1995 års konferens om NPT-fördragets löfte om "cease the nuclear arms race" vilket även inkluderade förbud mot kärnvapenprov, förhandlingar om reduktion av kärnvapen och nukleär nedrustning [35]. 1995 års konferens väckte förhoppningar om att äntligen skulle kärnvapenmakterna ta sitt ansvar och ta artikel VI på allvar och verkligen sträva efter en reell kärnvapenedrustning. Vid den senaste konferensen 2005 togs överhuvudtaget inte nedrustningsaspekten upp, vilket har lett till en hel del besvikelser och skepsis över NPT-regimens framtid överhuvudtaget. Vissa kritiker har exempelvis hävdats att om inte kärnvapenmakterna gör allvar av artikel VI, kan man inte räkna med att stater som Nordkorea och Iran kommer att ge upp sina kärnvapenplaner.

2.6 Problem på vägen - Indien och Israel

År 1974 genomförde Indien sitt första kärnvapenprov. Indien hade visserligen inte undertecknat NPT-fördraget (och har fortfarande inte gjort det), men ändå ansågs denna händelse som ett stort bakslag för icke-spridningsavtalets intentioner. Plutonet i den indiska kärnladdningen härrörde nämligen från en s. k. CIRUS reaktor som Kanada levererat. Det var första gången som ett kärnvapenprov hade använt kärnämnen som producerats i en reaktor som, enligt det indisk-kanadensiska avtalet, enbart skulle få användas i fredliga syften. Kanada protesterade men förgäves. Flera stater ifrågasatte nu icke-spridningsregimens effektivitet. Exempelvis USA pekade på NPT:s Artikel III.2 som avser att hantera exportkontrollen i bred betydelse, och menade att detta inte fungerar som det var tänkt. Det indiska kärnvapenprovet fick också till konsekvens att en ny exportregim etablerades, Nuclear Suppliers' Group (NSG), 1977 som avsåg att stärka exportkontrollen (om NSG, se kapitel 4).

Ett annat problem för NPT-regimen infann sig den 7 juni 1981 då Israel bombade och förstörde en testreaktor i Irak, Tumuluz I, som Frankrike levererat. Israel misstänkte att reaktorn användes för att ta fram kärnämnen av vapenkvalitet. Irak hade undertecknat och ratificerat NPT och den bombade anläggningen stod under IAEA safeguards. Säkerhetsrådet i FN beslutade den 8 juni att Israel måste betala skadestånd till Irak samt att den israeliska staten måste acceptera IAEA safeguards av alla sina nukleära aktiviteter. Det sistnämnda kravet måste ses mot bakgrund av att allt fler stater och forskare på det nukleära området började anta att Israel hade skaffat sig kärnvapen. Israel har aldrig erkänt detta, men de flesta experter på området är eniga om att landet har kärnvapenkapacitet. Exempelvis har den i USA verksamma israeliska statsvetaren Anver Cohen i en bok hävdad att Israel har ca 100 s. k. taktiska kärnvapen. Landet har heller inte undertecknat NPT-fördraget [38].

I september 1981 röstade IAEA:s generalkonferens om att säga upp all teknisk assistans till Israel. Det bestämdes vidare att om inte Israel fogade sig i Säkerhetsrådets beslut, skulle landet uteslutas ur IAEA. Israel fick ett år på sig att efterleva detta beslut. Det visade sig ganska snart att Israel inte skulle gå med på dessa villkor. USA, som är den störste bidragsgivaren till IAEA, hotade att lämna IAEA om Israel uteslöts. Efter en hel del diplomatiska turer lyckades den nyutträdde svenske generalsekreteraren Hans Blix med konststycket att behålla både Israel och USA i IAEA [39].

2.7 Perioden 1991-2006

NPT-systemets ikraftträdande ansågs som en stor framgång i de globala ansträngningarna att förhindra spridning av kärnvapen. En rad stater som tidigare hade planer på att skaffa kärnvapenkapacitet – som Sverige, Schweiz, Spanien och Västtyskland – hade nu undertecknat och ratificerat NPT-avtalet. Visserligen hade Indien och förmodligen Israel skaffat sig nukleära massförstörelsevapen, men de hade inte anslutit sig till NPT-fördraget. De betraktades som de få undantagen i en för övrigt väl fungerande NPT-regim. En överhängande del av världens stater hade ju faktiskt undertecknat fördraget. Men när Irak, som undertecknat NPT och dessutom hade ett safeguards-avtal i kraft, lyckades lura IAEA stod det klart att kontrollsystemet inte fungerade fullt ut. I efterspelet av Gulfkriget 1991 fann nämligen FN-inspektörerna att Irak hade byggt anläggningar för en hemlig kärnvapentillverkning. Det dittills fungerande systemet byggde mycket på ett förtroende mellan de medverkande staterna och IAEA i så måtto att det var enbart de kärnämnen som staterna hade deklarerat som innehav som fick vara föremål för inspektioner. Om en stat sysslade med en hemlig kärnvapentillverkning utanför de områden som fick vara föremål för inspektionerna (dvs. deklarerade), hade IAEA mycket svårt att avslöja detta.

Upptäckterna i Irak ledde till att FN:s säkerhetsråd klargjorde att spridning av kärnvapen utgjorde ett hot mot internationell fred och säkerhet och aviserade åtgärder på grundval av IAEA:s rapporter om överträdelser. Generalsekreteraren Hans Blix talade om att skapa ett nytt safeguards-system med ”more teeth”. I februari 1992 påbörjades arbetet med att utveckla safeguards-systemet. Året därpå vägrade Nordkorea IAEA att utföra nödvändiga inspektioner. Vissa undersökningar gav vid handen att de deklARATIONER som Nordkorea hade lämnat till IAEA inte stämde. Samma år tillkännagav Sydafrika, som också undertecknat NPT-fördraget, att landet hade haft kärnvapen men

att dessa hade avvecklats. Dessa händelser aktualiserade behovet av en förstärkning av hela NPT-regimen. Reformarbetet följde två huvudlinjer: (1) att ta fram ett system som möjliggjorde inspektioner med kort eller ingen varsel ("short-notice" eller "no-notice"); (2) möjligheten att utföra olika former av tester i de områden som omfattas av safeguards (s.k. "environmental sampling") för att kontrollera att anläggningarna enbart används för deklarerade aktiviteter. Samtidigt ombads alla medlemsstater att till IAEA inkomma med "design information" rörande nya och modifierade anläggningar för att kunna förhindra hemliga avledningar av kärnämnen [40]. Slutligen skulle denna arbetsgrupp, bestående av ett urval av medlemsstater, utveckla en tilläggsmodell för hur detta förstärkta safeguards-system skulle kunna utformas. I maj 1997 godkände IAEA:s styrelse denna modell (Model Additional Protocol), under beteckningen INFCIRC/540, som utgör ett tillägg till modellavtalet INFCIRC/153. Additional Protocol, eller tilläggsprotokollet, innebär en rad vidgade skyldigheter (för staten ifråga) och rättigheter (för IAEA) som möjliggör en ökad insyn (complementary access) och tillgång till information.

Kapitel I.3 Icke-spridningsregimer

Vid sidan av IAEA finns det även andra organisationer som har till sitt syfte att förhindra kärnvapenspridning. Var och en av dessa organisationer är specialiserade på vissa aspekter av icke-spridningsarbetet. Huvudsakligen kan man tala om fem områden inom nukleär icke-spridning: Kärnämneskontroll, exportkontroll, fysisk skydd, transportsäkerhet och det numera alltmer viktiga arbetet med att förhindra den olaga hanteringen av radioaktivt material, så kallade illicit trafficking. Dessa områden utgör en mängd olika samarbetsarrangemang i form av avtal, internationella konventioner, regleringar, säkerhetsnormer, inspektionsrutiner, beprövade vetenskapliga metoder, övervakningssystem etc. som har det gemensamma syftet att förhindra spridning av kärnämnen och utrustning som kan användas till kärnvapenproduktion. En typ av mellanstatligt och internationellt samarbete utgörs av en speciell form av samarbete som går under beteckningen *internationella regimer*. En internationell regim kännetecknas av att flera stater med sammanfallande intressen kommer överens om gemensamma riktlinjer på ett specifikt område i syfte att gemensamma mål kan uppnås. Regimens deltagare delar samma värderingar inom området och eftersträvar att samma normer ska råda hos de deltagande länderna. I detta kompendium ligger tyngdpunkten på kärnämneskontrollen (safeguards) med tanke på dess centrala betydelse för hela det nukleära icke-spridningsområdet, men även de andra delarna kommer att behandlas om än i kortare ordalag. Men innan icke-spridningsarbetets fem områden presenteras och diskuteras, måste vi fördjupa vår kunskap om hur mellanstatligt och internationellt samarbete kan motiveras och hur internationella regimer fungerar i teorin. Alla stater är nämligen inte helt överens om vad som bör göras då olika typer av kontrollsystem ska skapas eller vilka syften och mål som bör ligga till grund då stater går samman i olika former av internationellt samarbete.

3.1 Internationella regimer – olika skolbildningars syn

Hur mycket kan och bör stater lita på varandra? Förutsättningen för att ett internationellt samarbete ska fungera är att de berörda parterna, stater och organisationer, faktiskt litar på varandra och gör vad de lovat att göra. *Pacta sunt veranda* – avtal ska hållas – som den romerska rättens klassiska formulering lyder är den första principen som måste gälla om ett samarbete ska kunna fungera. De berörda parterna måste efterleva vad de lovat. Självklart kan det tyckas. Och självklart är det nog när det gäller att sluta samarbetsavtal av mer fredlig och mindre politisk kontroversiell karaktär, vare sig det rör sig om kommersiella eller rent infrastrukturella frågor. De flesta stater har kommit överens om vissa internationella spelregler för att exempelvis ett brev ska kunna skickas från land x till land y. Det fungerar som bekant tämligen bra, även om vi vet att brev inte alltid kommer fram. Men när det gäller mer livsavgörande saker, som säkerhet och staters överlevnad, går åsikterna isär huruvida det är klokt att lita på andra länders utfästelser och ge sig in i ett omfattande samarbete. Stater och statsledningar har många gånger olika syn på samarbetets möjligheter.

Inom ämnet Internationella Relationer finns det olika skolbildningar som utifrån olika perspektiv studerar samarbetets möjligheter i det internationella systemet. Den *realistiska* skolbildningen, som i mångt och mycket dominerar den säkerhetspolitiska forskningen, ställer sig mycket kritisk till ett vidgat samarbete på säkerhetspolitikens område. Teoretiker med det realistiska perspektivet ser en stor fara i att ge ifrån sig av sitt oberoende i syfte att vinna säkerhet tillsammans med andra stater i en allians eller inom ramen för ett överstatligt system. Orsaken till detta är, enligt realisterna, att det inte går att lita helt på andra stater när det gäller allvarliga säkerhetsfrågor där nationers överlevnad står på spel. Regeringschefer kan bluffa, de säger en sak vid ett tillfälle men menar något helt annat när det verkligen gäller. De kanske överdriver vissa aspekter av sin försvarsförmåga för att vinna fördelar i förhandlingar i syfte att skapa en säkerhetsallians, men när väl en militär konflikt står för dörren kan de svika sina löften. Dessutom kan statsledningar bytas ut vilket ökar risken för att de ingångna militära samarbetsavtalen med andra stater bryts. Detta problem med att man inte riktigt kan förutse vad motparter har för verkliga avsikter eller hur de kan tänkas komma reagera i en viss situation, har av vissa forskare kallats *säkerhetsdilemmat* [41]. Om en grannstat skaffar sig ett starkare flygvapen, görs det i självförsvarssyfte eller förbereder staten i fråga en militär invasion? Det är svårt, för att inte säga omöjligt, att avgöra skulle de flesta realister påstå. Stater har ofta en tendens att tolka andra staters intentioner i negativa termer och ofta blir resultatet att en nations militära förberedelser leder till grannländernas upprustning. Enligt den realistiska verklighetsuppfattningen är det internationella umgänget *anarkiskt* till sin karaktär. Det finns ingen och kommer inte att finnas en i reell mening fungerande överstatlighet, som kan agera både som domare och polis i det internationella umgänget. Även om organisationer som FN och EU existerar, saknar de den politiska och militära makten att genomdriva åtgärder som behövs för att skapa en fungerande internationell ordning.

Men med vad och hur kan en fungerande internationell säkerhet skapas enligt realisterna? Även om det finns olika typer av realism, vilka betonar möjligheterna till mellanstatligt samarbete inom säkerhetspolitikens område på skilda sätt, kan man tala om tre huvudelement som genomsyrar alla riktningar. För det första är det *staten* som är den centrala enheten, aktören, som agerar och uppbär makt och inflytande i det internationella systemet. Denna uppgift klarar inte överstatliga organisationer, utifrån

det realistiska synsättet. Staten upprätthåller ordningen inåt och utåt och om staten inte kan skapa säkerhet för dess invånare finns det heller ingen fungerande och stabil samhällsordning. Säkerheten är nämligen den primära uppgiften för att kunna bygga ett fungerande samhälle, hävdar realisterna. För det andra är principen om *överlevnad* en gemensam ingrediens i den realistiska skolbildningen. Staters främsta uppgift är att överleva i den anarkistiska konkurrensen nationer emellan i det internationella systemet. Dock skiljer sig olika realister åt huruvida denna strävan efter överlevnad också innehåller en drivkraft att maximera sin makt på den internationella arenan. *Offensiva realister* menar att en sådan drivkraft finns immanent hos alla stater och det yttersta målet är att nå *hegemonisk* (suveränt dominerande ställning) makt i det internationella systemet [42]. Alla stater kan naturligtvis inte nå hegemonisk ställning. Konkurrensen mellan stater på den internationella arenan, där de agerar gentemot varandra utifrån det inflytande de har i form av militära, politiska och ekonomiska resurser, skapar en hierarkisk ordning. Lite förenklat kan man säga att stater får den ställning de förtjänar i det internationella systemet, enligt de offensiva realisternas sätt att se. *Defensiva realister* å andra sidan hävdar att stater enbart strävar efter makt för att tillfredsställa behovet av säkerhet [43]. Det tredje huvudelementet i realismens grundsyn är principen om *självhjälp*. Säkerhetsdilemmat leder till misströstan inför möjligheterna att vidga samarbetet med andra stater och i slutändan måste varje stat lita på sin egen förmåga att garantera sin säkerhet. Medlen är makt och inflytande och det nationella egenintresset är alltid det grundläggande motivet bakom regeringars och staters ageranden. Det är inte idealistiska motiv, som exempelvis för att skydda mänskliga rättigheter eller att införa demokrati, som utgör den yttersta drivkraften till utrikespolitiskt och säkerhetspolitiskt agerande även om stater i modern tid många gånger motiverar sina handlingar med sådana termer. Och när någon part vinner makt och inflytande betyder det alltid att det sker på en annan parts bekostnad. Stater konkurrerar mot varandra i ett spel som baseras på principen relativa vinster; ett samarbete kan med andra ord inte generera två eller flera vinnare samtidigt. Visserligen finns det realister, de s. k. *neorealisterna*, som hävdar att samarbete kan löna sig, inom ramen för allianser eller internationella regimer (se längre ned). Men det finns dock gränser för hur långt man bör gå i ett samarbete. De tre ovan beskrivna principerna i det realistiska tänkandet får aldrig överges, nämligen *staten* som den centrala aktören, och principen om *överlevnad* och principen om *självhjälp*.

Inom den *liberala* skolbildningen är man däremot mer positiv till samarbetets möjligheter. I själva verket ser man utifrån olika perspektiv internationellt samarbete som lösningen på enskilda staters och regioners säkerhetsproblem. Genom att etablera gemensamma värderingar och normer kan olika former av spelregler skapas för ett fungerande och omfattande mellanstatligt och överstatligt samarbete. Kalla krigets slut och sovjetkommunismens sammanbrott har fått till konsekvens att förutsättningarna för ett vidgat samarbete aldrig varit bättre i syfte att skapa internationella regimer och/eller kollektiva säkerhetssystem, hävdar anhängarna av det liberala synsättet. Det finns naturligtvis flera liberala tolkningar men huvudsakligen kan man tala om tre riktningar.

Den första riktningen, *liberal internationalism*, pekar på möjligheten att utvidga det sociala kontraktet som råder mellan individer i form av lagar och normer *inom* staten till att även gälla *mellan* stater. På samma sätt som en fungerande rättsstat med dess civila samhälle, demokratiska institutioner, polisväsende, domstolar och andra myndigheter skapar ordning för sina medborgare, kan en reglering av det internationella umgänget skapa säkerhet mellan stater. Kärnan i denna liberala syn är att det finns en naturlig ordning som leder till frihet och säkerhet om rätt betingelser får råda mellan människor

och stater. Om alltfler stater bestämmer sig för att skapa gemensamma spelregler i form av ett system av legala rättigheter och skyldigheter har en säkrare värld vunnits. I förlängningen kan ett världssamfund växa fram där folkrättsliga principer och mellanstatliga avtal och konventioner reglerar det internationella systemet. Den liberala internationalismen kan sägas ha sprungit fram ur upplysningstraditionen och dess höga tilltro till att med förnuftets hjälp ställa saker och ting till rätta i den mänskliga världen. I det här fallet handlar det om att reglera mellanstatliga förhållandena så att fred och samarbete kan upprätthållas. Den tyske filosofen Immanuel Kant med sin skrift "Den eviga freden" kan sägas vara en av denna idétraditions förgrundsgestalter. I denna skrift talar Kant om hur det laglösa barbariet i de inter-nationella relationerna kan övervinnas om en ny tid med upplysta, republikanska, ledare, konstitutionalism och medborgerliga och andra rättigheter får bli ledstjärnor i nationers styrelseskick.

Den *liberala internationalismen* fick ett uppsving i den säkerhetspolitiska debatten strax efter första världskriget då en ny kollektiv fredsordning skulle skapas vilket resulterade i grundandet av Nationernas förbund (NF). Realister har med skilda utgångspunkter kritiserat denna, som man menat, naiva tilltro till en naturlig ordning och förnuftets möjligheter att bringa fred och säkerhet mellan nationer. De har pekat på 1900-talets alla våldsamma konflikter med två världskrig och man kan väl säga utan att överdriva att den liberala internationalismen tappade inflytande i den säkerhetspolitiska debatten redan under 1930-talet i och med Hitlers maktexpansion vilken trasade sönder det kollektiva säkerhetsarrangemanget kring NF. Den realistiska skolbildningen har sedan dess i mångt och mycket dominerat både staters agerande och den akademiska debatten. Dock fick de mer liberala tolkningarna ny vind i seglen efter Sovjetkommunismens fredliga upplösning. Liberala debattörer hävdade att sovjetkommunismens fredliga försvinnande visade att den realistiska grunduppfattningen om militära konflikters regelbundna uppträdanden inte stämmer. Dessutom pekade liberala debattörer och forskare på den långa freden i Västeuropa som också tycktes strida mot den realistiska synen på militära konflikters naturliga del av det mellanstatliga umgänget. Överhuvudtaget kan man tala om ett uppsving för de liberala teorierna efter det att kalla krigets bipolära värld försvann i början av 1990-talet. Nya tolkningar av liberala idéer tog allt större plats i den säkerhetspolitiska debatten.

På senare tid har en teoribildning som verkar inom den *liberala internationalismens* tradition vunnit stort inflytande i den internationella debatten, nämligen "democratic peace thesis" (demokratisk fred argumentet) eller "separate peace" som den också har kallats. I denna forskning har statsvetare och historiker undersökt huruvida det finns en koppling mellan konfliktbenägenhet och samhällestyp [44]. Och enligt de studier som gjorts inom denna forskningsinriktning finns det en solklar koppling som kan sammanfattas i två punkter:

- Demokratiska stater går inte i krig med varandra
- Ju mindre demokratisk en regim är, desto allvarligare är dess våld mot andra stater.

Företrädarna för denna teoribildning har ett självklart svar på hur en säkrare och fredligare värld kan skapas: att öka antalet demokratiska stater i världen. "Demokratisk fred argumentet" har utmanat till debatt och flera kritiker har lyft fram andra tänkbara orsaker till den "långa freden". Exempelvis har realister hävdade att det snarare är maktbalans och kärnvapen som är orsaken till att inget krig har utbrutit i Europa (om man bortser från kriget i forna Jugoslavien) sedan 1945.

I den *liberala idealismen* ställer man sig skeptisk till idén om att det finns en naturlig ordning i form av principer och normer som kan överflyttas från den nationella till internationella nivån. Självklart är det önskvärt att en fredlig ordning existerar i det internationella systemet, men en sådan ordning måste skapas och bygga på historiska erfarenheter. Den amerikanske presidenten Woodrow Wilsons idéer om att skapa ett kollektivt säkerhetssystem som presenterades i kongressen 1918, är det mest kända exemplet på att etablera en sådan ordning. Wilsons idé blev förverkligad i och med att NF bildades 1920. NF utgick från principen att en nations säkerhet var en angelägenhet för alla deltagare och att alla medlemsstater ställde upp på ett kollektivt sanktionssystem. Det kollektiva arrangemanget blev ett stort misslyckande vilket visade sig i att NF inte kunde förhindra Nazitysklands expansion under 1930-talet. Organisationen föll också samman i samband med det tyska intåget i Rhendalen 1936. Ett flertal stater trädde ut ur NF som en reaktion på att den kollektiva säkerheten inte fungerade. En modern tolkning av liberal internationalism utgör David Helds bok *Democracy and the Global Order* i vilken det pläderas för skapandet av regionala parlament och ett reformerat FN med större befogenheter som ett sätt att skapa en fungerande överstatlig ordning [45].

En tredje huvudfåra i den liberala skolbildningen kallas *Liberal institutionalism*, en riktning som kan sägas ha växt fram som en reaktion på idealismens misslyckande med att skapa ett kraftfullt NF. Att bygga en internationell ordning på stater som ansluter sig till ett kollektivt säkerhetssystem är inte tillräckligt, hävdar anhängarna till den *liberala institutionalismen*. Stater behöver dessutom integreras med varandra på flera plan, ekonomiskt, politiskt och kulturellt, i syfte att skapa interberoende. Samarbeta på ett område leder ofta till samarbeten på andra områden och ju närmare stater kan knytas till varandra desto mindre är risken att de går ut i krig med varandra, lyder argumentationen. I denna riktning accepterar man realisternas syn på ett anarkiskt internationellt system, men det innebär inte att samarbete inte lönar sig. I själva verket kan samarbete minska den anarkiska karaktären i det internationella systemet och skapa ömsesidigt beroende med gemensamma värderingar och normer vilket möjliggör genomförandet av sanktioner mot stater som bryter mot dessa gemensamma spelregler. Liberal internationalism är också den skolbildning som förknippas starkast med internationella regimer.

Vad är en internationell regim mer specifikt? I bred mening är det en ny form av samarbete som har växt fram på mellanstatlig och överstatlig nivå sedan andra världskriget. Syftet med dessa internationella kontrollregimer är att utifrån sammanfallande intressen, i en eller flera frågor, skapa och upprätthålla ett gemensamt system på regional eller global nivå som karaktäriseras av gemensamma normer, regler och värderingar. Dessa system upprätthålls av stater genom olika former av legala eller icke-legala överenskommelser. På det nukleära icke-spridningsområdet har vi NPT-fördraget och olika typer av exportkontrollregimer som i delar eller tillsammans utgör etablerade system med syftet att förhindra spridning av kärnvapen.

Det finns av naturliga skäl olika definitioner av vad en internationell regim är. En definition, som tar sin avstamp i en kritik av *neorealismens* syn på internationellt samarbete, betonar staters och regimers självständighet att verka bortom och oberoende av en stormakts och inflytande, en s.k. hegemon:

”could exert an autonomous influence on the actions of states – even in the absence of a hegemon” [46].

Enligt neorealistisk teoribildning kan nämligen enbart en internationell regim fungera om en militärt stark stat, i form av en hegemonisk kraft, ingår i systemet. Det måste finnas en stark stat som kan garantera att sanktioner i olika former kan utverkas om någon part bryter mot regimens normer och regler.

Den kanske mest använda definitionen av en internationell regim är Stephan Krasners:

”Set of implicit principles, norms, rules, and decision making procedures around which actor’s expectations converge in a given area of international relations” [47].

Denna definition har också blivit kritiserad för att vara för vid och vag [48] samt att den bara kan äga berättigande när det handlar om ekonomiskt samarbete. Ett av neorealisternas argument mot den liberala institutionalismen är att dess anhängare drar ett likhetstecken mellan ett samarbete på det ekonomiska området och ett samarbete inom säkerhetspolitiken. Det är ett misstag, enligt neorealismen, av det enkla skälet att stater inte tar stora risker när det handlar om samhällets och nationers överlevnad. Om den internationella regimen utgörs av stater som mer eller mindre saknar en stark koppling till en stormakts garantier att agera mot nationer som bryter mot de gemensamma värderingarna, står sig detta system slätt i händelse av inre eller yttre tryck, hävdar neorealister.

Även om neorealister och liberala institutionalister skiljer sig åt i flera avseenden, kan man tala om att de är överens om följande principer gäller för en internationell regim:

- Stater agerar i ett anarkiskt system;
- Stater är rationella och enhetliga aktörer;
- Stater är de enheter som ansvarar för etablerandet av regimer;
- Regimer baseras på samarbete i det internationella systemet;
- Regimer gynnar internationell ordning [49].

I forskningen kan man urskilja tre förklaringar till att stater etablerar och upprätthåller internationella regimer [50]. Den maktbaserade förklaringen lyfts fram av *neorealister*. Dessa hävdar att den huvudsakliga drivkraften till att internationella regimer bildas och upprätthålls är när stater inte mäktar med att agera ensamma och oberoende och måste av den anledningen samarbeta med andra nationer. Regimen skapas i syfte att fördela och prioritera makt mellan deltagarstaterna för att uppnå de mål som regimen har definierat. Eftersom det inte kan finnas en i praktiken fungerande överstatlig auktoritet som kan reglera alla staters mellanhavanden i det internationella systemet, enligt *neorealisterna*, måste staterna själva hantera och ansvara för detta. Staterna går därför samman i internationella regimer för att uppnå de mål som formuleras av regimen i fråga. Även om det finns viss bäring för denna hypotes, har senare forskning kommit fram till att den maktbaserade förklaringsmodellen spelar allt mindre roll i dagens värld [51].

I den kunskapsbaserade förklaringen hävdar man att det varken är strävan efter makt eller gemensamma intressen som är drivkrafterna till att internationella regimer bildas.

Orsaken bör snarare sökas i en process där stater förhandlar med varandra över tid där såväl särskiljande som sammanfallande intressen påverkar utgången. Med tiden etableras olika normer och värderingar men huvuddrivkraften bakom denna process bygger på de idéer om samarbete och kunskaper som vuxit fram i arbetet med att skapa en gemensam internationell regim [52].

Den intressebaserade förklaringen framhålls av *liberala institutionalister*. Stater sluter sig samman i en regim beroende på att de delar gemensamma normer och värderingar. De har sammanfallande intressen av att upprätthålla regimens gemensamma spelregler. Därmed skapar kontrollregimen ett regelsystem som får till konsekvens att vissa sorters beteenden premieras. Man kan säga att det finns en lösning på säkerhetsdilemmat som realisterna betonar, och denna lösning består i att etablera och upprätthålla internationella regimer. En internationell regim utgör i det perspektivet ett gemensamt, lång-siktigt samarbete som leder till en autonom påverkan på enskilda staters handlande. Den forskning som gjorts om internationella regimers validitet verkar stärka den intressebaserade förklaringen som den mest berättigande [53].

Hur förklaras då denna process som enligt den *liberala institutionalismen* leder till att stater efterlever de principer och normer som konstituerar en internationell kontrollregim? Teorin bygger på antagandet att regimens principer, värderingar och normer i sig själva kan skapa en oberoende faktor i det internationella systemet som upprätthålls även om vissa staters maktförhållanden förändras. Det innebär att en kontrollregim kan fungera utan en överstatlig kontroll eller hegemonns agerande och det beror på att regimens mål och mening sammanfaller med de deltagande staternas egenintressen. Detta fenomen, eller den oberoende faktorn, i det internationella systemet har av en forskare kallats ”govern without governance” för att uttrycka att frånvaron av reglering från ett överstatligt organ [54]. De deltagande staterna efterlever den internationella regimens syften eftersom de helt enkelt tjänar på detta. De deltagande staternas handlande kan i sig självt ses som en form av utvidgad självhjälp (för att använda ett av realisternas centrala begrepp). En fungerande ordning kan alltså skapas och upprätthållas, men den sker *mellan* och inte *över* stater. Enligt den liberala institutionalismen värderar realisterna samarbetets möjligheter som om detta enbart handlar om en enda handling i en enda situation; en part vinner makt och inflytande på en annan parts bekostnad. Men ett samarbete inom ramen för en internationell regim kan inte ses utifrån detta extremt kortsiktiga perspektiv, menar de liberala institutionalisterna. Det handlar snarare om en *process* med olika typer av samarbetsformer av formell och icke formell karaktär där alla deltagare kan vinna fördelar eftersom det handlar om sammanfallande intressen. Mot denna bakgrund handlar det snarare om en mängd av handlingar i en processinriktad samarbetsform. De deltagande parterna i regimen har lämnat det kortsiktiga perspektivet, inom vilket principen om relativa vinster är förhärskande, för en mer långsiktig strategi där alla parter ger och tar och i längden vinner alla. Denna process leder till ett förpliktande samarbete mellan stater, som naturligtvis innebär att de deltagande parterna i regimen säger upp en del av sitt oberoende, men detta avkall accepteras eftersom vinsterna anses uppväga förlusterna. Förpliktelserna kan antingen vara av formell eller av mer icke-formell karaktär och de har gemensamt att de uppvisar vissa för internationella regimer typiska drag: De minskar handlingsutrymmet och autonomi för den enskilda staten samtidigt som kostnaderna för att lämna samarbetet ökar. Därmed minskar sannolikheten för brott mot och avhopp från regimen [55].

När det gäller kontrollregimer rörande massförstörelsevapen finns det idag inte en enda övergripande regim som täcker alla områden. Idag finns tre huvudgrupper: 1. Kärnvapen; 2. biologiska och kemiska vapen och 3. missilteknologi. Var för sig består dessa huvudgrupper av olika arrangemang som alla syftar till att öka kontrollen och minska spridningen av de specifika ämnen och särskild utrustning som definieras inom regimen. Det är det övergripande och sammanfallande intresset som binder ihop regimen. Men det finns också andra sammanfallande intressen och fördelar med att delta i en regim, nämligen att medlemmarna får tillgång till ”listad” teknologi och olika typer av kontrollerade ämnen för en fredlig användning. Exempelvis inom kärnvapenregimen har medlemsstaterna rätt till att bedriva handel med de klassificerade kärnämnen och den utrustning som hör ihop med fredlig kärnenergiutveckling. Denna exklusiva rätt ges till de deltagande staterna eftersom de har lovat att efterleva regimen målsättningar, dvs. att förhindra spridning av kärnvapen, och kan ses som ett incitament för nationer att ta steget in ett förpliktande samarbete. Dessa två intressen – dels förhindra spridning, dels att låta stater få tillgång till den kontrollerade ämnen och utrustning – har skapat och skapar en räckvidd av tolkningsproblem som måste klaras ut i juridisk, politisk och praktisk mening för att kontrollregimen ska kunna fungera. Alla produkter som täcks av kärnvapenregimen är inte av den endimensionella karaktären att dessa kan enbart användas för kärnvapentillverkning (”single-use”). Faktum är, som det redan har konstaterats i kapitel 1, att den teknologi, utrustning och det fissa grundmaterialet kan vara i stort sett detsamma både för ett militärt och civilt (fredligt) kärnenergiprogram. Man talar om ”dual use” produkter och utrustning. För att kunna hantera denna motsättning mellan de olika intressena och möjliggöra en fungerande praxis som både förhindrar kärnvapenspridning och befämjar handel av civil användning av kärnenergin, har flera olika regimer skapats. Dessa regimer kan tillsammans ses som ett system som vuxit fram steg för steg allteftersom nya problem har tillskjutit eller nya upptäckter har fordrat speciella lösningar. I den meningen kan man säga att nya regimer på kärnvapenområdet har etablerats i syfte att lösa problem som de tidigare regimerna inte klarar. Dessa olika regimer baseras på skilda samarbetsarrangemang. Man kan tala om två huvudsakliga överenskommelser för internationella regimer.

3.2 Den explicit legala överenskommelsen

Här är det fråga om undertecknade och ratificerade avtal som är juridiskt bindande. NPT-fördraget är ett exempel på ett sådant multilateralt avtal som utan tvekan är legalt bindande med en inbyggd sanktionsmöjlighet om någon part bryter mot överenskommelsen. Det är viktigt att notera att NPT-fördraget inte är den enda legalt bindande överenskommelsen som syftar till att förhindra spridning av kärnvapen. Det finns flera geografiskt begränsade avtal som avser att skapa kärnvapenfria zoner:

- The Treaty of for the Prohibition of Nuclear Weapons in Latin America and the Caribbean (Treaty of Tlatelolco),
- The South Pacific Nuclear Free Zone Treaty (Treaty of Rarotonga);
- The Treaty on the Southeast Asia Nuclear Weapon-Free Zone (Treaty of Bangkok),
- The African Nuclear-Weapon Free Zone Treaty (Treaty of Pelindaba).

Dessa avtal avser att förhindra spridning och användning av kärnvapen inom de regioner som berörs.

3.3 Explicita icke legala överenskommelser

De flesta internationella regimer är inte av formell legal karaktär som exempelvis NPT-fördraget. Det är inte fråga om juridiskt bindande avtal som leder till specifika sanktioner om de spelregler som överenskommit bryts. Dessa regimer bygger på ett politiskt samarbete som innebär att de deltagande staterna har lovat att efterleva de värderingar, normer och spelregler som regimen etablerat. Staterna har i och med deltagandet i regimen gått med på att anpassa sitt nationella regelsystem – lagar, förordningar och myndigheter – i enlighet med regimenens mål och syften. Men – och det är den avgörande skillnaden mot den legalt baserade regimen – de deltagande staterna överlåter ingen beslutanderätt till regimen. Dessutom föreligger inte heller en juridisk bindande överenskommelse i denna typ av regim som kan leda till att internationella sanktioner genomförs mot den stat som bryter mot de normer och värderingar som kontrollregimen står för. Det är ett politiskt, inte ett legalt, åtagande.

Kapitel I.4 Exportkontrollregimer

De två viktigaste exportkontrollregimerna på det nukleära området är Zangger Committee (ZC) och Nuclear Suppliers' Group (NSG). Organisationerna grundades i syfte att förhindra spridning av kärnvapen samtidigt som en fredlig användning av kärnenergin möjliggörs. Det är i båda fallen fråga om ett politiskt åtagande som inte är legalt bindande vilket innebär att inga internationellt baserade sanktioner kan genomföras. Det politiska åtagandet har emellertid till konsekvens att de deltagande staterna har lovat att anpassa sin lagstiftning i enlighet med exportregimens mål och syften [56].

ZC etablerades 1971 i samband med att ett möte hölls i Wien där representanter från 15 stater hade samlats för att hitta lösningar på de definitionsproblem som uppstått i tolkningen av NPT:s artikel III:2 där det står att:

”Varje stat som är fördragspart förbinder sig att icke tillhandhålla: (a) atområbränsle eller särskilt klyvbart material, eller (b) utrustning eller material som har särskilt konstruerats eller iordningsställts för bearbetning, användning eller framställning av särskilt klyvbart material till någon icke-kärnvapenstat för fredliga ändamål med mindre atområbränsle eller det särskilda klyvbara materialet underkastas den kontroll som erfordras enligt denna artikel.”

Problemet var att artikel III:2 avser att förhindra militär användning av kärnämnen och utrustning samtidigt som en kommersiell handel av samma produkter ska tillåtas för civilt bruk. Gruppen träffades under åren 1971-74 under ledning av den schweiziska

professorn Claude Zangger och mötena resulterade i två Memorandum of Understanding” som avsåg att lösa detta problem.

- Memorandum A, vilken hanterar export av kärnämnen, löser detta på tre sätt. För det första har de deltagande staterna beslutat att använda den definition av fissilt material som finns i IAEA:s stadga (Statute), nämligen Artikel XX i stadgarna när Artikel III:2 i NPT berörs [57]. För det andra att IAEA:s safeguards-avtal (om än inte s. k. full-scope) tillämpas på det kärnämne som exporteras eller på den anläggning där den kärntekniska utrustningen ska användas. Regeln används för export till en stat som inte undertecknat NPT. För det tredje krävs att den mottagande parten tillämpar samma villkor (safeguards-avtal) i händelse av vidareexport av det mottagna kärnämnet eller utrustningen till tredje part som i sin tur inte är medlem i ZC [58].
- Memorandum of Understanding B utgörs av en lista vilken definierar exakt vilka ämnen och vilken utrustning (”single-use” produkter) som kräver (”trigger”) safeguards enligt Artikel III:2. Denna lista kallas också på engelska ”trigger list”. Denna lista uppdateras ständigt efter behov och publiceras i IAEA:s informationsserie som INFCIRC/209/Rev.2. Kravet på IAEA:s safeguards gäller i princip de anläggningar där kärnmaterialet och utrustningen finns. Andra kärntekniska anläggningar i den icke-medlemsstaten behöver inte kontrolleras.

Zanggerkommitteens riktlinjer innebar helt klart ett steg framåt för ett mer täckande icke-spridningssystem. Men trots denna framgång pekade flera stater på att det fortfarande fanns brister i detta system. Av den anledningen skapades ytterligare en organisation, med mer omfattande krav, med säte i London 1975, *Nuclear Suppliers’ Group* (NSG, även kallad Londongruppen). NSG saknar en formell anknytning till NPT och detta faktum har också gjort det möjligt att skärpa kraven.

Den omedelbara anledningen till att NSG skapades har att göra med att Indien genomförde landets första provsprängning av kärnvapen år 1974 vilket tydligt visade att det dittills använda systemet inte fungerat väl. Indien hade lyckats förvärva teknisk utrustning, anläggningar och expertis trots att enbart den ”fredliga” användningen skulle tillåtas av NPT, safeguards-avtalet och Zanggerkommittén. USA och Storbritannien tog initiativ till att försöka etablera en strängare form av exportkontroll för att stärka icke-spridningsregimen. Det resulterade i en utvidgning av ”trigger”-listan som tagits fram av ZC. År 1977 utarbetades ”Guidelines for Nuclear Transfers”, som vid den tiden var hemlig, och skulle fungera som ett regelverk för de deltagande staterna. Påföljande år offentliggjordes dessa riktlinjer och överlämnades till IAEA som strax därefter publicerade ”Guidelines for Nuclear Transfer” (GNL) som INFCIRC/254. Som bilagor till GNL bifogades två andra dokument, ”Clarifications of items on the Trigger List” och ”Criteria of levels of physical protection”. NSG innebär en klar skärpning av kraven i jämförelse med de riktlinjer som ZC utarbetade. I motsats till ZC, gäller NSG:s ”trigger list” alla icke kärnvapenstater (inte bara de som är medlemmar av NPT). NSG:s lista omfattar följande ämnen och utrustning:

- Kärnämnen.
- Nukleära reaktorer och utrustning för nukleära reaktorer.
- Icke-nukleärt material för reaktor.
- Anläggningar och utrustning för upparbetning, anrikning och omvandling till kärnämnen och bränsletillverkning samt tungt vatten produktion.

- Teknik som hör ihop med det som avhandlas i punkt 1 - 4 [59].

Vid export av kärnämne och kärnteknisk utrustning krävs att:

- De levererade kärnämnen och kärntekniska anläggningarna har ett tillfredsställande fysiskt skydd i mottagarlandet.
- Mottagarstaten har slutit s. k. full-scope safeguards-avtal med IAEA.
- Mottagande part garanterar att materialet kommer att användas för fredligt ändamål.
- Vidareexport får endast ske om ovanstående villkor är uppfyllda.

Efter kriget i Persiska Gulfen 1991 framkom det att Irak hade ett hemligt kärnvapenprogram igång och av den anledningen utökade NSG sitt mandat till att omfatta flera produkter som kan användas i kärnteknisk verksamhet men som har även andra icke-nukleära användningsområden (s. k. ”dual-use” produkter, NSG Part 2) [60].

För ett medlemskap i NSG beaktas följande:

- Staten i fråga har kapacitet att leverera de i Part 1 och Part 2 i GNL omnämnda produkterna.
- Staten agerar i enlighet med GNL.
- Tillämpande av ett nationellt legalt baserat exportkontrollsystem.
- Ansluten till NPT eller liknande icke-spridningsfördrag [61].

I och med att tilläggsprotokollet till Safeguards-avtalet börjat ratificeras kommer IAEA att få information om kärnteknisk export. Syftet med denna informationslämning är att utrustning och produkter ska kunna spåras ända fram till den slutgiltige användaren. Enligt tilläggsprotokollet ska nämligen medlemsstaterna deklarerat export av kärnteknisk utrustning var tredje månad till IAEA vars inspektörer även kommer att äga rätt till att kontrollera importerade produkter. Informationen använder IAEA till att planera sin inspektionsverksamhet och som underlag till sin utvärdering av medlemsstaterna.

Av de två exportkontrollregimerna har NSG flest medlemmar (samtliga länder som är medlemmar i ZC är också medlemmar i NSG) och NSG har även fler produkter på sina kontrollistor och NSG ställer större krav för export. Därför har NSG blivit den ledande och mest pådrivande regimen för nukleär exportkontroll trots att NSG inte har formella bindningar till NPT. Hur exportkontrollen kan fungera i praktiken, kommer att diskuteras i kapitel 9 då det svenska nukleära icke-spridningssystemet presenteras.

Förutom NSG och ZC finns två andra viktiga exportregimer som anknyter till det nukleära icke-spridningsarbetet.

- *Missile Technology Control Regime* (MTCR) har till sitt syfte att minska risken för spridning av massförstörelsevapen genom att kontrollera handeln med vapenbärarsystem (andra än flygplan) som kan användas för detta ändamål. Medlemsstaterna har anpassat sin nationella lagstiftning i enlighet med MTCR:s intentioner och kontrollistor finns över vad som får och får inte vidareexporteras. Idag är 32 stater medlemmar av regimen.

- *The Wassenaar Arrangement on Export Controls for Conventional Arms and Dual Goods and Technologies* (före detta CoCom). Regimen har huvudsakligen fyra målsättningar: (1) Att befrämja transparens och ett större ansvarstagande då det gäller handel med dubbelsyftande (dual-use) utrustning och teknologi; (2) Att genom nationell lagstiftning skapa ett regelsystem som förhindrar utveckling och ökning av militär kapacitet som står i strid med regimen's målsättningar; (3) Att komplettera och stärka andra kontrollregimer inom nukleär icke-spridning och vapenbärarsystem; (4) Att öka samarbetet för att förhindra anskaffandet av vapen och viktig dubbelsyftande (dual-use) utrustning som kan komma till användning mot medlemsstat i en region kännetecknat av säkerhetspolitiskt tilltagande hot. Regimen har idag 33 medlemsstater.

FN:s Säkerhetsråd har år 2004 antagit en resolution (UNSC 1540) i syfte att förhindra spridning av massförstörelsevapen och deras vapenbärare. Detta inbegriper även spridning till utomstatliga aktörer (terrorister). Bland de åtgärder som beslutades är att alla FN:s medlemsstater ska ha effektiv nationell exportkontroll.

Kapitel I.5 Fysiskt skydd, transportsäkerhet och illicit trafficking

Med fysiskt skydd menas olika åtgärder att förhindra stöld, sabotage och olaga intrång i anläggningar som använder eller förvarar kärnämnen och teknisk utrustning. Denna fråga har alltid ansetts för komplex för att kunna hanteras och regleras av en specifik och detaljerad global kontroll. Mot bakgrund av att olika stater har skilda inhemska traditioner på det nukleära området och divergerande hotbilder, har den allmänna meningen varit att varje enskild stat måste självt ansvara för det fysiska skyddet. Det har ansetts alldeles för svårhanterligt att utforma och ratificera ett enhetligt och detaljstyrt globalt omfattande regelsystem. Frågan huruvida man inte borde skapa en mer enhetlig och specifik internationell reglering har dock nöts och blöts av experter genom åren. IAEA har också utarbetat allmänna riktlinjer som medlemsstaterna uppmanas att följa i syfte att efterleva en rekommenderad säkerhetsstandard för fysiskt skydd. De första riktlinjerna publicerades 1972, och har sedan dess reviderats ett antal gånger. Dessa riktlinjer, ”Recommendations for the Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities” [62], omfattar det fysiska skyddet av kärnämnen under användning, i förvar och under transport både nationellt och internationellt. De har haft en stor betydelse och varit till god hjälp för stater att utveckla nationella regelsystem [63].

Ett stort steg togs år 1980 då en konvention antogs av IAEA som hanterar och reglerar transporter av kärnämnen mellan stater. År 1987 vann denna konvention, *The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material*, laga kraft vilket innebär att de stater som har undertecknat konventionen har förpliktat sig att efterleva de skyldigheter som återfinns i konventionens artiklar. Fortfarande ansågs dock att de enskilda staterna skulle ansvara för det nationellt baserade fysiska skyddet och, som det framgår av Artikel III, att vidta effektiva åtgärder för skyddet av kärnämnen i samklang med nationell lagstiftning och denna konvention. Konventionen är ett legalt bindande avtal men dess tillämpning gäller, som sagt, transporter mellan olika stater på land, hav

och så kallad luftburen transport. Idag, i slutet av år 2006 har 121 stater anslutit sig till konventionen. Dessa stater har lovat att inte exportera och importera kärnmaterial till och från annan stat som inte har undertecknat denna konvention eller som inte kan försäkra att de kan efterleva de villkor som stipuleras i ”Annex 1”. Samma villkor gäller även för transittrafik av kärnmaterial genom och över den undertecknade statens territorium, på internationellt vatten, dess flygplatser och hamnar mellan stater som inte har undertecknat denna konvention eller på annat sätt inte kan försäkra att konventionens stipulerade krav inte kan efterlevas (Artikel 5:1-7). I Annex 1 beskrivs de olika nivåerna av fysiskt skydd som ska tillämpas vid internationella transporter. Generellt kan det sägas att skyddsgraden avgörs av typ av kärnämnen (nukleärt material av vapenkvalitet får den högsta skyddsklassen) och kvantiteten som transporteras. Tre kategorier har bestämts där kategori I innebär att det högsta skyddet krävs: en skyddad förvaring av fysiska barriärer utrustad med elektronisk övervakning samt en konstant övervakning av vakter som står i nära kontakt med en tillräckligt dimensionerad insatsstyrka (”response forces”). Åtgärderna som vidtagits måste vara av den arten att de både klarar att upptäcka och förhindra olaga intrång, attacker eller stöld av kärnämnen (Annex 1, se bilaga 1).

Sovjetkommunismens fall fick till omedelbar konsekvens att de nya staterna saknade både kunskap och finansiella resurser för att skapa nya säkerhets- och skyddsstrukturer. Flera incidenter om illilicet trafficking av kärnämnen och kärnteknologi rapporterades och detta fick till resultat att IAEA, EU, USA och flera andra stater vidtog olika åtgärder för att hjälpa de nya staterna att skapa effektivare nukleära infrastrukturer. Som ett led i detta arbete har IAEA utarbetat olika program och kontrollsystem för att hjälpa medlemsstaterna att stärka deras system för kärnämneskontroll och fysiskt skydd. Det viktigaste verktyget eller, som generaldirektören för IAEA, Mohammed Elbaradei uttrycker det, ”den första försvarslinjen i skyddet av kärnämnen”, är State System for Accountancy and Control (SSAC). Genom detta system kan stater äga en exakt kunskap om det nukleära materialets kvantitet och befintlighet och utgör därmed en stor hjälp i upptäckandet av illegala aktiviteter. I anslutning till detta system har IAEA utvecklat och koordinerat program och planer för tekniskt stöd i syfte att förbättra SSAC och det fysiska skyddet. Ett program, Integrated Nuclear Security Support Plans (INSSP) är i det avseendet ett viktigt verktyg i arbetet med att stärka den nukleära säkerheten i medlemsstaterna. Programmet *International Physical Protection Advisory Service* (IPPAS) som innebär att IAEA på begäran av en medlemsstat sätter samman en grupp av internationella experter som utvärderar och ger råd om det fysiska skyddet kan förstärkas i landet. Utbildningar har genomförts och tekniska vägledningar har utarbetats för att underlätta ratificeringar av konventionen av fysiskt skydd.

Även om konventionen om fysiskt skydd har ansetts som en stor framgång har många experter hävdats att en förstärkning av den borde ske. Under senare år har också ett revideringsarbete genomförts. Den 8 juli 2005 beslutade en diplomatkonferens om en utvidgad konvention av fysiskt skydd av kärnämnen. Den omfattar förutom internationell transport även nationell hantering, förvaring och transport av kärnämne samt skydd av kärntekniska anläggningar. Det kommer dock att dröja många år innan tillräckligt många stater har ratificerat den så att den kan träda i kraft. Det finns även internationella rekommendationer för fysisk skydd av kärnämnen och kärntekniska anläggningar som utarbetats i IAEA:s regi – ”Physical protection of nuclear material and nuclear facilities” Även om dessa rekommendationer inte är legalt bindande har de stater som har varit involverade i processen att ta fram och revidera dem gjort ett moraliskt ställningstagande och förväntas därför efterleva dessa [64].

Kapitel I.6 Kärnämneskontroll/safeguards

Med kärnämneskontroll menas att det nukleära material (uran, plutonium eller annat ämne som kan användas för utvinning av kärnenergi) som förvaras eller används måste vara underställt ett juridiskt accepterat och väl fungerande system för verifikation av korrekthet och fullständighet. Kärnämneskontroll innebär att kärnämnen, i första hand ²³⁵U och plutonium, inte används för framställning av kärnvapen.

Synen på hur kärnämnen bör och ska hanteras juridiskt och fysiskt praktiskt har självklart varierat från stat till stat beroende på olika traditioner och erfarenheter. I kärnenergis barndom fanns det sällan en utvecklad och väl fungerande lagstiftning som reglerade och hanterade nukleärt material. Medvetenheten om risker och faror i samband med kärnenergis utveckling, fick till konsekvens att lagstiftning och regelverk skärptes. Det internationella samarbetet ledde till att bilaterala avtal ingicks samt att internationella avtal och konventioner undertecknades och implementerades. Även om skapandet av NPT innebar ett stort steg framåt i etablerandet av en internationellt godtagbar standard för tillsyn och kontroll, finns det även idag skillnader mellan olika staters utformning av kärnämneskontroll. Exempelvis har de fem kärnvapenstaterna, som fanns med 1968 då NPT undertecknades, inte samma safeguards-avtal med IAEA som de medlemsstater som inte har kärnvapen. År 2005 hade 156 stater safeguards-avtal med IAEA vilket innebär att IAEA utför inspektioner i dessa länder [65]. Tilläggsprotokollet (Additional Protocol) – som innebär en utökad skyldighet att redovisa nukleära aktiviteter samt IAEA:s vidgade inspektionsmöjligheter – har ratificerats av 118 stater [66]. Sammanlagt genomför IAEA inspektioner av 930 anläggningar i världen [67]. Dessutom är IAEA:s avtal så pass allmänt formulerade att ett tämligen stort utrymme för nationella lösningar finns. Dock har IAEA tagit fram generella anvisningar för hur ett nationellt kontrollsystem bör utformas (*Guidelines for States' Systems of Accountancy and Control of Nuclear Material*). Om vi betraktar hanteringen av kärnämnen utifrån vad dessa avtal implicit och explicit menar med skydd och kontroll, kan man tala om fyra huvudprinciper som måste genomsyra ett effektivt system:

- *Skyldighet att upprätthålla en sammanhållen och konsekvent beskrivning av kärnämnesinnehavet* (Duty of characterization). Det innebär att innehavaren av det nukleära materialet måste kunna tillhandahålla en exakt bokföring över de ämnen som hanteras, klart påvisa de förändringar som skett i innehavet över tid samt kunna redovisa den in- och utgående trafiken inom och utom landet (inklusive avsändare och mottagare);
- *Skyldighet att förhindra att otillåtna får tillgång till kärnämnen* (Duty of restraint). Innehavaren måste kunna prestera ett system av fysiskt skydd, säkerhetsregleringar och utformande av installationer som strävar efter eliminerandet av otillbörlig tillgång. Otillgänglighet och ogenomtränglighet är två viktiga be-grepp i detta sammanhang (se vidare under fysiskt skydd).
- *Att systemet kan garantera tillförlitlighet* (Duty of assurance) Det system som används måste kännetecknas av ansvarsskyldighet (public accountability) och genomskinlighet (transparency). Att systemet är genomskinligt eller transparent innebär i detta sammanhang att det kan leva upp till två viktiga principer - att de

hanterade ämnena kan verifieras (verification) och att det sker i en anda av ömsesidigt förtroende (confidence-building) vilket betyder att systemet bygger på att parterna verkligen avser det man hävdar och redovisar.

- *Skyldighet att efterleva det man lovat* (Duty of compliance). Denna princip innebär att man har förpliktat sig att uppfylla de lagar, regleringar och internationella avtal och konventioner som undertecknats eller på annat sätt äger giltighet. Den romerska rättens klassiska formulering ”Pacta sunt servanda” (avtal skall hållas) är rättesnöret i denna aspekt av hanteringen av kärnämnen [68].

6.1 IAEA:s safeguards-system

En stat som har undertecknat och ratificerat NPT och dessutom har kärnämnen och annan nukleärt relaterad utrustning, har också förpliktat sig att sluta ett safeguards-savtal med IAEA. Safeguards-avtalet har till konsekvens att IAEA har rätt att kontrollera att staternas innehav av kärnämnen stämmer överens med vad staterna har deklarerat. Vidare har alla stater som har undertecknat och ratificerat safeguards-avtalet förbundit sig att inte överföra kärnämnen eller kärnteknisk utrustning till stater som inte har bindande kontrollavtal med IAEA [69]. Om vi tar Sverige som exempel så är Sverige medlem i IAEA och har undertecknat och ratificerat både NPT och safeguards-avtalet. Det innebär att Sverige har förbundit sig att inte tillverka eller medverka till att andra stater tillverkar kärnvapen. IAEA utför inspektioner för att kontrollera att avtalet efterföljs och den svenska statliga myndigheten *Statens kärnkraftinspektion* (SKI) är den nationella organisation som är skapad för att ansvara för att avtalen efterlevs. SKI:s verksamhet regleras av svensk lagstiftning och de regelsystem som tagits fram mot bakgrund av de krav som IAEA ställer och vad de nationella behoven kräver.

De olika avtal som reglerar kärnämneskontrollen (safeguards) omfattar de stater som har ratificerat NPT-fördraget och andra likvärdiga avtal med IAEA. Varje enskilt avtal som publicerats i IAEA:s INFCIRC serie, kräver att staten som berörs accepterar IAEA:s safeguards-krav på allt det fissila material (enligt IAEA:s lista över vad som ska vara föremål för övervakning och kontroll) som finns i landet eller som staten förfogar över utanför nationens gränser. Detta innebär att staten i fråga skapar och upprätthåller ett safeguards-system som efterlever de fyra principer som redovisas ovan. Det finns dock flera typer av safeguards-avtal beroende på den kärnenergiprofil som karakteriserar staten ifråga och de historiska och geografiska betingelser som påverkade utformningen av de olika avtalen om icke-spridning av kärnvapen (om NPT:s och övriga avtals framväxt, se kapitel 2).

The comprehensive Safeguards Agreement (INFCIRC/153) är ett modellavtal som reglerar hur avtalen ska utformas för de icke-kärnvapenmakter som enligt NPT har deklarerat att de har kärnämnen enligt IAEA:s definitioner och bestämmelser och av den anledningen ska vara föremål för övervakning och kontroll. De stater som har andra likvärdiga typer av bilaterala och multilaterala arrangemang om icke-spridning av kärnvapen med IAEA omfattas av andra safeguards-avtal. Detta gäller följande avtal: (a) the Treaty for the Prohibition of Nuclear Weapons in Latin America and the Caribbean (Tlatelolco Treaty); (b) the South Pacific Nuclear Free Zone Treaty

(Rarotonga Treaty); (c) “the Argentine-Brazilian Declaration on Common Nuclear Policy”; (d) the Treaty on the Southeast Asia Nuclear Weapon Free Zone (Bangkok Treaty); och (e) the African Nuclear Weapon Free Zone Treaty (Prelinde Treaty).

Vissa stater har inget eller ringa kärnämnesinnehav och de kärntekniska aktiviteterna är i stort sett obefintliga. Sådana stater har oftast slutit ett ”Small Quantities Protocol” (SQP) vilket innebär att de olika detaljerade bestämmelserna som täcks i Part II av the Comprehensive Safeguards Agreement ligger i vila. Detta håller IAEA på att avveckla genom att förmå de berörda staterna att frivilligt teckna ett *Comprehensive Safeguards Agreement* (INFCIRC/153). Åter andra stater tillämpar en kärnämneskontroll som inte är ”comprehensive” utan mer inriktad på att kontrollera specifika ämnen och utrustning beroende på att de kärntekniska aktiviteterna inte är så omfattande (INFCIRC/66/Rev.2). Det kan röra sig om tungt vatten, zirkonium, olika pumpar som på ett eller annat sätt används vid olika anläggningar eller förvaras i landet.

De fem erkända kärnvapenmakterna enligt NPT - USA, Ryssland (Sovjetunionen), Frankrike, Kina och Storbritannien - behöver inte omfattas av safeguards-kontroll enligt fördraget. Men eftersom detta undantag har upplevts som orättvisst har dessa stater gått med på att sluta ett s. k. *Voluntary Offer Agreement* (VOA) vilket innebär att civila anläggningar eller i vissa fall några utvalda civila anläggningar som hanterar kärnämnen i dessa stater också ska omfattas av IAEA:s kärnämneskontroll.

De avtal och styrdokument som reglerar de internationella åtagandena är tämligen generellt formulerade i syfte att kunna tillämpas på olika stater med skilda traditioner på kärnenergiområdet. Därav följer att det ligger ett stort ansvar på de enskilda medlemsstaterna att utforma nationellt fungerande kärnämneskontrollsystem. Naturligtvis sker detta utvecklingsarbete i samarbete med IAEA och mot bakgrunden att vissa generella miniminivåer för övervakning och kontroll måste efterlevas. Systemet har också kritiserats för att inte utgöra ett fullgott skydd.

Och sanningen är att fram till 1990-talet hade IAEA ett ganska begränsat mandat att utöva kontroll inom ramen för det existerande NPT-fördraget. Orsaken var att det var enbart de kärnämnen och anläggningar som staterna hade deklarerat som innehav som fick vara föremål för inspektioner. Om en stat sysslade med en hemlig kärnvapentillverkning utanför de områden som fick vara föremål för inspektionerna (dvs. deklarerade), hade IAEA svårt att upptäcka detta. FN-inspektörernas upptäckter av det hemliga kärnvapenprogrammet i Irak 1991, som beskrivs i kapitel 2, ledde till ett stort omvärderingsarbete inom IAEA. I februari 1992 påbörjades ett arbete med att utveckla safeguards-systemet. Året därpå vägrade Nordkorea IAEA att utföra nödvändiga inspektioner. Vissa undersökningar gav vid handen att de deklARATIONER som Nordkorea hade lämnat till IAEA inte stämde. Samma år tillkännagav Sydafrika att landet hade haft kärnvapen men att dessa hade avvecklats. Samtidigt med detta tillkännagivande ställde Sydafrika sitt fissila material under IAEA:s kärnämneskontroll. Dessa händelser resulterade i att en arbetsgrupp bildades inom IAEA i syfte att ta fram ett mer effektivt system. I maj 1997 godkände IAEA:s styrelse modellprotokollet INFCIRC/540 som utgör ett tillägg till INFCIRC/153. År 1998 undertecknade samtliga EU-stater tilläggsprotokollet och idag har, som sagt, 118 stater ratificerat detta. Protokollet utgör en modell för ett utvidgat safeguards-ansvar för stater som ratificerat detsamma. Enligt tilläggsprotokollet måste hela bränslecykeln från gruva till slutförvar redovisas.

Varje enskild stat som har undertecknat avtal om safeguards med IAEA måste sammanställa en s. k. *Initial Report* i vilken den berörda staten redovisar de kärnämnen den förfogar över. Om det är fråga om ett *Comprehensive Safeguards Agreement* ska denna deklaration innehålla förutom bokföring över innehavet av kärnämnen också information om anläggningarnas utformning, en s. k. *Design Information* (DI, som regleras enligt INFCIRC/153.). I denna DI redovisas ritningar samt data om driftsförhållanden och prestanda. IAEA försöker utifrån denna information kartlägga och analysera olika möjliga sätt att avleda kärnämnen för att kunna utarbeta en passande inspektionsplan för anläggningen. Ägaren av anläggningen är skyldig att meddela planer på nya anläggningar och överhuvudtaget tekniska förändringar (som framgår av de krav som IAEA har specificerat i *Facility Attachment*, FA). Hur själva verifieringen kommer att göras beror på de förutsättningar som råder vid den aktuella anläggningen. IAEA verifierar denna DI varje år för att kontrollera eventuella förändringar som kan ha betydelse för safeguards-systemets utveckling. Denna kontroll kallas *Design Information Verification* (DIV).

De metoder som sedan kommer att användas i verifieringsarbetet i den aktuella staten utgör ett system av safeguards som består av följande beståndsdelar:

- Mottagande av rapporter om innehav om kärnämne och förändringar.
- Verifieringar av materialflödet.
- Regelbundna bokslut av materialbalansen .
- Oberoende verifiering av allt nukleärt material i de anläggningar där staten i fråga har deklarerat att det finns nukleärt material som är föremål innan IAEA-kontroll.
- Användning av övervakningsutrustning (*containment and surveillance*, C/S).

För varje stat som ratificerat safeguards-avtalet måste det finnas en organisation (statlig myndighet eller överstatligt organ som exempelvis Euratom som agerar som ansvarig motpart till IAEA). Varje år gör IAEA en utvärdering (*Safeguards Implementation Report*, SIR) som sammanfattar huruvida medlemsstaten i fråga har uppfyllt målen. Huvudsyftet är givetvis att verifiera om de utfästelser som staten gjort om innehav av kärnämnen stämmer eller om en illegal avledning av det nukleära materialet har förekommit. År 2005 spenderade IAEA:s dryga 250 inspektörer 21 000 kalenderdagar för att kontrollera de 930 anläggningar världen över där kärntekniska aktiviteter ägde rum eller kärnämnen förvarades.

Kärnämneskontrollens effektivitet beror huvudsakligen på tre interberoende faktorer:

- IAEA:s samlade kunskap om de nukleära aktiviteter som äger rum på olika platser;
- IAEA:s fysiska tillgänglighet till relevanta platser och anläggningar där nukleära aktiviteter äger rum;
- Viljan hos världssamfundet, genom FN:s säkerhetsråd, att ingripa mot stater som inte efterlever de krav på kärnämneskontroll som har avtalats.

6.2 Kärnämneskontroll - inspektion steg för steg

En inspektionsprocess börjar med att IAEA sänder en förhandsanmälan, en s. k. notifiering, till den myndighet som är ansvarig för den nationella kontrollen och övervakningen i staten i fråga. Denna notifiering ska innehålla information om omfattningen av den planerade inspektionen och vilka inspektörer som ska delta. Den nationellt ansvariga myndigheten kontrollerar att inspektörerna som IAEA avser att skicka är behöriga och, om så är fallet, skickar de en anmälan till de berörda anläggningarna om att inspektion kommer att äga rum.

Hur själva verifieringen kommer att göras beror på de förutsättningar som råder vid den aktuella anläggningen, vilket framgår av FA. Verifieringarna som görs måste uppfylla *IAEA Safeguards Criteria*. Efter avslutad inspektion skrivs en redovisning av inspektionens resultat, en s.k. *statement* som ska levereras till organisationen eller den statliga myndigheten inom en tid som bestämts av FA. Den statliga myndigheten eller den ansvariga organisationen gör i sin tur kontroll mot de egna registren över innehav av kärnämnen och egna rapporter [70].

Definitioner och kriterier [71]

För de olika typerna av safeguards-avtal har IAEA utarbetat olika mål. För de stater som har *the Comprehensive Safeguards Agreement* är det tekniska målet att i tid kunna upptäcka om en stat illegalt avleder kärnämnen från den civila bränslecykeln innan det är möjligt att konstruera ett färdigt kärnvapen eller andra explosiva laddningar (timely detection). Och samtidigt är syftet att avskräcka sådana avledningar eftersom systemet bygger på tidig upptäckt (early detection) av illegala aktiviteter. Dessa målsättningar inkluderar även upptäckt av oredovisad (undeclared) produktion eller separation av kärnämnen av vapenkvalitet (direct-use) vid reaktorer, anriknings- och uppberedningsanläggningar samt vid anläggningar som har s. k. hot cells. IAEA har beräknat den tid som behövs för att producera ett kärnvapen utifrån förutsättningen att den nödvändiga nukleära infrastrukturen finns (konvertering och hantering av kärnämnen är testade och klara) utifrån olika kriterier beroende på det nukleära materialets beskaffenhet. På basis av denna beräkning har inspektions- och kontrollsystemet konstruerats.

Typ av kärnämne	Tidsintervall
Obestrålat "direct-use" exempelvis obestrålat MOX, uppberedat plutonium, uran anriktat till 20% eller mer	1 månad
Bestrålat "direct-use" exempelvis bestrålat bränsle (plutonium)	3 månader
"Indirect use" exempelvis uran anriktat till mindre än 20% (färskt bränsle)	1 år

Termen "direct-use" innebär att kärnämnet kan användas för en kärnvapenproduktion utan ytterligare anrikning eller uppberedning. Som framgår av tabellen måste innehavet

av kärnämnen av obestrålat "direct-use" inspekteras en gång i månaden. Detta beror på att om sådan typ av nukleärt material finns går det förhållandevis fort att tillverka kärnvapen för en stat som bestämt sig för detta. Är kärnämnen av bestrålat "direct-use" karaktär har IAEA satt ett inspektionsintervall om tre månader. När det gäller s k "indirect use" måste det nukleära materialet genomgå antingen ytterligare anrikning eller bestrålning i en reaktor med efterföljande uppberetning för att kunna användas i en kärnvapenladdning. Det är tekniskt komplicerade och tidsmässigt krävande processer vilket har föranlett IAEA att sätta ett inspektionsintervall på ett år. Förutom tidsaspekten har även IAEA olika kvantitetsmått för hur mycket nukleärt material som behövs för att framställa en kärnladdning – Significant Quality (SQ). Hänsyn till materialförlust vid processen tas med i beräkningarna.

Materialkategori	SQ	Kommentar
"Direct-use" Pu	8 kg	Totalt av ämnet
²³³ U	8 kg	Totalt av isotopen
U (²³⁵ U ≥ 20%)	25 kg	²³⁵ U
"Indirect use" U (²³⁵ U < 20%)	75 kg	²³⁵ U
Thorium	20 ton	Totalt av ämnet

IAEA har som målsättning att kunna kontrollera om kärnämnen motsvarande 1 SQ eller mer har avletts under en materialbalansperiod (normalt ett år), och om det har skett icke deklarerad produktion eller separation av "direct-use" nukleärt material. SQ kan därför användas som ett detektionsmål och det ställer krav på verifieringarnas och testningarnas noggrannhet. Arbetet med att verifiera de olika anläggningar som är föremål för inspektion bygger på ett system där graden av detektion kan mätas och klassas i nivåer:

— Hög detektionssannolikhet	90 %
— Medel detektionssannolikhet	50 %
— Låg detektionssannolikhet	20 %

Om en avledning av det nukleära materialet har skett kallas detta defekt. Och de olika graderna av defekter har klassats i tre grupper:

- Gross defect – allt kärnämne i en bokföringspost saknas
- Partial defect – en del av kärnämnet i en bokföringspost saknas
- Bias defect – en liten del av kärnämnet i en bokföringspost saknas

6.3 Safeguards-mål

IAEA:s safeguards-mål berör dels att genomföra verifikationer vid de enskilda anläggningarna och dels olika verifikationsaktiviteter som gäller hela staten. För de enskilda anläggningarna gäller huvudsakligen två inspektionsmål:

Kvantitativt mål: att kunna undersöka om 1 SQ eller mer har avletts under en materialbalansperiod (tiden mellan två bokslut) samt att det inte förekommit icke deklarerad produktion eller separation av "direct-use" material.

Kvalitativt mål: att regelbundet kunna försäkra sig om att ingen avledning av kärnämnen har inträffat inom ramen för ett kalenderår.

För att uppnå det kvalitativa målet fullt ut (full attainment) under en materialbalansperiod krävs att:

- en verifiering av det fysiska inventariet (PIV) har genomförts. Dessutom ha undersökt huruvida materialet är bestrålat eller inte.
- Alla inventarieförändringar har verifierats.
- En verifiering av att ingen odeklarerad produktion av kärnämnen av ”direct-use” har genomförts.
- Verifiera att bokföringen av kärnämnesinnehavet verkligen stämmer med de redovisade förändringarna. Om avvikelser från bokföringen förekommer (Material unaccounted for, MUF), måste rimliga förklaringar till dessa diskrepanser kunna presenteras.

För att uppnå tidsmålet (timeliness) krävs följande:

- Att kunna verifiera om minst 1 SQ har avletts enligt den uppskattade tiden för att tillverka ett kärnvapen (timeliness goal).
- Att eventuella avvikelser ska kunna förklaras på ett tillfredsställande sätt.
- Att tidsperioden mellan två påföljande PIV inte överskrider 14 månader.

Om inte alla dessa mål uppfylls talar man om delvis uppfyllda mål (Partial Attainment) eller icke uppfyllande mål (Non-Attainment) vad gäller kvantitet eller tidskrav.

För utvärdering av hela staten enligt *the Comprehensive Safeguards Agreement* är det följande mål som avses:

- Att kontrollera att alla anläggningar som är föremål för safeguards verkligen har blivit inspekterade.
- Att minst 70 % av det kärnämnesinnehav som finns verkligen har uppfyllt målet ”Full Attainment”.
- Verifiera att bokföringen av kärnämnesinnehavet verkligen stämmer med de redovisade förändringarna. Om avvikelser från bokföringen förekommer (Material unaccounted for, MUF), måste rimliga förklaringar till dessa diskrepanser kunna presenteras.
- Att nukleärt material som verifieras på en anläggning inte har inlånats från annan anläggning. Detta ska verifieras med samtidiga inspektioner på två eller flera anläggningar som har liknande material.

6.4 Hur IAEA kontrollerar att målen har uppfyllts

IAEA har utarbetat en mängd kriterier för varje typ av anläggning i syfte att kunna kontrollera att målen för kärnämneskontrollen har uppfyllts. Dessa kriterier specificerar räckvidden, den normala frekvensen och omfattningen för verifieringsverksamheten och kan på det sättet sägas utgöra mätbara mål för inspektionerna. De baserar sig på de analyser av avledningsscenarios och statistiska modeller som gjorts för varje anläggning. Det dokument som beskriver de olika kriterierna, IAEA:s Safeguards Criteria, radar upp en mängd anläggningar som utifrån olika kriterier ska kontrolleras. Det kan exempelvis röra sig om:

- Tungvattenreaktorer
- Lättvattenreaktorer
- Forskningsreaktorer
- Bränslefabriker
- Förvaringsanläggningar

Varje kapitel i detta arbetsdokument utgör en detaljerad genomgång av alla de aktiviteter som måste genomföras för att de olika målen ska kunna kontrolleras på ett mätbart och fungerande sätt. Det skulle föra alldeles för långt att sammanfatta hela detta dokument och redogöra för varje enskilt kriterium i detta sammanhang. Trots allt är syftet med detta kompendium att tjäna syftet av att utgöra en första introduktion i nukleär icke-spridning och till kärnämneskontrollen. Här redogörs enbart för de viktigaste punkterna.

Bokföringsgenomgång. Den berörda anläggningens bokföring kontrolleras och den ska stämma överens med andra källdokument som berör innehavet av kärnämnen. Om anläggningen ligger i en stat som är medlem i EU, som Sverige, ska även denna bokföring korrespondera med Euratoms. Jämförelser görs även mellan bokföringen och den rapportering som gjorts.

Verifiering av det fysiska innehavet (PIV). Olika typer av verifieringar ska genomföras inom ramen för en PIV. Aktiviteterna varierar givetvis från anläggning till anläggning beroende på den utrustning som finns tillgänglig.

Verifieringar av skeppningar.

Odeklarerad produktion av "direct-use" material. För kraftreaktorer kontrolleras att inga extra bestrålningspositioner finns i härden.

Materialbalans. För bulk material (UF-6, pulver m. m.) utvärderas MUF (Material unaccounted for):

$$\text{MUF} = \text{PB} + \text{X} - \text{Y} - \text{PE}$$

PB = Fysiska innehavet vid periodens början

X = Mottaget material

Y = Skeppat material

PE = Fysiska innehavet vid periodens slut

Interriminspektioner. För att kunna uppfylla timeliness-kriteriet måste en viss frekvens av inspektioner göras beroende på materialets beskaffenhet (se tabell över tidsintervall ovan).

Verifiering av Design Information. Om en förändring av Design Information har skett måste detta verifieras. Minst en gång om året görs en kontroll (re-examination) oavsett om förändring eller inte har skett.

6.5 Tilläggsprotokollet (Additional Protocol) och dess konsekvenser

Som redan beskrivits i kapitel 2 ledde upptäckterna av ett hemligt kärnvapenprogram i Irak 1991-1992 till att en modell för en förstärkning av NPT-fördraget togs fram. Tilläggsprotokollet, som antogs 1997, innebär klart ökade befogenheter för IAEA att utöva inspektioner (*complementary access*) samt ett ökat krav på staten att förse IAEA med information om den pågående och planerade nukleära verksamheten. Enligt tilläggsprotokollet måste hela bränslecykeln från gruva till slutförvar redovisas. Genom denna ökade information är numera IAEA bättre rustat för att analysera och utvärdera syftena med staters olika kärnteknikprogram [72].

I Artikel I sägs det att syftet med tilläggsprotokollet är att stärka det nuvarande safeguards-systemet utan att underminera detsamma: "the provision of the Safeguards Agreement shall apply to this Protocol". In the case of conflict between the provisions of the Safeguards Agreements and those of this protocol, the provisions of the Protocol shall apply". I Artikel II listas den informationsskyldighet som krävs av safeguards-avtalet (SA) men som måste redovisas enligt tilläggsprotokollet. Stater som har ratificerat tilläggsprotokollet har 180 dagar på sig att överlämna redovisningar över dessa aktiviteter samt annan information som är relaterad till dessa.

Rätten till utökat tillträde för IAEA-inspektörer (*complementary access*) regleras främst i Artikel IV-VI. I dessa artiklar regleras IAEA:s rättigheter och statens skyldigheter. Exempelvis har IAEA rätt att begära tillgång till alla lokaler och anläggningar i ett land i vilket tilläggsprotokollet äger laga kraft, och staten i fråga ges i allmänhet 24 timmars frist för att möjliggöra detta. Det finns dock ett undantag: om inspektör behöver tillgång till en lokal i samband med en inspektion på ett område där byggnader finns som regleras av Artikel 5a av tilläggsprotokollet, får anläggningen i fråga 2 timmars på sig. I särskilda fall kan det innebära mindre än två timmar.

Artikel VII handlar om en stats rätt att begränsa IAEA:s *complementary access* till en viss byggnad mot bakgrund av att det skulle få negativa effekter: känslig information skulle kunna läcka ut eller att säkerhetsaspekterna äventyras. Men detta får inte förhindra IAEA från att utföra nödvändiga åtgärder för att försäkra sig om att inga icke deklarerade aktiviteter äger rum.

Artikel IX inriktar sig på rätten att göra olika former av prover och tester i området, s. k. "widearea environmental sampling" (WAES) i syfte att undersöka att inga oegentligheter ägt rum eller äger rum i ett område.

Sammanfattningsvis har den aktuella staten skyldighet att förse IAEA med:

- Information om pågående och planerad (upp till 10 år) forskning och utveckling rörande statens bränslecykel: reaktorutveckling, anrikning/ upparbetning av kärnämnen, produktion av fissilt material etc.
- Relevant information som rör driftsverksamhet av betydelse för kontroll av kärnämnen vid anläggningar och på platser i anslutning till dessa anläggningar där kärnämne används regelmässigt.
- En allmän information som specificerar lokaler, anläggningar och andra byggnader vid varje område som berörs av bränslecykeln, inklusive karta över platsen i fråga. Detta innefattar även byggnader som ligger i anslutning till anläggningar som är under IAEA safeguards (Artikel 2a.).
- Detaljerad information om tillverkning av utrustning och ämnen som ingår i bränslecykeln.
- Information rörande kvantiteter, användningsområde och lokalisering av kärnämnen som är undantagna från kontroll.
- Information om export och import av specifik utrustning och ämnen.

Tilläggsprotokollets ikraftträdande innebär att IAEA kan agera mer kraftfullt vid inspektioner genom att de har möjlighet att begära tillträde (complementary access) till alla byggnader inom en kärnteknisk anläggning inom två timmar. IAEA får ”inspektera” privatbostäder efter att Statens kärnkraftinspektion begärt biträde av polismyndigheten (Lag 2000:140).

Kapitel I.7 Slutord: kan man tala om ett övergripande fungerande nukleärt icke-spridningssystem?

Hur väl fungerar då detta nukleära icke-spridningssystem sammantaget? Det är inte en lätt uppgift att besvara denna fråga. Systemet är komplext och kan förefalla svårövergripigt eftersom olika staters koppling till detta skiljer sig åt beroende på historiska, geografiska och politiska realiteter. Exempelvis deltar inte alla världens stater i exakt samma organisationer. Det finns en mängd nationella och regionala system som är anpassade till specifika förhållanden och som därmed kräver en speciell utformning för att fungera i praktiken. Men om vi nöjer oss med att göra en allmän bedömning av de fyra aspekterna av icke-spridningsarbetet, kan nog trots allt vissa allmänna slutsatser dras.

Kärnämneskontrollen har utvecklats och förstärkts sedan tilläggsprotokollet har börjat fungera. Vissa experter har påstått att om tilläggsprotokollet hade funnits och fungerat i

praktiken under 1980-talet, hade IAEA-inspektörerna tidigt upptäckt Iraks förberedelser på att skaffa kärnvapen. En parallell kan också göras till IAEA:s verifikationsarbete i Iran under senare år där inspektörerna har rapporterat att staten Iran inte har efterlevt NPT-fördraget och det ratificerade safeguards-avtalet. Nu har i och för sig inte Iran ratificerat tilläggsprotokollet som undertecknades 2003. Men det utvecklingsarbete som har investerats i förberedelserna för att få fram en vassare och mer effektiv kärnämneskontroll, med lärdomarna från Irak i ryggen, har i sig skapat ett mer effektivt och mer täckande övervakningssystem. Och om nu tilläggsprotokollet vinner laga kraft i Iran, blir det ytterst svårt att missleda inspektörer. Sammanfattningsvis innebär tilläggsprotokollet ett stort steg framåt. Men hur kan man tala om ett stort steg framåt med tanke på Nordkoreas provsprängningar under 2006 och misstankarna om att Iran försöker skaffa sig kärnvapen? För det första har Nordkorea sagt upp NPT-fördraget och av den anledningen finns det inte mycket IAEA kan göra för att stoppa vidare utveckling av kärnvapen i landet. Frågan har slutat att vara en kontroll- och övervakningsuppgift och har nu blivit en säkerhetspolitisk fråga där FN, världssamfundet och stormakterna är de aktörer som antingen via en politisk eller militär lösning kan göra något för att förändra Nordkoreas nuvarande hållning. Självklart kan också en förändrad politik från Nordkoreas sida påverka denna situation. För det andra, då det gäller Iran, måste slutsatsen bli att IAEA faktiskt i tid upptäckte att allt inte stod rätt till i Irans kärnenergi-program. IAEA har rapporterat om brott mot avtal och överlämnande av inkorrekta uppgifter från Irans sida. Så i det avseendet kan man säga, utan att överdriva, att kontroll- och övervakningssystemet verkligen har fungerat.

När det gäller arbetet med att förbättra det fysiska skyddet har stora framgångar gjorts under senare år. De stora infrastrukturella satsningar i syfte att skapa säkerhets- och kontrollsystem i forna Sovjetunionen sedan kommunismens fall, måste sammantaget betecknas som en lyckad utveckling, även om vissa stora problem återstår att lösa. Med beaktande att många befarade att mängder av ryska forskare och kärnmaterial skulle försvinna till s. k. "rouge states" eller till terrorister måste slutsatsen 10-15 år senare bli att så blev det inte. En ny och mer effektiv nukleär infrastruktur – med modern lagstiftning, oberoende tillsynsmyndigheter, moderna säkerhetssystem i internationell standard – håller på att växa fram i de baltiska staterna, Ryssland och Ukraina. Även om det finns mycket kvar att göra, exempelvis när det gäller att förbättra säkerheten vid kärntekniska anläggningar och förvaringsplatser, måste slutsatsen bli att mycket är redan vunnet. Studerar man statistik över kända incidenter över illegal trafficking av nukleärt material, måste man med optimistens ögon ändå utropa: Det kunde ha varit mycket värre.

Även *the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material* som vann laga kraft 1987, måste betecknas som en framgång. De stater som har undertecknat konventionen har förpliktat sig att efterleva dess skyldigheter. Visserligen är det fortfarande de enskilda staterna som ansvarar för utformningen och övervakningen av det fysiska skyddet. Det vore önskvärt att de ansträngningar som görs för att utvidga det globala ansvaret till att även innefatta kärntekniska anläggningar samt den nationella förvaringen och transporterna av kärnämnen. Samtidigt ska det sägas att det ligger i sakens natur att varje enskild nation har ett intresse i att skydda sina nukleära ämnen och utrustning.

Hur ska då de existerande exportkontrollregimernas effektivitet bedömas? Mot bakgrund av alla kända fall av avsteg från regimernas intentioner kan man fråga sig om de verkligen är så effektiva i förhindrandet av spridning av kärnvapen.

Exportkontrollregimer som ZC och NSG bygger, som sagt, på ett politiskt samarbete där medlemsstaterna lovar att efterleva de principer som genomsyrar samarbetet, med det finns inga legala medel som gör att sanktioner kan användas mot de stater som bryter mot dessa. Exempelvis har Rysslands nukleärt relaterade export till Indien ansetts som ett klart brott mot NSG:s principer. Inte heller har samarbetet inom den nukleära exportkontrollen lyckas förhindra Kina från att exportera en kärnreaktor (Chasnupp-1) till Pakistan trots att Pakistan inte har undertecknat NPT. Kina var medlem i ZC vid den tiden, men inte i NSG, vilket innebar att Kina inte behövde kräva att alla kärnreaktorer i den mottagande staten skulle vara under IAEA:s safeguardskontroll (vilket hade varit fallet om Kina hade varit medlem av NSG) [73].

Den som bryter mot regimernas principer utsätts för hård internationell kritik. Men en stormakt verkar kunna kosta på sig detta utan att några större risker behöver tas. Däremot skulle en stat i Sveriges storlek knappast komma undan på samma sätt som Kina. Samtidigt som detta sägs, måste det också framhållas att allt fler stater blir medlemmar i exportregimerna, numera är exempelvis Kina även med i NSG. Även om stora steg framåt har tagits för att täta många hål som fanns då enbart NPT-fördraget var i bruk, måste slutsatsen bli att fortfarande är exportkontrollregimernas i nuvarande utformning det övergripande nukleära icke-spridningssystemets svagaste länk.

Kapitel I.8 Sveriges nukleära historia

8.1 Sverige och tungvattenlinjen 1945-1970

Den svenska kärnenergiforskningen kom igång tidigt. År 1945 tillsatte den svenska regeringen den så kallade Atomkommittén (AK) som skulle studera och framlägga rapporter om hur kärnenergin skulle kunna utnyttjas nationellt. Kärnenergi och kärnvapen utgjorde en ny och delvis obekant värld. Regeringen ville helt enkelt få information och kunskap om hur kärnenergiforskningen skulle kunna utvecklas framöver. Det var i första hand den civila användningen som statsminister Tage Erlander och andra ledande politiker i Sverige attraherades av. Bakom sig hade man beredskapsåren med energiransoneringar. Oljetillförseln hade starkt begränsats och dessutom påvisade olika rapporter att världens oljetillgångar troligtvis skulle komma att ta slut inom ett par decennier. Mot den bakgrunden betraktades kärnkraften av många i den politiska eliten som framtidens dominerande energimedel. På samma sätt som oljan hade avlöst kolet, drömde man nu om att låta kärnkraften ta över efter den osäkra oljan. I förlängningen hägrade visionen om ett Sverige som var energimässigt självförsörjande. Till bilden hör även den inhemska tekniska och vetenskapliga utvecklingen. Sverige låg långt framme på kärnfysikens område. I sina memoarer berättar Erlander hur han diskuterade med den danske nobelpristagaren Niels Bohr, och i synnerhet med sin gamle vän Torsten Gustavsson, professor i fysik, om en eventuell användning av denna nya teknik. En del av dessa samtal berörde också möjligheterna att tillverka svensk kärnvapen. Erlander skriver att han i slutet av 40-talet och en bra bit in i 50-talet var positiv till ett svenskt kärnvapen [74]. Förespråkarna bland de svenska beslutsfattarna såg i ett svenskt kärnvapen en garant för ett starkt försvar. Den svenska

alliansfriheten krävde, så resonerade förespråkarna, en stark militär slagstyrka som kunde övertyga de båda blocken om att Sverige verkligen hade förmågan att stå fast vid sin neutralitetspolitik i händelse av krig. Det var mot den bakgrunden som ÖB gav Försvarets forskningsanstalt (FOA) i uppdrag att bedriva forskning om kärnavapnets eventuella utnyttjande redan i september 1945.

År 1947 bildades det statliga bolaget, AB Atomenergi (AE), som utgjorde en sorts *joint venture* mellan staten, forskningsvärlden och industrin. AE skulle huvudsakligen syssla med forskning och utveckling av den fredliga användningen av kärnkraften. FOA skulle av naturliga skäl ansvara för forskning om den militära användningen av kärnenergin.

Sverige ägde dessutom stora men låghaltiga uranfyndigheter som kunde utnyttjas för inhemsk produktion av kärnenergi. Landets ledande fysiker och kemister knöts till AK och FOA. Kontakter togs med Kungliga tekniska högskolan i Stockholm och Chalmers tekniska högskola i Göteborg för att stimulera och utveckla forskning på området.

Av ovanstående anledningar valde de svenska aktörerna att satsa på en reaktortyp som använde tungt vatten som moderator och naturligt uran som bränsle. Som en restprodukt från uranframställningen kunde man, med viss teknik, även få fram plutonium av vapenkvalitet. Det svenska kärnenergiprogrammet anpassades på så sätt att det rymde både en civil och (om nu den svenska regeringen och riksdagen tog ett sådant beslut i framtiden) en militär användning [75]. Förutsättningarna för ett framgångsrikt kärnenergiprogram i Sverige bedömdes vara mycket goda.

FOA uppdrogs av AK 1946 att undersöka möjligheterna av renframställning av svenskt uran samt separation av isotoper och plutoniumframställning. Att importera uran bedömdes vara svårt med tanke på USA:s hårda exportkontroll av nukleära ämnen och utrustning. Det var främst skiffarna och kolmen i Närke, Västergötland och Östergötland som blev föremål för en möjlig svensk uranframställning. Redan 1948 utarbetades en metod att extrahera uran ur kolmen och 1950 togs ett beslut i AE:s styrelse att ett uranextraktionsverk skulle uppföras i Kvarntorp i Närke med en årsproduktion av 5 ton. 1953 stod denna fabrik färdig.

Fram till 1956 utreddes ett svenskt atomenergiprogram av olika statliga instanser. Atomenergikommittén kom med rapporter och industrin förhandlade med staten och forskarvärlden om utformningen av ett svenskt kärnkraftsprogram. Forskningsmedel hade under tiden skjutits till av statsmakten i eskalerande grad och 1956 kom så beslutet i riksdagen om att programmet skulle genomföras. Projektet kom att gå under namnet "Den svenska linjen" och utgör vid sidan av Viggen- och JAS-projekten en av Sveriges största industriella satsningar genom tiderna [76]. Denna storsatsning varade fram till 1970 då riksdagen avbröt projektet.

8.2 Sveriges första reaktor – R 1

År 1954 blev Sveriges första reaktor klar, den så kallade R 1 belägen vid Kungliga Tekniska högskolan i Stockholm. Reaktorn kom dock inte att laddas med svenskproducerat uran eftersom någon omfattande framställning inte hade påbörjats. I stället lånade AE tre ton från franska Commissariat à l'Énergie Atomique. Det bestämdes att

reaktorn skulle modereras med tungt vatten (från Norge importerades 5 ton), även om grafit utgjorde ett tänkbart alternativ. Mot bakgrund av att Sverige ännu inte fått igång en egen uranproduktion, var det naturligt att välja denna teknik eftersom den krävde mindre uranmängder [77].

Forskningschefen vid AE Sigvard Eklund (sedermera IAEA:s andra Generalsekreterare) tog sig an reaktorprojektet. Eklund utnyttjade sitt stora internationella kontaktnät, i synnerhet det franska, i planeringen och konstruktionen av R 1. Som modell för den första reaktorn stod den amerikanska anläggningen CP 3 i Chicago. Reaktorn byggdes i ett bergrum och kom med tiden att drivas med en effekt på 1 MW [78].

R 1 var i mångt och mycket ett övningsobjekt genom vilket forskningen och kunskapsnivån inom kärnenergin kunde föras framåt. Exempelvis var forskarna vid reaktorn sysselsatta med att studera olika ämnens beteende under neutronbestrålning och med mätningar av neutronvärsnitt för uran. Sådan information var av stort värde för både AE och FOA i arbetet med beräkningar av kedjereaktioners olika förlopp [79].

År 1953 uppfördes en annan reaktorliknande uppställning i samma bergrum som R 1, ZEBRA (Zero Energy Bare Reactor Assembly). Anläggningen användes för undersökningar av uranstavskonfigurationer i reaktorhårdar vilka främst hade betydelse för utformningen av tungvattenreaktorsystemet [80].

8.3 Uppförandet av R 2 och kärnenergisamarbete med USA

För Sveriges del blev ”Atoms for Peace”-programmen avgörande för valet av nästa reaktor, R 2. Reaktorn, som gick kritisk 1960 i Studsvik utanför Nyköping, byggde på lättvattentekniken och kom enbart att användas för forskningsverksamhet. Detta alternativ hade tidigare inte varit möjligt eftersom Sverige inte hade tillgång till anrikat uran. Men efter Genèvekonferensen 1955 var det möjligt att både köpa anrikat uran och kompletta reaktorer från USA till förmånliga priser.

Den 18 januari 1956 undertecknades ett omfattande samarbetsavtal mellan USA och Sverige. Genom avtalet kunde Sverige erhålla vissa mängder anrikat uran samt tungt vatten som skulle användas för forskningsändamål. Det fanns ett självklart villkor inbyggt i dessa samarbetsavtal: Det mottagande landet förband sig att inte utnyttja de förvärvade kärnämnen till kärnvapentillverkning [81].

R 2 blev en större och effektmässigt starkare reaktor än R 1 med en termisk effekt av 50 MW. Reaktorn kom främst att användas för materialprovningar för den kommande reaktorutvecklingen. Exempelvis gjordes studier över hur kärnbränslestavar bäst kunde utformas för att användas i de framtida kärnkraftsanläggningarna [82].

8.4 Ågestareaktorn

1956 års kärnenergiprogram talade om att uppföra 5-6 kärnkraftverken fram till 1965. Ett av dessa hade redan innan programmet offentliggjordes börjat få en konkret utformning - R 3 vid Ågesta, söder om Stockholm. Reaktoranläggningen konstruerades för en kombinerad värme- och elproduktion. AE och Stockholms elverk slöt ett avtal om att använda Ågesta för värmeleverans till stockholmsförorten Farsta. Anläggningen byggde på en tungvattenteknik och laddades med naturligt uran i form av oxid som bränsle [83].

Ågesta togs slutligen i bruk den 17 juli 1963. Reaktorn var en prototypanläggning med en effekt av 65 MW, varav 55 MW användes för fjärrvärme till Farsta och 10 MW för elproduktion. År 1965 övertogs driften av Vattenfall. Den främsta anledningen till att anläggningen stängdes 1974 berodde på att den bedömdes som oekonomisk [84]. Även de nya säkerhetskraven som lanserades under denna tid fick till konsekvens att anläggningen lades ned [85]. Någon större kraftleverantör blev heller aldrig Ågesta. Trots detta anser vitboken *Svensk atomenergiolitik* att huvudmålet uppnåddes: att vinna de nödvändiga erfarenheterna av industriell reaktortillverkning, reaktordrift och bränsletillverkning för den fortsatta svenska kärnenergiutvecklingen [86].

8.5 Marviken

Nästa planerade kraftreaktor däremot, den s k R 4, uppfördes men togs aldrig i drift. R 4 byggdes vid Marviken utanför Norrköping och skulle bli Sveriges andra kraftreaktor. Projektet blev en komplicerad historia som efter en rad omarbetningar gick i graven 1970 [87]. Varför kom då aldrig tungvattenreaktorn att tas i drift? Det fanns flera skäl. För det första slog lättvattentekniken kommersiellt igenom på allvar under tiden som själva R 4 anläggningen monterades. Lättvattentekniken kunde lanseras som ett ekonomiskt fördelaktigare och driftssäkrare alternativ. För det andra sänktes priserna ytterligare på anrikat uran från USA, vilket medförde lägre kostnader för att driva en lättvattenanläggning [88]. För det tredje utgjorde själva säkerhetsaspekten en viktig anledning till att projektet övergavs. Det var främst överhettningstekniken som ansågs vålla det största säkerhetsproblemet. Överhettningen befarades nämligen att kunna leda till att bränsleelementen inte skulle hålla [89].

Statliga AB Atomenergi gick graven 1968 men dess konstruktions- och kärnbränsleverksamhet togs över av ASEA varvid ett nytt privat-statligt företag uppstod samma år, nämligen ASEA-ATOM. AE fortsatte som ett slags forskningsinstitut. Nu tog den privata kraftindustrin och lättvattentekniken över. Men det innebar inte att alla investeringar i tungvattentekniken var att betrakta som bortkastade pengar Nej, inte alls eftersom mycket av den kunskap, teknik och personella resurser som växt fram under åren kunde nu kanaliseras i den lättvattenteknik som tog över helt och hållet. Eller för att uttrycka det med Karl-Erik Larssons ord: "Lättvattentekniken fick en flygande start" [90].

Enligt det bilaterala samarbetsavtalet med USA 1956 och därtill hörande tillägg förband sig den svenska regeringen att tillåta amerikanska representanter från AEC att genomföra inspektioner av kärnenergianläggningar i Sverige. Syftet var att kontrollera att

Sverige efterlevde den överenskommelse som slutits, vilket innebar att kärnämnen och utrustning som köpts från USA enbart utnyttjades för fredlig användning. Den amerikanska regeringen hade därmed rätt att granska konstruktionen av varje reaktor innan den togs i bruk. Detta gällde även andra anläggningar som förfogade över uran och tungt vatten av amerikanskt ursprung. De amerikanska inspektörerna hade rätt att studera olika driftsdata för de använda anläggningarna samt att ha tillgång till bokföring över materialinnehav i form av nukleära råvaror.

Det var främst artiklarna VI och VII i samarbetsavtalet mellan USA och Sverige som reglerade inspektionsförfarandet. Det praktiska handhavandet av dessa var inte en gång för alla given. Man kan tala om att ett praktiskt arrangemang växte fram från 1956 och framåt, som innefattade dels de amerikanska säkerhetsbestämmelserna som reglerades av "Atomic Energy act of 1946" med tillägg, dels den svenska lagstiftningen och säkerhetsrutinerna.

Den första amerikanska inspektionen ägde inte rum förrän 1960 och då vid AB Atomenergis reaktor i Studsvik, den s. k. R2 [91]. Det var först efter att R2 kom i bruk 1959 som det fanns anledning för inspektörer från AEC att besöka Sverige. Men besöket 1960 hade förberetts genom samtal om villkor och leveranser av informationsmaterial som berörde safeguards-systemets utformning som exempelvis broschyren "Material Accountability" [92].

Tillsynsmyndigheten i Sverige vid den tiden var ytterst Delegationen för atomenergifrågor (DFA). Men det var den s k reaktorförläggningkommittén (RFK), som inrättades samtidigt med och underställdes DFA, som skötte de praktiska säkerhetsaspekterna. RFK gav AE direktiv om hur säkerheten skulle skötas och vilka rutiner som borde gälla i form av redovisning och förvaring av nukleära ämnen [93].

Vid första inspektionen i maj 1960 diskuterades rutiner för fortsatt handhavande av säkerhetskontrollen enligt det bilaterala avtalet. AEC och AE kom överens om att utarbeta ett rapporteringssystem för materialinnehav vilket innebar att AEC erhöll redovisning av detsamma kvartalsvis. Det gällde det uran som Sverige erhållit från USA, var det förvarades, dess rörelser under kvartalet och hur det användes.

Ett rapporteringssystem utarbetades som reglerade AEC:s önskemål [94]. Detta innebar att AE inte behövde rapportera de kvantiteter som understeg de gränser som angivits av IAEA. De kvantiteter av nukleära ämnen som enbart översteg dessa gränser en aning, behövde bara rapporteras en gång om året. AE förpliktade sig att skicka avskrifter och bevis om material som levererats till andra anläggningar och institutioner (med tiden även till tredje land). Dessutom skulle dessa rapporter tala om var den lokala placeringen i en anläggning fanns [95].

De amerikanska inspektionerna i Sverige ägde rum en eller två gånger om året. Under de första åren inskränktes inspektionerna till ett samtal med AE om uppgifterna i kvartalsrapporterna samt i samband med besöken i Studsvik en kontroll av R2:s bränsleelement i uranbank, bassänger eller transportflaskor. Dessutom höll sig AEC underrättad om de olika experiment som pågick eller planerades i Sverige.

Från 1964 omfattade inspektionerna även fysisk inventering av innehavet av plutonium och Pu-Be-neutronkällor. Av den anledningen besöktes även FOA:s anläggningar vid Ursvik 1964 - 1966. Besiktningen gällde även andra institutioner och förråd utanför

Studsvik såsom Isotoptekniska Laboratoriet på KTH och de förvaringsplatser i form av berggrum som AE förfogade över i Vällingby [96]. Från 1968 innefattade inspektionerna också AB ASEA ATOM:s anläggningar i Västerås i och med att detta bolag bildats och att det förfogade över nukleära ämnen av amerikanskt ursprung [97].

I och med att Sverige undertecknade NPT-fördraget den 19 augusti 1968, vilket ratificerades 9 januari 1970, förändrades samarbetsvillkoren med USA. Därmed hade den svenska regeringen gått med på att underställa sig IAEA:s kontroll. Detta innebar att de amerikanska inspektionerna kunde upphöra. Det skulle dock dröja ända till januari 1975 innan IAEA:s safeguards-system accepterades helt och hållet av den svenska regeringen. USA ville att Sverige skulle ansluta sig till IAEA:s regelsystem så fort som möjligt. Den svenska regeringen ansåg dock att man borde avvakta hur förhandlingarna mellan de övriga s. k. tröskelstaterna [98] och IAEA utvecklade sig.

Av den anledningen slöts ett interrimavtal mellan Sverige, USA och IAEA i mars 1972 som innebar att IAEA i praktiken tog över den tidigare amerikanska safeguards-kontrollen. När slutligen Sverige accepterade IAEA:s säkerhetssystem i dess helhet, hävdade den svenska regeringen att fördröjningen berodde på de utdragna förhandlingarna mellan IAEA och Euratom. Den svenska regeringen påstod att orsaken var att man inte ville ha ett safeguards-avtal som avvek alltför mycket från vad EEC-länderna (dåvarande EU-staterna) kunde uppnå [99].

För att klara av denna anpassning måste tillsyns- och säkerhetssystemet i Sverige förändras. Det fick till följd att en ny förordning utfärdades för DFA 1971. Enligt denna förordning skulle DFA ta hand om kontrollen av kärnbränsle och särskilt klyvbart material, som följde av Sveriges internationella åtgärden. Den 1 juli 1974 kom ytterligare en ny instruktion samtidigt som myndigheten bytte namn till Statens kärnkraftinspektion. Myndigheten fick vidgade beslutsfunktioner och en kraftig personalförstärkning ägde rum [100].

8.6 Lättvattenreaktorerna tar över

Den första lättvattenreaktorn i Sverige togs i drift 1972, Oskarshamn 1. Det var Oskarshamns kraftgrupp AB som stod för beställningen som gjordes 1966. Under åren 1968 - 71 beställdes åtta reaktorer av olika bolag. Tre av dessa reaktorer är s. k. tryckvattenreaktorer som placerades vid Ringhals. Under 1970- och 1980-talen uppfördes sammanlagt 12 reaktorer för elproduktion, varav 10 är i kommersiell drift år 2006. De är samtliga lättvattenreaktorer och använder anrikat uran som bränsle.

Barsebäcks kärnkraftverk

Barsebäck 1 (kokvattenreaktor, 630 MWe, driftstart 1975, avstängd 1999)

Barsebäck 2 (kokvattenreaktor, 630 MWe, driftstart 1977, avstängd 2005)

Ringhals kärnkraftverk

Ringhals 1 (kokvattenreaktor, 860 MWe, driftstart 1976)

Ringhals 2 (tryckvattenreaktor, 870 MWe, driftstart 1975)

Ringhals 3 (tryckvattenreaktor, 920 MWe, driftstart 1981)

Ringhals 4 (tryckvattenreaktor, 910 MWe, driftstart 1983)

Oskarshamns kärnkraftverk

Oskarshamn 1 (kokvattenreaktor, 500 MWe, driftstart 1972)
Oskarshamn 2 (kokvattenreaktor, 630 MWe, driftstart 1975)
Oskarshamn 3 (kokvattenreaktor, 1200 MWe, driftstart 1985)

Forsmarks kärnkraftverk

Forsmark 1 (kokvattenreaktor, 1018 MWe, driftstart 1980)
Forsmark 2 (kokvattenreaktor, 960 MWe, driftstart 1981)
Forsmark 3 (kokvattenreaktor, 1230 MWe, driftstart 1985 [101])

År 1980 hölls en folkomröstning där en majoritet var för en avveckling av svensk kärnkraft, men det skulle ske fram till 2010. År 1984 fick Sverige en ny lag, den s. k. villkorslagen vilket innebär att reaktorägarna ska ansvara för slutförvaringen av använt kärnbränsle och kärnavfall.

Kapitel I.9 Den svenska kärnämneskontrollen [102]

Det svenska nukleära icke-spridningsarbetet regleras av nationell lagstiftning, internationella avtal och överenskommelser samt europeiska atomenergigemenskapen (Euratomfördraget) med tillhörande förordningar. Det nationella regelverket utgörs främst av den svenska Kärntekniklagen (1984:3) som reglerar de kärntekniska verksamheterna. I paragraf 3 står det att kärnteknisk verksamhet ska bedrivas på ett sådant sätt att kraven på säkerhet tillgodoses och de internationella förpliktelser på icke-spridningsområdet som Sverige lovat att uppfylla efterföljs. Med internationella förpliktelser menas här i första hand Euratom-fördraget, NPT-fördraget och det till detta hörande safeguards-avtalet eller kontrollavtalet (safeguards agreement), CTBT, *Convention on the Physical Protection of Nuclear Material*, exportkontrollregimerna NSG, Zanggerkommittén och *The Wassenaar Arrangement on Export Controls for Conventional Arms and Dual-Use Goods and Technologies*.

Av dessa avtal och konventioner har NPT och Safeguards-avtalet betytt mest för den svenska kärnämneskontrollens framväxt. Sverige undertecknade tillsammans med de övriga EU-staterna tilläggsprotokollet till Safeguards-avtalet (Additional Protocol) 1998. Tilläggsprotokollet trädde i laga kraft den 30 april 2004 när samtliga EU-stater och Kommissionen ratificerade det. I Sverige medförde detta åtagande att en hel del lagändringar fick göras vilka var avklarade år 2000 [103].

Statens kärnkraftinspektion (SKI) har det övergripande ansvaret för tillsyn och kontroll i Sverige. I detta uppdrag ingår även, enligt paragraf 2 i Kärntekniklagen, att se till att Sverige efterlever internationella åtagandena på det nukleära icke-spridningsområdet. För att kunna agera effektivt samarbetar SKI med andra myndigheter som i någon mening har kunskaper om eller på annat sätt har till sin uppgift att förhindra spridning av kärnämnen eller kärnteknisk utrustning: Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Inspektionen för strategiska produkter (ISP), SÄPO, Tullverket och Statens strålinstitut (SSI).

Förutom EU-fördraget finns Euratoms förordning om kärnämneskontroll som Sverige i egenskap av medlemskapet i EU är förpliktat att följa. När Euratom bildades 1957 var tanken att denna organisation skulle fungera som övergripande tillsynsmyndighet för EEC (sedermera EG och EU). Exempelvis finns idag ingen nationell tillsynsmyndighet i Tyskland och Italien. Sverige bestämde sig dock för att behålla sin nationella tillsynsmyndighet vid inträdet i EU år 1995. Från svensk sida hävdades det att en nationellt baserad tillsyn skulle ge en effektivare kontroll, skänka en högre grad av transparens och utgöra en bättre plattform för information till media och allmänhet. Dessutom, påpekades det från svensk sida, skulle andra delar av den nukleära infrastrukturen finnas kvar som nationella organisationer: exportkontroll, reaktorsäkerhet, fysiskt skydd, transport etc. Mot den bakgrunden vore det rimligt att även den nukleära kärnämneskontrollen hanterades på ett praktiskt plan i form av en myndighet i Sverige. Euratom var först skeptisk till att Sveriges behöll sin nationella bas, men senare har det visat sig att denna lösning har varit till gagn för både IAEA och Euratom. Exempelvis har ratificeringen av tilläggsprotokollet fungerat mycket effektivt. Sverige kunde genom SKI snabbt och smidigt efterleva tilläggsprotokollets krav på redovisning av teknisk data, pågående forskning och framtida planer inom det nukleära området. Även våra grannländer Finland och de baltiska staterna (till dels beroende på rekommendationer från SKI) behöll sina nationella myndigheter vid inträdet i EU.

Vad innebär detta speciella arrangemang i praktiken för SKI och Sverige? Det är viktigt att förstå att det är Kommissionen som är den juridiskt förankrade formella motparten till IAEA när det gäller traditionell kärnämneskontroll (kontrollavtalet). Det har till konsekvens att de olika rapporterna och redovisningarna från de svenska anläggningarna skickas till Euratom som i sin tur överlämnar dessa till IAEA. SKI får en kopia på denna korrespondens. Kommissionens ansvar gentemot IAEA regleras av kontrollavtalet INFCIRC/193, vilket är ett trilateralt avtal mellan IAEA, kommissionen och EU:s icke-kärnvapenstater. Men när det gäller skyldigheter enligt tilläggsprotokollet har SKI huvudansvaret för merparten av dessa förpliktelser. Man kan därmed säga att Tilläggsprotokollet har integrerats i kontrollavtalet (Safeguards Agreement).

Alla företag och organisationer som äger eller på annat sätt förfogar över eller hanterar kärnämnen uran, thorium och plutonium ska omfattas av denna kärnämneskontroll. Alla förändringar ska anmälas till SKI, vilket även innefattar vissa tekniska uppgifter [104]. Vid SKI finns ett nationellt kärnämnesregister (databas) i vilket varje gram kärnämne finns bokfört. Utdrag ur registret sker inför varje inspektion där SKI är involverat. Den svenska anläggningarnas kontroll av kärnämnen regleras av Kommissionens förordning nr 302/2005 (Euratom).

9.1 Inspektion och övervakning

Kommissionen och IAEA har olika specifika mål och krav med kärnämneskontrollen vilket har sina praktiska konsekvenser för inspektionernas utförande. Till kommissionen inlämnar respektive anläggning som ska omfattas av övervakning och kontroll en teknisk beskrivning, *Basic Technical Characteristics* (BTC). På basis av denna BTC

görs en särskild kontrollplan, *Particular Safeguard Provision* (PSP) av Kommissionen. SKI och anläggningen i fråga får kommentera innehållet innan den fastställs.

IAEA:s kontroll och övervakning regleras av huvudsakligen två dokument som i detalj beskriver denna verksamhet: *Subsidiary Arrangement* (SA), som utformas för varje stat, och *Facility Attachment* (FA), som gäller för varje specifik anläggning. De metoder som använts vid verifiering och utvärdering följer IAEA:s *Safeguards Criteria*.

Ett gällande SA och FA förhandlas i slutändan fram mellan Kommissionen, IAEA och den berörda staten, vilket ännu inte skett för svenska anläggningar. Det är viktigt att påpeka även i detta sammanhang att det är Kommissionen som är den juridiskt förankrade formella motparten till IAEA. De kontrollprocedurer som uttrycks i SA och FA används inte av Euratoms inspektörer vid deras inspektioner i Sverige. Vid dessa inspektioner används enbart PSP som kärnämneskontrollplan.

SKI-inspektörerna gör minst en inspektion per år vid alla större anläggningar i Sverige. Det rör sig om tio kärnkraftverk, Bränslefabriken i Västerås, anläggningar och reaktorer vid Studsvik, f. d. uranfabriken vid Ranstad där kärnämnen förvaras. Varje år inspekteras även kärnämnen av mindre kvantitet vid 30 universitet, högskolor och lasarett. Men detta sker slumpvis på ett urval av dessa 30 ställen.

Kommissionen gör ca 4 inspektioner per år vid varje större anläggning (vid de tio kärnkraftverken, Studsvik, Bränslefabriken i Västerås).

IAEA gör också ca 4 inspektioner per år och anläggning. Under senare tid har dock frekvensen ökat med anledning av att tilläggsprotokollet har börjat tillämpas och det kräver att en del förnyade rutiner måste utformas.

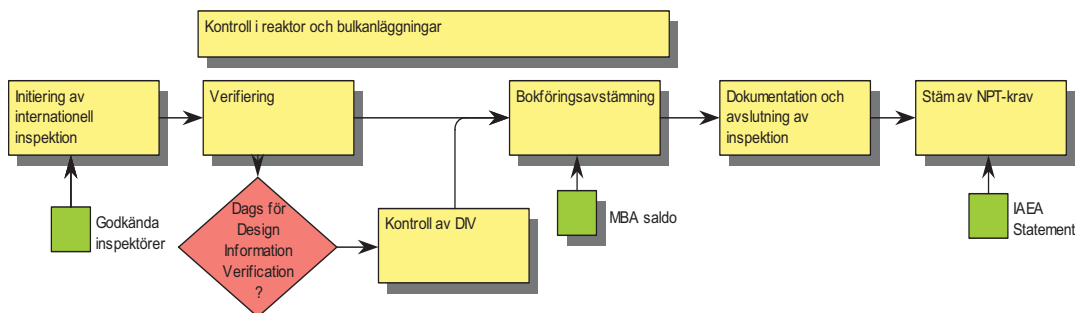
9.2 Vad är det som reglerar och styr safeguardsarbetet i Sverige?

Hur inspektionerna läggs upp beror på om det är fråga om en s.k. verksamhetsinriktad tillsyn eller ett internationellt åtagande. Rutinerna för de sistnämnda är noggrant reglerade i IAEA:s och EU:s regelverk. Vid sidan av de löpande inspektionerna, som genomförs vid olika intervaller beroende på kärnämnets strategiska värde [105], ska även s. k. fysiska inventeringar (PIV) göras. En PIV innebär att alla kärnämnen inom ett Materialbalansområde (MBA) verifieras en gång per år. Ett MBA är definierat i IAEA:s FA och i Kommissionens PSP vilka är specifika för varje kärnteknisk anläggning (exempelvis kan en reaktor med tillhörande bassänger och införselväg kan utgöra ett MBA). SKI deltar vid PIV vid de kärntekniska anläggningarna. Däremot deltar inte SKI alltid vid varje internationell rutininspektion som utförs av IAEA eller Kommissionen. Det avgörs från fall till fall, även om ett svenskt deltagande kan underlätta arbetet vid de olika anläggningarna. I och med att tilläggsprotokollet har trätt i kraft, kommer SKI att ha beredskap att delta med kort varsel vid dessa internationella inspektioner eftersom de nya villkoren innebär att IAEA kan begära kompletterande tillträde till alla lokaler inom anläggningens s.k. område inom två timmar.

När det gäller Kommissionens inspektioner deltar SKI som observatör. Det innebär inte att SKI alltid är en passiv deltagare utan de svenska inspektörerna kan ge råd och vara behjälplig vid själva kontrollerna mot bakgrund av de erfarenheter och kunskaper som de har av anläggningarna. Dock måste en sådan förfrågan om hjälp och assistans komma från Kommissionen.

9.3 Vad sker vid en inspektion?

1. Det kommer förhandsanmälan, en s. k. *notifiering*, från IAEA och Kommissionen minst en vecka innan inspektionen ska ske, där det framgår vad inspektionen omfattar och vem som ska utföra den.
2. SKI kontrollerar att inspektörerna är godkända av Sverige (de är så att säga "licensierade" för uppdrag i Sverige) och skickar ett meddelande till anläggningen som ska bli föremål för inspektion.
3. Inspektörerna måste ha inpasseringshandlingar för att kunna utföra inspektionerna och för detta krävs att de har genomgått en grundläggande säkerhetskurs (inte äldre än tre år) samt har ett giltigt läkarintyg.
4. Ett inledande möte sker mellan inspektörerna från SKI, Euratom eller IAEA och de ansvariga för kärnämneskontrollen vid anläggningen i fråga. Vid detta möte bestäms turordningen för de olika momenten som ingår i inspektionen. Turordningen kan nämligen variera från gång till gång, från anläggning till anläggning beroende på hur kontrollen bäst bör läggas upp.
5. Inspektionen. Det är viktigt att understryka att inspektionsproceduren har olika karaktär beroende på om det är fråga om verksamhetsinriktad tillsyn (SKIQ 12) eller en företagen inspektion enligt internationella krav (se nedan).
6. SKI skriver inspektionsrapport vilken skickas till anläggningarna i fråga.
7. IAEA skickar ett "Statement" till Kommissionen som med ett eget utlåtande vidarebefordrar det till SKI där det framgår om IAEA har några anmärkningar. Om IAEA har vissa anmärkningar som rör verksamheten men som inte kan förklaras på ett godtagbart sätt, kommer dessa att uttryckas i IAEA:s årsrapport. Om inte de avvikelser som har verifierats kan rättas till, kan IAEA överlämna ärendet till FN:s Generalförsamling som i sin tur kan låta Säkerhetsrådet besluta om sanktioner ska vidtas eller inte.



Figur 4: Kärnämneskontroll inspektion [106].

9.4 Internationella inspektioner vid svenska kärnkraftverk

Rutininspektioner. Dessa inspektioner sker enligt den traditionella kärnämneskontrollen var tredje månad för låganrikat uran enligt kontrollavtalet mellan EU, IAEA och Sverige. Vid kärnkraftverken omfattar en sådan inspektion kontroll av övervakningsutrustning, en genomgång av bokföringen samt verifiering av bränsle i bassänger och förråd.

Vid anläggningar med många bokförda poster där material i lös form hanteras, exempelvis pulver, kutsar och vätskor (s.k. Bulk-Handling Facility) utförs bokföringskontroll och viss verifiering/kontroll av utvalda poster. Bränslefabriken i Västerås är en sådan anläggning och exempelvis kan urankutsar slumpmässigt tas ut för analys.

Vid båda anläggningstyperna kontrolleras ansatta sigill, dessa ska bytas med vissa intervall. IAEA och EU har skilda kriterier för bränslefabriker vilket gör att EU inspekterar med cirka 6 veckors mellanrum jämfört med IAEA:s 3 månader. Vid bränslefabriken kommer dessutom EU-kommissionens inspektörer för att sätta sigill på de transportbehållare som ska skickas utanför EU. Dessa besök sker 5-6 ggr per år.

Årlig inventering. Alla kärnämnen vid anläggningen skall inventeras minst var 14:de månad. Resultatet av inventeringen verifieras av SKI, IAEA och Euratom, vid en s.k. PIV. På kärnkraftverken sker inventeringen i samband med det årliga bränslebytet. Då verifieras allt färskt bränsle genom nummeridentifikation och slumpvis NDA-mätning. Allt bränsle i härden nummeridentifieras med hjälp av TV-kamera. Dessutom verifieras att allt bränsle befinner sig på rätt positioner i förhållande till dokumentationen. Sigill och övervakningskameror kontrolleras. Det bestrålade bränslet i bassängerna verifieras med CVD (Cherenkov Viewing Device) vid ett senare tillfälle, s.k. post-PIV.

Vid ”bulk-handling anläggningar” sker PIV vid ett längre underhållstopp och anläggningen förbereder sig genom att först ”köra tomt” i rörsystem och maskiner. Trots det kommer en mindre mängd kärnämne att finnas kvar i processystemet. Detta är givetvis ett problem eftersom allt kärnämne inte kan verifieras. Som hjälp har ett statistiskt paket utvecklats som både används inför inspektionen och vid utvärderingen.

Inspektionen inleds med att en provtagningsplan görs i vilken anläggningen delas upp i olika zoner beroende på de olika materialslag som finns. Därefter används olika verifieringsmetoder för skilda delar av inventariet; Non-Destructive Assay (NDA), Destructive Assay (DA), vägning samt kontroll av vågar och etiketter. När dessa moment är avklarade och alla poster i inventarieförteckningen har prickats av görs en statistisk beräkning, som tar hänsyn till mätnoggrannheter och materialflödet. Resultatet av denna beräkning är en s.k. MUF och - ännu viktigare - en osäkerhet i denna beräkning kallad sigma(MUF). MUF och sigma(MUF) får inte vara större än vad IAEA/Kommissionen bestämt i förhållande till den mängd uran som använts sedan föregående verifiering i anläggningen. Hela verifieringsprocessen tar ca fem dagar att genomföra och drygt tio personer krävs för denna verksamhet.

SKI utför i princip inga egna mätningar för att verifiera kärnämnesinnehållet utan man förlitar sig på IAEA:s och Kommissionens resultat. Men om SKI skulle behöva göra egna mätningar finns en egen CVD-detektor som kan användas för kontroll av bestrålat kärnbränsle. Om så skulle behövas kan annan expertis tas till hjälp (exempelvis Institutionen för strålningsvetenskap vid Uppsala universitet eller FOI).

Någon gång varje år görs även en kontroll av den s.k. "Design Information" vilket är en deklaration om en anläggnings tekniska konstruktion och prestanda avseende kärnämne som lämnats till IAEA (och EU) vid introduktion av kärnämnen. Design Information Verification, DIV, används av IAEA i syfte att kontrollera att alla väsentliga ombyggnationer som påverkar processen medfört en uppdatering av Design Information. Syftet är att upptäcka om ombyggnader gjorts som kan medföra hemlig produktion av kärnämne.

Kapitel I.10 Exportkontrollen i Sverige

Den nukleära exporten från Sverige regleras av både överstatliga, mellanstatliga och nationella förordningar, överenskommelser samt lagar. Sveriges medlemskap i EU medför att landet måste följa "Rådets förordning (EG) nr 1334/2000 som skapades för att kunna hantera kontrollen av produkter och teknik med dubbla användningsområden. Enligt förordningens Artikel 2 a definieras detta dubbla användningsområde som: "produkter inbegripet programvara och teknik, som kan användas för både civila och militära ändamål, samt alla varor som kan användas både för icke-explosiva ändamål och för att på något sätt bidra vid tillverkning av kärnvapen eller andra kärnladdningar". Export definieras som utförsel ur EU av produkter, vilka listas i Bilaga 1 till förordningen, ur EU. För denna utförsel krävs tillstånd. Tillstånd krävs även vid överföring inom EU av speciellt känsliga produkter, däribland kärntekniska produkter och speciellt känsligt kärnämne (Artikel 21 och Bilaga IV i förordningen). Tillståndet ska utfärdas av den myndighet som finns i den stat där exportören befinner sig. Det finns olika typer av tillstånd. De kan vara individuella (ges för ett exporttillfälle), globala (tidsbegränsade och gäller enbart de stater och produkter som tillståndet anger) eller generella.

SKI är den tillståndsansvariga myndigheten då det gäller Bilaga 1 och de produkter som faller under kategori 0 [107]. Denna kategori 0 lista är i stort sett identisk med NSG:s

Trigger List. Inom EU kan utarmat, naturligt och låganrikt uran överföras fritt mellan medlemsstaterna utan tillstånd. Om det gäller produkter av dubbelsyftande karaktär (Dual-Use), kategori 1-9, är det Inspektionen för strategiska produkter (ISP) som är den ansvariga svenska myndigheten. ISP är en statlig myndighet som kontrollerar export av krigsmateriel och andra strategiska produkter vilka kan indelas i tre verksamhetsområden:

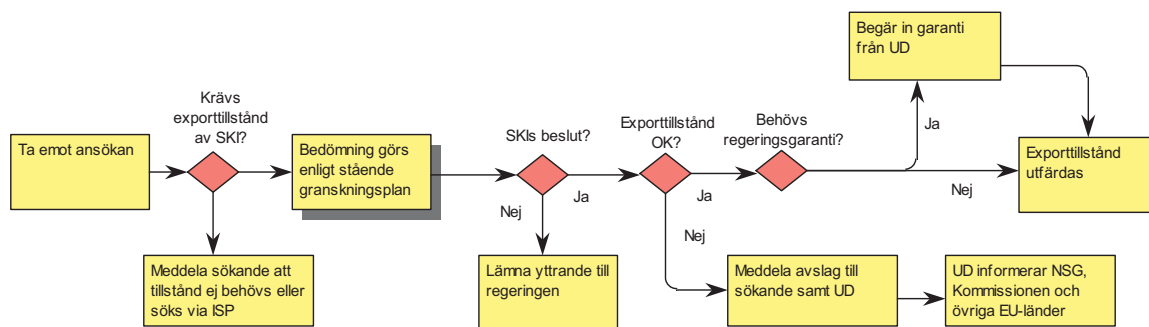
- Krigsmateriel. I detta verksamhetsområde hanteras export av bl. a. vapen, ammunition, spanings- och mätutrustning eller andra för militärt bruk utvecklade produkter.
- Produkter med dubbla användningsområden. Det kan röra sig om materiel, produkter och teknologi som har tagits fram för civil användning men som samtidigt kan utnyttjas för utveckling av massförstörelsevapen eller annan militär utrustning.
- Kemvapenkonventionen. I detta verksamhetsfält regleras exporten av olika ämnen och utrustning som i någon mening kan utnyttjas för att utveckla kemiska vapen enligt denna konvention [108].

Sverige är också medlem i de två exportkontrollregimer på det nukleära området: Zangger Committee (ZC) och Nuclear Suppliers Group (NSG). ZC har, som mer utförligt beskrivs i kapitel 4, tagit fram en s. k. trigger list (publicerad och tillgänglig som IAEA dokument INFCIRC/209) i syfte att kunna agera effektivare och mer täckande i efterlevandet av NPT:s Artikel III. Sammanfattningsvis innebär medlemskapet i ZC krav på exporterat kärnämne och anläggningar med de exporterade produkter som finns på listan måste underställas IAEA:s safeguards. Medlemsstaterna har även kommit överens om att utbyta information om utfärdade exporttillstånd för produkter som berörs av listan. För Sveriges del innebär detta att SKI sammanställer en årlig rapport som skickas vidare till UD:s ”Enhet för strategisk exportkontroll” som i sin tur granskar denna och vidtar åtgärder om så behövs. Därefter sänds rapporten vidare till ZC.

NSG har i motsats till ZC ingen legal koppling till NPT. Syftet med skapandet av NSG var att stärka den dåvarande exportkontrollen som ansågs bristfällig på många sätt. Nya riktlinjer togs fram och resulterade i två listor för exportkontroll: en Trigger List för Single-Use (publicerad som INFCIRC/254/Part 1) och en lista för Dual-Use produkter (producerade som INFCIRC/254/Part2). Produkter som återfinns på lista 1 är också grunden för den rapportering som Sverige gör till IAEA enligt Tilläggsprotokollet avseende export av kärnteknisk utrustning enligt Tilläggsprotokollet [109]. Listan i Tilläggsprotokollet har dock inte tagits med de senaste uppdateringarna av NSG:s lista 1.

Den svenska exportkontrollen regleras av Lag (2000:1064) om kontroll av produkter med dubbla användningsområden samt olika förordningar. Lagen och de förordningar som tagits fram i anslutning till denna kan sägas komplettera rådets förordning och avser att reglera hanteringen av tillståndsgivning [110].

10.1 Hantering av exportansökan



1. En ansökan lämnas in till SKI. Det finns blanketter utformade för detta ändamål.
2. SKI undersöker om blanketten är korrekt ifylld och om produkten i fråga kräver exporttillstånd.
3. En utvärdering görs av produktens möjliga användningsområden samt potentiella slutanvändare enligt en framtagen granskningsplan. Expertis och råd kan hämtas utanför SKI om så behövs, exempelvis från UD, ISP, Tullen eller FOI. En central utgångspunkt i bedömningen är om den mottagande staten har undertecknat NPT och är medlem i ZC eller NSG. Hänsyn tas också till IAEA:s safeguards-rapportering och om landet är utsatt för någon form av handels sanktioner från EU eller FN. I bedömningen ingår att undersöka vad för slags garanti som krävs av den mottagande parten. Om den mottagande staten är medlem i NSG kan SKI fatta ett eget beslut enligt 8 § i förordning 2000:1217, vilket även gäller mindre mängder kärnämnen enligt förteckningen av samma paragraf. Till sin hjälp har SKI två databaser: NSG:s databas NISS som innehåller uppgifter om utfärdande av "complementary information" och avslag för Dual-Use, samt SKI:s egen databas KUT som används vid handläggning av export av kärntekniska produkter.
4. SKI gör en bedömning huruvida beslut om tillstånd bör fattas eller inte.
5. SKI överlämnar sitt yttrande till regeringen (om det inte gäller export till medlemmar i NSG).
6. Beslut fattas av regeringen (eller SKI om det gäller export till medlemmar i NSG).
7. Regeringen meddelar genom UD NSG, Kommissionen och övriga EU-stater om ansökan avslås. Tanken är att om en stat har avslagit export till ett visst mottagarland, ska inte heller andra stater som deltar i samarbetet inom kontrollregimen ge tillstånd till sådan export.

Efter det att det avslöjades att Irak hade ett hemligt kärnvapenprogram i gång i början av 1990-talet, gjorde IAEA en rundfrågning bland sina medlemmar om de kunde tänka sig att göra frivilla rapporteringar av beslutade exportlicenser i syfte att stärka kärnämneskontrollen. Sverige svarade positivt på denna förfrågan och har sedan 1993 lämnat in rapporteringar kvartalsvis till IAEA. Sedan Sverige blev medlem i EU 1995, har denna rapportering handlat om information av export ut ur EU. I och med att tilläggsprotokollet undertecknades 1998 och ratificerades år 2004 har Sverige även en tvingande rapportering av export (även överföringar inom EU) av teknisk utrustning. IAEA har enligt Tilläggsprotokollet också rätt att begära bekräftelse på mottagande från mottagarstaten, även om mottagarlandet är en EU-stat. När det gäller uppgifter om den svenska exporten tas dessa från databasen KUT [111].

Kapitel I.11 Fysiskt skydd och transportsäkerhet i Sverige

11.1 Fysiskt skydd

Det fysiska skyddet i Sverige har två huvuduppgifter: (1) att förhindra obehörigt intrång och sabotage vid anläggning som kan leda till radiologiska skador; (2) att förhindra obehörig befattning med kärnämnen som kan leda till spridning av kärnvapen [112]. Sverige har undertecknat och ratificerat konventionen om fysiskt skydd av kärnämne vilket ställer krav på säkerhet och skydd vid främst transporter av nukleära ämnen [113]. SKI och Sverige har också engagerat sig i arbetet med att ta fram reviderade globala riktlinjer för fysiskt skydd för IAEA, ”The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities” (INFCIRC/225/rev.4.). Dessa riktlinjer har tagits fram i syfte att fungera som internationellt vedertagna rekommendationer.

Det fysiska skyddet i Sverige regleras av Kärntekniklagen och SKI:s föreskrifter. Den svenska lagstiftningen stipulerar att det fysiska skyddet vid en anläggning måste vara dokumenterad i en plan godkänd av den ansvariga myndigheten, dvs. SKI. Denna plan ska följas av respektive huvudman som har tillstånd att driva anläggning. Ändringar i planer måste rapporteras till SKI (SKIFS 2004:1, 2 kapitel, 11 §). Inspektioner sker återkommande vid de olika anläggningarna för att utvärdera om SKI:s föreskrifter efterlevs. Dessa inspektioner följer en framtagen plan.

En löpande uppföljning och analys av hotbilden mot svenska kärnteknikanläggningar görs i samarbete mellan SKI, Rikskriminalpolisen och Säkerhetspolisen. I praktiken innebär detta att Säpo gör en årlig skriftlig sammanställning där den aktuella hotbilden analyseras. Därtill görs en översyn och uppföljning av hotbilden minst en gång per år. SKI informerar tillståndshavarna om den aktuella hotbilden [114].

I augusti 2005 tog SKI:s styrelse beslut om att fastställa nya föreskrifter för fysiskt skydd i Sverige (SKIFS 2005:1). Dessa nya regler har tagit fem år i anspråk att utveckla och har baserats på en delvis ny och förändrad syn på hotbilden mot svenska kärnteknikanläggningar. Huvudsakligen kan man tala om tre orsaker till att nya bestämmelser har tagits fram: (1) Förändrad hotbild med ökad betoning på att kunna skydda anläggningar mot sabotage och terrorangrepp; (2) behovet av att samla alla regler i en och samma föreskrift vilket underlättar arbetet med att utvärdera det fysiska skyddet och dess generella tillämpning ute på anläggningarna; (3) de internationella rekommendationerna som främst utarbetats av IAEA har utvecklats och detta kräver en svensk anpassning [115]. Mot bakgrund av de tragiska terroristattacker i USA den 11 september 2001 fick det svenska regleringsarbetet göra en omstart och ta hänsyn till en förändrad hotbild.

De nya föreskrifterna som ägde laga kraft från 1 januari 2007, innehåller åtgärder som kan sammanfattas i åtta punkter:

- Fysiska barriärer, inklusive olika typer av stängsel och robusta byggnader, ska finnas för att förhindra olaga intrång.
- Säkerhetsvakter ska finnas för att övervaka tillträde av personer och fordon samt in- och utförelse av gods och utrustning och bevaka anläggningen.
- Tekniska övervakningssystem som ska kunna upptäcka och verifiera icke-auktoriserat tillträde till olika delar i en anläggning på ett tidigt stadium.
- Utvecklade rutiner för att de tekniska övervakningssystemen och utrustningen fungerar tillfredsställande.
- Utvecklade rutiner och fungerande teknisk utrustning för att upptäcka att inte otillåtna objekt tas in på anläggningen (säkerhetskontroll).
- Utvecklade rutiner och fungerande teknisk utrustning för kontroll av tillträde till vissa delar av anläggningen som enbart ges till specifika personer.
- Rutiner för att enbart personer som bedömts pålitliga och lämpliga ur säkerhetssynpunkt får tillträde till anläggningen (säkerhetsprövning).
- Rutiner för att neka tillgång till information för obehöriga rörande anläggningens bevaknings- och säkerhetsåtgärder.

Det är den svenska polisen som har den legala rätten att försvara och överhuvudtaget bruka våld vid attack eller sabotage mot kärnteknikanläggning. Det finns sedan länge ett utvecklat samarbete mellan anläggningarna, den lokala polisen och den nationella insatsstyrkan [116].

Strax efter 11 september attacken deltog SKI vid ett internationellt möte i Bonn med sju europeiska stater. Mötet blev en början till ett etablerat internationellt samarbete mellan Belgien, Finland, Frankrike, Spanien, Storbritannien, Sverige och Tyskland i syfte att stärka det fysiska skyddet. Detta samarbete ledde till att en formell organisation bildades år 2004, *European Nuclear Security Regulators Association* (ENSRA), som har till sin uppgift att främja ett utbyte av information och erfarenheter mellan de deltagande staterna.

11.2 Transportsäkerhet

Den svenska transportsäkerheten rörande radioaktivt material regleras främst av fyra lagar.

- **Kärntekniklagen.** I den definieras vad som är kärnämne och kärnavfall. Transport av sådant radioaktivt material som är kärnämne eller kärnavfall är tillståndspliktigt enligt kärntekniklagens bestämmelser.
- **Strålskyddslagen.** Den reglerar verksamhet med strålning, dit bland annat transporter av radioaktivt material räknas. En transport av radioaktivt material som varken är kärnämne eller kärnavfall är tillståndspliktig enligt strålskyddslagens bestämmelser.
- **Lagen om transport av farligt gods.** Farligt gods indelas i olika klasser varav klass 7 är radioaktivt material. En undergrupp är klyvbart material som har speciella säkerhetsbestämmelser. All transport av radioaktivt material måste ske i enlighet med bestämmelserna om transport av farligt gods, utöver kärntekniklagens och strålskyddslagens bestämmelser.
- **Atomansvarighetslagen** reglerar de krav på försäkring som gäller transporter så kallad atomsubstans.

De inhemska transporterna sker normalt med lastbil medan internationella transporter till Sverige sker med båt till svensk hamn och därefter används lastbil. Det rör sig om en hel del stora och ibland tunga transporter. Exempelvis innehåller en svensk kokarreaktor mellan 450 och 700 bränsleelement i härden beroende på effekt. Varje patron/ element innehåller ca 200 kg. uranoxid. Tryckvattenreaktorernas bränslepatron/element väger ca. 450 kg. Vid en revisionsavställning som i princip sker varje år byts ca. en femtedel av bränsleelementen i härden. Använt bränsle transporteras normalt med fartyget Sigyn till mellanlagret, CLAB, utanför Oskarshamn. Fartyg som används för transport av bestrålat bränsle måste vara godkända enligt de villkor som krävs i den internationellt överenskomna INF-koden (Irradiated Nuclear Fuel Code) [118]. För att försvåra stöld och sabotage under transporten ska vissa villkor för fysiskt skydd efterlevas enligt de skyddsklasser som redovisas i kapitel X. Inspektioner kan göras av SKI i syfte att kontrollera att tillståndsinnehavaren uppfyller SKI:s villkor i de beslut som utfärdats i enlighet med kärntekniklagens bestämmelser [119]. Tillsynsmyndigheter för transporter av farligt gods klass 7 (radioaktivt material) är Räddningsverket, Järnvägsstyrelsen, Polisen, Sjöfartsverket, Kustbevakningen, Luftfartsstyrelsen, SKI och SSI.

Bilaga I.1

Levels of Physical Protection to be Applied in International Transport of Nuclear Materials

1. Levels of physical protection for nuclear material during storage incidental to international nuclear transport include:

- For Category III materials, storage within an area to which access is controlled;
- For Category II materials, storage within an area under constant surveillance by guards or electronic devices, surrounded by a physical barrier with a limited number of points of entry under appropriate control or any area with an equivalent level of physical protection;
- For Category I material, storage within a protected area as defined for Category II above, to which, in addition, access is restricted to persons whose trustworthiness has been determined, and which is under surveillance by guards who are in close communication with appropriate response forces. Specific measures taken in this context should have as their object the detection and prevention of any assault, unauthorized access or unauthorized removal of material.

2. Levels of physical protection for nuclear material during international transport include:

- For Category II and III materials, transportation shall take place under special precautions including prior arrangements among sender, receiver, and carrier, and prior agreement between natural or legal persons subject to the jurisdiction and regulation of exporting and importing States, specifying time, place and procedures for transferring transport responsibility;
- For Category I materials, transportation shall take place under special precautions identified above for transportation of Category II and III materials, and in addition, under constant surveillance by escorts and under conditions which assure close communication with appropriate response forces;
- For natural uranium other than in the form of ore or ore-residue; transportation protection for quantities exceeding 500 kilograms uranium shall include advance notification of shipment specifying mode of transport, expected time of arrival and confirmation of receipt of shipment.

Table: Categorization of Nuclear Material

Material	Form	Category		
		I	II	III ^{c/}
1. Pu ^{a/}	Unirradiated ^{b/}	2 kg or more	Less than 2 kg but more than 500 g	500 g or less but more than 15 g
2. ²³⁵ U	Unirradiated ^{b/} uranium enriched to 20% ²³⁵ U or more	5 kg or more		1 kg or less but more than 15 g
	Uranium enriched to 10% ²³⁵ U but less than 20%		Less than 5 kg but more than 1 kg	Less than 10 kg but more than 1 kg
	Uranium enriched above natural, but less than 10% ²³⁵ U		10 kg or more	10 kg or more
3. ²³³ U	Unirradiated ^{b/}	2 kg or more	Less than 2 kg but more than 500 g	500 g or less but more than 15 g
4. Irradiated fuel			Depleted or natural U, Th or low-enriched fuel (less than 10% fissile content) ^{d/e/}	

^{a/} All plutonium except that with isotopic concentration exceeding 80% in ²³⁸Pu.

^{b/} Material not irradiated in a reactor or material irradiated in a reactor but with a radiation level equal to or less than 100 rads/hour at one metre unshielded.

^{c/} Quantities not falling in Category III and natural uranium should be protected in accordance with prudent management practice.

^{d/} Although this level of protection is recommended, it would be open to States, upon evaluation of the specific circumstances, to assign a different category of physical protection.

^{e/} Other fuel which by virtue of its original fissile material content is classified as Category I and II before irradiation may be reduced one category level while the radiation level from the fuel exceeds 100 rads/hour at one metre unshielded.

Del II Kärnämneskontrollens verifierande funktion

Ane Håkansson

Kapitel II.1

Inledning

I tidigare kapitel har vi diskuterat kärnämneskontrollens formella struktur där de olika internationella avtalen spelar en betydande roll. I det följande ska vi ta oss en titt på den verifierande regimen inom kärnämneskontrollen, d.v.s. beskriva den metodik och teknik som finns till förfogande för att tillförsäkra världssamfundet att ingångna avtal efterlevs.

Inga avtal, hur bindande de än är, kan konstrueras helt ”vattentäta”, det finns alltid möjligheter för en avtalspart att kringgå hela eller delar av avtalet. Avtalskonstruktionen kan dock utformas så att avtalsbrott lättare upptäcks genom att tillse att avtalet omfattas av moment som i princip såväl som i praktiken går att kontrollera med objektiva metoder. För att illustrera så bör man undvika ”politiska” avtalskrivningar som t. ex.: ”Jag förbinder mig att vid varje tidpunkt visa den öppenhet som internationell samvaro kräver”. Detta till förmån för t. ex.: ”Jag förbinder mig att vid varje tidpunkt ge sådan information att det kan klargöras att inte mer än 8 kg plutonium saknas i mitt innehav av kärnämnen”.

Inom internationell kärnämneskontroll är det av politiska skäl dock oundvikligt att moment som inte är entydiga införs i avtalen. Detta medför att de kontrollerbara momenten istället måste ges en avsevärd tyngd i avtalen. Å andra sidan kan man konstatera att kärnämneskontrollen lämpar sig väl för avtal där kontrollerbara storheter ingår. Ofta omfattas avtalen av fysiska material som är mer eller mindre radioaktiva och således kan mätas med relativ enkelhet. Vidare måste sådana material förvaras på ett tillfredsställande sätt och behållare eller byggnader för detta ändamål kan kontrolleras genom t. ex. TV-övervakning. Inför uppförandet av byggnader med kärnteknisk relevans kan (och skall) även ritningar och annan dokumentation dokumenteras och kontrolleras, s.k. Design Information Verification (DIV). Området runt en kärnteknisk anläggning kan vidare satellitövervakas i syfte att avslöja otillåtna rörelser. En teknik som ökar i betydelse är s.k. ”environmental sampling” som innebär att fasta eller mobila mätstationer detekterar de olika fissionsprodukter som bildas, och i viss mån släpps ut i det fria, i all kärnteknisk verksamhet. Som ett exempel kan nämnas det globala nätverk av detektorer för luftburen aktivitet med vars hjälp man avser att upptäcka kärnavapenprov [120].

Som nämnts i tidigare kapitel genomförs de kontroller som stipuleras i avtalen bl. a. under inspektioner. Sådana inspektioner kan utföras av såväl de nationella som internationella myndigheternas inspektörer. Inspektörerna har till sitt förfogande olika typer av tekniska hjälpmedel som kan vara handburna instrument eller instrument som är lätt transportabla och kan monteras upp vid de anläggningar som ska inspekteras. Viss fast installerad utrustning utnyttjas också och användningen av sådan förväntas öka i framtiden. De mättekniska metoderna kompletteras av bokföringstekniska rutiner där allt kärnämne som går in i ett nationellt system skall balanseras av allt som går ut ur

eller förvaras inom systemet. Denna balansräkning kontrolleras också regelbundet under inspektionerna. Man inser lätt att kärnämneskontrollen kan göras hur omfattande som helst och utmaningen för de övervakande myndigheterna är att utnyttja metoder som åtminstone uppfyller följande krav:

- Hög förmåga att upptäcka irregulariteter.
- Låg kostnad.
- Minimalt intrång i den reguljära verksamheten
- Fältmässighet

Den sistnämnda punkten är betydelsefull i de fall inspektion utförs med instrument som ska följa med inspektörerna. I det här sammanhanget innebär fältmässighet att instrumenten skall vara robusta och i övrigt ha egenskaper som gör dem lätt transportabla. Ofta innebär det ett visst avkall på prestanda. För fast installerad utrustning gäller i regel andra kriterier. Här väger egenskaper som hög noggrannhet, långtidsstabilitet och tillförlitlighet tyngre än t. ex. storlek.

Ett centralt begrepp inom kärnämneskontrollen är verifiering. Trots dess formella betydelse har begreppet ingen entydig definition. Inom kärnämneskontrollen kan verifiering betyda den process som leder fram till visshet om att en stat följer eller inte följer ett avtal. Verifiering kan också betyda att visshet har uppnåtts. Denna begreppsmässiga tvetydighet verkar kanske inte så dramatisk men får långtgående negativa konsekvenser dels för metodutveckling och dels för formuleringen av vilka mätbara storheter som har relevans för kärnämneskontrollen och med vilken noggrannhet dessa måste bestämmas för att "visshet" ska uppnås. Därmed berör vi också begreppet bestämning som ju har en semantisk koppling till begreppet verifiering. För att illustrera skillnaden mellan dessa begrepp men också de problem kärnämneskontrollen hamnar i, ifall begreppsdefinitionerna brister i entydighet, tar vi exemplet ett utbränt kärnbränsleelement som förvaras på CLAB och som ska verifieras av en inspektör från IAEA.

Med alla bränsleelement som ska förvaras på CLAB följer en deklARATION som omfattar en mängd parametrar (se appendix 1). Med en lämplig mätmetod kan vi kontrollera att bränsleparametrarna A, B, C, ... överensstämmer med de deklarerade värdena. Här ska man notera att för att göra jämförelsen mellan uppmätta och deklarerade värden måste A, B, C, ... bestämmas. Om inspektören finner att bränslets faktiska egenskaper överensstämmer med de deklarerade, vad har han då gjort? Har han utfört en verifiering eller har hans insikt om att bränslet överensstämmer med deklarerade värden inneburit att han har verifierat bränslet? En ytterligare fråga: De uppmätta värdena på A, B, C, ... har en viss noggrannhet. Hur stor måste denna vara för att bränslets egenskaper ska sägas överensstämma med de deklarerade egenskaperna?

I ett annat fall (osannolikt men ändå något som kärnämneskontrollen måste ha beredskap för) saknas dokumentation på deklarerade bränsleparametrar. Inspektören mäter nu dessa och vad har han då gjort? Verifierat? Han har uppenbarligen bestämt bränsleparametrarna men utan koppling till deklarerade värden så saknar begreppet verifikation mening. Begreppet verifiering är således till sin natur relativt, medan bestämning snarare utgör ett absolut begrepp då mätvärdena inte är beroende av ytterligare information. Relevansen i begreppet bestämning har dock i detta sammanhang endast betydelse i förhållande till ytterligare information.

I det senare scenariot måste vi tvingas konstatera att kärnämneskontrollen endast kan sluta sig till att bränsleelementets egenskaper förefaller motsvara de förväntade och uttala kritik och möjligen sanktionera det faktum att bränsledeklaration saknas. Metoder som är under utveckling [121] har dock potential att ge inspektörer verktygen för att kunna uttala sig om huruvida bränslet har använts i reaktorn på ett sätt som är kompatibelt med civil verksamhet.

I sammanhang där exempelvis övervakning sker, sätts frågeställningar som de ovan nämnda på ännu större prov. Hur kvantifierar man t. ex. relevansen av informationen i ett fotografi eller en videosekvens? Detta är ett område som har fått allt större aktualitet i takt med utvecklingen inom framförallt informationstekniken. Idag är varken kostnad eller arbetsinsats avskräckande för att bestycka skyddsvärda anläggningar med övervakningskameror och andra sensorer. Dessa sensorer kan länkas till varandra och till andra, större nät, t.o.m. till internet. Med den utvecklingen följer många frågor, men framförallt två framstår som särskilt viktiga:

- Hur ska den stora mängden information som kan utvinnas ur ett system analyseras så att irreguljära mönster framträder?
- Ett systems effektivitet är dels beroende av hur väl systemet i sig är uppbyggt men också hur väl de olika delarna (sensorerna) fungerar separat och tillsammans i systemet. Idag saknas dock kraftfulla utvärderingsmetoder som möjliggör kvantifiering av ett givet systems totala detektionseffektivitet.

I detta sammanhang är två begrepp i fokus; ”performance” och ”assurance”. Med performance avses att en sensors (kamera e.d.) funktion uppfyller dess kravspecifikation i alla delar. Här kan en informell uppdelning göras i de fysiska och de funktionella krav som ska uppfyllas. De fysiska kraven innefattar t. ex. att sensorn ska klara av specificerade miljöparametrar som strålnivå, temperatur, etc. Vidare kan de fysiska kraven vara att brusnivån på utsignalen från sensorn är mindre än eller lika med de specificerade kraven. De funktionella kraven å andra sidan innebär att kravspecifikationen ska avse det sammanhang sensorn ska användas i. Från specifikationen av de funktionella kraven ska man kunna dra slutsatser om vilka typer av sensorer som ska användas i en given applikation. För att övervaka t. ex. en dörr kanske det är bättre att montera kontakter som indikerar att dörren är öppen eller stängd än att använda en videokamera. Den senare kanske skymms eller på annat sätt är olämplig. Om en kamera är mer lämpad, ska de funktionella kraven ge anvisningar om spektralområde, objektivgenskaper, etc. De funktionella kraven omfattar även de egenskaper en sensor ska ha för att fungera på avsett sätt i ett system t. ex. med avseende på kommunikation mellan systemets olika delar. En möjligen trivial konsekvens av detta resonemang är att det sällan är en god idé att välja, av t. ex. kostnadsskäl, en apparat som har framtagits för ett helt annat ändamål än det avsedda, även om apparaten uppfyller de fysiska kraven och även om den intuitivt förefaller uppfylla de funktionella kraven. Hur de funktionella kraven ska ställas upp och hur kvalitén på informationen från en sensor eller övervakningssystem ska kvantifieras är idag närmast en öppen fråga. Något om detta kommer att diskuteras i sektion 1.2.

Hur säker kan man vara på att konstruktionsarbetet, tillverkningen och testförfarandet av en sensor uppfyller de krav man måste ställa för att säkerställa att sensorn har hög ”performance”? Svaret på den frågan omfattas av begreppet ”assurance”. I nuläget används främst olika administrativa rutiner för att garantera att allt arbete som ska genomföras för att producera en sensor eller ett instrument också har genomförts och

det med tillräckligt hög kvalitet. Förfarandet ger dock endast kvalitativa utsagor, och därför har forskningsprojekt startats för att närmare studera, om det är möjligt att finna metoder för kvantitativa utvärderingar av en sensors ”performance”, och vilken ”assurance” man kan åsätta denna [122]. I förlängningen av diskussionen hamnar man lätt i problemställningar som rör användbarhet. För att illustrera: en elektrisk brytare kan t. ex. vara specificerad för att klara av 10^6 brytningar. Kan en sådan användas i ett system där tidsperioden, innan byte av komponenter sker, omfattar 10^5 brytningar?

För att ge en inblick i vilka delar i problemkomplexet, som måste beaktas i ett projekt, som syftar till att ta fram metoder för kvantifiering av performance och assurance, följer här en principiell redogörelse, som även kan tjäna som bakgrund till kommande kapitel om de olika sensorer och instrument som står till kärnämneskontrollens förfogande.

1.1 Grundläggande metodik för att uppnå performance och assurance

Det kan vara lämpligt att dela upp den föreliggande diskussionen i följande områden för att klargöra några av de frågor, som avgör en apparats egenskaper och hur dess användning kan garanteras:

Tekniska områden

- Konstruktionsprinciper, t. ex. riktlinjer för komponentval och tester, kvalitetskontroll av mjukvara och konstruktionsplan.
- Teknikfunktioner omfattar tillförlitlighet, kvalitetsgaranti och systemsäkerhet.
- Produktgaranti består av fakta som krävs för att göra kunden övertygad om att produkten är konstruerad och fabricerad som planerat för att nå målet beträffande tillförlitlighet.

Icke-tekniska områden

- Användning, t. ex. kostnad, inmontering, underhåll och tolkning av data.

1.1.1 Tekniska områden

Konstruktionsprinciper

För att kunna övertyga sig om att en apparat uppfyller alla krav som ställts, måste man studera konstruktionsprincipen. Även om detta i huvudsak är ett ärende för beställare av teknisk utrustning, kan det vara lämpligt att beröra frågan här med några ord. En definition av konstruktionsprincip är processen som ser till att alla konstruktionsdokument är korrekta och ger en bild av den senaste versionen av konstruktionen. Även ganska enkla konstruktioner kräver ofta hundratals, kanske t. o. m. tusentals, dokument för att redogöra för alla detaljer i konstruktionen.

Som exempel kan man ta två typfall, där hänsyn inte tas till konstruktionsprincipen i en apparats konstruktionsprocess:

- Konstruktionsdetaljer som ursprungligen inkluderats för att tillgodose specifikationskraven har tagits bort eller ändrats utan att de redovisats.
- Nya konstruktionsdetaljer som motarbetar andra detaljer i konstruktionen har lagts till.

I båda fallen finns det stor sannolikhet för att apparaten inte kommer att leva upp till specifikationskraven.

Följande villkor kan fastställas beträffande konstruktionsprinciper:

- Det är viktigt att dokumenten har inre konsistens och att de är konsistenta sinsemellan.
- Varje ändring i ett dokument måste kunna påverka all annan dokumentation såväl som hela projektet.
- Varje ändring måste bokföras och vara lätt att återfinna i loggbok eller motsvarande.
- Till definitionen måste läggas garanti mot möjligheten att konstruktionskriterier överskrides.
- Alla synpunkter på konstruktionsprocessen skall vara redovisade i ett sammanhang för att ge full kontroll över kvalitet och kostnad.

Teknikfunktioner

I dokumentet MIL-STD-810F utfärdat av USA:s försvarsdepartement (DOD) beskrivs olika teststrategier och rekommendationer utförligt. Dessutom presenteras i EOSDIS Core System Project (501-CD-001-004) rapporten: "Performance Assurance Implementation Plan for the ICS Project" (1996) utgiven av Hughes Information Technology System, som exempel på hur ett projekt kan organiseras för att man skall uppnå de givna kvalitets- och garantikriterierna.

I ett kompendium som detta, skulle det föra för långt att i detalj redogöra för innehållet i dessa dokument. Några allmänna kommentarer kan dock vara på sin plats. På olika sätt betonar de båda publikationerna betydelsen av en noggrann organisation av ett projekt för att förhindra att tekniska och driftsproblem uppstår och för att medge en fortlöpande kontroll av projektet under dess utveckling. Den slutsatsen gäller även vid utveckling av ny utrustning för kärnämneskontroll. Speciellt bör det noteras att en övergripande strategi bör komma till användning, d. v. s. om ett system av apparater rekommenderas, så måste alla nya apparater, som läggs till detta system, enligt ett antal kriterier, passa in både begreppsmässigt och tekniskt i systemet.

För att uppnå garantier när det gäller prestanda, är en grundläggande utgångspunkt att relatera kraven till en specifik användning av apparaten. Man kan inte förvänta sig att en apparat, som konstruerats för en viss användning, skall fungera enligt specifikationerna i en annan applikation. Även små skillnader mellan tillämpningarna kan bli ödesdiga. Å andra sidan är det troligen kostnadseffektivt och på andra sätt lämpligt att använda generella egenskaper hos en apparat. Till exempel bör en dörrkontakt, som är avsedd att användas i ett område fritt från strålning, icke desto mindre leva upp till de krav som

ställs på kontakter som skall användas i områden med hög strålningsnivå. Förutom redundansaspekten är det möjligt att minska antalet komponenter som måste vara tillgängliga. Även om dessa "högpresterande" kontakter i sig är dyrare än enklare konstruktioner, så innebär det stora antalet av en sort att det blir möjligt att få ett lägre pris per enhet.

Produktgaranti

Bortsett från önskemålet att en apparat eller en del av en sådan måste uppfylla vissa krav, så måste leverantören uppmanas att redovisa en strategi för sina konstruktionsprinciper. Om så inte sker, blir det omöjligt att veta om apparaten kommer att fungera så pålitligt som kravspecifikationen antyder. Någon form av överenskommelse bör också fastställas för att ge kunden full insyn i fabrikationsprocessen. I många fall är det senare inte möjligt på grund av restriktioner som en producent har infört och det blir nödvändigt att förlita sig på välrenommerade fabrikanter med dokumenterad förmåga att framställa produkter med hög kvalitet.

1.1.2 Icke-tekniska områden

Användning, kostnadsfrågor

Som nämnts ovan kan det vara en god idé att reducera antalet olika typer av apparater, en slutsats som gäller också för komponentlistor för apparaterna. En annan aspekt i detta sammanhang är förhållandet mellan prestanda och pris för en apparat snarare än den totala kostnaden. Detta förhållande beror på apparatens sätt att fungera och därför på krav som myndigheter ställer. För att kunna bestämma ett maximivärde för detta förhållande, är det viktigt, att myndigheterna till att börja med noggrant granskar sina behov. I andra hand kan då leverantörer och andra aktörer utforma apparaterna i överensstämmelse med dessa behov.

Användning, installation och underhåll

Installationsanvisningar och underhåll för en apparat måste regleras genom noggrant utformade procedurer, som i alla avseende måste vara utprovade innan apparaten levereras. Områden som man speciellt bör uppmärksamma är:

- Montering av apparater. En övervakningskamera har vissa egenskaper som t. ex. täckningsvinkel. Det är viktigt att hela vinkelområdet är ostört, för annars måste man överväga att installera ytterligare kameror för att täcka hela synfältet. Det bör vara möjligt att definiera ett siffervärde, som underlättar monteringen av apparaten, så att man får maximal täckning.
- Montering av överföringskablar bör göras med vissa begränsningsvillkor, så att mekaniska eller andra skador på kablarna undviks.
- Montering av kontakter skall göras på ett sådant sätt att kontaktens faktiska status direkt motsvarar t. ex. dörrens fysiska status. Man kan specificera ett område med öppningsvinklar, där apparaten förväntas ge en signal.

Tolkning av data

Tolkning av data är en huvudfråga. Låt oss för att strukturera diskussionen börja med att betrakta kvalitetsbedömning av data och sedan titta på tolkningen av resultaten. Bedömning av data betyder i detta sammanhang att kvalitetsaspekten hos data från en apparat studeras. Tre områden har identifierats: 1. Frånvaro av data. 2. Undermåliga data. 3. Data av obestämd kvalitet.

Frånvaro av data

Man kan tänka sig att frånvaro av data i många fall faktiskt innehåller information. En dörrkontakt kan anta värdena "1" eller "0", där "0", d. v. s. ingen signal t. ex. betyder att dörren är stängd. Ingen signal kan emellertid också betyda, att apparaten inte fungerar. Även om exemplet kan tyckas trivialt, utgör det grunden för en rekommendation att *ingen apparat skall konstrueras så att den ger en nollsignal*. Endast då blir definitionen av "frånvaro av data" meningsfull. I exemplet skulle man kunna konstruera en kontakt som visar kodade signaler, som t. ex. består av en kontaktidentifikation, kontaktens status och diverse överföringsinformation. En kort översikt över marknaden visar en hel rad kretsar, som skulle kunna vara lämpliga i en sådan tillämpning och som är lätta att få tag i till en rimlig kostnad. Ännu bättre är att ersätta kontaktarna med varvräknare eller liknande apparater för att uppnå entydig motsvarighet mellan utsignal och faktisk öppningsvinkel för dörren.

Ovanstående diskussion nödvändiggör införandet av en nätverkskonstruktion, som styrs av en central utläsningsenhet, som i sin tur kontrollerar kontakter och andra apparater på ett förutbestämt sätt.

Undermåliga data och data av obestämd kvalitet

Dessa områden är relaterade till varandra, eftersom ett kriterium, som betyder att data är av obestämd kvalitet, omedelbart sätter en gräns för definitionen av undermåliga data. I detta sammanhang bör man notera, att man skulle kunna erhålla undermåliga data, även om det inte föreligger några tekniska problem. En övervakningskamera skulle t. ex. kunna vara monterad på ett sådant sätt att den inte täcker in relevanta områden eller föremål. Ett sådant fall måste emellertid undvikas genom adekvata monteringsanvisningar.

En rimlig utgångspunkt för diskussionen är att en kvalitetsbedömning av data kan utföras med ingen eller liten mänsklig inblandning. Därför är en noggrann konstruktion, innefattande både hårdvara och mjukvara, av avgörande betydelse för att läsa ut status för olika apparater. I exemplet ovan, kan man, om centralenheten läser ut kontaktens status korrekt, dra slutsatsen att både kontakten och överföringskabeln fungerar som avsett. Om det inte är möjligt att läsa ut kontaktens data enligt kriterierna (beroende på att apparaten eller överföringskabeln inte fungerar), skulle man kunna definiera resultatet som undermåliga data eller data av obestämd kvalitet.

Ett liknande tillvägagångssätt skulle kunna användas för att bedöma data från en digital övervakningskamera. Användning av ett utläsningssystem som registrerar överföringen av alla pixlar skulle kunna hjälpa till att ta reda på, om hela informationen har nått systemet eller inte. En liknande metod skulle också kunna användas för olika typer av strålningsdetektorer, som ingår i ett spektroskopiskt system.

Sammanfattningsvis kan det vara lämpligt att, istället för att använda begreppen goda data, undermåliga data och data av obestämd kvalitet, införa begreppen *användbara data* och *icke användbara data*, förutsatt att *man antar att apparater och utläsningssystem konstruerats på ett ändamålsenligt sätt*. Definitionen av dessa begrepp framgår av ovanstående diskussion genom att fastställa att *användbara data omfattar data som kan läsas ut i full utsträckning från en apparat. Om så inte är fallet betraktas de som icke användbara data*. I det senare fallet måste systemet bokföra och om möjligt rapportera sådana händelser.

Tolkning av resultat

Data från olika apparater utgör resultatet och kommer förr eller senare att bli föremål för mänsklig granskning. Man kan förutsätta en högre grad av tillit till ett system, om det konstruerats så att det redovisar endast ett fåtal, lätt identifierbara parametrar och att informationen i alla mellansteg bearbetas av systemet enligt väldefinierade kriterier. Sådana parametrar skulle kunna vara:

- Information om felaktigheter i apparater eller överföringskablar.
- Information om manipulering av apparater.
- Redovisning av ett system för igenkänning av mönster.

De två första punkterna kan anses triviala och skulle lätt kunna uppnås genom att använda en loggningsfunktion i en central utläsningsenhet, förutsatt att apparaterna är utrustade med ett system som visar om manipulering ägt rum. Den tredje punkten representerar ett delvis nytt tillvägagångssätt, när det gäller tillämpning på kärnämneskontroll. Tillvägagångssättet kommer inte att diskuteras i detalj i detta kompendium, men några viktiga påpekanden skall göras här.

Betrakta ett stort system bestående av olika apparater som digitalkameror, kontakter, strålningsdetektorer, m. m. Det är lämpligt att koppla samman apparaterna i ett nätverk som styrs från en central utläsningsenhet. Under normala omständigheter utgör utsignalen från dessa apparater en stor mängd kombinationer som bildar vissa mönster. Idén är att aktiviteter, som inte är godkända av myndigheterna, skulle kunna ge mönster i denna stora mängd information, som avviker från det normala. Genom att använda anpassad mjukvara skulle det vara möjligt att avslöja sådana händelser.

Igenkänning av mönster anses i viss mening fortfarande vara en ny teknik, men har bevisat sin förmåga inom många områden innefattande militära tillämpningar och medicin, se t. ex. [123].

Kapitel II.2 Energiproduktion med hjälp av kärnkraft

Vid förbränning av till exempel fossila bränslen eller biobränslen utnyttjas kemisk energi, d. v. s. det är omfördelningen av atomernas elektroner som är upphovet till

energiutvecklingen. Ett i sammanhanget rimligt uttryck skulle således vara, att man utnyttjar "atomkraft".

Vid utnyttjandet av uran i en reaktor används den kraft som håller ihop atomernas kärnor. Denna "kärnkraft" är mellan sex och sju tiopotenser starkare än de atomära krafterna. Detta förhållande ger följaktligen upphov till en hög energitäthet i bränslet, vilken är attraktiv att utnyttja för energiproduktion och detta av främst tre skäl:

- För att producera en given mängd energi krävs en relativt liten mängd bränsle jämfört med kemiska produktionssätt.
- En given mängd producerad energi ger upphov till en relativt liten mängd avfall jämfört med kemiska produktionssätt.
- I alla de processer (uranbrytning, anrikning, etc.) som leder fram till det färdiga reaktorbränslet har kemisk energi använts. Under användandet av bränslet får man alltså energimässigt en mycket stor utväxlingseffekt, vilket är fördelaktigt ur ekonomisk och miljömässig synpunkt.

En ytterligare aspekt kan nämnas i sammanhanget; avfallet som produceras är lokaliserat, d. v. s. att med adekvat teknik kan spridning av avfallet i omgivningen i princip helt förhindras. Mot dessa fördelar står att kärnkraftsanvändningen kräver komplicerade tekniska och administrativa system samt att konsekvenserna av en eventuell olycka lokalt kan bli stora om alla säkerhetssystem skulle falla samtidigt.

Uran förekommer rikligt i jordskorpan och är ungefär lika vanlig som tenn. I naturen uppträder uran i form av tre isotoper med följande förekomster, ^{238}U (99.3%), ^{235}U (0.7%) samt en ytterst liten förekomst av ^{234}U . Uran är en toxisk tungmetall och kan förorsaka kemisk förgiftning om det kommer in i kroppen. Däremot är radioaktiviteten i naturligt uran låg och det är ofarligt att till och med hålla det i handen.

Det svenska kärnkraftsprogrammet har inneburit att Sverige idag försörjs till ungefär hälften av elektrisk energi producerad i inhemska kärnkraftanläggningar, se tabell 2.1.

Tabell 2.1. Elproduktionen under 2004 och 2005 (uppgifter från Svensk Energi). Den goda vattentillgången under 2005 medförde en markant ökning av vattenkraftsandelen. Trots avstängningen av den andra reaktorn i Barsebäck under 2005, redovisade kärnkraften endast en mindre nedgång.

Tillförsel	2005 [TWh]	2004 [TWh]	Ändring [%]
Vattenkraft	72,1	59,5	21,2
Vindkraft	0,9	0,8	9,4
Kärnkraft	69,5	75,0	-7,4
Övr. värmekraft	12,2	13,1	-5
Total elproduktion	154,7	148,4	6,9

De svenska kärnkraftanläggningar som är i drift under 2006 är: Forsmark (3 reaktorer), Oskarshamn (3 reaktorer), Ringhals (4 reaktorer). Barsebäcksverket med sina 2 reaktorer är avstängt genom politiska beslut.

För närvarande (2005) planeras för effekthöjningar i de svenska reaktorerna vilka sammantaget kommer att motsvara ungefär bortfallet av en av Barsebäcks reaktorer.

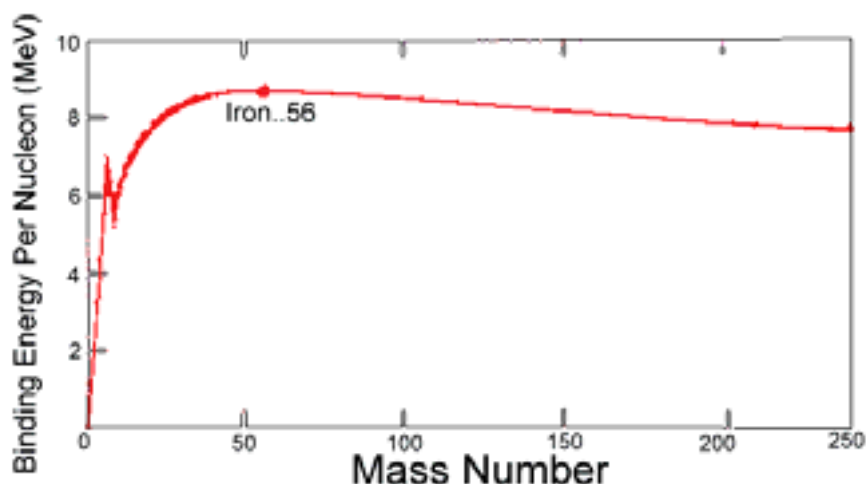
2.1 Fissionsprocessen

2.1.1 Bindningsenergi

Den bakomliggande processen i kärnkraft är s.k. fission eller kärnklyvning. Fission innebär att en atomkärna splittras i två fragment eller fissionsprodukter när den tillförs energi, s.k. inducerad fission. För vissa tunga kärnor kan fission ske spontant. Den energi som frigörs i en fissionsprocess motsvarar skillnaden i total bindningsenergi före reaktionen och efter reaktionen, se nedan.

Ett grundämnes atomkärna är uppbyggd av protoner och neutroner, de s.k. nukleonerna. Antalet protoner definierar grundämnet. Väte har en proton medan uran har 92. Den repulsiva elektriska kraften mellan de positivt laddade protonerna motverkas av den starka kärnkraften. Denna kraft verkar mellan nukleonerna i atomkärnan och håller samman denna. Varje nukleon är bunden via den starka kärnkraften till kärnan med en viss mängd energi, bindningsenergin. Bindningsenergin representerar alltså den mängd energi som krävs för att lösgöra en proton eller neutron från kärnan.

I figur 2.1 visas hur bindningsenergin per nukleon varierar med grundämnenas masstal (summan av antalet protoner och neutroner). Energienheten elektronvolt (eV) definieras som den rörelseenergi en elektron uppnår när den accelereras i ett potentialfall om 1 volt. En eV motsvaras således av $1,6 \times 10^{-19}$ J.



Figur 2.1. Bindningsenergi per nukleon som funktion av masstalet. Upp till masstal 56 kan energi frigöras med hjälp av fusion. Därefter kan endast fission avge energi. Från Beiser, Arthur, *Concepts of Modern Physics*, 4th ed. McGraw-Hill, Inc.: New York, 1987.

Som framgår av figuren ökar bindningsenergin per nukleon upp till masstalet 56 för att därefter minska med ökande masstal. Den praktiska betydelsen av denna iakttagelse är

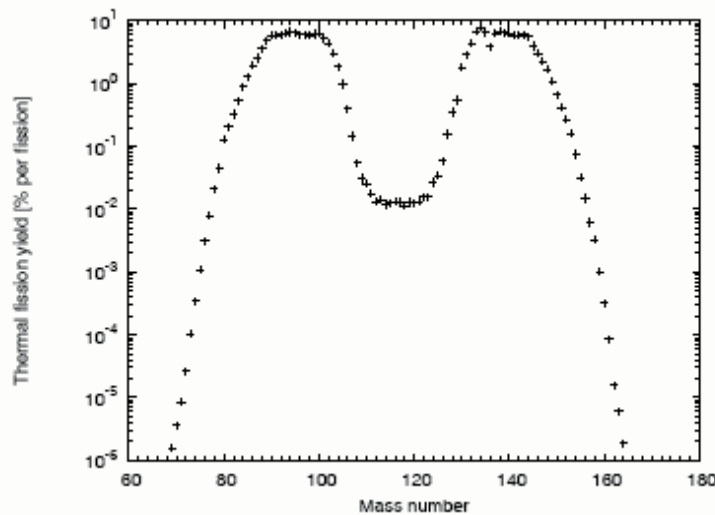
att om två lätta kärnor, t. ex. väte slås ihop kommer energi att frigöras. Denna process som kallas fusion är drivkraften bakom stjärnornas energiutveckling och är energetiskt möjlig upp till masstal 56. För tyngre kärnor kan energi frigöras om dessa istället undergår fission, vilket framgår av figur 2.1.

2.1.2 Energiutveckling i fissionsprocessen

Från kvantmekaniska beräkningar kan man förutse att den neutronenergi, som krävs för att inducera en fissionsreaktion, är lägre för kärnor med udda masstal. Exempelvis krävs det en neutron med rörelseenergi 1.5 MeV för att åstadkomma fission i ^{238}U , medan ^{235}U endast kräver några tiotals meV. En ^{238}U kärna kan också infånga en neutron och bilda ^{239}U som sönderfaller genom utsändande av en betapartikel till ^{239}Pu , vilken uppvisar liknande fissionsegenskaper som ^{235}U . På grund av detta brukar man beteckna ^{238}U som en *fertil* kärna till skillnad från exempelvis ^{235}U och ^{239}Pu som är *fissila* kärnor.

Uranisotopen ^{235}U innehåller förutom de 92 protonerna också 143 neutroner. När en långsam eller termisk neutron träffar en ^{235}U -kärna kan den orsaka fission av kärnan. I processen bildas två fissionsprodukter med masstal som i genomsnitt fördelar sig enligt figur 2.2. I fissionsprocessen frigörs dessutom 2-4 neutroner.

Sannolikheten för att en atomkärna ska fissionera då den träffas av en neutron ges av det s.k. tvärsnittet (se fig. 2.3). Tvärsnittet är en komplicerad funktion av den specifika kärnstrukturen samt av neutronenergin. I figur 2.3 framgår att tvärsnittet generellt minskar (notera den logaritmiska skalan) när neutronenergin ökar. Det är alltså mer fördelaktigt att använda långsamma neutroner för att skapa fissionsreaktioner i ^{235}U .



Figur 2.2. Massfördelningen för fragmenten vid fission av ^{235}U inducerad av termiska neutroner. Notera den asymmetriska fördelningen där de mest sannolika fragmentmasstalen är 96 och 140. Från England and Rider, LA-UR-94-3106, Los Alamos National Laboratory, October 1994.

När ^{235}U fissionerar frigörs i medeltal 2.42 neutroner med totala energin 5 MeV. Den totala frigjorda energin om c:a 195 MeV fördelar sig enligt följande

- Fissionsfragmentens rörelseenergi: 168 MeV
- Fissionsneutronernas rörelseenergi: 5 MeV
- Prompt gammastrålning: 7 MeV
- Gammastrålning från sönderfallande fissionsfragment: 7 MeV
- Betastrålning från sönderfallande fissionsfragment: 8 MeV

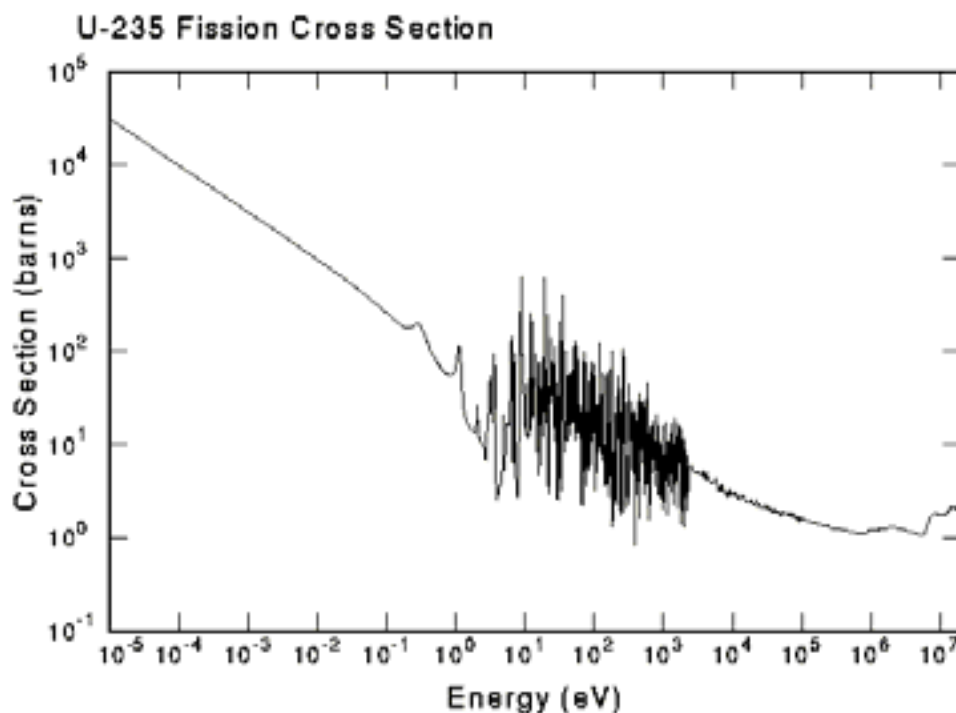


Figure 2.3. Fissionstvårsnittet för ^{235}U som funktion av neutronenergin. Resonansområdet mellan 1 eV och 1000 eV framgår tydligt i figuren.

Den totalt frigjorda energin i en fissionsreaktion är i makroskopiska termer inte stor utan motsvarar ungefär den energi som krävs för att lyfta ett sandkorn 1 μm . Sett ur ett mikroskopiskt perspektiv blir bilden en annan; energimässigt motsvarar fission av 1 kg uran förbränning av 90 ton kol.

2.2 Kort om reaktorfysik

2.2.1 Kedjereaktionen

Ett sätt att skapa långsamma neutroner, som i sin tur kan användas för fission i ^{235}U , är moderering. Detta innebär att snabba neutroner bromsas genom upprepade kollisioner med lätta kärnor som t. ex. väte i vatten. Efter ett antal kollisioner har neutronenergin minskat till ett värde som motsvarar den termiska energin i omgivningen, de kallas då termiska neutroner med typiska energier om 0.025 eV. I de flesta kommersiella reaktorer idag används lättvatten som moderator vilket dessutom fyller uppgiften som kylmedium för att extrahera den producerade värmen. De fissionsneutroner, som frigörs

vid en fission kan efter moderering, utnyttjas att starta fissioner i andra fissila kärnor, som i sin tur resulterar i nya neutroner. Denna process kallas ibland för en kedjereaktion och antalet neutroner och därmed fissionsreaktioner, är en exponentiell funktion av tiden, vilket är en förutsättning för att skapa den förödande sprängkraften i kärnladdningar. Om den exponentiella tillväxten av fissionsneutroner begränsas, erhålles istället det balanserade energiuttag som kännetecknar en kraftproducerande kärnreaktor. Ett villkor för att skapa och vidmakthålla en kontrollerad kedjereaktion är alltså att ett "lagom" antal fissionsneutroner finns tillgängliga.

Hur stort antal är "lagom"? Multiplikationsfaktorn k_{∞} beskriver hur många neutroner som produceras per tidsenhet för varje neutron som absorberas i en oändligt stor och homogen mix av bränsle och moderator. Förändringen av antalet neutroner n kan matematiskt skrivas

$$\frac{dn}{dt} = n \frac{k_{\infty} - 1}{\tau} \quad (2.1)$$

eller

$$n(t) = n(0)e^{\frac{k_{\infty}-1}{\tau}t} \quad (2.2)$$

där τ är perioden, alltså tiden mellan att en neutron producerats till dess den absorberats. Givetvis har alla neutroner olika historik så perioden ska betraktas som ett typiskt medelvärde. Av ekvationerna (2.1 och 2.2) framgår att $k_{\infty} = 1$ innebär att antalet neutroner är konstant, man säger att reaktorn är "kritisk". Är $k_{\infty} > 1$ eller < 1 är reaktorn "överkritisk" respektive "underkritisk". För att åstadkomma en fortgående reaktion gäller att $k_{\infty} = 1$. I en verklig reaktor kommer neutroner att förloras inte bara genom absorption utan också genom att neutroner "läcker" ut från reaktorhärden. Därför måste en verklig reaktors k_{∞} vara väsentligt större än 1 och man definierar ett k_{eff} som

$$k_{eff} = \frac{n_{producerade}}{n_{absorberade} + n_{läckage}} \quad (2.3)$$

k_{∞} är alltså en funktion enbart av egenskaperna hos blandningen bränsle-moderator medan k_{eff} är en funktion av k_{∞} och reaktorns geometri. För att en verklig reaktor skall hållas på kritisk nivå krävs alltså att $k_{eff} = 1$ och därmed att $k_{\infty} > 1$.

En period är typiskt 10^{-5} s i en termisk reaktor vilket enligt ekvation (2.2) innebär att om k_{eff} är strax över 1, säg 1,001, blir $n/n(0)$ under en sekund $2.7 \cdot 10^{43}$. Alltså skulle reaktorn bli helt okontrollerbar, och det mesta av bränslet skulle förbrännas inom en mycket kort tid, även om det vore möjligt att upprätthålla reaktionen. Naturen förser oss dock med ett fenomen som förlänger perioden så att en reaktor kan kontrolleras på ett säkert sätt. Ungefär $\beta = 0.65\%$ av de 2.42 neutroner som frigörs i en fissionsreaktion är fördröjda p.g.a. att de härrör från neutronrika fissionsprodukter som sönderfaller med en halveringstid som i medeltal är 8.8 s, vilket ger en medellivslängd om $\tau = 8.8/\ln 2$ s = 12.7 s. Medelfördröjningen kommer således att bli: $\beta \tau = 0.083$ s vilket ska jämföras med 10^{-5} s ovan. Med samma värde på $k_{eff} = 1.001$ blir nu $n/n(0) = 1.01$ vilket är en måttlig ökning som lätt kan kontrolleras.

För en lättvattenreaktor av den typ som finns i Sverige är dess negativa temperaturkoefficient ett typiskt drag i konstruktionen. Detta innebär att reaktiviteten, som definieras $\rho = (k_{eff} - 1) / k_{eff}$, minskar med ökad temperatur. Operativt betyder det att ett reaktivitetstillskott ökar temperaturen som i sin tur tenderar att reglera ned reaktiviteten igen. Det faktum att denna självreglering är inbyggd i reaktorns princip är en viktig säkerhetsaspekt i driften av reaktorerna.

2.2.2 Reaktortyper

De mest använda reaktortyperna i världen idag är lättvattenreaktorer. Dessa delas in i kokvattenreaktorer (boiling water reactors, BWR) och tryckvattenreaktorer (pressurised water reactors, PWR). Inom det forna östblocket används främst tryckvattenreaktorer s.k. VVER och lättvattenkylda, grafitmodererade reaktorer (LGR). De senare reaktorerna är av en konstruktion som innebär en inbyggd positiv temperatur-koefficient vilket i princip ökar risken för svåra haverier. Den grafitmodererade härden innebär också utökade risker i händelse av brand. En känd representant för denna reaktortyp var reaktor 4 i Tjernobyl som totalhavererade 1986.

De flesta reaktorer i Sverige är av BWR-typ (Forsmark I-III, Oskarshamn I-III, Barsebäck I-II samt Ringhals I). Figur 2.4 visar schematiskt uppbyggnaden av en BWR.

I reaktorhärden bringas vatten till kokning under ett tryck om c:a 70 bar. Konsekvensen av detta är att mängden *void* d.v.s. andelen ånga i förhållande till vatten ökar uppåt i härden. Efter att ha passerat avfuktarna i övre delen av reaktortanken, leds den producerade ångan direkt till turbinerna som i sin tur driver de elektriska generatorerna. I kondensorn, som i Sverige kyls med havsvatten, kondenseras restångan till vatten igen och förs tillbaka in i härden.

Effektregleringen i en BWR sker dels med styrostavar och dels med mängden vatten som pumpas in i härden. Vid fel som motiverar snabbstopp skjuts styrostavarna upp i härden mellan bränsleelementen. Styrostavarna innehåller bor vilket har stort infångningstvårsnitt för neutroner och fissionsreaktionerna i härden avstannar därför snabbt. Vid uppstart av en BWR dras styrostavarna sakta ur härden och reaktorn börjar producera effekt. När ca 70 % av full effekt har uppnåtts pumpas mer vatten (moderator) in i härden med hjälp av *matarvattenpumparna* och därmed produceras mer effekt. I normalfallet finregleras sedan reaktoreffekten hjälp av effekten på matarvattenpumparna.

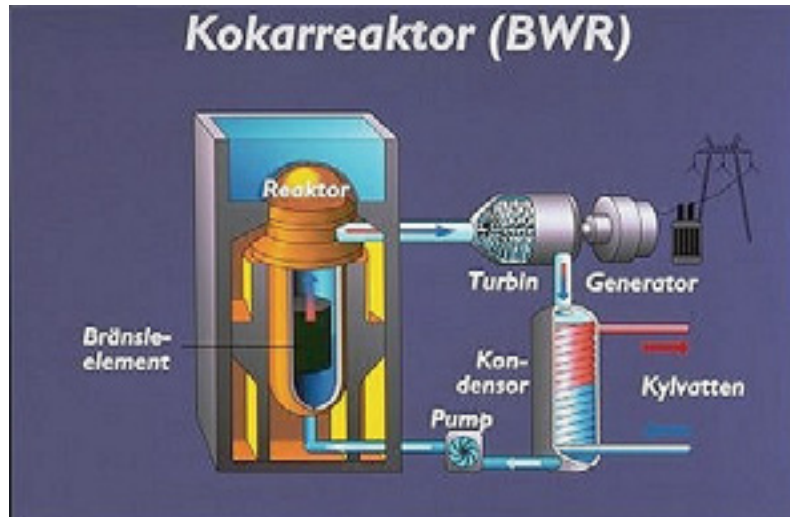


Figure 2.4. Principskiss över en kokvattenreaktor.

Nackdelen med BWR-systemet är att den bildade ångan innehåller radioaktiva substanser vilket gör att turbinerna kontamineras. Vidare utgör modelleringen av voiden en komplicerande faktor. Fördelarna är den enkla och snabba regleringen av reaktoreffekten samt den relativt enkla och därmed förhållandevis billiga konstruktionen.

Sveriges enda reaktorer av PWR-typ finns i Ringhals (Ringhals II – IV). Principen för dessa visas i figur 2.5.

I denna reaktortyp värms vatten i kärnan under ett tryck om c:a 155 bar till typiskt 320 °C och leds in i ånggeneratorerna. Där sker en värmeöverföring till en sekundärkrets där vatten bringas i kokning under lägre tryck och bildar ånga. Denna ånga driver sedan turbinerna. På liknande sätt som BWR-systemet används styrtavar för att grovreglera reaktoreffekten. Styrtavarna skjuts in uppifrån och ingår som en integrerad del i bränsleelementen. För finreglering tillsätts neutronabsorberande bor i moderatorvattnet. Nackdelen med systemet är den relativt långsamma effektregleringen samt komplicerade och därmed kostnadskrävande system för ånggenerering. Fördelen med systemet är att turbinångan är fri från radioaktivitet, vilket underlättar service och underhåll av turbinerna. Vidare är neutroniken relativt enkel att modellera p.g.a. avsaknaden av void.

För bägge reaktortyperna gäller i Sverige att bränslet körs i cykler där varje cykel varar c:a 11 månader. Under revisionerna som utförs under sommarhalvåret, då behovet av elektricitet är som minst, byts ungefär 25 % av kärnan ut mot nytt bränsle. Detta innebär att bränslet används typiskt under 4 till 5 cykler innan det betraktas som utbränt.

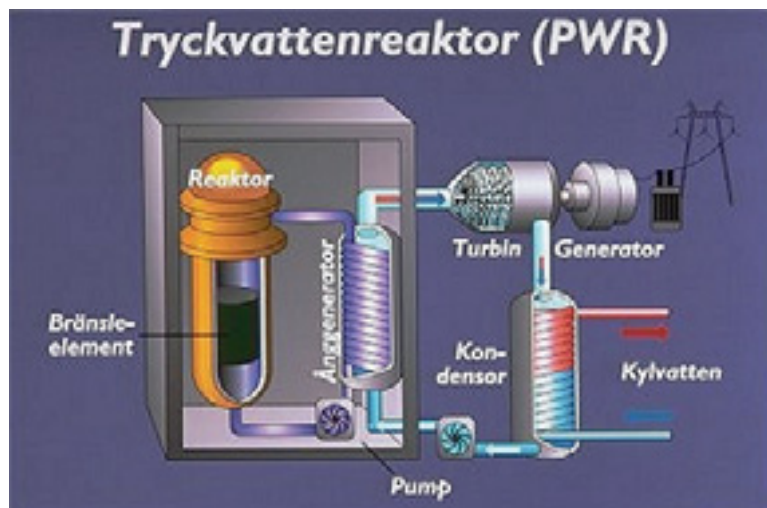


Figure 2.5. Principskiss över en tryckvattenreaktor.

2.3 Kärnbränsle

Det låganrikade bränsle (LEU=low-enriched uranium) som används i civil kärnkraft innehåller som mest 5 viktsprocent (w/o) ^{235}U . Typisk anrikning idag är mellan 3 och 4 procent. Huvuddelen av bränslet består således av ^{238}U och detta har betydelse för bränslets geometriska utformning vilket kortfattat beskrivs nedan.

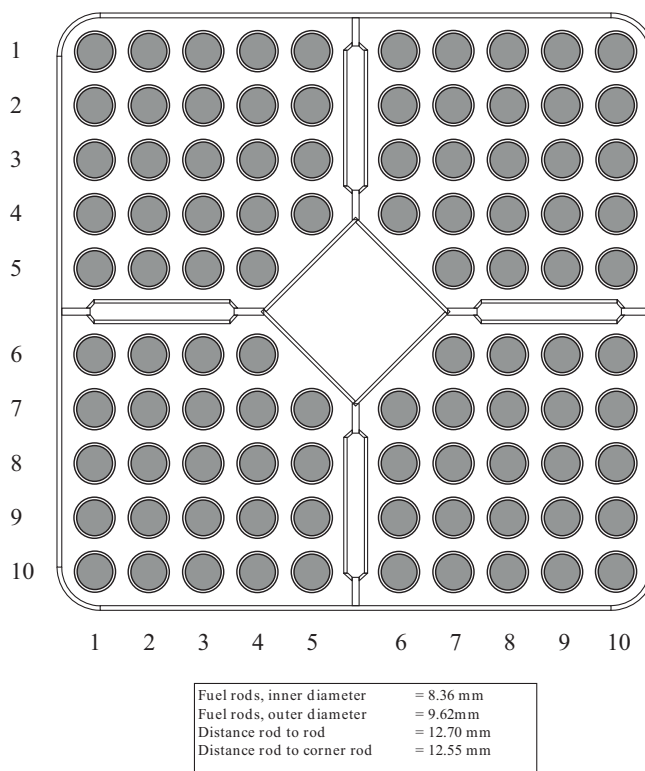
Även ^{238}U bidrar till energiutvecklingen genom s.k. snabb fission d. v. s. genom att neutroner som inte är termaliserade har en viss sannolikhet att orsaka fission i ^{238}U . Även i sådana fissionsreaktioner emitteras neutroner och dessa bidrar typiskt till mellan 2 % och 4 % av den totala reaktoreffekten.

Som framgår av figur 2.3 finns en region i fissionstvärnsnittet som uppvisar kraftiga oscillationer som kallas resonanser. Absorptionstvärnsnittet för ^{238}U uppvisar liknande resonanser vid högre neutronenergier och för att inte neutroner med sådana energier, som efter nedbromsning ska initiera nya fissioner, skall försvinna genom absorption i ^{238}U , är det viktigt att tillse att termaliserings sker innan neutronerna når bränslet. Sannolikheten att en neutron undgår denna s.k. resonansinfångning betecknas med p . I syfte att öka p tillämpas s.k. "heterogen geometri" d. v. s. bränslet fördelas i en geometrisk struktur istället för att homogent blandas med moderatorm. Ett annat skäl för användandet av heterogen geometri är att den s.k. snabbfissionsfaktorn ϵ ökar. Denna parameter definieras som

$$\epsilon = \frac{n_{snabb} + n_{term}}{n_{term}} \quad (2.4)$$

alltså förhållandet mellan summan av antalet neutroner producerade genom snabb fission i ^{238}U och termisk fission i ^{235}U och antalet neutroner som bildas enbart genom termisk fission. För bättre bränsleutnyttjande ser man till att snabbfissionsfaktorn är så stor som möjligt. I en typisk reaktor bidrar fission med snabba neutroner i ^{238}U med några procent till den totalt utvecklade effekten i reaktorn.

Resonansabsorption i ^{238}U sker företrädesvis i ytregionen av bränslet. Det betyder att bränslevolymer innanför ytan inte bidrar till att absorbera inte helt termaliserade neutroner. Ett randvillkor för ett effektivt neutronutnyttjande genom heterogen geometri är således att fördelningen av bränslet i moderatorm sker med relativt stora bränslestycken så att förhållandet volym till yta blir stor.



Figur 2.6. Tvärsnitt av ett SVEA 96 S-bränsle från Westinghouse Atom. Notera boxen som omgärdar bränslet och rörstrukturerna i mitten och mellan stavraderna 5 och 6. Skälet till dessa diskuteras i texten.

Många kriterier måste tas med i beräkningen, när bränsle för lättvattenreaktorer konstrueras. Om man koncentrerar sig på de kärnfysikaliska aspekterna, är en viktig fråga att använda material, som har små tvärsnitt för absorption av termiska neutroner. Ofta används legeringar med zirkonium som huvudbeståndsdel. En annan viktig fråga är att skapa ett lämpligt volymförhållande mellan bränsle och moderatorm genom den heterogena geometri som diskuterats ovan. Ett typiskt kärnbränsle är därför framställt av cylindriska, sintrade urandioxidkutsar, omkring 1 cm långa och 1 cm i diameter. Kutsarna staplas i omkring 4 m långa zirkaloyrör, som fylls med argon och tillsluts. Rören eller bränslestavarna monteras tillsammans i en matris och bildar bränslepatronen.

Hur konstruktionen av ett modernt kärnbränsle ser ut framgår av principskissen i figur 2.6. I figuren visas schematiskt ett tvärsnitt av ett SVEA 96 S-bränsle från Westinghouse Atom.

Bränslet i figur 2.6 är konstruerat för BWR-reaktorer vilket indikeras av de kanaler som i axiell led styr den vattenbemängda ångan. Även den låda av zirkaloy som omger

bränsleelementet har till uppgift att styra vatten och ånga så att bästa termiska kontakt mellan bränsle och moderator/kylmedium erhålles.

Utformningen av kärnbränsle är i ständig utveckling och nya konstruktioner uppträder på marknaden med jämna mellanrum. Framförallt gäller det för BWR-bränsle där ett viktigt utvecklingsområde är att åstadkomma ett förutsägbart uppträdande på ångbildningen och dess strömning. Detta har bl.a. lett fram till utvecklandet av bränslen med s.k. dellånga stavar där en andel av bränslestavarna är mellan 1/3 och 2/3 så långa som stavar av full längd. Andra utvecklingsområden är s.k. brännbara absorbatörer som används för att utjämna bränsleelementens radiella utbränningsprofil under det första året i reaktorhärden.

Kapitel II.3 Icke-förstörande mätningar inom kärnämneskontroll

I kapitel 3 – 6 kommer vi att diskutera några metoder som används inom ickeförstörande mätningar (non-destructive assay, NDA) för att ta upp några av de mål som satts upp för kärnämneskontroll. För närvarande finns det inte många godkända metoder tillgängliga, men forskning och utveckling om adekvata tekniker är ganska omfattande. I detta kapitel kommer vi att presentera existerande tekniker, samt också i viss utsträckning redogöra för forskningsinsatser som görs inom fältet.

Det mesta arbetet inom området koncentreras till att utnyttja grundläggande principer för metoder inom fysik och tillämpad matematik. Därför kommer vi att fokusera diskussionen på dessa grundläggande principer och deras möjliga användning hellre än att beskriva den i många fall preliminära utrustning som utvecklats.

I detta sammanhang kan NDA definieras som den experimentella procedur man använder för att få kunskap om sådana egenskaper hos ett föremål, som har relevans för kärnämneskontroll genom att utnyttja olika fysikaliska mättekniker, medan föremålet förblir opåverkat (intakt).

Många föremål som man stöter på inom kärntechnologin, t. ex. bränslepatroner omfattar hög grad av teknisk komplexitet och därmed stora ekonomiska värden. En uppenbar anledning till att NDA är den mest attraktiva basen för instrumentering och metodologi, när det gäller inspektioner på plats, är därför att den erbjuder möjlighet att ge information utan att förstöra föremålet i fråga, samt att den ger minimal störning av pågående verksamhet vid en anläggning. Den senare synpunkten är viktig eftersom acceptansen bland operatörer för nya steg inom kärnämneskontrollen i många fall beror på att lugna, effektiva och inte alltför kostnadskrävande inspektioner kan äga rum. En annan synpunkt på NDA är att metoderna i allmänhet inte kräver speciellt utrustade laboratorier som ofta är fallet när det gäller förstörande mätningar (destructive assay, DA). Det skall emellertid betonas att NDA inte kan ersätta DA i det allmänna fallet men tjänar som ett komplement.

Utvecklingen inom NDA återspeglar, och styrs på många sätt av, de framsteg som gjorts inom olika teknologiområden. Speciellt har utvecklingen av små men ändå kraftfulla datorer varit av avgörande betydelse för konstruktionen av snabba och noggranna datainsamlingssystem för strålningsdetektorer, samtidigt som kostnaden hållits på en acceptabel nivå.

I denna sektion kommer diskussionen att begränsas till NDA använd för kärnämneskontroll av utbrända bränsle-patroner från lättvattenreaktorer. Detta tillvägagångssätt motiveras av att utbränt kärnbränsle i princip skulle kunna användas för olaglig produktion av kärnvapen genom att det innehåller ^{239}Pu . Det bör emellertid påpekas att kärnbränsle som använts i kraft-producerande reaktorer inte erbjuder någon betydande källa för ^{239}Pu . Omkring 50% av det plutonium som produceras i en kraftproducerande reaktor förbränns i reaktorn, och bidrar därigenom till omkring 30% av den totala effekten i en reaktor. Endast en liten del av det plutonium som producerats finns därför kvar i det utbrända bränslet. Ungefär en procent av det utbrända bränslet består av plutonium. Detta plutonium är svårt att extrahera beroende på att det är utblandat med kraftigt radioaktiva plutoniumisotoper med jämna masstal som utsänder alfapartiklar och producerar termisk effekt.

Å andra sidan, om ett land inte bryr sig om energiproduktion, så skulle i princip kraftproducerande reaktorer kunna drivas så att produktionen av ^{239}Pu maximeras. Detta åstadkommes genom att bestråla bränslet i låga neutronflöden under en förhållandevis kort tid, d. v. s. producera utbränt bränsle med låg utbränning (se textruta ovan). Av detta skäl är det en utmaning att utveckla tekniker som avslöjar sådan bestrålningshistorik. Försök i denna riktning har verkligen gjorts [121].

Grunden för icke-förstörande mätningar (NDA) av utbränt kärnbränsle är det strålningsfält som omger bränslet. Huvudbidraget till detta strålningsfält utgörs av gammastrålning från olika fissionsprodukter. Ett litet men betydelsefullt bidrag är neutronstrålning från spontan fission av vissa kärnor och från fissionsreaktioner i kvarvarande fissilt material, inducerade av neutroner från spontan fission. Dessutom utsänds elektriskt laddade partiklar som alfa- och betapartiklar, men eftersom deras räckvidd är kort i jämförelse med dimensionerna hos en typisk bränslepatron, så är direkt detektion av dessa strålningslag inte av stort intresse för närvarande. Betapartiklarna kan emellertid genom växelverkan med omgivande material ge upphov till Cherenkov-strålning, som kan registreras med metoder som beskrivs nedan.

Kärnbränsleparametrar av betydelse i kärnämneskontroll

- Utbränning: Energimängd som levererats från en bränslepatron. En vanligen använd enhet är GWd/tU (gigawattdagar per ton uran). En typisk totalutbränning är för närvarande 45 GWd/tU för kokareaktorbränsle och 55 GWd/tU för tryckvattenreaktorbränsle.
- Kyltid: Tidsperioden mellan den sista gången en bränslepatron togs ur reaktorn och tidpunkten för mätningen.
- Initial anrikning: Viktsprocenten ^{235}U i förhållande till hela uraninnehållet. Maximalt tillåten anrikning i civila reaktorer är 5%. Kärnreaktor drivna marinfartyg kan ha en anrikningsgrad av upp till 95%.
- Integritet: Beskriver i vilken utsträckning en bränslepatron är intakt och att inga icke uppmärksammade försök att demontera patronen har gjorts.
- Bestrålningshistorik: Beskriver antalet effektcykler, effektuttaget och längden av varje effektcykel och underhållsperiod.

Beroende på karaktären hos den strålning som utsändes från utbränt kärnbränsle kommer diskussionen att uppdelas i två delar; metoder som baseras på detektion av gammastrålning och metoder som baseras på neutrondetektion. Som kommer att framgå är båda teknikerna av intresse och i många fall komplementära. En redogörelse för en teknik som grundar sig på Cherenkov-strålning kommer också att presenteras.

Eftersom de följande två sektionerna kommer att handla om mätningar av gammastrålning, är det lämpligt att beskriva, hur denna strålning uppstår och den fysikaliska grunden för hur den kan detekteras.

3.1 Produktion av gammastrålande fissionsprodukter

För en given typ av kärnbränsle, styrs produktionshastigheten för olika fissionsprodukter av fissionshastigheten, som i sin tur beror på neutronflödet och således på reaktorns effektuttag.

En typisk egenskap hos fissionsprocessen är att fissionsprodukterna i allmänhet är kärnor som ligger långt från betastabilitetslinjen på nuklidkartan. Detta innebär att fissionsprodukterna är neutron- eller protonrika kärnor, som lätt söderfaller genom att utsända betapartiklar eller positroner med halveringstider som sträcker sig från några millisekunder till åtskilliga tiotals år. Bland de neutronrika kärnorna har några masstalet 137. Genom på varandra följande beta-sönderfall produceras slutligen den bl. a. från Chernobyl-olyckan beryktade kärnan ^{137}Cs .

Den process som omfattar en enstegs neutroninfångning leder till fissionsprodukter som kallas direkta fissionsprodukter och bland dessa är ^{137}Cs en välkänd representant. Mängden producerade direkta fissionsprodukter uppvisar i princip ett linjärt beroende på utbränningen. Beroendet på den initiala anrikningen är försvinnande svagt, därför att en variation i anrikning endast ger en motsvarande variation i utbränningen för ett givet neutronflöde.

Kärnan ^{137}Cs och dess enkla beroende av utbränningen, gör att den är lämplig för användning i icke-förstörande mätningar (NDA) av utbränt kärnbränsle av två skäl:

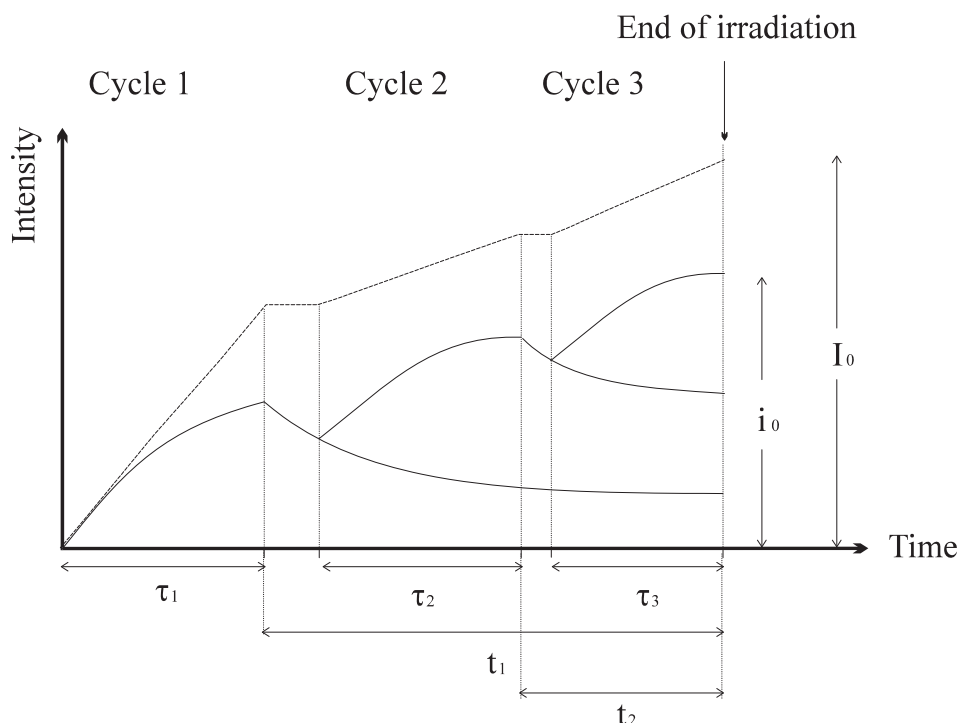
- Den långa halveringstiden (30,17 år) gör det möjligt att utföra icke-förstörande mätningar många decennier efter att bränslepatronerna tagits ur reaktorn. Den långa halveringstiden betyder också att den producerade mängden inte är en stark funktion av detaljer i bestrålningshistoriken.
- Det faktum att mängden producerat ^{137}Cs i praktiken bara beror på utbränningen, gör det lämpligt att använda ^{137}Cs -strålningen för normering av NDA-mätningar.

Här kan det vara av intresse att härleda ett enkelt uttryck för produktionen av ^{137}Cs som funktion av bestrålningstiden i reaktorn. För att göra detta, börjar vi analysen med följande differentialekvation

$$\frac{dN}{dt} = K_1 p - \lambda_1 N \quad (3.1)$$

I denna ekvation är N mängden ^{137}Cs och p effektnivån under en effektcykel. I detta sammanhang antar vi att p är konstant, vilket är en god approximation under normal drift. Parametern λ_1 är sönderfallskonstanten för ^{137}Cs och K_1 är en konstant. Den allmänna lösningen till ekvation (3.1) är

$$N(t) = \frac{K_1 p}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad (3.2)$$



Figur 3.1. Mängden ^{137}Cs som produceras i en bränslepatron som använts under tre effekt-cykler med två underhållsperioder. Som jämförelse erhålles den prickade kurvan, om hänsyn inte tas till sönderfallet.

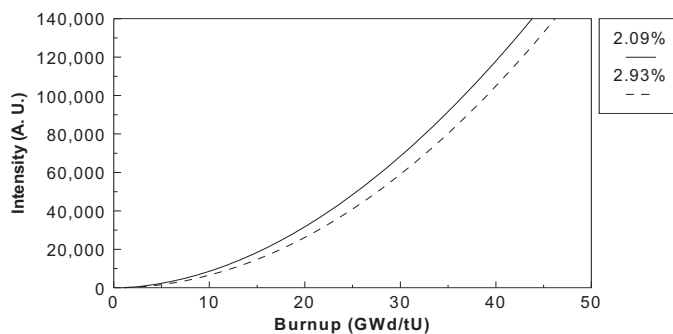
Under varje effektcykel n , bestrålas bränslet under tidsperioden τ_n och producerar mängden N_n . Den totala mängden N som producerats, när bränslet är fullständigt utbränt, är N_n summerad över alla effektcykler och beskrivs alltså av

$$N = K_1 \sum \frac{\beta_n}{\lambda_1 \tau_n} (1 - e^{-\lambda_1 \tau_n}) e^{-\lambda_1 t_n} \quad (3.3)$$

I detta uttryck är utbränningen definierad som $\beta_n = p \tau_n$ och t_n representerar tidsperioden från slutet av effektcykel n till slutet av sista effektcykeln. Ett fall där en bränslepatron har blivit bestrålad under 3 effektcykler visas schematiskt i figur 3.1.

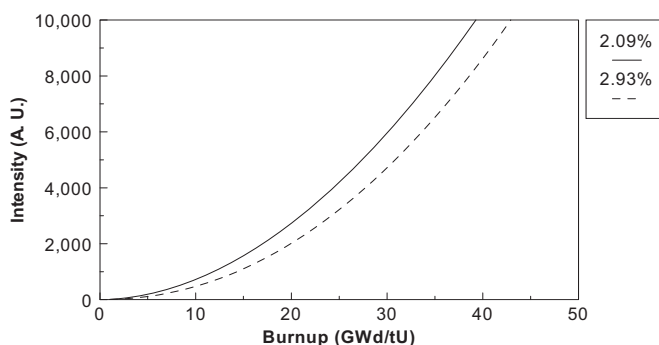
För ^{134}Cs , med en halveringstid på 2,1 år, är sambandet mellan intensitet och utbränning mera komplicerat, se figur 3.2. Produktionen av ^{134}Cs bestäms av neutroninfångning i ^{133}Cs , som i sin tur beror linjärt på utbränningen. Följaktligen beror ^{134}Cs -intensiteten väsentligen kvadratisk på utbränningen.

Beroendet på initial anrikning visas också i figur 3.2. Som framgår av figuren, minskar den mängd som produceras, när den initiala anrikningen ökar, för en given utbränning. Detta förhållande kan förstås genom att observera att en ökning av den initiala anrikningen betyder, att en ökad del av neutronflödet används för fission, och således att en mindre del är tillgänglig för infångning i ^{133}Cs för att producera ^{134}Cs .



Figur 3.2. Beräknad ^{134}Cs -intensitet som funktion av utbränning för två olika initiala anrikningsgrader.

Intensiteten av ^{154}Eu ($T_{1/2} = 8,6$ år) beror på ett ännu mera komplicerat sätt på utbränningen som illustreras i figur 3.3.



Figur 3.3. Motsvarande resultat som i figur 3.2 beräknat för ^{154}Eu .

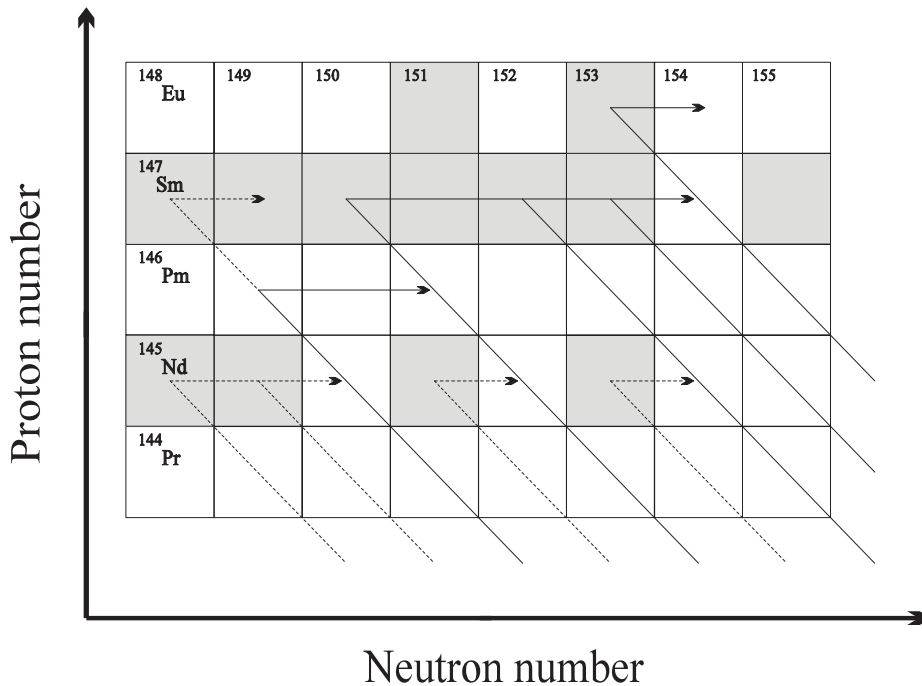
Det komplicerade beroendet av intensiteten för ^{154}Eu på utbränningen beror på att isotopen produceras genom många masskedjor, av vilka fem är av störst betydelse, se figur 3.4. Man kan notera ett beroende på initial anrikning, som påminner om ^{134}Cs -fallet och som i grunden har samma orsak.

För ^{134}Cs och ^{154}Eu där intensiteten inte följer ett linjärt beroende på utbränning, blir en ovan beskrivna analysen mer komplicerad. Genom att göra en enkel approximation kan man emellertid få fram uttryck som ger tillräcklig noggrannhet. Antag att mängden av en isotop beror på utbränningen som i ekvation (3.4)

$$N = K_2 \beta^\kappa \quad (3.4)$$

Intensitetsbidraget Nn för varje effektcykel n kan nu beräknas genom att först generalisera ekvation (3.1) till

$$\frac{dN_n}{dt_n} = \kappa K_2 p^\kappa t_n^{\kappa-1} - \lambda_2 N_n \quad (3.5)$$



Figur 3.4. De fem masskedjor som i huvudsak bidrar till produktionen av ^{154}Eu .

Genom att lösa ut N_n ur ekvation (3.5) erhåller man

$$N_n(\tau_n) = \kappa K_2 p^\kappa e^{-\lambda_2 \tau_n} \int_0^{\tau_n} t_n^{\kappa-1} e^{\lambda_2 t_n} dt_n \quad (3.6)$$

Integralen i ekvation (3.6) har i allmänhet ingen analytisk lösning och måste därför approximeras. Genom att substituera tn med $xn.tn$ får man

$$N_n(\tau_n) = \kappa K_2 p^\kappa \tau_n^\kappa e^{-\lambda_2 \tau_n} \int_0^1 x_n^{\kappa-1} e^{x_n \lambda_2 \tau_n} dx_n \quad (3.7)$$

Om $0 < \lambda_2 \tau_n < 1$ gäller, kan exponenten i integranden i ekvation (3.7) utvecklas till

$$e^{x_n \lambda_2 \tau_n} \approx 1 + x_n (e^{\lambda_2 \tau_n} - 1) \quad (3.8)$$

förutsatt att $0 \leq x_n \leq 1$. Med användning av denna approximation kan ekvation (3.8) skrivas

$$N_n(\tau_n) \approx K_2 p^\kappa \tau_n^\kappa \left\{ 1 - \frac{1}{\kappa+1} (1 - e^{-\lambda_2 \tau_n}) \right\} \quad (3.9)$$

Det följer av detta att ett approximativt uttryck svarande mot ekvation (3.3) i fallen ^{134}Cs och ^{154}Eu blir

$$N \approx K_2 \sum \beta_n^\kappa \left\{ 1 - \frac{1}{\kappa + 1} (1 - e^{-\lambda_2 \tau_n}) \right\} e^{-\lambda_2 t_n} \quad (3.10)$$

I detta uttryck är K lika med 2 för ^{134}Cs och i området 1,3 – 2 för ^{154}Eu .

Ekvation (3.10) är också approximativ i den meningen att produktion och sönderfall inte är explicit medtagna i beräkningen. För ^{154}Eu är den relativa betydelsen, som varierar med den gällande reaktordriften, av de olika neutroninfångningsreaktionerna (se figur 3.4) inkluderad i parametern κ . I många sammanhang ger emellertid ekvation (3.10) en enkel beskrivning, som är tillräckligt bra för analys av experimentella data.

3.2 Detektering av gammastrålning

Gammakvanta växelverkar med material med hjälp av den elektromagnetiska kraften. Det finns tre viktiga processer som utgör basen för detektering av gammastrålning: den

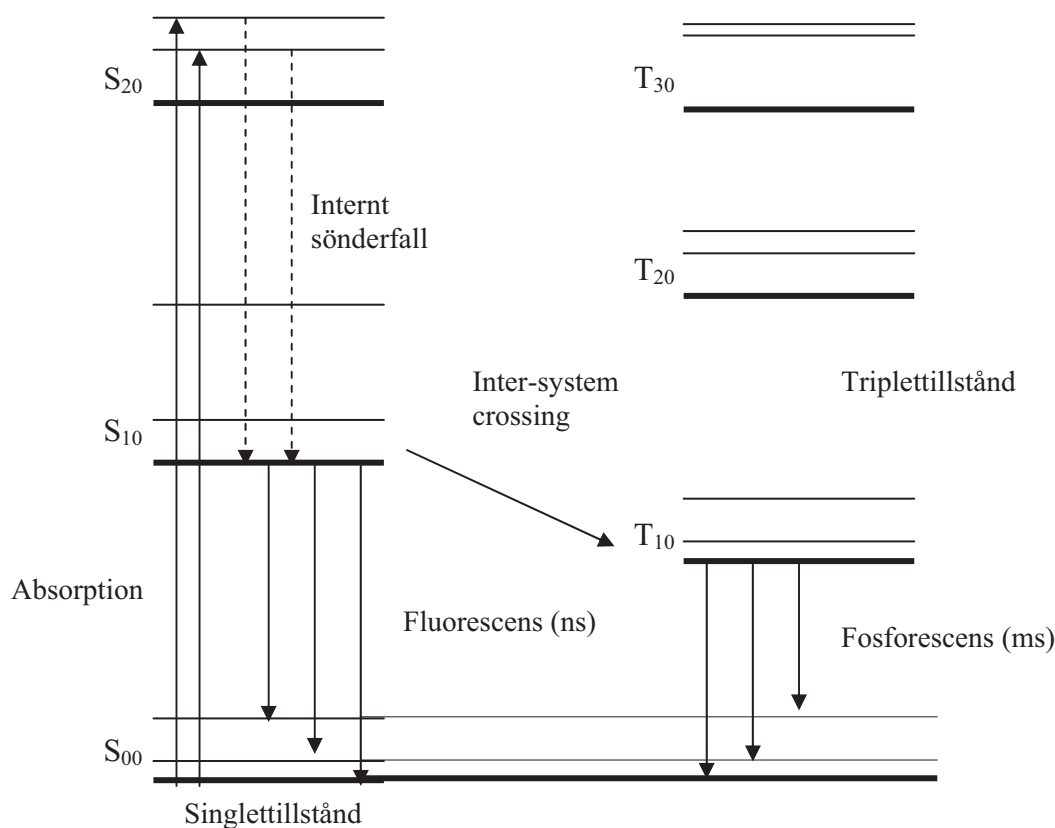


Figure 3.5. Molekylära energinivåer i en organisk scintillator.

fotoelektriska effekten, Compton-spridning och parbildning. Den elektromagnetiska växelverkan leder också till olika sekundära fenomen som kan utnyttjas i detektionsprocessen, t. ex. scintillation i många material och elektron-hål produktion i halv-ledarmaterial. Den följande diskussionen är kortfattad och för att ge en detaljerad genomgång rekommenderas studium av referenserna [124,125].

3.2.1 Scintillationsdetektorer

Grunddragen för scintillationsdetektorer är att ljuspulser i det optiska området bildas när detektormaterialet träffas av gammastrålning. Vanliga material, som uppvisar luminiscensegenskaper, d. v. s. förmåga att absorbera energi och skicka ut den i form av optiska fotoner, är organiska kristaller som transstilben ($C_{14}H_{12}$), antracen ($C_{14}H_{10}$) och naftalen ($C_{10}H_8$). Förutom organiska kristaller kan man nämna olika organiska vätskor. Dessa består av en organisk scintillator i en organisk lösning. Bland oorganiska scintillatorer är NaI, CsI och vismutgermanat (BGO) viktiga exempel.

Med hänvisning till figur 3.5 finner man att de molekylära energinivåerna i en organisk scintillator består av (elektroner i) singlettillstånd S_x och triplettillstånd T_x , och vart och ett av dessa är uppdelat i många rotationstillstånd S_{xy} respektive T_{xy} . Energidifferenserna mellan elektronnivåerna är typiskt några eV och mellan rotationstillstånden några tiondedels eV.

Jonisationsenergi från gammastrålningen absorberas i materialet genom att elektroner lyfts från grundtillståndet S_{00} till en av de exciterade nivåerna S_{xy} . Dessa nivåer deexciteras vanligen inom några picosekunder (ps) till S_{10} -tillståndet genom en inre sönderfallsprocess. Slutligen deexciteras S_{10} -tillståndet till ett S_{0y} -tillstånd genom att sända ut en foton. Denna fluorescensprocess äger rum inom storleksordningen ns och ger upphov till en snabb komponent i detektorsignalen. Som man kan se i vänstra delen av figur 3.5 är självabsorptionen i materialet vanligen mycket liten (de pilar som är nedåtriktade är kortare än de uppåtriktade).

I en process som kallas "inter-system crossing" konverteras några singlettillstånd till triplettillstånd. I figur 3.5 populeras T_{10} nivån som har en livslängd på upp till flera millisekunder. En övergång mellan T_{10} - och S_{0y} -tillstånden ger upphov till fosforescens med karaktäristiska tider i ms-området. Alternativt kan T_{1y} tillstånden bli termiskt exciterade tillbaka till S_{10} -tillståndet. När denna i sin tur deexciteras erhålls en långsam komponent (fördröjd fluorescens) i detektorsignalen. En typisk ljussignal från en organisk scintillator kan alltså skrivas $N(t) = Ae^{-t/\tau_f} + Be^{-t/\tau_s}$, som visas schematiskt i figur 3.6. Vanligtvis är A större än B . Pulsens stigtid har uteslutits i figur 3.6.

Även om det inte är fullt klarlagt, förefaller det som om energiabsorptionen i en vätskescintillator äger rum i lösningen, som därefter överför energin till scintillatorkomponenten, där scintillationsprocessen sker på det sätt som beskrivits ovan.

Genom att blanda scintillatorn med en plast i fast form till en lösning, får man en flexibel scintillator. En ofta använd kombination är polyfenylbensen med inblandning av p-terfenyl.

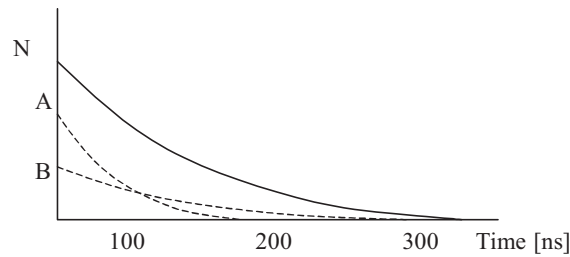
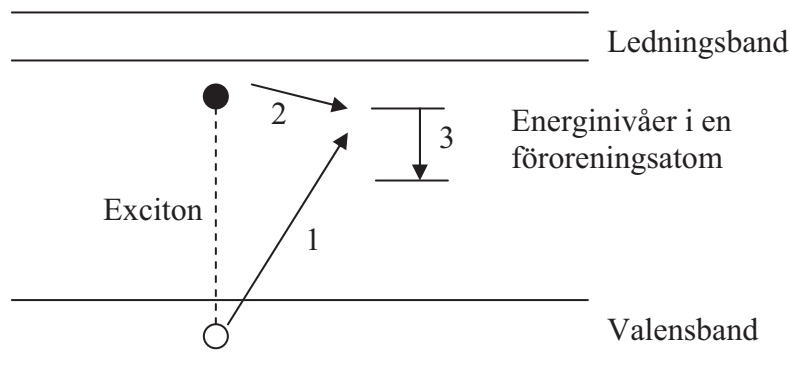


Figure 3.6. Typiskt ljusutbyte från en organisk scintillator uppdelat i en snabb (A) och en långsam (B) komponent.

En speciell egenskap hos plastscintillatorer är deras extremt korta sönderfallskonstant ($2 - 3$ ns), som gör det nödvändigt att ta hänsyn till ljuspulsens stigtid,

$N(t) = N_0 f(\sigma, t) e^{-\frac{t}{\tau}}$, där $f(\sigma, t)$ är en Gauss-funktion med en standardavvikelse σ av storleksordningen ($0,2 - 0,7$) ns.

Organiska scintillatorer levereras i en mängd olika storlekar, vilket gör dem till mycket flexibla instrument. Speciellt gäller att plastscintillatorer kan tillverkas i praktiskt taget vilken form och storlek som helst, och många kvadratmeter stora skivor inte är ovanliga. Den huvudsakliga nackdelen med vätskescintillatorer är att de i allmänhet är giftiga och explosiva och därför bör hanteras med stor försiktighet som riskabelt material.



Figur 3.7. Energinivåer i en oorganisk kristall. Scintillationsprocessen startar med att ett elektron-hål par skapas och hålet exciterar en energinivå i en föroreningsatom (1). En elektron deexciterar nivån (2) genom att sända ut fotoner (3).

En annan typ av scintillatormaterial är oorganiska kristaller. Scintillationsprocessen är annorlunda för dessa material i den meningen att den styrs av kristallens bandstruktur och inte av molekylstrukturen. I figur 3.7 visas bandstrukturen och en typisk excitation.

Processen startar med att strålningsenergin absorberas i kristallen, och bildar ett elektron-hål par, en s. k. exciton. Denna exciton kan röra sig ganska fritt i kristallen, och när den stöter på en föroreningsnivå i det normalt "förbjudna" energiområdet mellan valens- och ledningsbanden, kan hålkomponenten excitera föroreningsatomen. Denna atom kan deexciteras av en elektron t. ex. från excitonen och strålning sänds ut. Denna strålning består typiskt av fotoner i ultraviolettera (UV) området, och för att underlätta

dess detektion, ”dopas” kristallen med en liten mängd material (wavelength shifter), som förlänger våglängden till det optiska området.

En mycket användbar egenskap hos scintillatorer är att den ljusintensitet som produceras är proportionell mot den energi som avgivits till detektorn, d. v. s. detektorn uppvisar en viss grad av energiupplösning. Energiupplösningen för en scintillator bestäms i huvudsak av antalet optiska fotoner per enhet energi som deponerats i detektorn. Typiskt genereras mellan 5 000 och 50 000 fotoner per MeV deponerad energi, vilket också kan uttryckas så att det krävs (200 – 20) eV av deponerad energi för att skapa en optisk foton. Detta betyder att scintillatorer uppvisar en ganska måttlig energiupplösning, (10 – 25) % vid en gammaenergi av 1332 keV, och används därför i tillämpningar där en enkel och stabil teknik har högre prioritet än hög energiupplösning.

NaI-kristaller är bräckliga och hygroskopiska, vilket innebär att detektorn måste vara inkapslad på ett sådant sätt att fukt inte kan nå kristallen. Energiupplösningen, å andra sidan, är bland de bästa för scintillatorer, omkring 10 % vid 1332 keV. CsI har i medeltal högre atomnummer än NaI, vilket ökar materialets absorptionsförmåga, som i sin tur ger högre effektivitet för gamma detektion. CsI är också hygroskopiskt vilket medför att speciella åtgärder måste vidtas. En speciell egenskap hos CsI är förmågan att diskriminera mellan gammastrålning och laddade partiklar. Detta är en viktig egenskap i grundläggande kärnfysikforskning, men har ännu inte funnit sin tillämpning inom icke-förstörande mätningar (NDA) på utbränt kärnbränsle.

Ännu högre detektionseffektivitet uppvisar vismutgermanatdetektorn (BGO). Detta detektormaterial har en energiupplösning av storleksordningen 15 % vid 1332 keV. En viktig fördel när man använder BGO-detektorer är att de inte är hygroskopiska.

3.2.2 Fotomultiplikatorrör

Ljuspulsen från en scintillator detekteras och förstärks vanligtvis med ett fotomultiplikatorrör (photomultiplier tube, PMT).

Fotomultiplikatorröret är en utrustning som överför optisk energi till elektrisk energi med minimal brusnivå. Huvudprincipen för ett PM-rör visas i figur 3.8 och funktionen kan beskrivas på följande sätt:

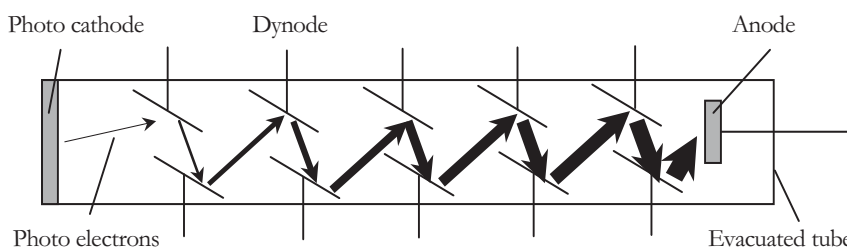


Figure 3.8. Schematisk beskrivning av ett fotomultiplikatorrör.

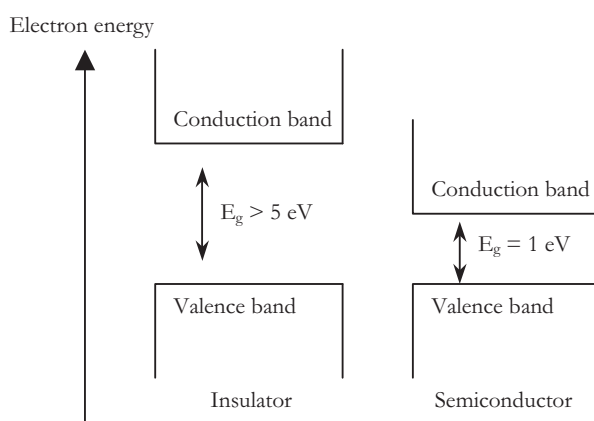
En foton som träffar fotokatoden skickar ut ett antal n elektroner, som accelereras i ett elektriskt fält mot den första dynoden. Där genereras δn nya elektroner som accelereras mot nästa dynod, där $\delta^2 n$ elektroner produceras och så vidare tills elektronerna når anoden, där en signal tas ut.

Om antalet dynoder är N får man en total förstärkningsfaktor på $\alpha\delta^N$, där α är den andel av alla fotoelektroner som insamlas med hjälp av PM-rörets inre struktur. För vanliga material gäller att $\delta = 5$ och $\alpha = 1$. För ett PM-rör med tio dynoder kommer den totala förstärkningsfaktorn alltså att bli omkring 10^7 . Typiskt ansluter man (1000 – 2000) V mellan fotokatoden och anoden, medan spänningsskillnaden mellan dynoderna är cirka 200 V.

PM-rör karakteriseras av hög förstärkning, mycket låg brusnivå och hög tillgänglighet till ett urval av storlekar, från några mm i diameter till åtskilliga tiotals cm, samt olika geometriska konfigurationer som medger att den som planerar ett experiment kan skraddarsy sin detektoruppställning. Nackdelen med PM-rör är den svaghet i konstruktionen, som vakuumbör av glas innebär. Vid mätning av höga intensiteter kan också höga räknehastigheter medföra alltför hög ström genom röret, som leder till att dynodspänningarna faller, vilket i sin tur ger upphov till icke-linjär respons hos PM-röret. I vissa tillämpningar där det är viktigt att detektordjupet är litet, kan det vara lämpligare att använda olika fotodioder som finns tillgängliga på marknaden, även om de har en högre brusnivå.

3.2.3 Halvledardetektorer

Halvledarmaterial, sådana som germanium eller kisel, som träffas av gammafotoner, reagerar genom att bilda elektron-hål par. Under processen lyfts elektronkomponenten från valensbandet till ledningsbandet (se figur 3.9) och blir mer eller mindre fri, medan hålkomponenten snabbt fylls av en närliggande valenselektron som alltså lämnar ett hål efter sig. När denna process upprepas, rör sig hålet genom kristallen som en positiv laddning relativt den negativt laddade omgivningen.



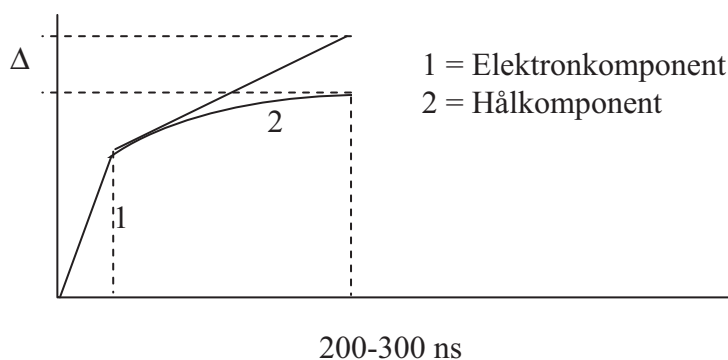
Figur 3.9. Bandstrukturen i en isolator och i en halvledarkristall.

Om ett elektriskt fält läggs över kristallen, tenderar hålen att röra sig mot katoden och elektronerna, i ledningsbandet, mot anoden. Dessa rörelser svarar mot en ström, som ger upphov till en utsignal bestående av en långsam hålkomponent och en snabb elektronkomponent som visas schematiskt i figur 3.10.

Som visas i figur 3.9 är bandgapet i en halvledare av storleksordningen 1 eV, vilket innebär att elektroner lätt exciteras till ledningsbandet av termisk energi. Sådan

excitationer ger upphov till oönskat bakgrundsbrus, som kan reduceras genom att detektorn kyls.

På ett liknande sätt som för scintillatorer, bestäms energiupplösningen av antalet elektron-hålpar som bildas. För germanium krävs 2,96 eV för att bilda ett elektron-hålpar eller omkring 340 000 per MeV deponerad energi. Detta antal är en faktor 10 – 100 gånger större än motsvarande storhet för scintillatorer. Ett typiskt värde för energiupplösningen i germaniumdetektorer är därför omkring 1 eV vid gammaenergin 1332 keV eller 0.7%. Detektorer baserade på halvledarteknologi ger den bästa energiupplösning, som är möjlig i dag.

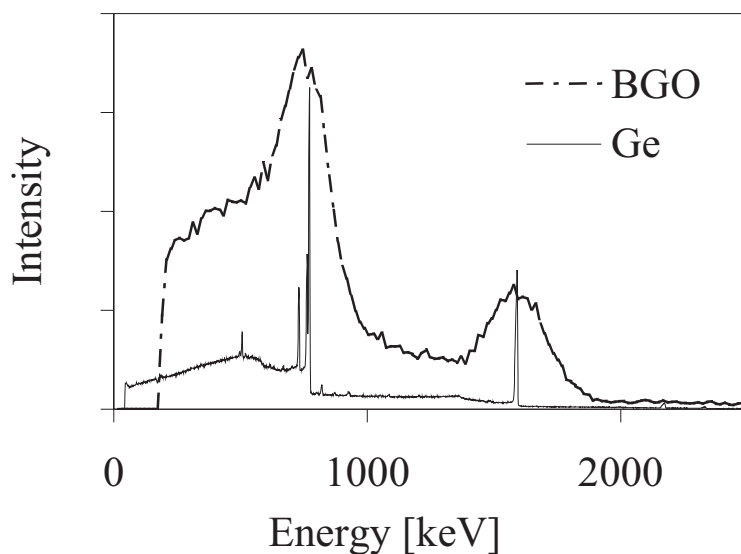


Figur 3.10. Utsignal från en halvledardetektor. Hålkomponenten har en tendens att infångas i föroreningsnivåer i kristallen. Som följd av detta kan amplituden för hålkomponenten minska jämfört med det opåverkade fallet. Denna effekt ger upphov till det s.k. ballistiska underskottet, Δ .

En stor nackdel med halvledarmaterial är att de måste kylas. Speciellt gäller för germaniumdetektorer (Ge-detektorer), att de bör användas vid en temperatur av 77 K för att visa sina utmärkta egenskaper. Se figur 3.11.

Sådan kylning åstadkommes ofta genom att använda ett termoskärll fyllt med flytande kväve. Se figur 3.12. En metod för kylning, som ökar i omfattning, är att använda ett slutet system fyllt med en lämplig gas, för vilken trycket ökar och minskar på ett sätt som påminner om principen för ett vanligt kylskåp.

Halvledardetektorer är komplicerade, ömtåliga instrument. Kylningsarrangemanget gör att detektorerna är ganska utrymmeskrävande och detta innebär att deras tillämpning är i olika stationära experimentsituationer. Under de senaste decennierna har emellertid några system, grundade på Ge-teknologi och lämpade för fältmässiga tillämpningar, presenterats (se t. ex. [126]).



Figur 3.11. Jämförelse mellan ett spektrum av 1596 keV gammastrålning från ^{140}Ba , uppmätt med en BGO detektor och motsvarande spektrum registrerat med en Ge detektor.



Figur 3.12. En typisk germaniumdetektor med sitt termoskär.

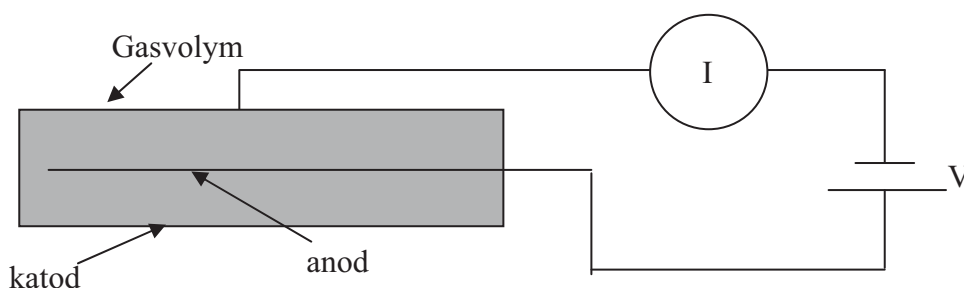
Germaniumdetektorers storlek är begränsad beroende på den komplicerade tillverkningsprocessen. De för närvarande största Ge-detektorerna har volymer på omkring 500 cm^3 . I många tillämpningar där kvantitativ analys krävs är de emellertid, beroende på den goda energiupplösningen, det enda möjliga alternativet. Figur 3.11 visar skillnaden i upplösning mellan en Ge- och en BGO-detektor. De spektra som visas i figur 3.11 svarar mot mätningar av en bränslepatron med en kyltid av ungefär 20 dagar. Den överlägsna energiupplösningen för Ge-detektorn framgår tydligt.

Det pågår utvecklingsarbete för att finna nya halvledarmaterial som skulle vara lämpliga för gammadetektion. En viktig målsättning i detta sammanhang är att bli oberoende av kravet på kylning. Sådana material är till exempel kadmiumtellurid (CdTe) och kvicksilverjodid (HgI_2). Detektorer, som bygger på dessa material kan användas i rumstemperatur, men de uppvisar dåliga egenskaper beroende på att hålkomponenten tenderar att bli alltför snabbt infångad i föroreningsnivåer i kristallen, vilket försämrar spektrums kvalitet. Dessutom kan inte sådana detektorer med stor volym framställas

med dagens teknologi. En typisk övre gräns för volymen för en CdTe-detektor är omkring 0.05 cm^3 .

3.2.4 Jonkammare

En tredje detektortyp är jonkammaren. Denna typ av detektor användes i huvudsak i svåra mätmiljöer och som kontroll- och varningsinstrument. Principen för jonkammarens funktion är bland de tidigt väl kända och mycket enkel (se figur 3.12). Ett gammakvantum som kommer in i gasvolymen har en viss sannolikhet för att växelverka med gasmolekylerna. I en sådan process frigörs elektroner och positivt laddade joner, som rör sig mot anoden (den centrala tråden) respektive katoden (yttre höljet). Därigenom uppstår en ström vars styrka är proportionell mot gammaflödet. Strömstyrkan är av storleksordningen tiotals nA och måste alltså mätas med speciell utrustning.



Figur 3. 13. Principskiss för en jonkammare.

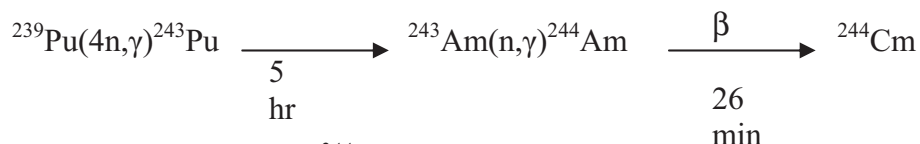
Jonkammare är billiga, stabila och pålitliga apparater, men deras energiupplösning är dålig och därför används de som regel inte i tillämningar där spektroskopisk information eftersträvas.

3.3 Produktion av neutronemitterande isotoper

År 1920 föreslog Rutherford existensen av en oladdad partikel ingående som beståndsdel i alla kärnor. Förslaget var hypotetiskt och Rutherford kunde inte stödja sin idé med experimentella bevis. Det var inte förrän 1932 som Chadwick kunde visa, baserat på experimentella resultat publicerade av Bothe och Becker (1930) samt Curie och Joliot (1932), att neutrala partiklar verkligen finns inne i alla kärnor utom väte; neutronen var upptäckt.

Misstanken att neutronens massa är ungefär lika med protonens besannades genom spridningsexperiment, där neutroner först producerades genom att t. ex. beryllium bestrålades med alfapartiklar och man sedan lät dessa neutroner träffa lätta kärnor som väte, litium, etc. Genom att studera vinkel- och energifördelningar för de utgående protonerna, drog Chadwick slutsatsen att neutronens massa är ”mycket nära lika med protonens massa” [127]. I dag vet vi att neutronens vilomassa är 1,0014 gånger protonens vilomassa eller $1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, vilket svarar mot viloenenergin 939,573 MeV.

Förutom långsamma neutroners speciella egenskap att orsaka fissionsreaktioner, äger olika infångningsreaktioner rum under bestrålning av bränslet i en reaktorhård. En infångningsreaktion kan uppträda när en neutron av lämplig energi träffar en kärna. I



Figur 3.14. Produktion av ${}^{244}\text{Cm}$ i en reaktor. Produktionsvägen för ${}^{239}\text{Pu}$ är neutroninfångning i ${}^{238}\text{U}$, som ger ${}^{239}\text{Pu}$, som i sin tur sönderfaller med betaemission till ${}^{239}\text{Pu}$.

en sådan reaktion ökas masstalet för den infångande kärnan med en enhet och som regel är den resulterande kärnan inte stabil. Existensen av ämnen tyngre än uran (transuraniska ämnen) är *de facto* en konsekvens av sådana reaktioner. Detta är anledningen till den ytterst låga förekomsten av dessa ämnen i naturen.

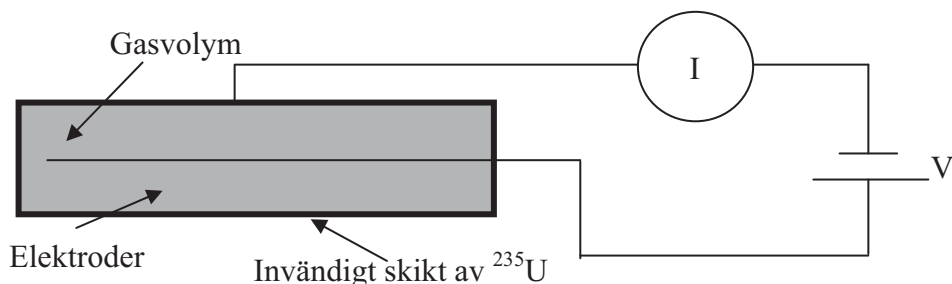
Figur 3.14 visar ett exempel på hur ett transuraniskt ämne som ${}^{244}\text{Cm}$ produceras som följd av en serie neutroninfångningsreaktioner och betasönderfall.

De två huvudsakliga neutronkällorna i urbränt kärnbränsle är spontan och inducerad fission och speciellt är de två isotoperna ${}^{242}\text{Cm}$ ($t_{1/2}=163$ dagar) och ${}^{244}\text{Cm}$ ($t_{1/2}=18$ år) av intresse i detta sammanhang. Båda isotoperna undergår spontan fission och sänder alltså ut neutroner som kan användas för NDA av utbränt kärnbränsle. För kyltider överstigande några år är bidraget från ${}^{242}\text{Cm}$ försumbart och neutronflödet kommer huvudsakligen från ${}^{244}\text{Cm}$. Om den bränslepatron, som studeras, är omgiven av vatten, modereras dessa fissionsneutroner och fissionsreaktioner i det återstående fissila materialet i bränslet, speciellt i ${}^{239}\text{Pu}$, sker med viss sannolikhet. Alltså beror neutronflödet från utbränt kärnbränsle huvudsakligen på mängden ${}^{244}\text{Cm}$ men i viss utsträckning på ${}^{239}\text{Pu}$ -innehållet. Detta förhållande kan utnyttjas för att bestämma utbränningen (genom mängden ${}^{244}\text{Cm}$) och erbjuder en möjlighet att bestämma mängden fissilt material i bränslet (genom den del av neutronflödet, som beror på ${}^{239}\text{Pu}$ -innehållet). I praktiken visar det sig emellertid att den senare parametern är ytterst svår att bestämma för utbränt bränsle och detta görs för närvarande inte regelmässigt.

3.3.1 Detektering av neutroner

De scintillatorer som diskuterades tidigare kan också användas som neutrontektorer. Speciellt används ofta litiumjodid (LiI) för detektion av lågenergineutroner med hjälp av reaktionen ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$. I kärnämneskontroll är detta emellertid inte en särskilt vanlig teknik. I stället har fissionskammare kommit till användning i några tillämpningar (se t. ex. [128]). En fissionskammare är i princip en jonkammare försedd med ett tunt skikt av ${}^{235}\text{U}$ på insidan av det rör, som utgör gasbehållaren, och som visas schematiskt i figur 3.15. När en termisk neutron träffar en ${}^{235}\text{U}$ -kärna i det tunna uranskiktet kan en fissionsreaktion äga rum och de positivt laddade fissionsfragmenten emitteras in i jonkammargasen, där de genom kollisioner med gasmolekyler ger upphov till elektroner och joner, som slutligen insamlas och ger en mätbar ström. Fissionskammaren är en enkel och pålitlig apparat men lider av att uranskiktet successivt förbrukas. Detta är

tydligast för neutrondetektorer som används i reaktorhärden, där de utsätts för neutronflöden av storleksordningen 10^{13} n/cm²·s.



Figur 3.15. Schematisk beskrivning av en fissionskammare.

För denna speciella tillämpning vidtas åtgärder vid tillverkningen av fissionskamrarna genom att tillföra ²³⁸U till uranskiktet, som gradvis konverteras till den fissila isotopen ²³⁹Pu. Denna typ av detektor kallas regenerativ och det har rapporterats [129] att känsligheten hos sådana detektorer inte varierar med mer än $\pm 5\%$ vid ett ackumulerat neutronflöde av $4,8 \times 10^{21}$ n/cm².

Fissionskammadetektorer kan skräddarsys för användning i många tillämpningar som t. ex. härddiagnostik i reaktorer. Täckgasen är vanligen argon vid ett tryck av flera atmosfärer för att tillgodose att fissionsfragmenten stoppas inom detektorvolymen. Spänningen över en fissionskammare är typiskt några hundra volt. En icke önskvärd egenskap är minneseffekten, som beror på en ansamling av betastrålande fissionsprodukter i detektorvolymen. Denna effekt kan dyka upp när detektorn har utsatts för höga neutronflöden under en avsevärd tidsperiod och visar sig i form av ”mörkström”. Ofta minskar emellertid mörkströmmen ganska snabbt beroende på fissionsprodukternas korta halveringstider och avtar till en försumbar nivå inom ungefär 10 dagar.

Kapitel II.4 NDA-teknik baserad på gammastrålning. Kvantitativa mätningar

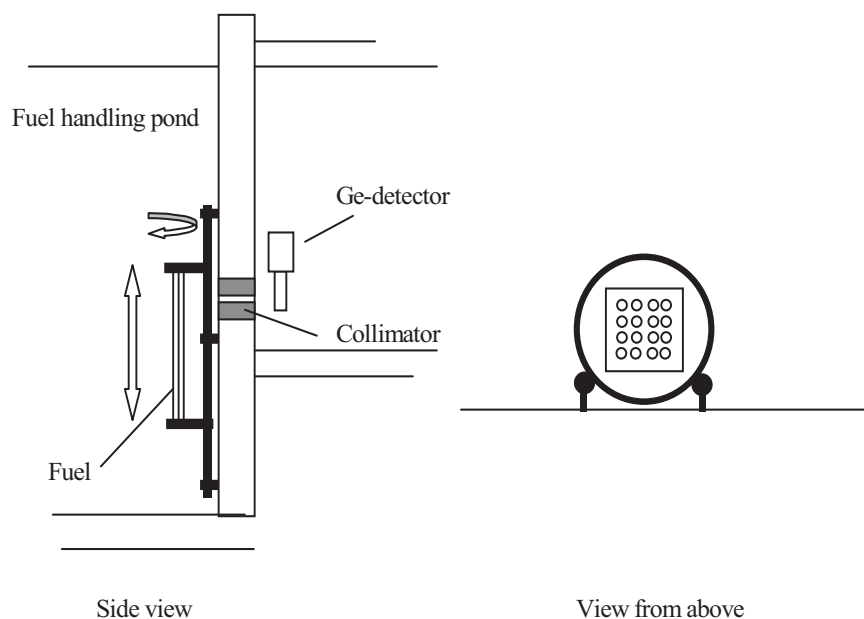
I detta kapitel skall vi diskutera teknik som möjliggör kvantitativa mätningar. Eftersom denna teknik baseras på mätning av intensiteten av olika gammaenergier, krävs utrustning med hög energiupplösning. Som diskuterats tidigare finns det flera detektorlösningar att välja mellan, men för att få högkvalitativa data är Ge-detektorn det enda rimliga valet i dagsläget. Som vi redan sett, kräver emellertid denna detektortyp speciella arrangemang för kylning och är därför inte särskilt lämpad för fältmässig användning. Möjligheten att använda instrument med hög precision baserade på CdTe detektorer är tänkbar, men tekniken är ännu inte tillräckligt utvecklad.

4.1 Utbränningskontroll med hjälp av gammamätning

Det här beskrivna systemet [121,130] använder sig normalt av infrastrukturen på en anläggning. Ett typiskt arrangemang visas schematiskt i figur 4.1. Utrustningen användes normalt för diagnostik av bränslepatroner som t. ex. undersökning av läckage. Sådana installationer finns vid alla svenska kokarreaktoranläggningar och även vid mellanlagringsanläggningen CLAB i Oskarshamn.

Bränslepatronen placeras i en hållare, som monteras i en hissanordning på insidan av en bränslehanteringsbassäng och kan roteras 360° med hjälp av en stegmotorutrustning. Hissanordningen, som används för att flytta bränslepatronen i vertikalled, är kopplad till en justerbar hastighetskontroll, som utnyttjas för att optimera hastigheten med hänsyn till bränslet längd, tiden för granskning, etc. Bränslepatronen undersöks utmed hela dess längd fyra gånger, då vart och ett av bränslepatronens hörn granskas.

Under en granskning passerar gammastrålning från bränslepatronen genom en horisontell spalt i en kollimator som är monterad i bassängväggen. Detta medger att detektorn på kollimatorns utsida observerar en horisontell skiva av bränslepatronen med en höjd av några mm.



Figur 4.1. Schematisk bild av en installation för utbränningskontroll med hjälp av gammamätning i en svensk anläggning (sedd från sidan till vänster och uppifrån till höger). Figuren är inte skalenlig.

Genom att utnyttja detektorsystemets höga upplösning registreras under normala förhållanden intensitetsfördelningen för ^{137}Cs , ^{134}Cs och ^{154}Eu och från dessa är det möjligt att bestämma utbränning, kyltid, initial anrikning, sönderfallsvärme och, till en viss grad, bränslepatronens bestrålningshistorik.

Metoden utnyttjar att intensiteterna av de tre isotoperna ^{137}Cs , ^{134}Cs och ^{154}Eu beror på olika sätt på utbränning β och kyltid T (via sönderfallskonstanterna λ). Från diskussionen i kapitel 3 kan följande uttryck för de uppmätta intensiteterna formuleras för ^{137}Cs

$$I_1 = K_1 \beta e^{-\lambda_1 T} \quad (4.1)$$

och för ^{134}Cs eller ^{154}Eu

$$I_2 = K_2 \beta^\kappa e^{-\lambda_2 T} \quad (4.2)$$

där K_1 och K_2 är konstanter. Parametern κ är lika med 2 för ^{134}Cs och $1,3 - 2$ för ^{154}Eu . Genom att kombinera ekvationerna (4.1) och (4.2) får man

$$\beta = \left(\frac{I_2}{K_2} \left(\frac{K_1}{I_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{\lambda_1}} \right)^{\left(\kappa - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^{-1}} \quad (4.3)$$

och

$$T = \frac{1}{\lambda_2 - \kappa \lambda_1} \ln \left\{ \left(\frac{I_1}{K_1} \right)^\kappa \frac{K_2}{I_2} \right\} \quad (4.4)$$

Noggrannheten i bestämningen av utbränning och kyltid är typiskt inom ± 2 % resp. $\pm(60 - 100)$ dagar [121].

Eftersom det behövs ganska komplicerade arrangemang för att utföra icke-förstörande mätningar med hjälp av gammamätning, kan man inte förvänta sig att sådan utrustning installerats på alla anläggningar i världen. Därför används inte gammamätning som en reguljär del av IAEA:s kärnämneskontroll. En utveckling, där ett mobilt instrument används, har inte desto mindre rapporterats [131].

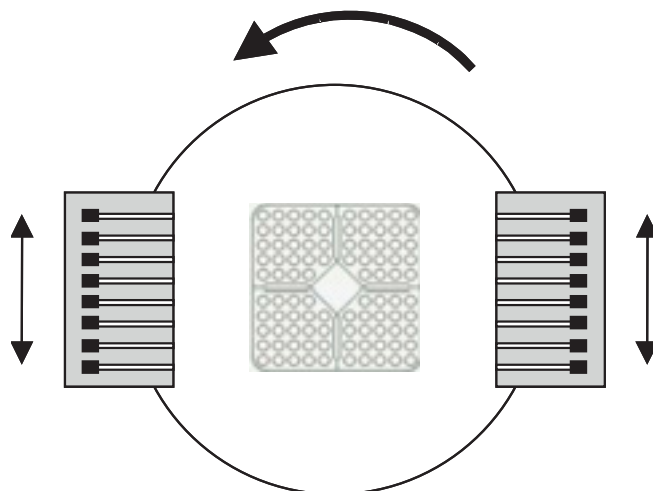
4.2 Datorbaserad tomografi

Utvecklingen av små och kraftfulla datorer möjliggör analys av mycket stora datamängder per tidsenhet. Detta ger möjlighet att utföra emissionstomografi, med vilket menas tekniken att bestämma källfördelningen inom ett föremål genom att kartlägga strålningsfältet i ett stort antal punkter utanför föremålet, se figur 4.2. Syftet med att använda denna teknik i kärnämneskontroll är att fastlägga utbrända bränslepatroners integritet, d v s att sluta sig till att en bränslepatron är komplett och att ingen bränslestav har avlägsnats eller ersatts utan att det rapporterats. Fältet är helt nytt och det finns ingen erfarenhet av att använda tomografi på ett reguljärt sätt. Några försök har emellertid gjorts och i det följande ges en kortfattad redogörelse för ett av dem.

Vid Uppsala universitet har en tomografisk teknik utvecklats [132], som bygger på en algebraisk metod. Grunduttrycket för den algoritm som används kan skrivas

$$W(E_\gamma)\underline{A} = \underline{I}(E_\gamma) \quad (4.5)$$

Här är $W(E_\gamma)$ absorptionsmatrisen, d v s en matris som beskriver attenueringen av gammaintensiteten med energin E_γ längs strålningens väg från källan inom bränslepatronen till detektorn. Vektorn \underline{A} beskriver den okända aktivitetsfördelningen och vektorn $\underline{I}(E_\gamma)$ är de uppmätta gammastrålningsintensiteterna.



Figur 4.2. Schematisk bild av en utrustning för tomografisk mätning av en bränslepatron. Kollimatoren och detektorutrustningen till höger kan förflyttas över bränslepatronen, medan denna roteras för att ge olika projektionsvinklar.

Den föreslagna metoden kan delas upp i två delar:

- Beräkning av absorptionsmatrisen W med utnyttjande av deklarerade data beträffande den aktuella bränslepatronens geometriska konfiguration.
- Användning av en iterativ teknik för att lösa vektorn \underline{A} ur ekv. (4.5) för rekonstruktion av aktivitetsfördelningen i bränslepatronen.

För att kunna beräkna W , delas bränslepatronens tvärsnittsyta i ett antal element som kallas pixlar. I denna process görs det förenklande antagandet att endast pixlar som avser områden innehållande bränslematerial bidrar till gammaemissionen, medan andra pixlar på förhand sätts till noll. För en given serie av mätpositioner, beräknas den relativa intensiteten för varje pixel som har ett ändlig värde. Det är viktigt att notera att sådana beräkningar görs för varje bränsletyp.

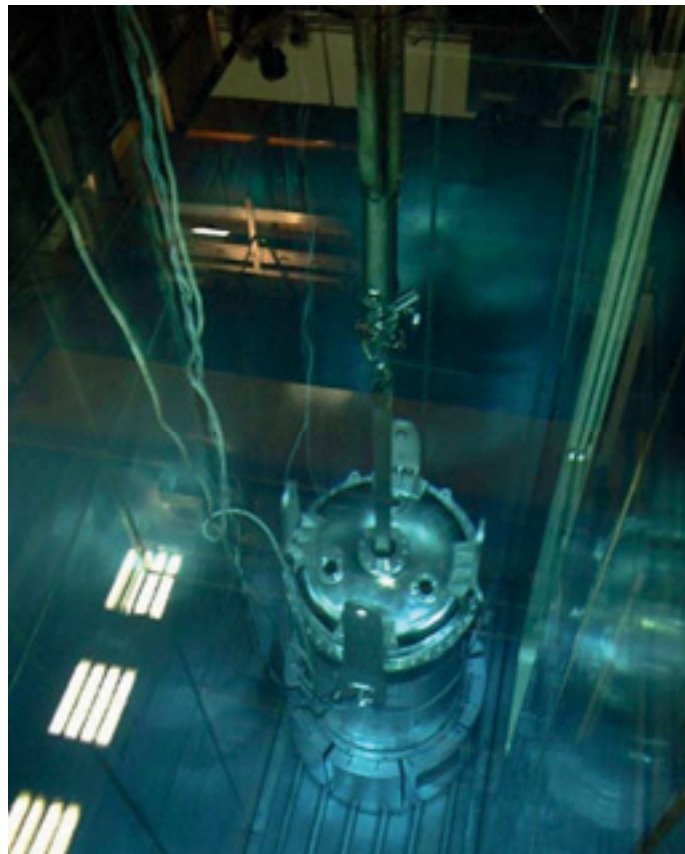
De beräknade relativa intensiteterna, som kallas bidragskoeffecienter, ges i form av $M \times N$ element av absorptionsmatrisen W , där M är antalet mätningar och N är antalet pixlar. För tydlighetens skull kan ekv. (4.5) skrivas om till

$$\begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & \dots & w_{2N} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & \dots & w_{3N} \\ \vdots & & & & \\ w_{M1} & w_{M2} & w_{M3} & & w_{MN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ A_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \vdots \\ I_M \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

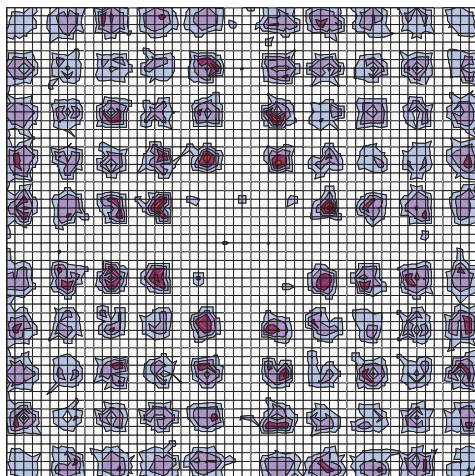
där w_{mn} är bidragskoefficienten från mätning m och pixel n . A_n är aktiviteten i pixel n och I_m intensiteten från mätning m .

En entydig lösning till ekv. (4.6) är endast definierad om $M \geq N$. Om man tar hänsyn till den statistiska osäkerheten som kan tillskrivas vektorn \underline{I} , så måste antalet ekvationer M vara större än N med en stor faktor. Typiskt krävs flera tusen mätpunkter för att man skall uppnå en tillräcklig mängd data.

För att undersöka metoden konstruerades och tillverkades en apparat som kallades PLUTO. Apparaten, som visas i figur 4.3, var ungefär 5 m hög, 2 m i diameter och vägde 27 ton. PLUTO var i första hand konstruerad för högprecisionsbestämning av den radiella intensitetsfördelningen från en bränslepatron för brukarens behov. Detta motiverade den tunga och stabila konstruktionen, som uppenbarligen gör apparaten något skrymmande att transportera från anläggning till anläggning.



Figur 4.3. PLUTO stående på poolgolvet, medan en bränslepatron skjuts in i mätposition.



Figur 4.4. En bild av tvärsnittet av källfördelningen för en SVEA 96 bränslepatron mätt med hjälp av PLUTO. Jämför med figur 2.6.

Som testutrustning fungerade emellertid PLUTO väl och resultaten visade att en modifierad teknik verkligen skulle kunna användas i samband med kärnämneskontroll. Ett exempel på resultat som uppnåts med mätningar med hjälp av PLUTO visas i figur 4.4. I figuren ser man tydligt de individuella bränslestavarna och kvaliteten är så god att man lätt skulle kunna sluta sig till om en bränslestav avlägsnats eller ersatts.

Även om utvecklingen av tomografiska system med inriktning mot kärnämneskontroll är i ett tidigt skede, är de tester som utförts och deras resultat lovande.

4.3 Andra instrument

Förutom utbränningskontroll med hjälp av gammamätning, finns det en hel rad instrument, som används för att fastställa anrikningsgrad och isotopsammansättning för plutonium för annat material än utbränt kärnbränsle. Låt oss kortfattat beskriva den handburna monitorn HM-5 som ett exempel.



Figur 4.5. Monitorn HM-5. (Foto: IAEA).

Konstruktionen av monitorn HM-5 innefattar en NaI detektor, som kan ersättas med en CdZnTe detektor i de fall där högre energiupplösning krävs. Upp till 50 spektra, vart och ett med 1024 kanaler, kan lagras i HM-5:s centralminne. Dessa spektra kan överföras till en dator för vidare analys. HM-5-monitorn visas i figur 4.5.

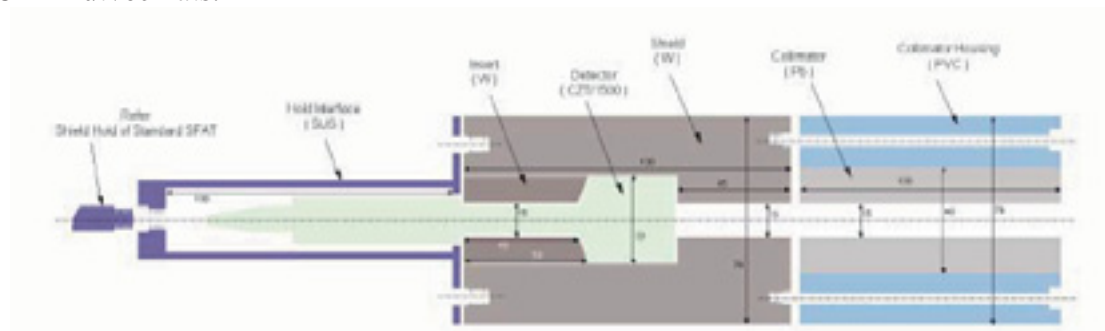
HM-5-monitorns mångsidighet används inte bara för omfattande inspektioner inom kärnämneskontroll, utan också för undersökningar som avser tilläggsprotokollets krav. För att bekämpa olagliga transporter är HM-5 användbar vid tull- och polismyndigheters tillämpning av lagen för att upptäcka och identifiera kärn- och radioaktivt material som smugglas över landgränser.

Kapitel II.5 Gammastrålnings teknik, Kvalitativa mätningar

Under denna rubrik finner vi instrument avsedda att ge svar på en nivå, som man kallar "gross defect", som i grunden betyder att apparaten skall hjälpa till att avgöra om det finns fissilt material på en viss plats eller inte.

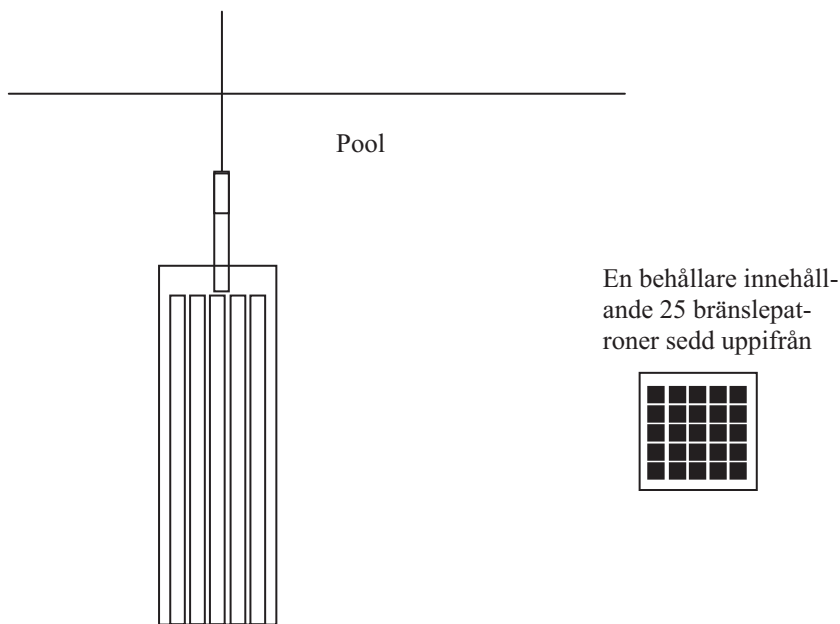
5.1 Instrument för mätningar av egenskaper hos utbränt kärnbränsle (The spent fuel attribute tester, SFAT)

Normal lagring av kärnbränslepatroner betyder att patronerna är placerade i mekaniska anordningar, s.k. bränslekassetter, som står på bränslelagringsbassäng botten. Avståndet från bränslepatronernas topp till vattenytan är av storleksordningen 10 m och 25 patroner (i Sverige) placeras typiskt i varje bränslekasset. Det är av stort intresse för kärnämneskontroll att fastlägga om varje position i kassetterna är upptagen av utbränt kärnbränsle eller inte, enligt deklARATION från användaren. Av denna anledning har SFAT utvecklats.

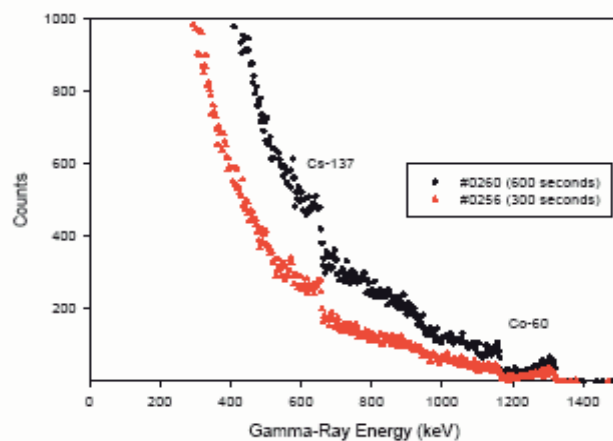


Figur 5.1. Instrumentet SFAT:s detektorhuvud (från [133]).

SFAT består av ett detektorhuvud (se figur 5.1) innehållande en NaI-detektor eller en CdTe-detektor. Ett vattentätt rör fungerar som kollimator och är monterad på detektorhuvudet. Detektorn med röret är nedsänkt i poolen med användning av en wire med hjälp av en bränslehanteringsmaskin, och placeras omedelbart över bränslepatronens topp (se figur 5.2). Detektorsignalen leds till ett datainsamlingsystem bestående av en mångkanalsanalysator.



Figur 5.2. Schematisk bild av en bränslekasett innehållande 25 bränslepatroner stående på golvet i en bränslehanteringspool med ett SFAT-instrument hängande omedelbart över bränslet.



Figur 5.3. Typiska spektra från ett SFAT-instrument (från [133]).

Om utläsningssystemet visar ett spektrum där en signal från ^{137}Cs finns, så ger detta en hög sannolikhet för att den observerade positionen i bränslebehållaren innehåller utbränt kärnbränsle. I allmänhet kommer också ett bidrag från ^{60}Co i olika aktiverade konstruktionsmaterial, t. ex. från bränslepatronens topplatta, att uppträda i spektrumet (se figur 5.3).

Metodens precision ökar kraftigt om man väljer CdTe i stället för NaI, eftersom ^{137}Cs -toppen blir bättre separerad från den höga bakgrunden som i huvudsak kommer från ^{60}Co . För en detaljerad beskrivning av SFAT-detektorn hänvisar vi t. ex. till [133].

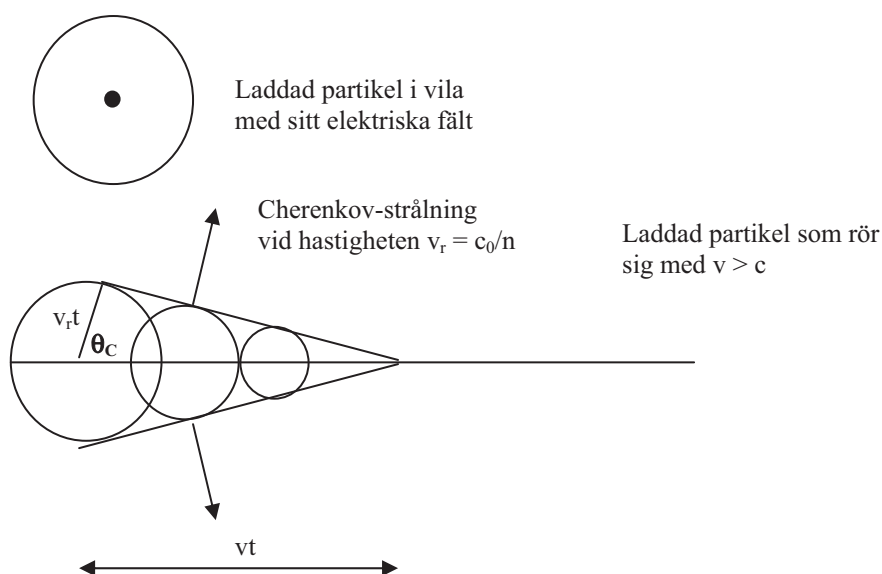
5.2 Andra kvalitativa metoder

5.2.1 Apparatur för observation av Cherenkov-strålning

I denna grupp av utrustning finner vi två instrument som indirekt använder sig av gammaväxlerverkan genom den sekundära produktionen av Cherenkov-ljus. Den grundläggande tillämpningen är fastställandet av "gross defects", d. v. s. att klargöra om 50% eller mera av bränslestavarna saknas eller har ersatts i en bränslepatron. Nyligen har förmågan att verifiera på nivån partiell avvikelse demonstrerats.

ICVD och DCVD

Gammastrålning från utbränt kärnbränsle växelverkar med vattnet som omger en bränslepatron huvudsakligen via den fotoelektriska effekten, vilket innebär att mycket snabba elektroner produceras. Dessa elektroner rör sig genom vatten med en hastighet som överstiger ljushastigheten i vatten och ger upphov till fenomenet Cherenkov-strålning. Principen för hur Cherenkov-strålning uppstår visas i figur 5.4.



Figur 5.4. Cherenkov-strålning utsändes från en konisk yta (Mach-konen). Emissionsvinkeln ges av $\cos(\theta_C) = v_r/v = c_0/nv$.

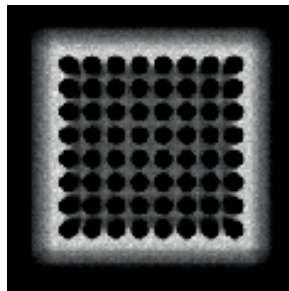
Cherenkov-ljusets intensitetsfördelning har sitt maximum i det icke synliga, ultravioletta våglängdsområdet men en liten del kan ses som ett blåaktigt matt ljus omkring bränslepatroner med korta kyltider. Även för patroner med långa kyltider finns fortfarande en liten del av Cherenkov-ljuset kvar. Intensiteten är emellertid mycket låg och speciella apparatur har utvecklats för att observera detta ljus [134].



Figur 5.5. Cherenkov-ljusdetektorn ICVD. Det UV-transparenta objektivet finns till höger och okularet till vänster. Instrumentet står på sina två handtag. (Foto: IAEA).

Det grundläggande kännetecknet för Cherenkov-ljusdetektorn (ICVD) [136] är bildförstärkarröret tillsammans med ett UV-filter (se figur 5.5). Med detta arrangemang kan den handburna apparaten användas i anläggningens normala ljus.

Apparaten upplinjeras noggrant omedelbart ovanför bränslepatronen, och på grund av att Cherenkov-ljusets intensitet är högst nära bränslestavarna, kan en tvärsnittsbild av patronen iaktas på bildförstärkarens skärm. Signalen för utbränt kärnbränsle är mycket specifik och kan därför användas för att fastställa huruvida det finns bränsle eller inte i en viss position.



Figur 5.6. Simulering av en bild från en DCVD-detektor. Bränslestavarna i en 8x8 bränslepatron från en kokareaktor ses tydligt som mörka fläckar. Bilden visas med tillstånd av Lens-Tech AB, Sweden [136].

Den mera sofistikerade digitala Cherenkov-ljusdetektorn (DCVD) [135] digitaliserar signalen från bildförstärkaren och gör det därmed möjligt att spara bilden på ett lämpligt medium. Den digitaliserade signalen kan också analyseras med avancerad bildbehandlingsteknik, som åtminstone i vissa fall gör det möjligt för inspektören att avgöra om en individuell bränslestav saknas eller inte. Figur 5.6 visar en simulering av en bild producerad av en DCVD. Figuren visar en 8x8 bränslepatron från en kokareaktor sedd uppifrån och bränslestavarna ses mot en ljus bakgrund av Cherenkov-ljus. Om en stav saknas skulle en ljus fläck uppträda i motsvarande position

Kapitel II.6 Metoder baserade på neutronmätningar

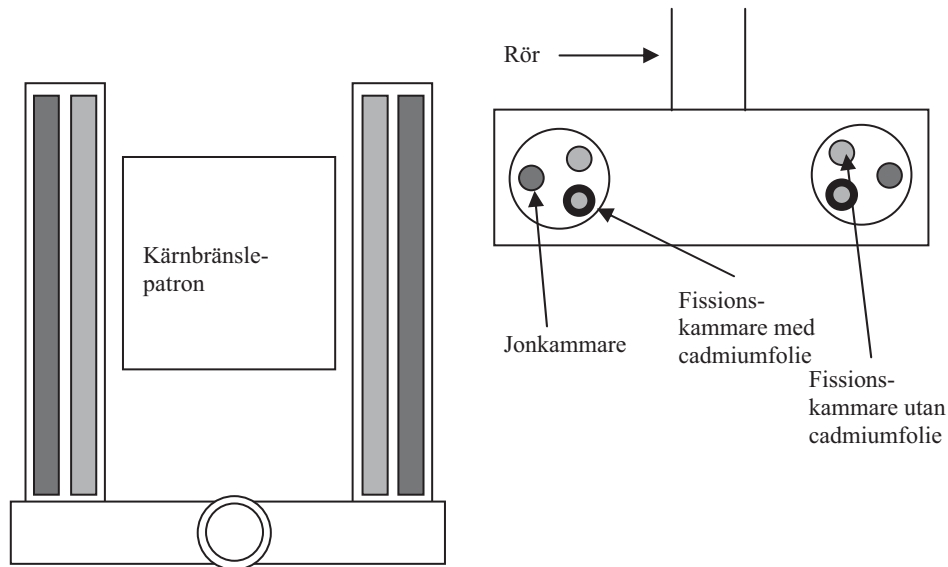
I detta avsnitt kommer vi att beskriva en godkänd NDA metod för utbränt kärnbränsle baserad på detektion av neutroner. Huvudsyftet med denna metod är att fastställa utbränning och kyltid. Mera detaljerade beskrivningar finns tillgängliga i [128,133].

6.1 Neutrondetektorsystem för mätningar på bestrålat bränsle (FDET)

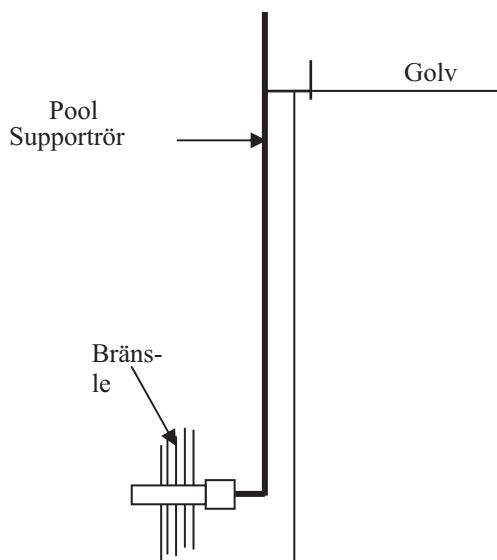
I ett försök att erbjuda en snabb och någorlunda noggrann metod för att fastställa utbränning, utvecklades ett detektorsystem för mätningar på bestrålat bränsle (FDET) [128,137]. Metoden utnyttjar neutroner från spontant sönderfall av i första hand ^{244}Cm . Uppbyggnaden av FDET-systemet visas schematiskt i figur 6.1. De två gaffelhornen är fyllda med polyetylen och innehåller fyra fissionskammare och två jonkammare symmetriskt monterade. Två av fissionskamrarna är inlindade i cadmiumfolier för att filtrera bort långsamma och termiska neutroner, medan de två övriga inte är inlindade i folier och således registrerar de epitermiska och termiska neutronflödena. Huvudanledningen till detta arrangemang är, att det epitermiska flödet är mindre känsligt för variationer i borhalten i bassängvattnet, när det gäller mätningar på bränsle från tryck-vattenreaktorer. Jonkamrarna registrerar gammastrålningsflödet integrerat över alla energier, den s. k. *totalgamma*-signalen. Signalerna från detektorerna leds till en laddningskänslig förförstärkare och en pulsförstärkare som strålskärmas av en volfram-legering.

Förutom detektorhuvudet består FDET-systemet av ett antal stålrör, 2,45 m och 1,25 m långa. Dessa delar monteras tillsammans för att utgöra stöd för detektorhuvudet (se figur 6.2). Därigenom blir FDET-systemet förhållandevis lätt att förflytta mellan olika anläggningar.

Från förförstärkaren leds kablar genom det stödjande röret upp till golvet, där huvuddelen av elektroniken är placerad. Elektroniken förser fissions- och jonkamrarna med högspänning, visar och skriver ut neutronräknehastigheterna och jonkammstrarstyrkorna. Med hjälp av en bränslehanteringsmaskin placeras bränslepatronen mellan FDET-systemets båda gaffelhorn och genom att hissa bränslepatronen vertikalt registreras data för hela dess längd. Resultatet av en sådan registrering för en bränslepatron från en kokarreaktor visas i figur 6.3.



Figur 6.1. FDET-systemet sett uppifrån (till vänster) och framifrån (till höger).



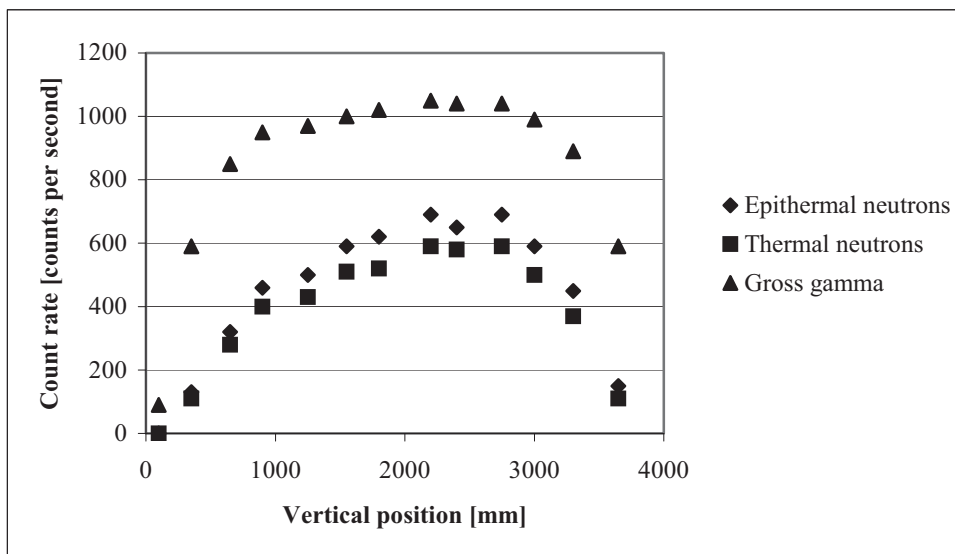
Figur 6.2. Den experimentella uppställningen av FDET-systemet. Figuren är inte skalenlig.

I en kokareaktor omges den övre delen av bränslepatronerna av moderatorvatten som innehåller en större andel ånga än den nedre delen. Detta betyder att vattnets modererande förmåga är nedsatt och följaktligen är bränslets utbränning lägre i den övre delen. Detta förhållande ser man tydligt i figur 6.3, där de övre delarna av bränslepatronen visar lägre medelintensitet för både gamma- och neutronstrålning. Det kan visas att neutronräknehastigheten beror på utbränningen enligt

$$R = a\beta^b \quad (6.1)$$

där a och b bestäms genom en anpassningsmetod. Parametern b är omkring 4,5 och styr således neutronräknehastighetens starka beroende på utbränningen. Genom att använda ekv. (6.1) och olika korrekationer till uppmätta data, är det möjligt att fastställa utbränningen för en bränslepatron inom $\pm 5\%$. Kyltiden kan uppskattas genom

användning av en kombination av neutron- och gammareknehastigheter med en typisk noggrannhet av \pm (200 – 300) dagar.



Figur 6.3. Resultat från en mätning med ett FDET-system vid CLAB på en bränslepatron från en kokarreaktor. Hela patronen har registrerats från botten (3650 mm) till toppen (0 mm). Observera den sneda fördelningen, som är typisk för kokarreaktorbränsle, vilket ger högre intensiteter vid botten av bränslepatronen (från [133]).

Kapitel II.7 Övervakning inom nukleär kärnämneskontroll

Inom kärnämneskontrollen används begreppet inneslutning eller ”containment” vilket syftar på det fysiska skydd mot obehörigt intrång man ger transportbehållare, förvaringsbassänger, områden eller utrustning. Ett exempel på en inneslutning är de förstärkta betongväggar som omger en kärnkraftsreaktor. Medlet för att kontrollera det fysiska skyddets integritet är övervakning eller ”surveillance”, vilket är det huvudsakliga ämnet för detta kapitel även om den vedertagna förkortningen C/S kommer att användas fortlöpande.

C/S är en viktig del av kärnämneskontrollen vars syfte är att utgöra ett komplement till bokföring och verifierande mätningar, Vidare ska C/S kunna bedrivas till en minimal kostnad och med minimalt intrång i de reguljära aktiviteterna på en anläggning. Ett operativt kriterium för C/S är således att övervakningen ska ske obemannat. Detta kan antingen tillgå så att C/S-systemet i realtid larmar i händelse av att integriteten i en inneslutning bryts eller att systemets information avläses och utvärderas i samband med inspektioner.

Ett viktigt begrepp inom kärnämneskontrollen är ”continuity of knowledge” vilket innebär att man skall säkerställa att ingen otillåten aktivitet har förekommit under tiden mellan två inspektioner. C/S utgör det kanske viktigaste medlet för att kontrollera att continuity of knowledge bibehålls. Den gemensamma nämnaren i de olika sätt som C/S

kan bedrivas på för att säkerställa continuity of knowledge är att den sökta informationen är utformad så att scenförändringar av olika slag kan upptäckas. Har exempelvis intrång skett i en förvaringsbehållare som normalt skall vara förseglad måste C/S-systemet på något sätt ge information om detta. Ett annat exempel är om utbränt bränsle har hanterats utmed otillåtna transportvägar, såväl innanför som utanför anläggningarna.

Dessa två exempel representerar fall där i grunden två olika strategier för övervakningen måste tillämpas. För den fortsatta diskussionen kan det underlätta förståelsen att använda den i detta kompendium införda distinktionen mellan statiska scenarier och dynamiska scenarier.

7.1 Statiska scenarier

I många delar av bränslecykeln, genereras situationer där kärnämne måste ställas undan för en kortare eller längre tid. Eftersom materialet då avleds fysiskt från ett hanteringsflöde är det viktigt att försäkra sig om att materialet placeras så att obehörig tillgång till det förhindras. I den mån materialet måste flyttas eller på annat sätt hanteras ska kärnämneskontrollen dels kunna anvisa rutiner för hur sådan hantering ska noteras och redovisas och dels detektera att hanteringen ägt rum.

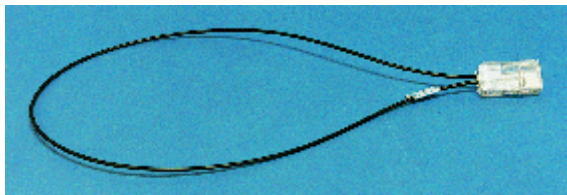
I det typiska fallet av förvaring används sigill för att tillförsäkra integriteten hos ett fysiskt skydd, t. ex. höljet i en förvaringsbehållare. Syftet med ett intrång i en sådan behållare kan antingen vara att introducera eller avlägsna material ur behållaren. Sigillen används därför också som identifiering av behållaren. Förutom anläggningsspecifika objekt som t. ex. behållare och portar, sigilleras även fast installerad utrustning som används inom kärnämneskontrollen som t. ex. övervakningskameror. Sigill används ofta under längre tidsperioder, från månader upp till flera år, och kontrolleras i samband med inspektioner.

Sigillen kan vara antingen av engångstyp som byts vid varje inspektion eller av s.k. *in situ* typ. Två vanligt förekommande engångssigill är "the Metallic Seal" (CAPS) och "the improved Adhesive Seal" (VOID).

CAPS används oftast för att försegla behållare och fast installerad utrustning för kärnämneskontrollen. Dessa sigill är gjorda av metall och så utförda att inspektörer snabbt kan fästa dem på plats för att på så sätt minimera exponeringen för joniserande strålning. Sigillen består av en metalltråd, som fästs i objektet som skall förseglas, och trådändorna låses med sigillens knapp. CAPS används på så sätt att man innan montering fotograferar de mikroskopiska repor, som alltid finns på sigillens metallyta. Vid verifiering och identifiering av CAPS avlägsnas och skickas sigillen till IAEA:s högkvarter i Wien där man under mikroskop identifierar sigillet genom bildjämförelser.

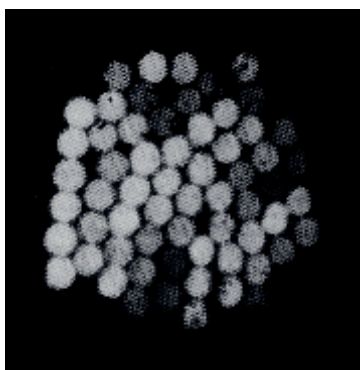
VOID är en sigilltyp som används vid försegling för tidsperioder kortare än 24 timmar. Dessa sigill består av ett material som inte kan demonteras utan att materialet spricker utmed speciella slitsar, vilket omöjliggör återanvändning. I gruppen *in situ* sigill finner vi "the Fibre Optic General Purpose Seal" (FBOS). En typisk representant för dessa sigill är det s.k. COBRA sigillet.

I detta sigill har metalltråden i CAPS ersatts med en bunt optiska fibrer. Vid låsningen av fiberändarna kommer dessa att hamna i ett unikt mönster vilket kan avläsas genom att belysa ena änden och registrera det uppkomna mönstret i den andra med hjälp av ett digitalkamerasystem, se figur 7.2.



Figur 7.1. Ett COBRA-sigill.

På så sätt fås en referensbild som senare används vid verifiering på plats. Med COBRA III kan verifieringen utföras automatiskt. Figur 7.3 visar ACIV eller Automatic COBRA Image Verifier tillsammans med ett COBRA-sigill.



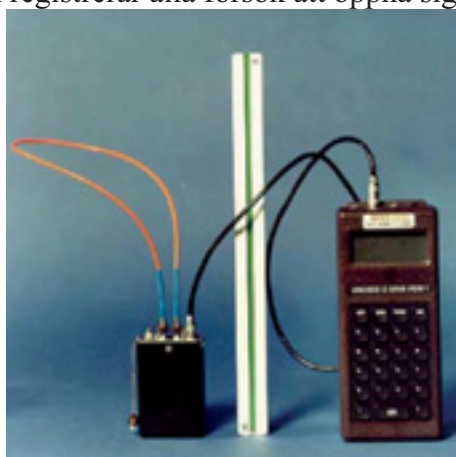
Figur 7.2. Det uppkomna fibermönstret i ett COBRA-sigill.

I Ultrasonic Seal (ULCS) och Ultrasonic Sealing Bolt (USSB) har man i tillverkningen inkluderat partiklar eller trådar som bildar ett unikt slumpmässigt mönster. Vid montering av dessa sigill sänds ultraljudspulser mot sigillet vilka reflekteras och registreras. Dessa signaler kommer att ge upphov till en "referensbild" som direkt motsvarar mönstret i sigillet. På samma sätt som ovan jämförs referensen med den bild som registreras vid verifieringen. Elektroniska sigill fungerar så att en ljuspuls sänds ut i en fiberoptisk slinga med en typisk period om 250 ms (gäller Variable Coding Seal System, VACOSS-S, se figur 7.4). Bryts den fiberoptiska slingan, så registreras tid och datum för brottet samt hur länge slingan varit bruten. Denna information loggas i sigillet och kan hämtas vid exempelvis inspektioner. Av detta följer att den typiska applikationen för dessa sigill är då periodisk access till ett sigillerat område är nödvändigt. Sigillen kan seriekopplas i de fall objekten som skall sigilleras står nära varandra och de kan då avläsas utan att bryta ljusslingan.



Figur 7.3. Det s.k. COBRA III Imaging System. Sigillet visas längst ned i figuren och ovanför detta avläsningsutrustningen. Från Canberra Inc.

Sigillen, som är batteridrivna med en typisk drifttid om 2 år, består av elektronik som är ingjuten i epoxi med keramiska partiklar för att försvåra intrång. Höljet är dessutom försett med kontakter som registrerar alla försök att öppna sigillet elektroniskdel.



Figur 7.4. Ett VACOSS-S sigill med utläsare (Forschungszentrum Jülich GmbH, Tyskland).

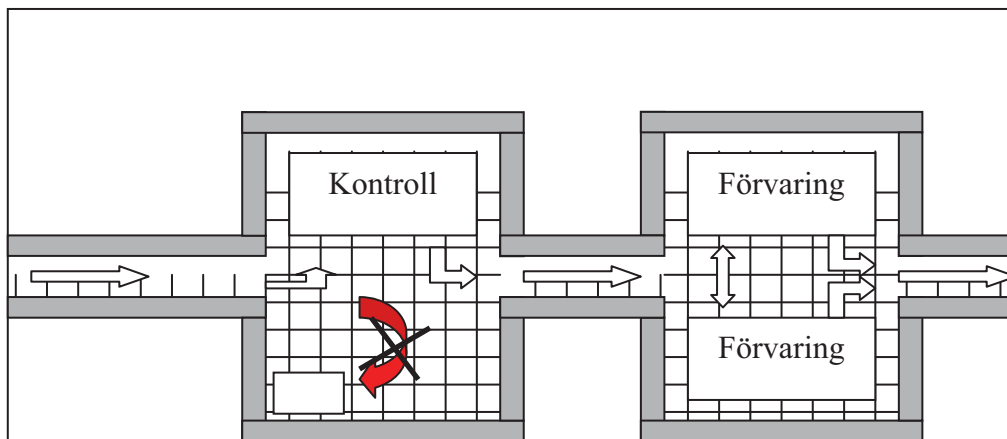
Portmonitorer är i sin enklaste utformning strömbrytare, som bryter en strömkrets, om en port eller dörr, som normalt skall vara stängd, öppnas. Därigenom aktiveras ett larm. Portmonitorerna kan inte ersätta sigillen när t. ex. en behållare skall förvaras innanför porten, eftersom larmet kan stängas av och en port öppnas av helt legitima skäl. Däremot kan portmonitorerna skydda mot icke-auktorerad passage.

7.2 Dynamiska scenarier

I dessa scenarier söker man efter ett mönster av händelser i rum och tid. Ett enkelt exempel är detektionen av en lastbil inom ett kontrollerat område. Genom att studera rörelsemönstret kan man dra slutsatser, huruvida lastbilen har en behörig närvaro eller inte. Ett annat, mer komplicerat exempel är när information från vitt skilda delar av samhället sammanställs i syfte att möjliggöra slutsatser om ett land förbereder avledning

av kärnämne. Sådan information kan vara irreguljära rörelser i hamnar, nybyggnation eller förstärkning av befintlig infrastruktur. Vidare kan viktig information vara om landet skaffar sig industrikapacitet inom områden, som landet traditionellt inte ägnat sig åt.

Den informationsmängd som skall behandlas i de dynamiska scenarierna är i allmänhet väsentligt större än i de statiska. Videokameror ger t. ex. data i form av tvådimensionella matriser vars elementvärden är en funktion av flera parametrar. När sådan "mångdimensionell" information kombineras med annan information, t ex loggningsinformation för hur bränslehanteringsmaskiner har rört sig, se figur 7.5, uppkommer snabbt situationen att den mänskliga förmågan att sammanställa och tolka informationen inte räcker till. Utvecklingen av kraftfulla datorer i kombination av avancerade mönsterigenkänningsalgoritmer har dock anvisat möjligheten till synnerligen kraftfulla övervakningssystem [138].



Figur 7.5. Skiss uppifrån som schematiskt visar en del i en anläggning där utbränt kärnbränsle processas. Vita pilar markerar de rutter som en hanteringsmaskin tillåts röra sig i. Dessa rutter definieras med hjälp av ett koordinatsystem som markerats i figuren. I loggningen av hanteringsmaskinens rörelser ska en avvikande rutt, t ex den markerad med mörk pil, kunna detekteras, både i horisontalled och vertikalled.

Tabell 7.1. Några olika övervakningssystem med applikationer (från ref. 17).

Förkortning	Namn	Beskrivning och applikation
SIDS	Sample Identification System	Övervakningssystem som är integrerat med ett detektor-system för samtidiga neutroner. Anordningen är specifik för varje facilitet. Systemet är konstruerat för Pu-identifikation vid MOX-tillverkning.
UWTV	Underwater TV	Kommersiellt TV-system för undervattensbruk. Används vid inspektion för verifikation av bränslenas ID-nummer i förvaringsbassänger.
ALIP	All in one Surveillance Portable	Batteridrivna, kamera för lättillgängliga lokaler eller för fältmässig övervakning.
ALIS	All in one Surveillance	Nätansluten kamera för installation i lättillgängliga lokaler.
DSOS	Digital Single-Camera Optical Surveillance	Kamera för installation i svåråtkomliga lokaler.
FTPV	Fuel Transfer Video	TV-system använt vid hanteringsbassänger. Anordningen är specifik för varje facilitet
VSEU	Video System Multiplex	Kamerabaserat övervakningssystem utvecklat av Euratom
VSPC	Video system	TV-system för upp till 4 kameror med "split-screen display".
DMOS	Digital Multi-Camera Optical Surveillance	Övervakningssystem för upp till 16 kameror med fjärrstyrningsmöjlighet.
SDIS	Server Digital Image Surveillance	Övervakningssystem för upp till 6 kameror med fjärrstyrningsmöjlighet.
GARS	General Advanced Review Station	För utläsning och analys av data från ALIS, ALIP, DMOS, DSOS, och SDIS.

Hittills har den möjligheten inte utnyttjats i någon högre grad eftersom tekniken är relativt ny och någon övergripande genomgång av de olika metoderna i syfte att utröna styrkor och svagheter ännu inte har genomförts. I det kommande ska diskussionen därför koncentreras runt dagens teknik och metodologi och endast ett kortare resonemang förs i slutet av kapitlet kring tänkbara framtida upplägg.

Kameror utgör en vanlig teknik och i tabell 7.1 redovisas några olika system och fall där kameror kommer till användning. För närvarande pågår ett omfattande förnyelsearbete där de äldre analoga systemen fasas ur och ersätts med digitala system s.k. DIS eller "Digital Image Surveillance Systems", vilka är de som redovisas i tabell 7.1. I figurerna 7.6 till 7.10 visas några av de i tabell 7.1 upptagna systemen (bilderna med benäget tillstånd från IAEA).



Figur 7.6. SDIS-systemet med 3 DCM14-kameror anslutna till vänster och serverutrustningen till höger.

SDIS är ett serverbaserat system som först utvecklades som ett fjärrmonitoreringssystem. Upp till 6 övervakningskameror av typen DCM14 kan kopplas till systemet. Servern analyserar och sparar bilder och loggningsuppgifter och denna information kan antingen överföras direkt till IAEA via telefonlinjer eller satellitlänk eller lagras på flyttbar disk för analys på plats. I bägge fallen görs den slutliga analysen i GARS. SDIS är utrustat med reservkraft vilket kan driva systemet i 48 timmar i händelse av nätbortfall.



Figur 7.7. ALIP-systemet med dess bildskärm till vänster och batteripaket högst upp.

UWTV är ett portabelt system främst framtaget för undersökningar under vatten i samband med verifiering av kärnbränsleelement. Kamerahuvudet kan med hjälp av en motor roteras 90° och är så konstruerat att information kan läsas på både korta avstånd, t. ex. ID-nummer, och på långa avstånd. Kopplat till kameran är ett system av strålkastare som möjliggör operation även under dåliga siktförhållanden. Närheten till



Figur 7.8. Det stationära ALIS-systemet.

starkt radioaktiva använda bränsleelement gör det nödvändigt att använda särskilt framtagen strålningshärdig teknik. Dessutom ska systemet tåla ett vattentryck motsvarande ett djup om 15 meter. Systemet är utrustat med en monokrom bildskärm och data kan lagras på ett externt videoband.

ALIP är ett portabelt batteridrivet system baserat på en DCM14 kamera med en integrerad videoterminal. Förutom med batteridrift kan systemet även arbeta nätuppkopplat. Vid batteridrift kan övervakning ske i upp till 100 dagar. Typiskt kan systemet spara 40 000 - 50 000 bilder och loggningsuppgifter på ett 600 Mb PCMCIA flashcard.



Figur 7.9. Ett DSOS-system med höljen till kameran (höger) och utläsningseenheten (vänster) avtagna.

ALIS är ett nätanslutet och komplett kameraövervakningssystem. Integrerat i enheten finns, förutom kameraenheten, också ett interface med en terminal och display. Typiskt kan systemet spara 40 000 - 50 000 bilder och loggningsuppgifter på ett 600 Mb PCMCIA flashcard.



Figur 7.10. Mjukvaran GARS.

DSOS används i applikationer som innebär höga strålningsnivåer. Kameran, som är baserad på DCM14, är kopplad till en utläsningseenhet via en särskilt förstärkt kabel av kompositmaterial. Där sker analys med samma verktyg som i fallet ALIS.

Mjukvaran som omfattar GARS kan hantera information från ALIP, ALIS, DSOS, DMOS och SDIS. Mjukvaran är PC-baserad och har konstruerats med användarvänlighet i första rummet. Gränssnittet påminner om de kommersiella mediaspelarna och används för genomgång av bilder och annan information. Särskilda rutiner för bestämning av dataautenticitet och verifiering är implementerade när det gäller såväl detektion av scenförändringar som digital bildbehandling.

Till gruppen dynamiska scenarier kan man också lägga satellitövervakning, seismisk övervakning och miljöövervakning.

7.2.1 Satellitövervakning

Målet för satellitövervakning är att detektera alla anomalier som kan tolkas som om någon olovligt försöker att få tillträde till en kärnteknisk anläggning. Sådana anomalier kan vara oväntat hög trafik, tunga maskiner, nya faciliteter och vägar samt stora mängder sten från borrhning eller sprängning. För att bestämma att en icke deklarerad aktivitet har ägt rum krävs en s.k. "baseline" som satellitinformationen kan jämföras mot. En baseline är speciellt sammanställd information av det intressanta området bestående av högupplösande (några decimeter) satellitbilder, uppgifter om byggnader och vägar samt en digital höjdkarta. Denna information används för att bygga en tredimensionell modell av det intressanta området.



Figur 7.11. SAR-bild från den Kanadensiska satelliten RADARSAT-1 av is (mörkt) och landmassor. Inringat är en grupp studenter i en expedition från ett isforskningsfartyg. Från [139].

Satellitbilder i det optiska området är inte tillräckliga för denna tillämpning, då relevant information går förlorad nattetid eller i molnigt väder. Även IR har sina begränsningar i molnigt väder och därför används Synthetic Aperture Radar, SAR, i allt högre utsträckning. Upplösningen i sådana bilder är idag några meter (se figur 7.11), så optisk övervakning är fortfarande nödvändig som komplement vid gott väder.

7.2.2 Seismisk monitorering

Syftet med seismisk monitorering är att upptäcka sprängning, borrhning eller annan mekanisk bearbetning av berggrunden. Även här är en baseline nödvändig att upprätta

innan ett bygge tar vid för att ta hänsyn till trafik, vind som blåser mot byggnader och andra störningar. De anomalier man söker efter är t. ex. snabba och oannonserade förändringar i de dagliga seismiska mönster som upptas i baseline.

7.2.3 Miljöövervakning

Miljöövervakning kan dels användas av hälsovårdande myndigheter för att övervaka den allmänna bakgrundstrålningen och dels av kärnämneskontrollen för att detektera förhöjda aktivitetsvärden som kan indikera att otillåten aktivitet pågår i en anläggning. Även här förutsätts att en baseline finns tillgänglig.

Kapitel II.8 Framtiden

Idag tillhör den överväldigande majoriteten av alla kärnreaktorer och tillhörande stödjande teknik det som man brukar referera till som ”2:a och 3:e generationens reaktorer”. Principmässigt är de direkta efterföljare till de allra första reaktorerna då de använder termiska neutroner för att upprätthålla fissionsprocessen. De avgörande skillnaderna i förhållande till 1:a generationens reaktorer ligger nästan helt i de avända reglerings- och säkerhetssystemen. De förbättringar som gjorts på de områdena har gjort 3:e generationens reaktorer och särskilt lättvattenreaktorerna till mycket säkra och effektiva anläggningar. De länder som i stor utsträckning förlitar sig på kärnkraft för sin energiproduktion har dessutom kunnat visa upp stora miljömässiga vinster. Exempelvis har Sverige och Frankrike ett nettoinflöde av luftföroreningar orsakade av bl. a. fossil energiproduktion utanför ländernas gränser.

Incidenten i Three Mile Island i USA 1979 samt olyckan i Tjernobyl 1986 har dock givit kärnkraften dåligt rykte och för närvarande har flera länder tagit politiska beslut som innebär en utfasning av kärnkraften på sikt. Sådana beslut kan dock stå i ett motsatsförhållande till ambitionerna i det globala miljöarbetet, vilket också i allt högre grad påpekas och försök att finna politiskt godtagbara alternativ till dagens reaktorer görs därför. Särskilt har det framhållits som en fördel att kunna utnyttja dagens använda bränsle för energiproduktion i syfte att öka utnyttjandegraden. Typiskt utnyttjar nämligen dagens reaktorer endast några få procent av det utvinnbara energi-innehållet i bränslet, vilket i sin tur medför att den uthållighet i energiproduktionen man efterlyser begränsas till i storleksordningen några hundra år, även om en massiv utbyggnad av uppdragskapaciteten genomförs [140]. En teknik som medför större bränsleutnyttjande samt möjlighet att använda fertila kärnor som t. ex. ^{238}U och torium är därför välkommen, då dessa ämnen är vanligt förekommande i naturen. Med en sådan teknik skulle uthålligheten i energiproduktionen ökas med en faktor hundra eller mer. I syfte att öka den politiska acceptansen har det även framkastats tankar om tekniker som innebär att den effektiva halveringstiden för restprodukterna minskas, vilket i sin tur reducerar behovet av förvaringstider från storleksordningen 100 000 år till några hundra år. I det sammanhanget skall dock sägas att den svenska KBS-3 metoden för långtidsförvaring av använt kärnbränsle [141] till fullo anses uppfylla de krav på säkerhet som ställts upp.

Det pågår idag ett arbete som syftar till att demonstrera de tekniska möjligheterna att använda andra bränslen än ^{235}U . Detta arbete kan delas upp i två utvecklingslinjer, nämligen acceleratordrivna system (ADS) och 4:e generationens reaktorer (GenIV). I det här kompendiet finns inte utrymme för någon närmare fördjupning i dessa tekniker, utan läsaren hänvisas till redogörelserna i t. ex. [140] resp. [142]. Däremot ska vi mycket kort redogöra för möjlig generisk påverkan på kärnämneskontrollen som dessa tekniker kan ha.

En av grundstenarna i dagens kärnämneskontroll är bränslets integritet, d.v.s. ett bränsleelement ska inte utan godtagbara skäl kunna demonteras eller på annat sätt manipuleras. Som har redogjorts för tidigare, syftar den tomografiska tekniken till att understödja inspekterande myndigheter att upptäcka sådana manipulationer. I ADS och i några av de koncept som studeras inom GenIV förutsätts att det klyvbara materialet löses upp i något lämpligt medium, med andra ord förloras integriteten fullständigt, i de fall man avser att använda dagens utbrända bränsle för energiproduktion. Dessutom kommer vissa bearbetningssteg i processen att innebära att klyvbart material förekommer i flytande form, vilket utökar antalet avledningsscenarier avsevärt.

En tänkbar lösning på dessa två problem skulle kunna vara att ett fåtal anläggningar runt om i världen blir ackrediterade att sköta bearbetningen av använt bränsle. På så sätt blir kontrollen av att verksamheten sköts på ett adekvat sätt volymmässigt hanterbar. Å andra sidan uppkommer ett säkerhetsmässigt problem när det färdiga bränslet ska transporteras till produktionsanläggningarna då dessa transporter erbjuder avledningssmöjligheter. Dessutom är det knappast troligt att stater världen över vill förlita sig på en så begränsad produktionskapacitet, vilken dessutom inte är under staternas egen kontroll. Lösningen är dock i linje med IAEA's Director General's uttalande i Uppsala december 2005, att även dagens produktionskapacitet av färdigt kärnbränsle bör koncentreras till ett fåtal platser med överstatligt inflytande och från vilka kärnkraftverken världen över köper sitt bränsle.

Ett alternativ på andra sidan av skalan är en fullständigt distribuerad verksamhet, där kapacitet att producera nytt bränsle av använt kärnbränsle lokaliseras till de enskilda länderna. En formell fördel är att det använda bränslet bearbetas inom det land där det har producerats, vilket är en princip som många länder förfäktar. I det här scenariet framstår DIV som en av de mest betydelsefulla aktiviteterna för kärnämneskontrollens vidkommande. Sannolikt kommer det även att krävas en utökad och allmänt förstärkt verifikation av anläggningarnas konstruktion för att uppnå adekvat kunskap om, att inga avledningssmöjligheter finns inom anläggningarna.

Mättekniskt kan man förutse en utökad användning av de tekniker som idag används inom förstörande mätningar, DA. Då bränslet i denna mening redan är "förstört" kan olika kärnkemiska metoder appliceras direkt på processmaterialet, vilket innebär att goda kunskaper om materialets beskaffenhet kan uppnås. Även NDA-tekniker är aktuella då GenIV-reaktorer kräver bränsle med någon form av strukturell byggnad och här kan NDA erbjuda möjligheten att kontrollera den färdiga bränslekonstruktionen. I flera av de koncept inom GenIV som studeras, t. ex. pebblebed-reaktorn, är bränslets dimensioner så små att olika typer av metoder baserade på gammastrålning kan utnyttjas till hela deras potential. I sådana fall kan också alfaspektroskopi vara intressant för att studera bränslets innehåll av olika plutoniumisotoper.

Sammanfattningvis kan det sägas att kärnämneskontrollen definitivt står inför nya utmaningar rörande framtidens reaktorkoncept. Framförallt kan tre områden identifieras vilka kräver särskild uppmärksamhet:

- Formalier: En del av de idag använda begreppen inom kärnämneskontrollen kan komma att behöva omdefinieras och ges utökade innebörder, vilket i sin tur kan medföra nya typer av avtal och nya kontrollmekanismer.
- Praktiska hänsyn: Kan och i så fall hur ska bränsleproduktion samt bränsletransporter organiseras globalt?
- Mätteknik och övervakning: Vilka existerande tekniker kan användas och vilka nya behov kräver utvecklingsarbete och framtagande av ny teknik?

Kapitel II.9 Sammanfattning

I de föregående kapitlerna har olika metoder för icke-förstörande mätningar (NDA) av utbränt kärnbränsle behandlats. Det bör observeras att det också finns andra intressanta föremål för kontrollmätningar. Sådana föremål är t. ex. nya bränslepatroner, urankutsar vid produktionsanläggningar för kärnbränsle och olika rester (skrot) från produktion av bränsle och från energiproduktionen i kärnkraftverk för att bara nämna ett fåtal. För några av dessa föremål kan NDA vara lämplig, t. ex. för mätningar i samband med framställning av urankutsar för att fastställa anrikningsgraden. I andra fall är NDA helt enkelt inte tillämplig, därför att de aktuella gammaenergierna är för låga. Därför kompletteras NDA med olika förstörande mätmetoder som sammanfattas under beteckningen förstörande mätningar (destructive assay, DA). Sådana metoder innefattar i allmänhet teknik där materialet som skall undersökas löses upp i lämpliga lösningsmedel och slutligen analyseras med hjälp av olika kemiska metoder. Dessa metoder ger information av utomordentligt hög kvalitet, men den uppenbara nackdelen med DA är, att ofta måste starkt radioaktivt material transporteras till speciella laboratorier utrustade för bearbetning av material med hög radioaktivitet, s. k. hot labs. Eftersom DA inte utnyttjas reguljärt under inspektioner, betraktas det som varande utanför ramen för detta kompendium. För vidare information om denna teknik, rekommenderar vi ref. [143].

I kapitel 7 nämnde vi kortfattat några andra metoder som används eller kan användas i större utsträckning för verifieringsändamål. Sådana metoder innefattar satellitövervakning och miljöövervakning. Även om dessa metoder är av betydelse och säkert kommer att öka i betydelse i framtiden, har de inte diskuterats i detalj i denna text. En redogörelse för dessa metoder finns tillgänglig t. ex. i [144].

Även om dagens verifieringsåtgärder är adekvata i många sammanhang, kan man dra slutsatsen att mer forskning krävs för att utrusta de myndigheter som arbetar med kärnämneskontroll med metoder med högre effektivitet som förberedelse för en tänkbar utbyggnad av kärnenergiproduktionen i världen. I framtiden bör således två spår följas i utvecklingen av NDA och C/S:

- Metodologin för hur man kan använda uppmätta data, som t. ex. neutron- och gammaintensiteter, har utvecklats och undersökts i detalj [121,132,133], och

ytterligare ansträngningar kommer sannolikt att ägnas åt utveckling av ny detektorteknologi. Man kan t. ex. förvänta sig att nya halvledarmaterial kommer att möjliggöra högupplöst gammaspektroskopi vid rumstemperatur. Sådana material kommer att ge upphov till nya tillämpningar speciellt när det gäller små detektorsystem som är lätta att transportera och har prestanda utöver vad vi känner till i dag. Dessutom kan begreppet *coded aperture imaging* [145] visa sig vara lämpligt när man bygger små instrument som ger inte bara energiupplösning utan också lägesupplösning.

- Beträffande C/S kan man förvänta sig en utveckling mot en starkare betoning av olika metoder för informationsbehandling. Dagens kraftfulla datorteknologi tillåter användning av komplexa algoritmer som kan utnyttjas för mönsterigenkänning. Sådana algoritmer skulle möjliggöra upptäckt av avvikelser i en mycket omfattande informationsrymd, som härrör från många olika detektorer. I ett första steg skulle denna teknik kunna knytas till övervakningssystem med hjälp av existerande apparatur, som t. ex. övervakningskameror, dörrmonitorer, IR-sensorer och satelliter.

I en text som denna skulle det kunna vara lämpligt att runda av med en kort betraktelse av förhållandet att världen på gott och ont tycks bli mer och mer mångfasetterad. Detta förhållande tenderar att öka risken för destruktiva handlingar från icke-statliga grupper, t. ex. sådana med terror på agendan. Detta är något som vi olyckligtvis fått se tydliga bevis på under de senaste åren.

De problem mänskligheten står inför har många sidor. Man kan t. ex. dra slutsatsen att en nödvändig förutsättning för en fredlig utveckling i världen är tillgången till billig och miljövänlig energiproduktion. I många avseenden lever kärnkraften upp till detta krav, men produktionen av kärnbränsle innefattar steg som kan missbrukas. Å andra sidan är det tillfredsställande, att kärnkraftsteknologin är så pass komplicerad, att den förhindrar icke-statliga grupper att ha tillgång till den dyrbara teknologin och kunskap som behövs för att framställa kärnvapen. Dessutom har de olika stegen som kärnämneskontrollen tagit, hittills haft en avskräckande inverkan på grupper och t. o. m. stater som i hemlighet försöker komma i besittning av kärnvapen.

Beträffande missbruk av vissa steg i kärnenergiproduktionen måste man göra klart för sig att praktiskt taget vilken industriell process som helst kan utnyttjas på ett icke avsett sätt. Den farmaceutiska industrin har t. ex. definitivt förmåga och kompetens att producera stora mängder material som skulle kunna användas i biologiska vapen. Även kemiindustrin skulle kunna producera material i sina processer för användning i kemisk krigsföring. För icke-statliga grupper är det sannolikt mer tilltalande att infiltrera sådana produktionsenheter för att komma i besittning av material, som kan åstadkomma skador i stor skala. Trots detta påtagliga hot kan man konstatera, att de globala farmaceutiska och kemiska industriella komplexen i dag inte är föremål för någon mera omfattande internationell ämneskontroll. I ovanstående lista över framtida forskningsaktiviteter, skulle man vilja lägga till ansträngningar, som syftar till att utvidga ickespridningskontrollen till att omfatta även biologiska och kemiska massförstörelsevapen.

Slutligen måste man medge att människans påhittighet alltid kommer att erbjuda nya utmaningar för ämneskontroll, antingen kärnteknisk, biologisk eller kemisk. Med stor sannolikhet kommer det inte att bli möjligt att finna den slutgiltiga lösningen för hur

spridning av massförstörelsevapen i världen skall kunna undvikas. Om man emellertid tar med i beräkningen en annan mänsklig egenskap, nämligen den att aldrig ge upp, så kan man åtminstone hoppas på möjligheten att finna hållbara strategier för, hur alla världens stater skulle kunna samarbeta för att minimera risken för sådan spridning och därigenom bilda ett världssamhälle i dess verkliga mening.

Bilaga II.1 Exempel på bränsledeklaration för ett bränsleelement (A05) som skall mellanlagras i CLAB.

Id nr	A05
Bränsletyp	W15x15
Antal bränslestavar	204
Stavdelning (mm)	14,3
Stavdiameter (mm)	10,72
Kapslingstjocklek (mm)	0,618
Kutsdiameter (mm)	9,29
Kapslingsmaterial	Zr4
Aktiv längd (mm)	3658
Densitet UO2 (g/cc)	10,41
Densitet inkl. fasningar, hållighet i kuts, dishing, m m	10,2465
Antal guide tubes	20
Material i guide tubes	Zr4
Ytterdiameter guide tube (mm)	13,87
Kapslingstjocklek guide tube	0,43
Antal instrument tubes	1
Material i instrument tubes	Zr4
Ytterdiameter instrument tubes (mm)	13,87
Kapslingstjocklek instrument tubes (mm)	0,43
Har elementet initialt innehållit brännbar absorbator?	Nej
Antal spridare	7
Spridarmaterial	Inconel
Vikt av en spridare (g)	788
Id nr	A05
Initialdata	
Initial vikt Utot (g)	456610
Initial vikt U238 (g)	447505
Initial vikt U235 (g)	8908
Initial vikt U236 (g)	69
Initial vikt U234 (g)	128
Medelanrikning % U238	98,006
Medelanrikning % U235	1,951

Medelanrikning % U236	0,015
Medelanrikning % U234	0,028
Densitet	10,2465
Pitch	1,43
Pellet dia	0,929
Rod outer dia	1,072
Rod inner dia	9,484
Monteringsprotokoll bifogas	
Data efter ombyggnad 1	
Datum för ombyggnad	
Antal bränslestavar	
Antal vattenstavar	
Antal vattenhål	
Antal homogena stavar	
Vikt Utot efter ombyggnad (g)	
Vikt U235 efter ombyggnad (g)	
Monteringsprotokoll bifogas	
Data efter ombyggnad 2	
Datum för ombyggnad	
Antal bränslestavar	
Antal vattenstavar	
Antal vattenhål	
Antal homogena stavar	
Vikt Utot efter ombyggnad (g)	
Vikt U235 efter ombyggnad (g)	
Monteringsprotokoll bifogas	
Cykelhistorik EOC MWd/tU (BU-tillskott (MWD/tU))	
1	18507
2	6175
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
Id nr	A05
	0,457
	24682

Nodvis utbränningsfördelning, slututbränning MWd/kgU	
1	11,626
2	17,977
3	22,238
4	24,731
5	26,112
6	26,839
7	27,202
8	27,372
9	27,448
10	27,482
11	27,503
12	27,526
13	27,556
14	27,595
15	27,643
16	27,692
17	27,724
18	27,699
19	27,537
20	27,076
21	26,019
22	23,844
23	19,723
24	13,172
	24,889

Referenser

1. I och för sig kan det tänkas att terrorgrupper som kommit över tillräcklig mängd fissilt material av vapenkvalitet för att tillverka en enkel laddning, kan förväntas använda enklare typer av vapenbärare som exempelvis granatkastare.
2. Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*. Touchstone Book, New York 1986, s. 30.
3. Ibid. s. 42.
4. David Fischer, *History of the International Atomic Energy Agency. The First Forty Years*. Wien 1997, s. 15 f.
5. Rhodes, s. 303 – 314.
6. Gunnar Skogmar, *Nuclear Triangle. Relations between the United States, Great Britain and France in the Atomic Energy Field 1939 – 1950*. Copenhagen Political Studies Press: Copenhagen 1993, s. 186 ff.
7. Gunnar Skogmar, *De nya malmfälten. Det svenska uranet och inledningen till efterkrigstidens neutralitetspolitik*. Forskningsprogrammet Sverige under det kalla kriget, arbetsrapport 3, Stockholm 1997.
8. Rhodes, s. 500 f. Om Igor Kurchatov och dennes verksamhet, se Paul R. Josephson, *Red Atom. Russia's Nuclear Power Program from Stalin to Today*. New York: W. H. Freeman; Basingstoke: Macmillan 1999, s. 11 ff.
9. Skogmar 1997, s. 17.
10. David Halloway, *Stalin and the Bomb: the Soviet Union and Atomic Energy, 1939 – 56*. New Haven: Yale University Press, 1994, s. 64, 85, 91, 100 – 103.
11. Halloway, s. 174.
12. Skogmar 1997, s. 28 f.
13. Om uranproduktionen i Estland, se Ello Maremäe, Hain Tankler, Henno Putnik, Ige Maalman, *Historical Survey of Nuclear Non-Proliferation in Estonia, 1946 – 1995*. Kirguskeskus, December 2003; Thomas Jonter och Lars Van Dassen, ”Making Historical Surveys of States Nuclear Ambitions: Experiences from the Baltic Sea Region”, *The Nonproliferation Review*, March 2005, vol. 12, No. 1.
14. Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*. s. 733 f.
15. Om sprängkraften, se Rhodes, s. 561, 643.
16. Rhodes, s. 740 f.

17. Fischer, s. 18.
18. Fischer, *ibid.*
19. *Ibid.* s. 19 f.
20. *Ibid.* S 21.
21. Gunnar Skogmar, *Atompolitik: sambandet mellan militärt och civilt utnyttjande av atomenergin i amerikansk utrikespolitik 1945 – 1973*. Lund 1979.
22. Skogmar 1997, s. 91 f.
23. Skogmar 1979, s. 30 f.
24. Fischer, s. 22 f.
25. Skogmar 1979, s. 74 f.
26. Fischer, s. 30 f.
27. Skogmar 1979, s. 79.
28. *Ibid.* s. 35 f.
29. *Ibid.* s. 36.
30. *Ibid.* s. 37.
31. *Ibid.* s. 39 f.
32. *Ibid.* s. 43.
33. *Ibid.*
34. *Ibid.* s. 82.
35. Fischer, s. 29.
36. *Ibid.* s. 94 f.
37. George Bunn, "The Nuclear Nonproliferation Treaty: History and Current Problems". *Arms Control Today*. December 2003.
38. Anver Cohen, *Israel and the Bomb*. New York, Columbia University Press 1998.
39. Fischer, s. 106 ff.
40. Theodore Hirsch, "The IAEA Additional Protocol. What It Is and Why It Matters". *The Nonproliferation Review*. Fall – Winter 2004.

41. Kurt Herz var den forskare som lanserade begreppet i en artikel med titeln "Idealist Internationalism and the Security Dilemma" i tidskriften *World Politics* 2(2) 1950.
42. Offensiv realist, se exempelvis John Mearsheimer, "Back to the Future: Instability After the Cold War", *International Security*, 15:1, s. 5 – 56.
43. Defensiva realister, se exempelvis Kenneth N. Waltz, *Theory of Inter-national Politics*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, cop.1979; *Man, the State, and War: a Theoretical Analysis*. New York: Columbia University Press, 2001.
44. Se exempelvis Bruce Russett, *Grasping the Democratic Peace: Principles for a Post-Cold War World*. Princeton: Princeton University Press, 1993.
45. David Held, *Democracy and the Global Order. From the Modern State to Cosmopolitan Governance*. Stanford University Press. Stanford, California 1995.
46. J. G. Ruggie, Multilateralism: The anatomy of an institution, in *Multilateralism matters – The Theory and Praxis of an Institutional Form*. Ruggie (ed), New York, Columbia University Press, 1993, s. 3.
47. Krasner 1983.
48. Levy, et al., "The study of international regimes", s. 270, *European Journal of International Relations*, 1995.
49. R. Little, "International regimes", i *The Globalization of World Politics. An Introduction to International Relations*, (ed) J. Baylis and S. Smith, New York, Oxford University Press 2001.
50. En utförlig diskussion om regimteorin och dess förhållande till olika former av samarbete på exportkontrollområdet, se C. Ahlström, *The Status of Multilateral Export Control regimes. An Examination of Legal and Non-Legal Agreements in International Co-Operation*, Uppsala, Iustus förlag, 1999, s. 86 ff.
51. O. R. Young och G. Osherenko, "Testing theories on regime formation", i *Regime Theory and International Relations*. Rittberger (ed), Oxford: Clarendon Press, 1993, s. 223 – 251.
52. Ahlström, s. 87 – 88.
53. Ahlström, s. 87.
54. P. Mayer, V. Rittberger, and M.Zürn, "Regime theory: State of the art and the perspectives", i *Regime Theory and International Relations*. Rittberger (ed), Oxford: Clarendon Press, 1993, ss. 391 – 430; J. N. Rosenau, "Governance, order, and change in world politics", i *Governance without Government – Order and Change in World Politics*. Rosenau and Czempiel (ed), Cambridge: Cambridge University Press, 1992, ss. 1 – 29.

55. K. Weber, "Hierarchy amidst anarchy: A transaction costs approach to International security cooperation", *International Studies Quarterly*, 41, 1997.
56. Lars Hildingsson, "Exportkontroll inget modernt påfund", *Nucleus* 2002:1.
57. "239Pu, 233U, uranium enriched in the isotopes 235U or 233U; any material containing one or more of the foregoing; and such other fissionable material as the Board of Governors shall from time to time determine; but the term 'special fissionable material' does not include source material." The term source material has been defined as "uranium containing the mixture of isotopes occurring in nature; uranium depleted in the isotope 235U; thorium; any of the foregoing in the form of metal, alloy, chemical compound, or concentrate; any other material containing one or more of the foregoing in such concentration as the Board of Governors shall from time to time determine; and such other material as the Board of Governors shall from time to time determine", Ahlström 1999, s. 320. fotnot 55.
58. Ahlström 1999, s. 338.
59. Ahlström 1998, s. 348 ff.
60. Lars Hildingsson, "Exportkontroll inget nytt påfund", *Nucleus* 2002:1.
61. INFCIRC/539.
62. INFCIRC/255/Rev. 4/Corr.
63. Mohammed Elbaradei, Physical Protection of Nuclear Materials, www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull394/elbaradei.html
64. INFCIRC/255/Rev. 4/Corr.
65. www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/es2005.html
66. www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/sg_protocol.html
67. www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2205/table_a21.pdf
68. Dessa fyra punkter bygger på ett föredrag av professor William Walker, University of St Andrews, som hölls vid 27th Annual Meeting. Symposium on Safeguards and Nuclear Material Management, i regi av European Safeguards Research and Development Association, 10 – 12 maj 2005.
69. INFIRCIRC/153. www.iaea.org
70. Ibid.
71. Delar av detta kapitel baseras på ett fördrag av SKI-inspektören Lars Hildingsson.
72. Theodore Hirsch, "The IAEA Additional Protocol. What It Is and Why It Matters". *The Nonproliferation Review*. Fall – Winter 2004.

73. Lars Hildingsson, ”Exportkontroll inget nytt påfund”, *Nucleus* 2002:1.
74. Tage Erlander, 1955 – 1960. s. 75 ff. Stockholm 1976.
75. Karl-Erik Larsson, ”Kärnkraftens historia i Sverige”. *Kosmos* 1987, s. 127 ff.
76. Stefan Lindström har analyserat förspelet till ”Den svenska linjen” fram till 1956 då projektet sjösattes.
77. Ibid. s. 131. Erik Svenke har i ett föredrag med titeln ”Svensk uranhistoria” talat om utvinningsmetoder av uran och den svenska politiken på uran-området, Tekniska Museet i Stockholm den 14 oktober 2000. Se även Erik Strandell, *Uran ur skiffer: Ranstadverket: 40 års utveckling av processer för utvinning av uran ur mellansvenska alunskifferar*, del 1 och 2, 1998.
78. Samtal med Bengt Pershagen 16 november 2001. Om förhistorien till R 1:s tillkomst, se Sigvard Eklund, ”Den första svenska atomreaktor”, *Kosmos* 1954, band 32.
79. Maja Fjaestad, Sveriges första rektor. Från teknisk prototyp till vetenskapligt instrument. SKI Rapport 01:1, s 37 f.
80. Brynielsson 1989, s. 202.
81. Om det svensk-amerikanska kärnenergisamarbetet, se Thomas Jonter, *Sverige, USA och kärnenergin. Framväxten av en svensk kärnämneskontroll 1945 – 1995*. SKI Rapport 99:21
82. Samtal med Bengt Pershagen och Carl Gustaf Österlundh 5 oktober 2001. Om tillkomsten av R 2, se Larsson 1987, s. 138.
83. ”Svensk atomenergipolitik”, s. 29 ff.
84. Brynielsson, s. 211. Se även ”Ågesta Nuclear Power Station, A Staff Report by AB Atomenergi”, Edited by B. McHugh, Stockholm 1964.
85. Brev från Nils Göran Sjöstrand till Thomas Jonter 15 juni 2001. Sjöstrand satt med i Reaktorförläggningsskommittén vid denna tid och kom ihåg hur diskussionerna gick i samband med att Ågesta stängdes. De nya säkerhets-kraven skulle, enligt Sjöstrand, leda till alltför dyrbara omarbetningar.
86. ”Svensk atomenergipolitik”, s. 29 ff.
87. Brynielsson, s. 222 f.
88. Det var främst dessa skäl som låg i fatet då projektet övergavs, enligt Bo Aler, samtal 18 januari 2002.
89. Samtal med Erik Haeffner 29 september 2001.

90. Larsson 1987, s. 151.
91. 24 – 25 maj 1960, John V. Vinciguerra, AEC till Christer von Essen, AE. ”Uranredovisning AEC t. o. m. 1962”, Central arkivet i Studsvik AB (CA).
92. ”PM ang. sammanträde i Atomic Energy Commission den 10 februari 1959” författad av Stig Ramel, UD; Från C. C. Vogel, AEC till Nils Montan 13 april 1959, UD. ”Uranredovisning AEC t. o. m. 1962”, CA.
93. Om det safeguardssystem som gällde under tiden 1956 – 1972, se kun-görelse den 27 juni 1957 (nr 460).
94. Från Orneman till Blomberg 18 oktober 1961, SR2. ”Uranredovisning AEC t. o. m. 1962”, CA.
95. ”Anteckningar från sammanträde med kontrollanter från AEC”, Silfver-stolpe 17 maj 1961, CA.
96. ”Beträffande inspektion och kontroll av anrikt uran och plutonium”, 27 april 1965, ”Uranredovisning kontroll”, CA. Med f. d. laboratorn vid FOA Anders Frömans hjälp kunde jag få fram de inspektioner som gjordes vid FOA.
97. Från Orneman till Hagsgård 24 september 1968, ”Safeguardredovisning till AEC”, CA.
98. Stater som har teknisk möjlighet att framställa kärnvapen och misstänks ha gjort förberedelser för tillverkning brukar man kalla tröskelstater.
99. Lars Van Dassen, Sweden in the Making of Nuclear Non-Proliferation: From Indecision to Assertiveness. SKI Report 98:16.
100. Om de utförda inspektionerna inom ramen för trepartsavtalet, se bilaga 2.
101. www.wikipedia.org
102. Detta kapitel är i stora delar baserade på intervjuer av inspektörer vid SKI: Lars Hildingsson, Mats Larsson, Göran Dahlin, Kåre Axell, Stig Isaksson och Martina Dufva.
103. Mats Larsson, SKIQ – Ledningssystem för SKI:s verksamhet. Icke-spridningskontroll – Fysiskt skydd och Transportsäkerhet, 2006-02-21. Opublicerad text. Finns förvarad hos inspektör Mats Larsson, SKI.
104. Vissa undantag ges, exempelvis krävs ingen rapportering och kontroll av malm vars halt av uran understiger 200 ppm. Mats Larsson, SKIQ – Ledningssystem för SKI:s verksamhet. Icke-spridningskontroll – Fysiskt skydd och Transportsäkerhet, 2006-02-21. Opublicerad text. Finns förvarad hos inspektör Mats Larsson, SKI.
105. Uppskattad tid för att omvandla det nukleära materialet till kärnladdningar.

106. Figuren är hämtad från en opublicerad text skriven av inspektören vid SKI, Mats Larsson, med titeln ”SKIQ – Ledningssystem för SKI:s verksamhet. Icke-spridningskontroll – Fysiskt skydd och Transportsäkerhet”.
107. http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=SV&numdoc=3200R1334&model=guicheti
108. Om ISP:s verksamhet i övrigt, se www.isp.se
109. Larsson, ”SKIQ – Ledningssystem för SKI:s verksamhet. Icke-spridningskontroll – Fysiskt skydd och Transportsäkerhet”.
110. Förordningen (2000:1217) om kontroll av produkter med dubbla användningsområden och tekniskt bistånd; Inspektion för strategiska produkter föreskrifter (TFS 2000:24) om gemensamt exporttillstånd; Inspektion för strategiska produkter föreskrifter (TFS2005:25) om ansökan om exporttillstånd.
111. Larsson, ”SKIQ – Ledningssystem för SKI:s verksamhet. Icke-spridningskontroll – Fysiskt skydd och Transportsäkerhet”.
112. Stig Isaksson, ”New Swedish Rules for Physical Protection”, *Nucleus* 2005:3.
113. Sveriges överenskommelse 1985:24.
114. Larsson, ”SKIQ – Ledningssystem för SKI:s verksamhet. Icke-spridningskontroll – Fysiskt skydd och Transportsäkerhet”.
115. Stig Isaksson, ”New Swedish Rules for Physical Protection”, *Nucleus* 2005:3.
116. Stig Isaksson, ”New Swedish Rules for Physical Protection”, *Nucleus* 2005:3.
117. Eric Häggblom, ”Lagar och myndigheter vakar över frakterna”, *Nucleus* 2002:1.
118. Ibid.
119. Mats Larsson, ”SKIQ – Ledningssystem för SKI:s verksamhet. Icke-spridningskontroll – Fysiskt skydd och Transportsäkerhet”.
120. FOI–Systemteknik, Årsrapport, 2004. Se t. ex:
<http://www.foi.se/upload/omfoi/avdelningar/systemteknik/annual/foi-system-tech-2004.pdf>
121. C. Willman et al. ”Nondestructive assay of spent nuclear fuel with gamma-ray spectroscopy”, *Annals of Nuclear Energy* 33 (2006) 427-438.
122. European Safeguards Research and Development Association (ESARDA), Working Group on Containment and Surveillance.
http://esarda2.jrc.it/internal_activities/WG-CS/index.html
123. Martin et al. *Biomedical engineering*, vol. 41 (1994).

124. W. R. Leo: "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments", Springer-Verlag.
125. G. F. Knoll: "Radiation Detection and Measurement" 3:e upplagan (Wiley).
126. Lawrence Berkeley National Laboratory: <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/Eng-Cryo3-Krotz.html>
127. Nuclei and Particles, Emilio Segré, 2 ed. (Benjamin/Cummings).
128. Safeguarding LWR Spent Fuel with the Fork Detector, LA-11096-MS, Los Alamos 1988.
129. H. Böck and E. Balcar, Nuclear Instruments and Methods, 124, 1975.
130. The application of some nuclear measuring techniques in a conditioning facility, A. Håkansson, ESARDA 24th Annual Meeting 2002.
131. Canberra, <http://www.canberra.com/Literature/13551.asp>
132. A Tomographic Method for Verification of the Integrity of Spent Nuclear Fuel Assemblies - II: Experimental Investigation, S. Jacobsson, A. Håkansson, P. Jansson and A. Bäcklin, Nuclear Technology, vol. 135, no. 2, August 2001, pp. 146-153.
133. A Tiitta et al. STUK-YTO-TR 192 / October 2002.
134. "Instruction manual for the Cerenkov Viewing Device Model Mark IVe", CSSP Report 6 Revision 1.0 January 1997.
135. SKI Report ISRN SKI-R-03/47.
136. B. Lindberg et al.: "Modeling of Cherenkov light emission from BWR nuclear fuel with missing or substituted rods". IAEA Symposium, Wien 16-12 oktober 2006.
137. Calibration of the TVO spent BWR reference fuel assembly, M. Tarvainen, A. Bäcklin and A. Håkansson, STUK-YTO-TR 37, 1992.
138. E. Jungert et al., "Intelligent skydd mot intrång i skyddsobjekt", FOI-R—1993—SE.
139. Canadian Space Agency: www.space.gc.ca
140. M. Dahlfors, "Studies of Accelerator-Driven Systems for Transmutation of Nuclear Waste", Acta Universitatis Upsaliensis 2006, ISBN 91-554-6462-9.
141. Se t. ex. www.SKI.se
142. Generation IV International Forum: <http://gif.inel.gov/>

143. ESARDA Working Group on Techniques and Standards for Destructive Analysis,
http://esarda2.jrc.it/internal_activities/WG-DA/index.html
144. Avenhaus et al., “Verifying Treaty Compliance”, 2006, Springer
145. Se t.ex. http://www.sron.nl/~jeanz/cai/coded_bibl_short.html för information om vidare läsning.

www.ski.se

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION
Swedish Nuclear Power Inspectorate

POST/POSTAL ADDRESS SE-106 58 Stockholm

BESÖK/OFFICE Klarabergsviadukten 90

TELEFON/TELEPHONE +46 (0)8 698 84 00

TELEFAX +46 (0)8 661 90 86

E-POST/E-MAIL ski@ski.se

WEBBPLATS/WEB SITE www.ski.se