

# **FFI RAPPORT**

## **INDIAS KJERNEVÅPENPROGRAM**

TOFT Heidi Kristine

**FFI/RAPPORT-2003/00460**



## **INDIAS KJERNEVÅPENPROGRAM**

TOFT Heidi Kristine

FFI/RAPPORT-2003/00460

**FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge



P O BOX 25  
 NO-2027 KJELLER, NORWAY  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2003/00460	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 119
1a) PROJECT REFERENCE FFI-V/859/139	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE INDIAS KJERNEVÅPENPROGRAM  INDIA'S NUCLEAR WEAPONS PROGRAMME		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) TOFT Heidi Kristine		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) Nuclear weapons	a) Kjernevåpen	
b) India	b) India	
c) Plutonium	c) Plutonium	
d) Non-proliferation	d) Ikke-spredning	
e) _____	e) Atomvåpen	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT Even though India performed its first nuclear test in 1974, India did not announce the possession of nuclear weapons until after the second round in 1998. The state is quite certainly in possession of fission weapons and boosted fission weapons. One cannot exclude its claimed possession of also sub kiloton and thermonuclear devices (up to 200 kt). The production of weapon-grade plutonium (WGPu) is done in Trombay. There one finds the uranium fuel fabrication, the production of WGPu in the Cirus and Dhruva reactors, and its reprocessing. Each year, an estimated 23-36 kg WGPu is produced, enough for 4-6 weapons. We estimate that the accumulated WGPu stockpile is 340-620 kg (or about 60-100 weapons) as of 2003. From the commercial reactors about 11 000-14 000 kg of reactor-grade plutonium is produced as of August 2003. There are no indications that India has used its ten non-safeguarded nuclear power plant reactors in the production of WGPu. If the state has, the production cannot have been more than 1 800-2 400 kg WGPu, or about 3-400 extra nuclear weapons, by the capacity for fuel fabrication. This corresponds to about 20 years production in one of them (e.g. MAPS-1, the oldest), and about 80 % of the commercial, non-safeguarded operation is found "not guilty". In 2002, a facility for the reprocessing of thorium and uranium-233 (fissile) was started up. A prototype submarine reactor is reportedly undergoing tests. If so, one can conclude that the uranium-235 enrichment programme in Rattehalli is in operation. India could become the only state besides the five acknowledged nuclear weapons states that has nuclear submarines. The draft nuclear doctrine contains a no-first-use policy.		
9) DATE 2004-09-28	AUTHORIZED BY This page only Bjarne Haugstad	POSITION Director of Research

ISBN 82-464-0884-4

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



## FORORD

Denne rapporten er én av flere selvstendige FFI-rapporter i et større studium av kjernevåpenprogrammene i India og Pakistan. I denne tar vi for oss India. Vår målsetning har vært å gi en grundig, nøyaktig, helhetlig og oppdatert teknisk analyse. Vi har blant annet foretatt beregninger på Indias maksimale hypotetiske evne til å ta i bruk ikke-overvåkede kraftreaktorer innen kjernevåpenproduksjonen, noe som har gitt resultater som ikke fins i annen litteratur.

Interesserte lesere henvises til også de andre FFI-rapportene:

- *Pakistans kjernevåpenprogram* (1);
- *De kjernefysiske prøvesprengningene i India og Pakistan (1974 og 1998)* (2);
- *India og Pakistan – Historiske, politiske og tekniske perspektiver på kjernevåpenkonflikten* (3).

Disse fire dyptpløyende rapportene oppsummeres i én sammendragsrapport:

- *En vurdering av Indias og Pakistans kjernevåpenprogrammer* (4).

Arbeidene er basert på åpne kilder.

Denne rapporten ble skrevet høsten 2003 basert på de kildene som fantes i denne perioden. Av ulike årsaker utenfor forfatterens kontroll ble utgivelse forsinket. Enkelte oppdateringer ble foretatt før publiseringen høsten 2004. Derfor kan man i noen tilfeller finne forskjellige årstall for opplysningene i rapporten.

Kjeller, november 2004

Heidi Toft





**INNHOOLD**

	<b>Side</b>	
1	INNLEDNING	11
2	HISTORISK, KJERNEFYSISK UTVIKLING	13
2.1	Fredelig kjerneenergiprogram (startet 1944)	14
2.2	Overgang til kjernevåpenprogram (1960 – 1974)	15
2.3	Utvikling av den første kjernefysiske ladningen (1965 – 1974)	17
2.4	Senere kjernefysisk opprustning (etter 1974)	19
3	DAGENS KJERNEFYSISKE INFRASTRUKTUR OG RESULTERENDE VÅPENPRODUKSJON	21
3.1	Organisasjonsstruktur	22
3.2	Uranutvinning	24
3.3	Brenselsfabrikasjon	25
3.4	Produksjon av tungtvann	28
3.5	Kjernereaktorer	29
3.5.1	Dagens forskningsreaktorer	30
3.5.2	Forskningsreaktorer under bygging	33
3.5.3	Nedlagte forskningsreaktorer	36
3.5.4	Dagens kraftreaktorer	36
3.5.5	Kraftreaktorer under bygging	39
3.6	Gjenvinning	41
3.7	Urananrikning	45
3.8	Mulig kretsløp til det fissile materialet	48
3.9	Termonukleært program	48
4	BEREGNINGER AV MULIG PLUTONIUMSPRODUKSJON	51
4.1	Teknisk grunnlag for beregninger av plutoniumsproduksjon	52
4.2	Kraftverkens offisielle energiproduksjon	54
4.3	Konservativt estimat	55
4.3.1	Våpenplutonium	55
4.3.2	Reaktorplutonium	58
4.3.3	Oppsummering	60
4.3.4	Vurderinger av forbruk, forråd og behov for reaktorplutonium	60
4.4	Radikalt estimat	62
4.4.1	Tilgjengelig brenselsfabrikasjon	63
4.4.2	Resultater	65
4.4.2.1	Innledning	65
4.4.2.2	Argumentasjon for at MAPS-1 kan ha vært våpenprodusent	66
4.4.2.3	Vedrørende økning av kapasitet for brenselsfabrikasjon	69

4.4.2.4	Vurderinger med faktiske kapasitetsfaktorer i stedet for livsløpskapasitetsfaktorer	70
4.4.2.5	Den eventuelle våpenproduksjonen ved MAPS-1	70
4.4.2.6	Oppsummering	71
4.4.3	Er listeverdiene korrekte?	72
5	MILITÆR, KJERNEFYSISK SLAGKRAFT	73
5.1	Antallet kjernefysiske stridshoder	73
5.2	Leveringsmidler	75
5.2.1	Fly	75
5.2.2	Landbaserte missiler	75
5.2.3	Fartøybårne missiler	76
5.2.4	Fremtidige atomubåter	77
5.3	Antatt vilje til bruk	78
6	OPPSUMMERING OG KOMMENTARER	79
APPENDIKS		
A	TEKNISK GRUNNLAG FOR KJERNEFYSISKE VÅPEN	83
A.1	Introduksjon og hovedtrekk for bygging av kjernefysiske ladninger	83
A.2	Å lage fissilt materiale	85
A.2.1	Uranveien	85
A.2.2	Plutoniumsveien	86
A.3	Reaktorer	87
A.4	Design av kjernefysiske ladninger (fysikkpakker)	89
A.5	Mengde fissilt materiale i hver fisjonsladning	92
A.6	Utvikling av kjernefysiske stridshoder og våpen	93
B	FORKORTELSER	94
C	BENEVNELSER	95
D	ORDFORKLARINGER FOR KJERNEVÅPENRELATERTE ORD	96
E	UTENLANDSK ASSISTANSE	101
E.1	Norsk assistanse	103
E.1.1	Tungtvannsteknologi	104
E.1.2	Plutoniumsteknologi	104
E.1.3	Ulovlig overførsel av norsk tungtvann til India	105
E.1.4	Kraftige datamaskiner	105
F	OFFISIELL KJERNEFYSISK ORGANISASJONSSTRUKTUR	106
G	SAMMENLIGNING AV MENGDE REAKTORPLUTONIUM MED GAMLE BEREGNINGER FRA INSTITUTE FOR SCIENCE AND INTERNATIONAL STUDY (KONSERVATIVT ESTIMAT)	108

H	DET MINSTE OG STØRSTE MULIGE BRENSLSFORBRUKET (RADIKALT ESTIMAT)	108
I	OFFISIELLE KAPASITETSFAKTORER FOR DE KOMMERSIELLE REAKTORENE FRA 1998-1999 TIL 2001-2002 OG VURDERINGER AV KONSEKVENSENE (RADIKALT ESTIMAT)	109
J	OFFISIELLE VERDIER PÅ UTLEVERT BRENSSEL FRA 1992-1993 TIL 1996-1997	112
K	ANTATT MISSILREKKEVIDDE I 2005	113
	Litteratur	114



## INDIAS KJERNEVÅPENPROGRAM

### 1 INNLEDNING

Fra vårt kjernefysiske ståsted er India en teknisk interessant stat fordi denne staten er mest kjernefysisk utviklet blant utviklingslandene. Dessuten er India (sammen med Pakistan) interessant fra et sikkerhetspolitisk perspektiv. Sør-Asia går ofte for å være det geografiske området i verden som har størst risiko for kjernevåpenkrig. Det har vært tre konvensjonelle kriger og utallige terroranslag. Statslederne har åpent truet med å anvende kjernevåpnene sine. Den geografiske nærheten med mulighet for relativt enkel og rask levering gjør trusselen enda større, jevnfør kartet i Figur 1-1.

India prøvesprengte første gang i 1974. Prøvesprengningen viste at det optimistiske programmet Atoms for Peace<sup>1</sup> for spredning av fredelig, kjernefysisk teknologi hadde mislyktes. Neste (og per 2004 siste) runde med prøvesprengninger var i 1998. Staten erklærte seg kort tid etter som en ”kjernevåpenstat”, men dette er ikke anerkjent av verdenssamfunnet.

India er ikke part i Ikke-spredningsavtalen<sup>2</sup> (NPT, 1968). Derfor er de aller fleste kjernefysiske anleggene uten internasjonal overvåkning, og derfor gjør ikke staten noe folkerettslig galt i utviklingen av egne kjernefysiske ladninger. Sammen med Israel og Pakistan er India den eneste kjernefysisk kvalifiserte staten<sup>3</sup> som i dag (2004) står utenfor denne avtalen. Dette er en svakhet ved ikke-spredningsregimet, og svakheten ble forsterket da India og Pakistan prøvesprengte i 1998. Kanskje er svakheten en delårsak til at vi i dag ser tilløp til kjernefysisk spenning også i andre stater.

India hevder å være i besittelse av taktiske lavytelseskjernevåpen, standard fisjonsvåpen, boostede fisjonsvåpen og termonukleære ladninger med relativt liten sprengkraft.<sup>4</sup>

Denne rapporten er en teknisk analyse av Indias kjernevåpenprogram. Vi diskuterer blant annet følgende:

- Hvilke kjernefysiske anlegg har India? Hvor foregår kjernevåpenproduksjonen? (Kapittel 3)
- Hvor mye våpenplutonium og reaktorplutonium kan India ha produsert? (Kapittel 4)

<sup>1</sup> Mer om Atoms for Peace i delkapittel 2.1.

<sup>2</sup> Fullt navn er *Traktat om ikke-spredning av kjernefysiske våpen* av 1. juli 1968. Den omtales ofte som ”NPT” etter det engelske kortnavnet ”Non-Proliferation Treaty”. Se FFI-rapporten (5).

<sup>3</sup> En kjernefysisk kvalifisert stat er en stat som har minst én kjernereaktor.

<sup>4</sup> *Boostede fisjonsvåpen* kan også kalles ”avanserte fisjonsvåpen” eller ”tritiumforsterkede kjernevåpen”. Begrepene *lavytelseskjernevåpen*, *fisjonsvåpen*, *boostede fisjonsvåpen* og *termonukleære våpen* er definert i appendiks A.4.



Figur 1-1 Kartet viser dagens India, men merk at det som er notert med bokstavene "A" og "C" på kartet, ikke i praksis regnes som en del av India i dag, selv om det ser sånn ut her. Området notert med "A", "B" og "C" er Kashmir. "A" (Azad-Kashmir) kontrolleres i dag av Pakistan, "B" av India og "C" (Aksai Chin) av Kina. Den såkalte kontrollinjen er den stiplede, røde linjen mellom "A" og "B". Kartet er hentet fra Encyclopædia Britannica (6) og er gjengitt med tillatelse.

- Har India hatt mulighet til også å ta i bruk sine kommersielle, ikke-overvåkede reaktorer til produksjon av våpenplutonium? Hva slags konsekvenser vil det eventuelt ha? (Delkapittel 4.4)
- Hvor langt har Indias anrikningsprogram for uran-235 kommet? (Delkapittel 3.7)
- Kan India ha termionukleære våpen? (Delkapittel 3.9)
- Har India et program for kjernevåpen med den sjeldnere isotopen uran-233? (Delkapittel 3.6)
- Hvor mange stridshoder har India ferdigstilt? (Delkapittel 5.1)
- Hvilke stater har assistert Indias kjernefysiske program, og med hva? Har ikke Norge også bidratt? (Appendiks E)
- Hva er sannsynlige indiske leveringsmidler, og når vil India kunne tenke seg å ta kjernevåpnene i bruk? (Delkapitlene 5.2 og 5.3)
- Hva er det kjernefysiske styrkeforholdet mellom India og Pakistan? (Kapittel 6)

Vi gjør oppmerksom på at to figurer er særskilt nyttige. Figur 3-1 viser et kart hvor de kjernefysiske anleggene er lokalisert geografisk. Figur 3-7 viser skjematisk det mulige kretsløpet til det fissile materialet i India.

Formålet med rapporten er å presentere Indias kjernevåpenprogram. Rapporten tar derfor utgangspunkt i at leseren har den relevante tekniske bakgrunnskunnskapen innen kjernefysikk, produksjon av fissilt materiale, kjernefysiske anlegg (bl a reaktorer) og kjernevåpendesign. For øvrige lesere har vi skrevet appendiks A, som definerer de tekniske begrepene og presenterer den påkrevde kunnskapen. Ellers vil man ha spesiell nytte av delen om grunnleggende teori for kjernevåpendesign (appendiks A.4), siden slik litteratur generelt er mangelfull.

I resten av appendiksseksjonen finner vi støtteinformasjon, blant annet forkortelser (appendiks B), benevnelser (appendiks C) og ordforklaringer for kjernevåpenrelaterte ord (appendiks D). Disse ressursene kan leserne slå opp i ved behov.

Takk til dr M V Ramana ved Princeton University i USA for hjelpsomme diskusjoner.

## 2 HISTORISK, KJERNEFYSISK UTVIKLING

Både India og Pakistan startet satsning på fredelige kjernefysiske programmer så å si rett etter frigjøringen fra kolonimakten Storbritannia i 1947. Satsningene har representert og representerer enorme økonomiske investeringer i stater der store deler av befolkningen er analfabeter og trengende. India har det mest omfattende kjernefysiske programmet blant utviklingslandene. I kapittel 2 skal vi se kronologisk på den historiske utviklingen innen det kjernefysiske programmet.<sup>5</sup> Det er forutsatt at leserne har satt seg inn i det tekniske grunnlaget i appendiks A. Vi venter med en systematisk teknisk behandling til neste kapittel.

<sup>5</sup> Se også FFI-rapporten (3) om historiske, politiske og tekniske perspektiver på kjernevåpenkonflikten mellom India og Pakistan. Denne går både grundigere gjennom de historiske høydepunktene og utdyper årsakene til at India har gått inn for et kjernevåpenprogram og prøvesprengninger.

Kapittel 2 er delt opp fire delkapitler. Det fredelige kjerneenergiprogrammet (startet 1944) presenteres i delkapittel 2.1, overgangen til et kjernevåpenprogram (1960 – 1974) presenteres i delkapittel 2.2, utviklingen av den første kjernefysiske ladningen (1965 – 1974) presenteres i delkapittel 2.3, mens det siste delkapittelet, 2.4, behandler den senere kjernefysiske opprustningen (etter 1974).

## 2.1 Fredelig kjerneenergiprogram (startet 1944)

Den indiske, teoretiske fysikeren dr Homi Bhabha (1909 – 1966) regnes som arkitekten bak Indias kjernefysiske program. I 1944 var han initiativtageren til å starte opp kjernefysisk forskning i India. Dermed ble Tata Institute of Fundamental Research åpnet i Mumbai (tidligere Bombay). Bhabha ledet programmet til han døde i 1966. Siden starten uttrykte han ambivalens vedrørende hensikten med det kjernefysiske programmet. Hensikten skulle være fredelig bruk av kjerneenergi, men om India ble tvunget til det, skulle ikke staten la være å utnytte teknologien til ”andre formål” (7). Indisk ambivalens vedvarte helt frem til India erklærte seg som kjernevåpenstat i forbindelse med prøvesprengningene i 1998. Et uttalt motiv for det kjernefysiske programmet var begrepet selvstendighet, ikke ulogisk etter kolonitiden med Storbritannia. Ideen om selvstendighet har imidlertid ikke forhindre India fra å ta imot vesentlig utenlandsk assistanse fra Vesten, heriblant stater som USA, Canada m fl.

I 1947 ble Det indiske subkontinentet delt i to stater: India og Pakistan. Pakistan ble geografisk todelt i Vest-Pakistan og Øst-Pakistan. Se Figur 2-1. Samme år kriget de nyopprettede naboene for første gang om delstaten Kashmir.

I 1948 ble Atomic Energy Commission (AEC) stiftet for å lede Indias kjerneenergiprogram. Året etter etablerte India en enhet som skulle lete etter ”nyttige mineraler”. I 1954 ble Department of Atomic Energy (DAE) stiftet. (8)

På 1950-tallet var det viktige milepæler i utviklingen. Thoriumsutvinningen startet i 1955. I 1956 ble Apsara i Trombay Asias første forskningsreaktor. Forskningscenteret Bhabha Atomic Research Centre (BARC) ble opprettet i 1957 (men da under navnet Atomic Energy Establishment). BARC er i dag nervesenteret i Indias kjernevåpenprogram. I 1959 startet uranutvinning i Trombay. Umiddelbart etterpå var produksjon i gang av brensel av naturlig uran til forskningsreaktoren Cirus. Cirus er av trykktungtvannstype og nådde kritikalitet i 1960 (se definisjoner i appendiks A.1)). (8) Cirus har lenge produsert plutonium til kjernevåpenprogrammet.

Det var Canada som solgte Cirus til India. Selv om denne kjernereaktoren i praksis kunne brukes i våpenøyemed, var forutsetningen at det skulle den ikke. Avtalen fra 1955 med Canada baserte seg på tillit, og Canada krevde bare skriftlig erklæring om at bruken kun skulle være





*Figur 2-1 Det indiske subkontinentet i dag. Da Pakistan ble selvstendig, bestod staten av både dagens Pakistan (den gang Vest-Pakistan) og dagens Bangladesh (den gang Øst-Pakistan). Med forbehold om uløste grensekonflikter er Indias areal ca 3 166 000 km<sup>2</sup> og Pakistans ca 796 000 km<sup>2</sup>. Folketallet ble i 2002 anslått til henholdsvis 1 048 millioner og 146 millioner.*

fredelig. Det internasjonale atomenergibyrådet (IAEA)<sup>6</sup> i Wien, som i dag overvåker mange staters kjernefysiske anlegg, eksisterte ikke. På samme vilkår solgte USA tungtvann til India for bruk i Cirus. Det amerikanske programmet Atoms for Peace<sup>7</sup> lå bak handlene. Programmet var også grunnlaget for at flere tusen indiske forskere fikk delta i forskningsprosjekter ved US Department of Energy, og for indisk tilgang til tusenvis av avgraderte dokumenter i perioden fra 1955 til 1974 (9) (10). Ingenting tydet foreløpig utad på at Indias kjernefysiske program var noe annet enn fredelig. 1950-tallet var kjernefysisk sett preget av tillit og gryende optimisme.

## 2.2 Overgang til kjernevåpenprogram (1960 – 1974)

Allerede i 1960 foregikk det aktivitet som tyder på indiske kjernevåpenambisjoner. Dette året skal BARC ha sendt en ung kjemiker (Vasudev Iya) til Frankrike for å tilegne seg så mye kunnskap som mulig om poloniumstilberedning. (7) Polonium kan være bestanddel i nøytronkilder i kjernevåpen (appendiks A.4).

<sup>6</sup> IAEA ble stiftet av 81 stater i 1956 som følge av både frykt og forventninger til den nye energiformen kjerneenergi, og på USAs president Dwight D Eisenhowers initiativ. Norge har vært medlem siden starten. (5)

<sup>7</sup> Programmet Atoms for Peace ble introdusert i 1953 av den amerikanske presidenten Dwight Eisenhower. I sin berømte tale tilbød han amerikansk samarbeid til alle stater som ville utvikle fredelig kjernefysisk energi under et amerikansk overvåkningsregime. Meningen var at mottagerstaten skulle forplikte seg til ikke å utvikle kjernevåpen, men overvåkningsregimet viste seg å være for svakt. Én årsak til at Atoms for Peace ble lansert, var at hemmelighold av kjernefysisk teknologi var vanskelig. Noen analytikere mener i ettertid at programmet heller har bidratt til spredning av kjernevåpen.

I 1963 ble Den delvise prøvestansavtalen<sup>8</sup> (LTBT) ferdigforhandlet. India undertegnet og ratifiserte den samme år. Denne folkerettslige avtalen begrenser prøvesprengninger til å være underjordiske og uten grenseoverskridende radioaktive utlipp.

I 1962 hadde India en grensekonflikt med naboen Kina om deler av Kashmir (3). To år etter utførte Kina sin første prøvesprengning. Hendelsen fikk politikeren Atal Bihari Vajpayee til å si i en tale til Parlamentet: ”Svaret på et kjernevåpen er et kjernevåpen, intet mindre.” (Vajpayee var senere statsminister under prøvesprengningene i 1998.) India fikk som grunnleggende sikkerhetspolitisk mål å forhindre et nytt angrep fra Kina (3).

I 1964 gav statsminister Lal Bahadur Shastri det første indiske, våpenrelaterte klarsignalet: Man kunne være villig til å gjennomføre kjernefysiske prøvesprengninger for fredelige formål. Forskning på utvikling av kjernefysiske ladninger kunne begynne. (3) (7)

Samme år ble Indias første gjenvinningsanlegg (Trombay-anlegget) satt i drift, og det separerte ut sine første, små mengder plutonium fra brukt kjernebrensel (11). Anlegget ble bygd med amerikansk assistanse gjennom Atoms for Peace. Plutonium kan ha både fredelig og ikke-fredelig bruk. (Dette kalles dobbelbruk, *dual-use*.) En tilsynelatende fredelig anvendelse er bruk som brensel i reaktorer, noe India har gjort.

I 1965 kom den andre krigen mellom India og Pakistan (3).

Ikke-spredningsavtalen ble ferdigforhandlet i 1968. Den definerer de fem såkalte anerkjente kjernevåpenstatene (USA, Sovjetunionen/Russland, Storbritannia, Frankrike og Kina), som alle prøvesprengte før 1. januar 1967. Disse skulle foreløpig få beholde sine kjernevåpen mot et løfte om senere kjernefysisk nedrustning. Alle andre parter skal avstå fra å skaffe seg kjernevåpen, men får tilegne seg fredelig, kjernefysisk teknologi. (5)

India var blant de definerte ikke-kjernevåpenstatene, men ønsket ikke å tiltre Ikke-spredningsavtalen. Dersom India hadde tiltrådt, ville staten ikke bli tillatt å tilegne seg kjernevåpenteknologi. India har heller ikke siden sluttet seg til avtalen.<sup>9</sup> Årsaken hevdes å være at den ikke søker internasjonal kjernefysisk nedrustning, men tillater de fem anerkjente kjernevåpenstatene å beholde og oppruste sine kjernevåpenarsenaler. India er også sterkt imot at kjernevåpenstatene skal slippe internasjonal overvåkning av IAEA, mens ikke-kjernevåpenstatene skal underlegges slik overvåkning. India oppfatter dette som diskriminering. (12)

Ikke-spredningsavtalen befestet en ekskludering med India utenfor de anerkjente. Derfor kan internasjonal anseelse ha vært en annen faktor som delvis motiverte India i sin

<sup>8</sup> Fullt navn er *Traktat om forbud mot prøver med kjernefysiske våpen i atmosfæren, det ytre verdensrom og under vannet* av 5. august 1963. På engelsk kalles den ofte ”Limited Test Ban Treaty”, som er grunnlaget for forkortelsen LTBT. (5)

<sup>9</sup> India er blant de svært få statene i verden som ikke har tilsluttet seg Ikke-spredningsavtalen. De andre er Cook Islands, Israel, Niue og Pakistan. (5) (I tillegg kommer Taiwan, som ikke er formelt anerkjent som stat.)

kjernevåpenutvikling (3). Staten følte kanskje et behov for å markere seg som en stormakt og for å vise at den ikke var dårligere enn de anerkjente kjernevåpenstatene, men var ”en av gutta”. Det er også de fem anerkjente kjernevåpenstatene som er de faste medlemmene av FNs sikkerhetsråd.

I 1971 kom India for tredje gang i krig med sin nabo Pakistan. India gikk seirende ut, men tilstedeværelsen av et amerikansk hangarskip skapte indisk frykt for et ensidig kjernefysisk angrep. (3)

Fortløpende foretok India omfattende utvidelser av sin kjernefysiske infrastruktur. I 1968 ble Nuclear Fuel Complex satt opp i Hyderabad. Komplekset fabrikkerer uranbrensel for kommersielle reaktorer. I 1969 startet forskningssenteret Indira Gandhi Centre for Atomic Research (IGCAR) opp i Kalpakkam. (Den gangen het senteret Reactor Research Centre.) IGCAR er i dag et stort og viktig kjernefysisk senter. Samme år stiftes Heavy Water Board (da kalt Heavy Water Projects). Heavy Water Board er ansvarlig for produksjon av tungtvann for moderering i kjernereaktorene. I 1969 blir det første kjernekraftanlegget satt i drift (kokvannsreaktorene i Tarapur). I 1970 produseres den fissile isotopen uran-233 for første gang (ved bestråling av thorium i en reaktor). (8) I 1973 settes første kommersielle trykkungtvannsreaktor i drift i Rajasthan.

Selv om India gikk til anskaffelse av mange kjernereaktorer, gav Indias kjernefysiske program lite elektrisk utbytte sett i forhold til de økonomiske investeringene. Internt ble den kjernefysiske prioriteringen rettferdiggjort med at India skulle bli selvstendig og selvforsynt, noe som var populær retorikk etter kolonitiden. Det forhindret likevel ikke store mottak av utenlandsk assistanse. (7)

### **2.3 Utvikling av den første kjernefysiske ladningen (1965 – 1974)**

Motivasjonen for at India gikk over fra et fredelig til våpenrettet kjernefysisk program har vært å forhindre et nytt angrep fra Kina (3). Gode kilder hevder at India startet å designe (på papiret) sin første kjernefysiske ladning (Smiling Buddha, detonert 1974) på midten eller slutten av 1960-tallet (7) (11).

På slutten av 1960-tallet skal mellom 50 og 75 forskere og ingeniører ha vært involvert i utviklingen av designen (7). Den skal ha vært ferdig i 1971. Designen var av implosjonstype, der en underkritisk kule av fissilt materiale blir komprimert til overkritikalitet før detonasjon (appendiks A.4). Plutonium skal ha vært fissilt materiale. Fabrikasjon av delene og praktisk bygging skal ha begynt tidlig i 1972, altså ganske rett etter 1971-krigen. (11) Øyensynlig lagde India sin egen design og fabrikkerte kjerneladningen uten utenlandsk assistanse (13).

Plutoniumet til Smiling Buddha kom fra driften av Cirus ved BARC. Det brukte brenselet ble sendt til gjenvinning ved Indias eneste daværende gjenvinningsanlegg like ved, Trombay-anlegget, som separerte ut plutoniumet.

Massen plutonium som ble brukt i Smiling Buddha, er ikke offentliggjort. Men mange kilder i det indiske statsapparatet skal ha sagt at 10 kg ble brukt totalt. Noe ble nok tapt i byggingen, slik at Smiling Buddha i så fall bestod av mindre enn 10 kg plutonium. Enkelte analytikere (som Albright og Hibbs (14)) har foreslått at ladningen kan ha bestått av 6 – 8 kg plutonium.<sup>10</sup> (14)

Det skal ha tatt to år (1971 – 1973) å produsere plutoniumsmetallet, det høyeksplosive implosjonssystemet og den tilknyttede elektronikken. Nøytronkilden skal ha hatt kodenavnet ”Blomst” og vært av polonium-210/beryllium-9-type (11) (14) (15) (appendiks A.4). Den indiske nøytronkilden tok lengre tid å konstruere enn forventet. Poloniumet ble lagd ved å bestråle vismut i en kjernereaktor. (14)

Privatkilden Sublette (15) hevder, uten kildehenvisning, at anordningen Smiling Buddha hadde en diameter på 1,25 meter og masse på 1 400 kg. Det skal ha vært meningen å implodere plutoniumet til dobbel massetetthet.

I september 1972 kom statsminister Indira Gandhis formelle godkjenning for å foreta de siste ingeniørproppene som forberedelse til Indias første kjernefysiske eksplosjon (11). Den ”fredelige” prøvesprengningen Smiling Buddha ble utført den 18. mai 1974. Siden den var underjordisk, gjorde ikke LTBT-partene i India noe folkerettslig galt. Eksplosjonen ble annonsert å ha vært på 12 kt<sup>11</sup> og en suksess. I FFI-rapporten (2) om prøvesprengningene i India og Pakistan drøfter vi prøvesprengningen og konkluderer med at den trolig var en suksess, slik som annonsert.

Prøvesprengningen viste at Atoms for Peace-programmet hadde mislykkes. Til tross for at India hadde lovet å bruke den kjernefysiske teknologien fredelig, ble India nå beskyldt for å ha utnyttet teknologien i våpenøyemed. India på sin side unnskyldte seg med at eksplosjonen var ”fredelig”, slik at forpliktelsene var overholdt. Det påståtte avtalebruddet gjorde Canada forarget. Etter i to år å ha forsøkt å overtale India til å akseptere strengere vilkår, brøt Canada i 1976 alt kjernefysisk samarbeid med India. USA reagerte med å stoppe leveransene av det anrikede brenselet til kokvannsreaktorene i Tarapur.

India har hatt god nytte av utenlandsk støtte i den første delen av sitt kjernefysiske program. Etter at mistanken om ikke-fredelig hensikt kom i 1974, måtte staten utvikle sin egen ekspertise. Det har vært en stor pris å betale. I 1978 ble Nuclear Suppliers Group (NSG) dannet som direkte konsekvens av Smiling Buddha (16). Gruppen innførte strengere eksportkriterier. India mistet også mye utenlandsk assistanse i utbyggingen av kommersielle kraftverk. Utbygging på egen hånd viste seg å bli vanskelig og dyrt, og de planlagte målene ble ikke nådd. Tidlig på 1970-tallet satte AEC seg som mål å utbygge til 8 000 MW<sub>e</sub> innen 1981, men nådde bare om lag en tiendedel. Elektrisitetsmangelen har historisk forsinket veksten i industri og økonomi. (13)

<sup>10</sup> Vanligvis antar man at stater med teknisk avanserte kjernevåpenprogrammer kan benytte 2 – 5 kg våpenplutonium i hver fisjonsladning. Mer i appendiks A.5.

<sup>11</sup> Sprengkraften til kjernefysiske eksplosjoner oppgis i enheter av *kilotonn (kt)*. Man angir hvor mange tusen tonn konvensjonelt sprengstoff (TNT) man måtte ha benyttet for å få samme sprengkraft. Se appendiks A.4.

## 2.4 Senere kjernefysisk opprustning (etter 1974)

Offisielt var ikke den første indiske prøvesprengningen i 1974 starten på å bygge et arsenal av kjernevåpen. Inntil 1998 hevdet India å ikke ha planer om å lage kjernevåpen og å ikke være i besittelse av kjernevåpen. Men det er kjent at India styrket det kjernefysiske forskningsprogrammet og utviklingsprogrammet for leveringsmidler. Sammen med Pakistan og Israel har man kalt India en såkalt *terskelstat*, det vil si en stat som er antatt å ha kjernefysiske ladninger eller evnen til raskt å kunne sette sammen slike.

Noen analytikere (for eksempel D Albright (14)) mener det er korrekt at India valgte å begrense seg til å la kjernevåpenmuligheten være åpen. Andre mener at stridshoder ble bygd. Hibbs (17) hevder (basert på ”kilder i Indias utviklingsprogram for kjernevåpen”) at DAE rett etter Smiling Buddha begynte å produsere ladninger etter ordre fra statsministerens kontor. Frem til 1998 skal produksjonen bare ha blitt avbrutt av én pause (med uspesifisert lengde). (17)

Uansett når ladningene ble bygd, tror vi at de hadde ganske lik design som Smiling Buddha fordi India sannsynligvis at denne fungerer. De høye kostnadene og risikoene tatt i betraktning vil staten trolig bare sette i gang serieproduksjon av ladninger som har en design staten vet virker. Men India har nok fortsatt sin forskning og utvikling etter 1974 for å forbedre designen. En mulig forbedring kan være å lage mindre og lettere ladninger, som dermed er enklere å levere og gir en bedre utnyttelse av det fissile materialet. En indikasjon er at India importerte svært rent berylliummetall på 1980-tallet. Beryllium kan brukes i såkalte reflektorer, som sender utgående nøytroner tilbake til kjernen, slik at bomben blir mer effektiv.

Ifølge rykter, som siteres av seriøse kilder, skal statsminister Indira Gandhi tentativt ha gått med på en annen kjernefysisk prøvesprengning sent i 1982 eller tidlig i 1983. Gandhi skal imidlertid før detonasjon ha blitt konfrontert med amerikanske satellittbilder som viste aktivitet i Pokhran, og hun skal ha ombestemt seg i siste øyeblikk. (7)

Da Pakistan på 1980-tallet gjorde suksess med sitt kjernevåpenprogram, skal India ha akselerert sitt eget. (14) Utvidelsen av infrastrukturen siden 1974 har vært påtagelig. Det ble gjennomført en ny runde med prøvesprengninger i mai 1998. Vi gir i det følgende en kort oppsummering av utviklingen.

Siden 1974 har India:

- Utvidet antallet kommersielle kraftreaktorer betydelig. Nå er de 14 i tallet. Staten har per 2004 ytterligere åtte under bygging.
- Bygd ytterligere én forskningsreaktor som med høy sannsynlighet antas å være er dedikert til våpenproduksjon: Dhruva. Dhruva nådde kritikalitet for første gang i 1985. Reaktoren er et helindisk prosjekt, og designen er som en forstørring av Cirus.
- Bygd én thoriumsreaktor: Kamini i Kalpakkam. Dette er en forskningsreaktor, men et kraftprogram basert på thoriumsreaktorer er planlagt.
- Bygd én formeringsreaktor, forskningsreaktoren FBTR i Kalpakkam. Bygging av en

- oppfølger har startet, og det skal bli et kraftprogram basert på formeringsreaktorer.
- Utvidet antallet tungtvannsanlegg i drift fra ett til fem. De nye kom på starten av 1980-tallet og på starten av 1990-tallet.
  - Økt antallet fullskala gjenvinningsanlegg for plutonium (og uran) fra ett til tre. De to nye er PREFRE i Tarapur og KARP i Kalpakkam.
  - Satt i drift et fullskala gjenvinningsanlegg for thorium og uran-233 fra bestrålt thorium (Uranium Thorium Separation Facility) i Trombay.
  - Startet bygging av et fullskala gjenvinningsanlegg for brukt brensel fra formeringsreaktorer (FRFRP) i Kalpakkam.
  - Startet anrikning av uran. Anleggene ligger ved BARC og Rattehalli, og det faktiske utbyttet er hemmelig.
  - Startet forsøkskjøring av en reaktormodell til Indias fremtidige atomubåt: Advanced Technology Vessel (ATV) i Kalpakkam.
  - Undertegnet en bilateral avtale med Pakistan om ikke å skade hverandres kjernefysiske anlegg: *India-Pakistan Agreement on the Prohibition of Attack Against Nuclear Installations and Facilities*. Avtalen ble undertegnet 31. desember 1988. Som del av denne avtalen, informerer partene hverandre årlig om lokaliseringen av sine respektive anlegg, men ikke om hva anleggene brukes til. Informasjonen har frem til nå aldri blitt publisert.
  - Startet opp et termonukleært program.
  - Drevet lobbyvirksomhet mot å gi Ikke-spredningsavtalen evig varighet (i 1995) (13). Årsaken var trolig at man da kan risikere at avtalen blir en hvilepute for de anerkjente kjernevåpenstatene, uten noen tidsfrist for endelig avvikling av deres kjernefysiske arsener.
  - Avvist å undertegne og ratifisere Prøvestansavtalen (CTBT)<sup>12</sup>, som skal forby også underjordiske prøvesprengninger. Prøvestansavtalen ble ferdigforhandlet i 1996. India er én av de 44 såkalte annekts 2-statene<sup>13</sup>, hvis ratifikasjon er nødvendig for at avtalen skal tre i kraft. Med dette gikk India over fra offisielt å være motstander av prøvesprengninger til å være én av flere stater som blokkerer ikrafttredelsen av et forbud. Den offisielle indiske holdningen er at en prøvestans vil favorisere de anerkjente kjernevåpenstatene. Disse har allerede kompetanse på utvikling av kjernevåpen og har mindre behov for å prøvesprengning.
  - Utført ytterligere én runde med underjordiske, kjernefysiske prøvesprengninger: Shakti-98 i mai 1998. Offisielt bestod runden av fem ladninger.
  - Erklært seg som kjernevåpenstat i forbindelse med de kjernefysiske prøvesprengningene i 1998.
  - Vært første stat som brøt det etablerte skillet mellom kjernevåpenstater og ikke-

<sup>12</sup> Avtalens fulle navn er *Traktat om totalforbud mot kjernefysiske prøvesprengninger (CTBT)* av 10. september 1996. Norske kortnavn er "Prøvestansavtalen" eller "CTBT-avtalen". Det engelske navnet er *Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty*, som er grunnlaget for forkortelsen "CTBT". (5)

<sup>13</sup> *Annekts 2-statene* er definert i CTBT og er de statene som formelt deltok på Konferansen om nedrustning i 1996, og som i 1996 var i besittelse av minst én kjernereaktor (kraftreaktor eller forskningsreaktor). Det er 44 annekts 2-stater, og Norge er blant disse. Alle annekts 2-statene må ratifisere CTBT før den kan tre i kraft. Begrepet skiller seg fra begrepet *kjernefysisk kvalifisert* (se ordforklaringer i appendiks D).

kjernevåpenstater (ved sin erklæring som kjernevåpenstat i 1998). Det førte til frykt for en ”kjedereaksjon” av kjernefysisk spredning, og for at man skulle få ”kjernevåpen i hver bakgård”.

- Blitt nektet innrømmelse som kjernevåpenstat av Tilsynskonferansen til Ikke-spredningsavtalen i 2000 (*NPT Review Conference*). Det ble videre beklaget at India (og Pakistan) hadde prøvesprengt i 1998.

Prøvesprengningene i mai 1998 kan ha gjenprøvd Smiling Buddha-designen (eller en lettere variasjon av den), og/eller den kan ha prøvd en eller flere nye designere. For prøvesprengningene i 1998 antas at i hvert fall de fleste bombene hadde plutonium som fissilt materiale, siden India hadde store forråd av ikke-overvåket plutonium. Plutoniumet kan ha stammet fra både Cirus og Dhruva. Det kan ikke utelukkes at noe høyanrikt uran ble brukt, og da hovedsakelig fra Rattehalli-anlegget i Mysore (startet opp 1990). (Se appendiks A.2.1 for definisjoner av høy- og lavanrikt uran og våpenuran.)

India hevdet at staten også detonerte en totrinns termonukleær ladning i 1998. Vi mener det verken kan bekreftes eller avkreftes, men at det heller kan ha vært snakk om et totrinns termonukleært *eksperiment* (med et mindre antall fusjonsreaksjoner) i stedet for en full termonukleær prøvesprengning (2). Mer i delkapittel 3.9.

I dag har India all kompetanse til selv å lage kjernevåpen, i hvert fall fisjonsvåpen. Staten hevder selv å kunne lage et bredt spekter av kjernevåpen med forskjellig sprengkraft, med ulike mulige anvendelser og for ulike mulige leveringsmidler. Spekteret hevdes inkludere lavytelsesladninger, fisjonsvåpen, standard fisjonsvåpen, boostede fisjonsvåpen og termonukleære våpen (opptil 200 kt, ifølge India).

Appendiks E presenterer angivelig utenlandsk assistanse gjennom tidene til Indias kjernefysiske program.

### **3 DAGENS KJERNEFYSISKE INFRASTRUKTUR OG RESULTERENDE VÅPENPRODUKSJON**

Dette kapitlet presenterer Indias kjernefysiske infrastruktur og dennes våpenproduksjon. Vi starter i delkapittel 3.1 med en presentasjon av organisasjonsstrukturen og et overordnet blick på de to viktigste forskningssentrene i kjernevåpenprogrammet (BARC og IGCAR). Figur 3-1 viser et geografisk kart over den kjernefysiske infrastrukturen i India per 2003. Deretter følger en teknisk behandling av anleggene som inngår i de ulike trinnene i våpenproduksjonen. Vi starter da med trinnene som er grunnlaget for drift av kjernereaktorene: uranutvinningen (delkapittel 3.2), brenselsfabrikasjonen (delkapittel 3.3) og tungtvannsproduksjonen (delkapittel 3.4). Delkapittel 3.5 tar for seg forskningsreaktorene og de kommersielle kraftreaktorene. Deretter omhandles produksjonen av fissilt materiale ved plutoniumgjenvinning (delkapittel 3.6) og urananrikning (delkapittel 3.7). Delkapittel 3.8 gir en skjematisk oversikt over brenselets antatte kretsløp. Det siste delkapitlet (3.9) presenterer indikasjonene på at India har

et termonukleært program.

### 3.1 Organisasjonsstruktur

Indias kjernefysiske våpen lages i samarbeid mellom Department of Atomic Energy (DAE) og Defence Research & Development Organisation (DRDO).

DAE ble stiftet i 1954. Det leder flere typer institusjoner, blant andre

- Organisasjoner for forskning og utvikling, som for eksempel
  - Bhabha Atomic Research Centre (BARC) i Trombay;
  - Indira Gandhi Centre for Atomic Research (IGCAR) i Kalpakkam og
  - Center for Advanced Technology i Indore;
- Foretak i offentlig sektor, som for eksempel
  - Nuclear Power Corporation of India Ltd (NPCIL) i Mumbai, som er ansvarlig for de kommersielle kjernekraftverkene og
  - Uranium Corporation of India Ltd (UCIL) i Jaduguda;
- Industribedrifter, som for eksempel
  - Heavy Water Board i Mumbai og
  - Nuclear Fuel Complex i Hyderabad.

I appendiks F har vi et diagram som viser den fulle oversikten over organisasjonsstrukturen.

Figur 3-1 viser et kart der de forskjellige kjernefysiske installasjonene er lokalisert. (Et lignende offisielt kart er også inkludert i appendiks F, men her er enkelte viktige anlegg utelatt.)

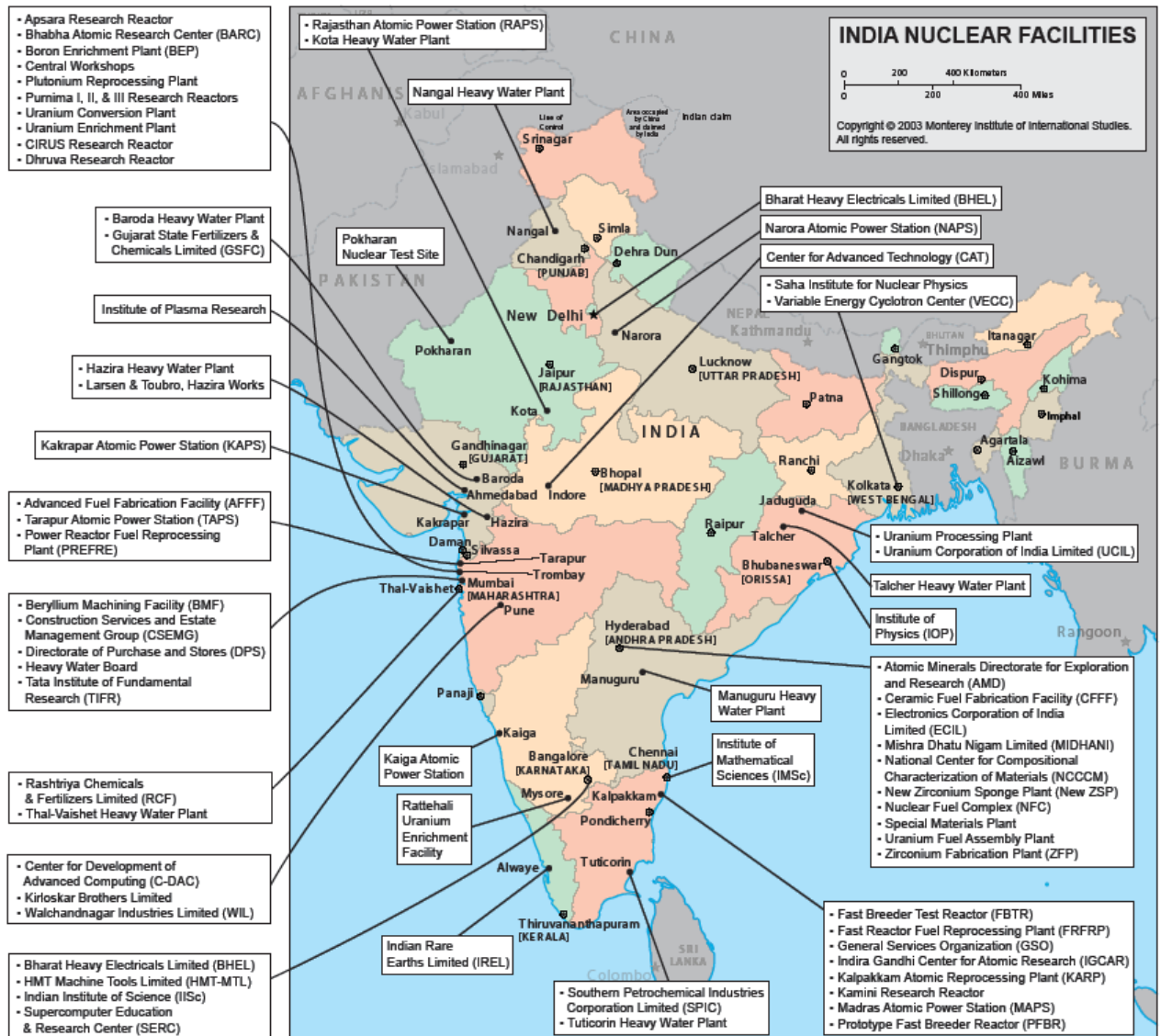
DAEs største og viktigste senter i kjernevåpenproduksjonen er BARC, som ble stiftet i 1954. BARC kalles ofte selve nerven i det indiske kjernevåpenprogrammet og har ansvaret for mange kjernefysiske forsknings- og våpenaktiviteter.

BARC er ansvarlig for utviklingen av kjernevåpnene. BARC skal ha designet og fabrikkert hele spekteret av kjernefysiske ladninger som India hevder å ha utviklet: ladninger basert på fisjon og boostet fisjon, termonukleære ladninger og subkilotonnladninger. Senteret har hatt ansvaret for utviklingen av relevante dataprogrammer. Andre våpenrelaterte forskningsområder er å forlenge lagringstiden til komponentene i våpnene og å forbedre forholdet mellom sprengkraft og masse. (18)

BARC har også ansvaret for infrastrukturen som brukes i våpenutviklingen, og for forskningsreaktorene og nye reaktoraktiviteter (som thoriumsreaktorer og formeringsreaktorer, mer i delkapittel 3.5).

BARC huser de fire eneste anleggene som med høy sannsynlighet brukes i kjernevåpenproduksjonen: Anlegget for fabrikasjon av brensel av metallisk naturlig uran i Trombay, de to forskningsreaktorene Cirus og Dhruva, samt Trombay gjenvinningsanlegg.





Figur 3-1 Kartet viser den kjernefysiske infrastrukturen i India per 2003. Det er hentet fra Nuclear Threat Initiative (19). Kartet er utarbeidet av Monterey Institute of International Studies, for Nuclear Threat Initiative (19). Gjengitt med tillatelse. En kommentar er at gjenvinningsanleggene Uranium Thorium Separation Facility i Trombay og Lead Mini Cell i Kalpakkam mangler (se delkapittel 3.6).

Disse fire anleggene gir sammen en jevn forsyning av våpenplutonium. (Se appendiks A.2.2 for definisjon av våpenplutonium og reaktorplutonium.) Cirus og Dhruva benyttes også til generell kjernefysisk forskning og produksjon av radioisotoper.

BARC gjenvinner uran-233 (fra bestrålt thorium) i et eget anlegg (delkapittel 3.6).

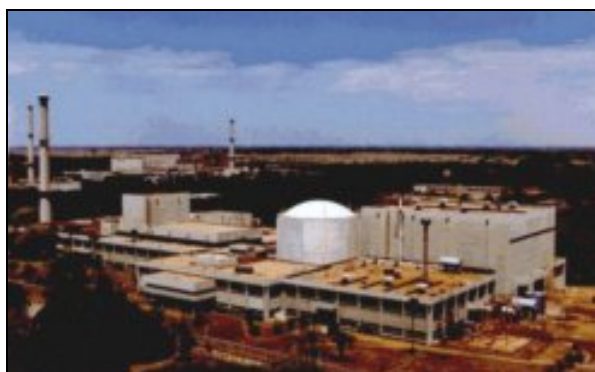
Forskningscenteret produserer flere typer brensel til forskningsreaktorer, som metallisk uranbrensel (til Cirus og Dhruva) og plutoniumholdig brensel. Dessuten produserer det ikke-fissile materialer som også er aktuelle i kjernevåpen, som litium-6, tritium og beryllium (20) (21) (22).

BARC er også senteret som driver forskning på anrikning av uran og på et termonukleært

program (23). (Mer i delkapitlene 3.7 og 3.9.)

I 1997 ble det meldt at BARC hadde over 6 750 ansatte (24).

DAEs nest største kjernefysiske forskningssenter er IGCAR, som ble stiftet i 1971. Se Figur 3-2. Hovedbeskjeftigelsen er forskning på formeringsreaktorer (appendiks A.3). Her er formeringsreaktoren FBTR, og her skal også dens etterfølger PFBR ligge. Det eksisterer allerede ett gjenvinningsanlegg der for gjenvinning fra de vanlige kraftreaktorene (KARP). Ett gjenvinningsanlegg for brukt brensel fra formeringsreaktorer (FRFRP) er under bygging. Det er også IGCAR som huser Kamini, som er thoriumsreaktor (appendiks A.3). (Mer om disse anleggene i delkapitlene 3.5 og 3.6.)



*Figur 3-2 Indira Gandhi Centre for Atomic Research (IGCAR) og formeringsreaktoren FBTR. Hentet fra Global Security.Org (25).*

Den urandrevne trykkvannsreaktormodellen til Indias fremtidige atomubåt (Advanced Technology Vessel, ATV) (avsnitt 3.5.2) er et samarbeidsprosjekt mellom BARC og IGCAR.

DRDO er spredt over flere underavdelinger. En av organisasjonens oppgaver er å gjøre de kjernefysiske ladningene om til stridshoder som er klare for bruk. DRDO lager eksplosivene og den eksplosivrelaterte teknologien (for eksempel detonatorer og triggersystemer til de kjernefysiske ladningene), lager sikkerhetslåsene og setter våpnene sammen. DRDO vil også være den ansvarlige instansen ved gjennomføring av eksperimenter på og prøvesprengninger av ladningene. En annen oppgave er å teste missilene, som kan være leveringsmiddel for stridshoder. (18)

Enkelte analytikere har påpekt at indiske pressemeldinger tyder på at DRDOs rolle i det kjernefysiske programmet økte før prøvesprengningene i 1998. En slik forskyvning kunne kanskje tolkes som om fokus flyttes fra vitenskapelig innsats til et militært program (for våpen som er leverbare). (21)

### **3.2 Uranutvinning**

India har et tilstrekkelig, men ikke spesielt stort, forråd av uran. Det er det offentlige foretaket Uranium Corporation of India Ltd (UCIL), underlagt DAE, som er ansvarlig for gruvedriften og prosessen frem til urankonsentrat.

UCIL driver fire urangruver. De befinner seg i Jaduguda, Bhatin, Narwapahar og Turamdih. Jaduguda var den første. I Mosabani er det en kobbergruve der uran (per 2003) blir hentet ut

som biprodukt. UCIL har ett anlegg for uranutvinning (til urankonsentrat), og det er i Jaduguda. (26) (Alle opplysninger er per 2003.)

Tabell 3.1 viser siste innrapporterte data for kapasiteten og produksjonen i Jaduguda.<sup>14</sup> For de andre urangruvene har vi ikke funnet noen tallverdier.

Navn	Type	Kapasitet	Produksjon	Produkt	Status	IAEA
Jaduguda	Urangruve	200 tU/y	115 tU/y	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	I drift	Ikke relevant

Tabell 3.1 Listeverdier for Indias urangruve Jaduguda. Størrelsene på kapasitet og produksjon kommer fra 2002 World Nuclear Industry Handbook (27), men det er ikke oppgitt hvilket år India sist rapporterte inn. Størrelsene kan være utdaterte. Benevnelsen tU/y står for "tonn uran per år".

Størrelsene kan være utdaterte, men de brukes fremdeles av mange kilder. Produksjonen skal ha vært på 115 tonn uran per år (tU/y). Det må bemerkes at dette tallet bare inkluderer massen til det som eksplisitt står i benevnelsen, nemlig uranet i det ferdige urankonsentratet (etter at forurensningene er fjernet). Alle uranisotoper<sup>15</sup> er inkludert. Massen til oksygenet er derfor trukket ut av denne størrelsen.

UCIL planlegger per 2003 å starte urangruvedrift flere steder i India: i Jharkhand, Andhra Pradesh og Meghalaya (26).

### 3.3 Brenselsfabrikasjon

India har flere anlegg for fabrikasjon av reaktorbrensel. Vi går gjennom informasjonen om disse nøye, spesielt for brensel til trykktungtvannsreaktorer, fordi vi trenger informasjonen til beregningene på plutoniumsproduksjonen i kapittel 4. Først tar vi brensel til kommersielle reaktorer, deretter til forskningsreaktorer.

DAEs industribedrift Nuclear Fuel Complex (NFC) i Hyderabad er ansvarlig for å gjøre om urankonsentratet til brenselknipper for de kommersielle kjernekraftverkene. I Hyderabad produseres både uranbrensel til de kommersielle trykktungtvannsreaktorene (PHWR-brensel, som er oksidbrensel av naturlig uran) og uranbrensel til kokvannsreaktorene (BWR-brensel, som er oksidbrensel av lavanrikt uran). Hyderabad har produsert brensel siden 1971.

Det er to NFC-anlegg i Hyderabad som produserer brenselknipper. Det første er Ceramix Fuel Fabrication Plant (CFFP), som har operert siden starten, og som produserer både BWR-brensel og PHWR-brensel. Siden 1989 har kapasiteten vært 300 tonn brenselknipper per år (28).

Det andre anlegget i Hyderabad er New Uranium Fuel Assembly Plant. Siden behovet for

<sup>14</sup> Et anleggs kapasitet er som regel forskjellig fra produksjonen. *Kapasiteten* angir hvor mye anlegget maksimalt har mulighet til å produsere eller prosessere per år. *Produksjonen* angir hvor mye anlegget faktisk produserer eller prosesserer per år. Mulige årsaker til at produksjonen kan være lavere enn kapasiteten er for eksempel driftsproblemer, mangel på råstoff å sende inn, eller mindre behov for produktet.

<sup>15</sup> Som vi ser i appendiks A.2, består naturlig uran hovedsakelig av uran-238, men man har også noe uran-235.

BWR-brensel ikke har økt, produserer det høyst sannsynlig bare PHWR-brensel. Anlegget stod ferdig i 1997 med en kapasitet på 300 tonn brenselknipper per år (28).<sup>16</sup> Det ble ikke tatt i bruk i 1997 (28), og oppstartsår er usikkert. Man kan imidlertid slutte at det nå er i bruk. I avisen Times of India (29) ble det nemlig i oktober 2001 oppgitt en produksjon av brensel til PHWR-reaktorer på 410 tonn brenselknipper per år<sup>17</sup>, noe som er høyere enn kapasiteten til CFFP. Trolig er derfor dagens kapasitet for brenselsfabrikasjon til de kommersielle reaktorene (både PHWR og BWR) på 600 tonn brenselknipper per år.<sup>18</sup> Det er ikke gitt at anleggene fabrikkerer så mye, for eksempel fordi behovet kan være mye mindre, eller på grunn av driftsproblemer.

Vi har benyttet benevnelsen ”tonn brenselknipper per år”. Brenselet er av uranoksid, og trolig inkluderer måltallet oksygenet, siden ikke annet er anført. Den nøyaktige sammensetningen av brenselet er ikke oppgitt, men forskjellen blir ikke stor siden oksygen er mye lettere enn uran. La oss gjøre en tilnærming og anta urandioksid, for så å konvertere måltallene til tonn uran per år (tU/y) ved å multiplisere dem med 238/270 (massetallet til uran dividert med massetallet til urandioksid). Tonn uran per år er en vanlig benevnelse på ubrukt uranbrensel.<sup>19</sup> Da får vi at dagens kapasitet for brenselsfabrikasjon til kommersielle reaktorer er 530 tU/y.

I 1990-utgaven av World Nuclear Industry Handbook listes kapasiteten for brenselsfabrikasjonen i Hyderabad til 200 tonn/år<sup>20</sup> for PHWR-brensel og 25 tonn/år for BWR-brensel (31). Sammenlagt gir dette 225 tonn/år, som samsvarer med historisk totalkapasitet for Hyderabad i andre kilder (28).<sup>21</sup> Med enkle beregninger kan man vise at forsyningen 25 tonn/år er tilstrekkelig for de to kokvannsreaktorene (se avsnitt 4.4.1). Fordi Indias antall kokvannsreaktorer har vært konstant, antar vi at kapasiteten på BWR-brenselet har vært 25 tonn/år gjennom hele perioden, mens kapasiteten på PHWR-brenselet har vært det resterende av Hyderabad-produksjonen og derfor økende. Dagens kapasitet for fabrikasjon av kommersielt PHWR-brensel er derfor om lag 510 tU/y.

Ved BARC i Trombay er det et anlegg<sup>22</sup> som fabrikkerer brensel til forskningsreaktorene og

<sup>16</sup> Kapasiteten ble opprinnelig (i 1992) foreslått til 600 tonn brenselknipper per år, men i 1997 ble det meldt at den var blitt skalert ned til 300 tonn brenselknipper per år. (28)

<sup>17</sup> Hyderabad produserte i løpet av budsjettåret 2000-2001 27 000 stk brenselknipper for PHWR-brensel, noe som vil ha en masse på om lag 410 tonn, fordi massen av ett brenselknippe er 15,2 kg uranoksid (29) (30).

<sup>18</sup> Vi har lett etter nyere bekreftelser. India har ikke besvart henvendelsene fra Nuclear Engineering International (forlaget til World Nuclear Industry Handbook) siden midten av 1990-tallet (31). Kapasiteten for brenselsfabrikasjon er ikke oppgitt i DAEs årsrapport 2002-2003. Comptroller and Auditor General of India, som i 1997 publiserte historiske kapasiteter, har tilsynelatende ikke gjort det igjen. Vi har også sendt en forespørsel til DAE, men ikke fått svar. Vi finner imidlertid liten grunn til å tvile på at kapasiteten skulle være 600 tonn brenselknipper per år i dag, siden dette stod i 1997 hos Comptroller and Auditor General of India (28). En ytterligere utvidelse er ikke nevnt.

<sup>19</sup> Man kan også benytte benevnelsen ”tonn tungmetaller per år” (som inkluderer uran, plutonium, thorium m m). Dette skrives tHM/y og står for ”tons heavy metal per year”. (Her er også massen til oksygenet trukket ut.) Siden ubrukt uranbrensel bare består av ett tungmetall (uran), blir måltallet det samme.

<sup>20</sup> World Nuclear Industry Handbook benytter benevnelsen tHM/y, men av diverse årsaker tror vi at det egentlig skal være ”tonn brenselknipper per år”. Det har imidlertid liten betydning for måltallet for kapasiteten for BWR-brensel.

<sup>21</sup> Det samsvarer med kapasiteten før 1989 ifølge Comptroller and Auditor General of India (28), så World Nuclear Industry Handbook ligger nok noen år etter.

<sup>22</sup> Anlegget (i hvert fall den delen som produserer metallisk uran) kalles Uranium Metal Plant.

som startet opp i 1959 (24) (32). Den første produksjonen var brensel av metallisk, naturlig uran til Cirus. Nå fabrikkerer anlegget også slikt brensel til Dhruva, thoriumsbrensel til Kamini og uran-plutonium-karbidbrensel til FBTR (32). Anlegget produserte også plutoniumsbrensel til Purnima. (Mer om forskningsreaktorene i avsnittene 3.5.1 og 3.5.2.)

I Tarapur er det satt opp et anlegg som opprinnelig produserte MOX-brensel for kokvannsreaktorene i Tarapur. Anlegget heter Advanced Fuel Fabrication Facility (AFFF). Driftsansvaret ligger hos BARC. Anlegget ble per 2003 bekreftet å være i drift (26). Her skal etter sigende fabrikkasjonen av MOX-brensel til den kommende formeringsreaktoren PFBR legges (23). BARC arbeider per 2003 med å designe og sette opp flere anlegg for å møte det økte behovet som PFBR vil medføre. Ett nytt anlegg er under oppføring per 2003. (26)

Navn	Brenselstype	Kapasitet	Produksjon	Status	IAEA
Hyderabad	PHWR-brensel	510 tU/y (2003)	360 tU/y (2001)	I drift	Nei
Hyderabad	BWR-brensel	25 tU/y (2003)	17 tU/y (2001)	I drift	Ja
Tarapur	MOX	20 tonn MOX/y ? (1990-tallet)		I drift	Bare når overvåket brensel er tilstede
Trombay (BARC)	Til forsknings- reaktorer	135 tHM/y ? (1990-tallet)		I drift	Nei

*Tabell 3.2 De ferskeste, tilgjengelige data vedrørende Indias brenselproduksjon. Årstallet for opplysningenes antatte datostempling er oppgitt i parentesene. De to størrelsene for fabrikkasjonskapasiteten i Hyderabad er trolig de eneste oppdaterte størrelsene. Produksjonen av BWR-brensel vil dessuten neppe forandres vesentlig med tiden, siden antallet kokvannsreaktorer er uendret. Kildene er Comptroller and Auditor General of India (28), 2002 World Nuclear Industry Handbook (27), Albright et al (34) og Times of India (29).<sup>23</sup> Benevnelsen tHM/y står for "tons heavy metal per year" og betyr "tonn tungmetaller per år" (uran, plutonium, thorium m m). Benevnelsen tU/y står for "tonn uran per år".*

<sup>23</sup> Kapasiteten for PHWR-brensel er basert på Comptroller and Auditor General of India (28), og som vi har sett antas størrelsen å være gyldig per 2003. 2002 World Nuclear Industry Handbook (27) er kilden til verdien for kapasitet for BWR-brensel. Forlaget forteller at denne informasjonen stammer fra "midten på 1990-tallet", som var siste gang India svarte på deres henvendelse (31). Kapasiteten for BWR-brenselet har neppe økt. Størrelsen på fabrikkasjonen i Tarapur kommer fra Albright et al (34) (side 222) og stammer kanskje fra starten på 1990-tallet, men kan ha økt. Når det gjelder brenselproduksjonen i Trombay, er det World Nuclear Industry Handbook Handbook fra 1990 og 1994 som oppgir størrelsen 135 tHM/y, ifølge våre kilder (31) (33). Type brensel er ikke spesifisert i håndboken, bare at det foregår ved BARC. Koch (24) hevder det er metallisk uranbrensel (som vi forstår til Cirus og Dhruva), og også Nayyar et al (33) tar det som PHWR-brensel. Cirus og Dhruva trenger imidlertid ikke så mye brensel. Vi tror at alle typer brensel som produseres i Trombay inngår i denne størrelsen, det vil si alt brensel til forskningsreaktorene: thoriumsbrenselet, karbidbrenselet og plutoniumsbrenselet – i tillegg til uranbrenselet til Cirus, Dhruva og Apsara. Siden 1990-tallet har India begynt å produsere brensel til flere forskningsreaktorer, som per 2003 enten er drift eller planlagt (se avsnitt 3.5.1). Derfor er dagens produksjon ved Trombay usikker. De to tallverdiene for produksjonen av PHWR- og BWR-brensel i Hyderabad er utledet fra opplysninger gitt i Times of India (29) og var gyldige for perioden 2000-2001.

Tabell 3.2 viser de mest oppdaterte data vedrørende Indias brenselabriksjon som har vært tilgjengelige for oss. Vi kan bare gå god for at kapasiteter som er listet for Hyderabad er gode verdier i dag.

### 3.4 Produksjon av tungtvann

India har fem tungtvannsanlegg i drift per 2003. Det er Heavy Water Board, underlagt DAE, som er ansvarlig. Indias produksjon av tungtvann går til kjernereaktorene som drives av naturlig uran, hvilket gjelder flertallet, inkludert Cirus og Dhruva. (Den tekniske viktigheten av tungtvann er diskutert i appendiks A.3.)

I starten var India avhengig av import, men i dag har staten stor nok kapasitet til både å dekke eget behov og til å kunne eksportere. I 2003 eksporterte India til Sør-Korea (26) (35). Kina skal etter planen bli en kjøper (35), og Romania har tidligere kjøpt. Vi antar at den samlede kapasiteten i dag er på 580 m<sup>3</sup>/år.

Tabell 3.3 viser en oversikt over tungtvannsanleggene som er i drift, mens Tabell 3.4 viser tungtvannsanleggene som ikke er i drift (per 2003).

Navn	Kapasitet [m <sup>3</sup> /år]	Status	Start	Metode	IAEA
Tuticorin (Tamilnadu)	71	I drift	1978	Ammoniakk	Ikke relevant
Kota (Rajasthan)	100	I drift	1985	Hydrogensulfid	Ikke relevant
Thal (Maharashtra)	110	I drift	1987	Ammoniakk	Ikke relevant
Hazira (Gujarat)	110	I drift	1991	Ammoniakk	Ikke relevant
Manuguru (Andhra Pradesh)	185	I drift	1991	Hydrogensulfid	Ikke relevant

*Tabell 3.3 Indias fem anlegg for produksjon av tungtvann som er i drift per 2003. Informasjonen er kombinert fra Heavy Water Board (36), Cirincione (37), DAEs årsrapport 2002-2003 (26) og 2002 World Nuclear Industry Handbook (27). "Start" er året anleggene ble kommisjonert. De fleste anleggene baserer seg på en ammoniakkbasert prosess, mens et mindre antall benytter seg av en prosess basert på hydrogensulfid.*

Nangal er Indias første tungtvannsanlegg. Det ble levert i 1962 av et vesttysk firma, Linde. Som vi skal se i appendiks E.1, forsøkte Norsk Hydro å få kontrakten på å supplere Nangal med elektrolyseutstyr, men fikk den ikke. Nangal har vært essensielt i Indias produksjon av våpenplutonium. På 1980-tallet gikk halvparten av Nangals tungtvannsproduksjon med til å drive Cirus. Dhruva fikk også noe tungtvann derfra. På 1990-tallet skal kapasiteten ha blitt halvert (i forhold til hva som står listet i Tabell 3.4). (24) Sommeren 2002 hadde Nangal

Navn	Kapasitet [m <sup>3</sup> /år]	Status	Start	Metode	IAEA
Nangal (Punjab)	14	Nedlagt i 2002	1962	Destillasjon	Ikke relevant
Baroda (Gujarat)	67	Suspendert i 1994	1977	Ammoniakk	Ikke relevant
Talcher (Orissa)	To faser à 62	Suspendert i 1994 på ubestemt tid	1978	Ammoniakk	Ikke relevant

*Tabell 3.4 Indias tre anlegg for produksjon av tungtvann som ikke er i drift per 2003. Informasjonen er kombinert fra Heavy Water Board (36), Cirincione (37), DAEs årsrapport 2002-2003 (26) og 2002 World Nuclear Industry Handbook (27). "Start" er året anleggene ble kommisjonert.*

tjenestegjort i 40 år og ble vedtatt nedlagt (26).

Ifølge Heavy Water Board (36) ble Baroda suspendert i 1994. Ifølge DAE (35) skal Baroda per 2004 "snart" settes i drift igjen. Ifølge Cirincione (37) var Manuguru under utvidelse per 2002, men man kan ikke finne noe informasjon om dette i DAEs årsrapport 2002-2003 (26).

### 3.5 Kjernerreaktorer

Indias reaktorer kan deles inn i to hovedgrupper: 1) forskningsreaktorene og 2) de kommersielle kraftreaktorene (også kalt sivile), som benyttes til elektrisitetsproduksjon.

To av forskningsreaktorene (Cirus og Dhruva – se avsnitt 3.5.1) brukes høyst sannsynlig til produksjon av plutonium for bruk i kjernevåpenprogrammet. De er av trykktungtvannstypen og CANDU-modell (appendiks A.3), ikke-overvåkede og lokalisert ved BARC, der infrastruktur/logistikk er lagt til rette for våpenrettede aktiviteter.

Det er ingen kjent informasjon om at flere enn de to brukes innen våpenproduksjonen. De fleste kommersielle reaktorene er overvåkede og kan ikke brukes i våpenproduksjonen uten å bryte folkeretten, og IAEA-inspektørene kontrollerer virksomheten. De ikke-overvåkede, kommersielle reaktorene er knyttet til elektrisitetsnettet, men de er også av CANDU-modell. I prinsippet kunne disse derfor i hemmelighet brukes innen våpenproduksjonen.

Ingen beviser er noen gang fremlagt på at plutonium fra kommersielle reaktorer har blitt brukt til kjernevåpen. I 1997 avkreftet DAE offisielt spekulasjoner om at ett av kraftverkene (Madras Atomic Power Station, MAPS – se avsnitt 3.5.4) hadde gitt kilogrammengder plutonium av våpenkvalitet til kjernevåpenprogrammet. Dette er ganske nær en avkreftelse av at Indias kommersielle reaktorer benyttes i våpenproduksjonen. Uavhengige analytikere har forskjellige oppfatninger (se delkapittel 4.4). Vi er av den oppfatning av at de kommersielle reaktorene i hvert fall ikke i stor skala har vært benyttet til våpenproduksjonen. I delkapittel 4.4 vil vi gjøre nærmere analyser med beregninger.

I dette kapittelet vil vi presentere Indias forskningsreaktorer (avsnittene 3.5.1, 3.5.2 og 3.5.3) og kraftreaktorer (avsnittene 3.5.4 og 3.5.5), både de som er i drift, under planlegging eller bygging, og nedlagt. Behandlingen av reaktorene vil bli utført ved hjelp av tekniske begreper som er nødvendige for beregningene i kapittel 4. Vi definerer derfor følgende:

- *Termisk kapasitet* er reaktorkjernens kapasitet for energiproduksjon, og vi benevner den med  $MW_t$ . Imidlertid blir ikke hele denne energiproduksjonen overført til elektrisk energi. Den *elektriske kapasiteten* er kapasiteten for elektrisk energi. Elektrisk energi kan benevnes med  $MW_e$ . For CANDU-reaktorer er den elektriske kapasiteten om lag 1/3 av den termiske kapasiteten. Elektrisk kapasitet kan angis enten som *bruttokapasitet* eller *nettokapasitet*. For nettokapasiteten er internt forbruk av energi trukket fra.<sup>24</sup>
- Vi skiller også mellom *designkapasitet* og *nåværende kapasitet*. India hevder at deres kraftreaktorer har lavere maksimaleffekt enn hva de ble designet for, og denne reduserte kapasiteten kaller vi nåværende kapasitet. Derfor kan en indisk reaktor karakteriseres med to forskjellige verdier for kapasiteten, og begge er ”riktige”. De fleste av Indias kraftreaktorer har en designverdi for termisk bruttokapasitet på 801  $MW_t$ , og en designverdi for elektrisk bruttokapasitet på 235  $MW_e$  (27). Likevel benytter staten at disse har en nåværende elektrisk bruttokapasitet på 220  $MW_e$ , som altså er noe lavere enn designverdien.
- *Kapasitetsfaktoren* for en gitt periode angir gjennomsnittlig utnyttelsesgrad (i prosent) av en reaktors bruttokapasitet. Det vil si at kapasitetsfaktoren er forholdet mellom reaktorens gjennomsnittlige effekt i en gitt periode og bruttokapasiteten.<sup>25</sup>

$$\text{kapasitetsfaktor} = \frac{\text{gjennomsnittlig effekt}}{\text{bruttokapasitet}} \quad (3.1)$$

En reaktors kapasitet og energiproduksjon m m spesifiseres i alle kilder alltid til å være enten termisk eller elektrisk, og brutto eller netto. Men i det indiske tilfellet må man også være klar over om verdiene for reaktorens kapasitet og kapasitetsfaktor er design- eller nåværende!<sup>26, 27</sup> Vi har sjelden bruk for designstørrelsene. I denne rapporten benytter vi kun nåværende størrelser dersom ikke annet er spesifisert. (Designstørrelsene vil bare bli anvendt i forbindelse med beregninger på Cirus’ og Dhruvas plutoniumsproduksjon i avsnitt 4.3.1.)

### 3.5.1 Dagens forskningsreaktorer

Formålet til forskningsreaktorprogrammet er offisielt å gi forsknings- og utviklingsstøtte til Indias kjernekraftprogram, produsere radioisotoper og stille med forskningsfasiliteter.

<sup>24</sup> Typisk rundt 10 %.

<sup>25</sup> Eksempel: Hvis en reaktor med (brutto)kapasitet på 220  $MW_e$  i gjennomsnitt har vært drevet på (brutto)effekten 176  $MW_e$  i løpet av ett år, er kapasitetsfaktoren det året 80 %.

<sup>26</sup> For nåværende kapasitetsfaktor vil man i definisjonen i ligning (3.1) finne *nåværende* bruttokapasitet i nevner i brøken, mens for designverdien av kapasitetsfaktoren er nevner i brøken *designverdien* av bruttokapasiteten.

<sup>27</sup> Merk at indiske NPCIL (38) angir nåværende kapasitetsfaktorer (der nevner i brøken i ligning (3.1) er nåværende bruttokapasiteten), mens World Nuclear Industry Handbook (27) angir designverdier av kapasitetsfaktorene (der nevner i brøken i ligning (3.1) er designverdien av bruttokapasiteten).



Utviklingsstøtte vil si at noen forskningsreaktorer har vært eller vil bli testreaktorer for senere kommersiell utnyttelse. India hevder å være en verdensledende produsent av radioisotoper. Radioisotopene anvendes blant annet innen jordbruk og matproduksjon, medisin, industri og generell forskning. (26)

Vi skal nå ta næyere for oss de indiske forskningsreaktorene. Per 2003 er disse Apsara (1956), Cirus (1960), Dhruva (1985), FBTR (1985) og Kamini (1996). Apsara er imidlertid under ombygging. Tabell 3.5 gir en oversikt over dagens forskningsreaktorer.

Navn	Termisk kapasitet	Nådd kritikalitet	Moderator	Brensel	Kommentar	IAEA
Apsara (BARC, Trombay)	1 MW <sub>t</sub>	1957	Lettvann	Høyenriket uran	Bassengtype. Under ombygging til MPRR	Nei
Cirus (BARC, Trombay)	40 MW <sub>t</sub>	1960	Tungtvann	Naturlig uran	CANDU. Trolig våpenprodusent	Nei
Dhruva (BARC, Trombay)	100 MW <sub>t</sub>	1985	Tungtvann	Naturlig uran	CANDU. Trolig våpenprodusent	Nei
Fast Breeder Test Reactor (FBTR) (IGCAR, Kalpakkam)	40 MW <sub>t</sub>	1985	Ingen	Uran-plutoniums-karbid	Formeringsreaktor	Nei
Kamini (IGCAR, Kalpakkam)	30 kW	1996	Avsaltet vann	Uran-233	Thoriumsreaktor	Nei

Tabell 3.5 Indias forskningsreaktorer per 2003 (Apsara er imidlertid under ombygging til MPRR – se avsnitt 3.5.2). Informasjonen kommer hovedsakelig fra DAEs årsrapport 2002-2003 (26), 2002 World Nuclear Industry Handbook (27) og BARC (39). Se også IAEA (40).

Apsara er Indias eldste reaktor. Den er en lett vannsreaktor og har vært drevet på høyenriket uran. Apsara ble designet av BARC og bygd i samarbeid med Storbritannia.<sup>28</sup> Det er krav om overvåkning av brenselet. (23) Reaktoren selv er ikke-overvåket. Bruksområdene er innen mange typer kjernefysisk forskning, og produksjon av radioisotoper (26). DAEs årsrapport 2002-2003 (26) meldte at Apsara var under ombygging (trolig siden 2002)<sup>29</sup> for å danne reaktoren MPRR (se avsnitt 3.5.2).

<sup>28</sup> Storbritannia har forsynt Apsara med brensel. Opprinnelig bestod det av 80 % anriket uran. (23)

<sup>29</sup> Det har blitt meldt i media (41) at så snart Cirus ble ferdig ombygget, skulle Apsara bygges om. Som vi skal se senere i avsnittet, ble Cirus satt i drift igjen etter ombygging i oktober 2002.

Cirus<sup>30</sup> har en termisk kapasitet på 40 MW<sub>t</sub><sup>31</sup>, gikk kritisk i 1960 og befinner seg ved BARC i Trombay. Se Figur 3-3. Offisiell bruk er isotopproduksjon og forskning og utvikling innen reaktorteknologi og trening av operatører (39).



Figur 3-3 *Dhruva (til venstre) og Cirus (til høyre) er de to forskningsreaktorene som med høy sannsynlighet er dedikert til våpenproduksjonen. Hentet fra DAE (42).*

Cirus er reaktoren som produserte våpenplutoniumet til Smiling Buddha (prøvesprengt 1974). På denne tiden hadde India bare tre ikke-overvåkede reaktorer: Apsara, Zerlina (se avsnitt 3.5.3) og Cirus. Siden Apsara har vært drevet på overvåket og anriket uran, og dessuten har lav kapasitet, kan den utelukkes som våpenprodusenten. Zerlina utelukkes også, siden kapasiteten var så lav. Det brukte brenselet er egentlig ikke fritt fra fredelige betingelser, men mangelen på overvåkning gjør i praksis våpenproduksjon mulig. (Se delkapittel 2.1 for informasjon om betingelsen om fredelig bruk for mottagelse av reaktoren.)

I forbindelse med prøvesprengningene i 1998 kom det ut informasjon om at Cirus da var avslått (siden september 1997 (23)), at den i årene forut skal ha hatt svak produksjon (21) og at komponentene brøt sammen på grunn av høy alder (41). Cirus har gjennomgått reovering og ble først gjenstartet 30.10.2002 (26). Renoveringen skal ha forlenget levetiden med 10 – 15 år, ifølge en avisartikkel fra 1999 (41), eller med 15 – 20 år, ifølge DAEs årsrapport 2002-2003 (26).

Et rimelig anslag er at driften av Cirus gir 6,6 – 10,5 kg våpenplutonium per år, noe som er tilstrekkelig for om lag 1 – 2 kjernevåpen. I avsnitt 4.3.1 skal gi utføre beregninger på Cirus' og Dhruvas plutoniumsproduksjon.

Cirus (1960) gav India erfaring innen trykktungtvannsreaktor, som ble basis for det indiske kjernekraftprogrammets første trinn. Første kommersielle CANDU-reaktor nådde kritikalitet i 1972 (RAPS-1). Dagens kraftreaktorprogram omhandles i avsnitt 3.5.4.

Forskningsreaktoren Dhruva er på 100 MW<sub>t</sub> og gikk kritisk 8. august 1985. Dette kom i media dagen etter, og dette ble makabert nok samme dag som 40-årsmarkeringen for Nagasaki-bomben. Dhruva ligger også ved BARC i Trombay. Offisiell bruk er det samme som Cirus: generell forskning, isotopproduksjon, forskning og utvikling innen reaktorteknologi og trening av operatører (39).

<sup>30</sup> Cirus er forkortelse for "Canadian-Indian Reactor, U.S." (23)

<sup>31</sup> Til sammenligning gir Halden-reaktoren en effekt på 20 MW<sub>t</sub> og den på Kjeller 2 MW<sub>t</sub>, mens kjernekraftreaktorer kan gi opptil 3 000 – 4 000 MW<sub>t</sub>.

Dhruva er indiskprodusert, men ble bygd ved hjelp av erfaringen som India hadde tilegnet seg etter samarbeidet med Canada om Cirus. Den er som en forstørrelse av Cirus. India brukte ti år på å bygge den (24). Dhruva led av oppstartsproblemer, og den produserte lite plutonium før på slutten av 1980-tallet (14). Vi så at India ignorerte de internasjonale forpliktelsene forbundet til Cirus-plutoniumet, men først med Dhruva fikk India våpenplutonium som faktisk kunne brukes fritt.

Dhruva antas å produsere 16 – 26 kg våpenplutonium per år. (Se avsnitt 4.3.1.) Dette er nok til om lag 2 – 4 kjernevåpen. Dhruva antas altså å være den største plutoniumsprodusenten.

FBTR (Fast Breeder Test Reactor) (40 MW<sub>e</sub>) er Indias første formeringsreaktor. FBTR ble påbegynt i 1972, men nådde kritikalitet først i 1985. FBTR befinner seg ved IGCAR i Kalpakkam. Det er ingen kjent informasjon om at den har blitt brukt til å lage våpenplutonium, men den kunne nok egne seg godt.

FBTR drives av plutonium-uran-karbidbrensel<sup>32</sup> med høy andel plutonium. Den skal være den eneste reaktoren i verden som drives av denne typen brensel. Brenselet har gjort reaktoren i stand til å nå en svært høy utbrenningsgrad. (26) FBTR og Indias planlagte videre satsing på formeringsreaktorer er en hovedårsak til at India trenger reaktorplutonium. Albright et al (34) (side 206) har estimert at reaktorkjernen til FBTR kan bestå av 60 kg plutonium, og at drift på full kapasitet kan kreve en årlig tilførsel av 30 kg plutonium. (Imidlertid tar vi notis av at Albright et al (34) går ut fra at brenselet er MOX, noe som ikke er korrekt. Men det kan hende at plutoniumsforbruket er omtrent det samme likevel.)

Forskningsreaktoren FBTR (1985) har gitt India erfaring med formeringsreaktorer, som skal brukes i det andre trinnet i kraftreaktorprogrammet. En større oppfølger er under bygging (PFBR) og behandles i neste avsnitt.

Kamini (som står for "Kalpakkam Mini Reactor") er en thoriumsreaktor. Den har en kapasitet på 30 kW og nådde kritikalitet i 1996. Kamini er lokalisert ved IGCAR i Kalpakkam. DAEs årsrapport 2002-2003 (26) bekrefter at den er i drift. Kamini skal være den eneste thoriumsreaktoren i verden som er i drift per 2003 (43). I reaktorkjernen blir thorium bestrålt, mens den fissile isotopen uran-233 dannes. Bruken skal være innen nøytronradiografi (26).

India ønsker å kunne utnytte de store thoriumsreservene sine, som skal være verdens største (44). Thoriumsreaktorer skal bygges i kommersiell skala og bli tredje trinn i Indias kraftprogram. BARC jobber nå med å utvikle en oppfølger (AHWR) (mer i neste avsnitt).

### 3.5.2 Forskningsreaktorer under bygging

I dette avsnittet omtaler vi forskningsreaktorene som er under bygging. Se oversikten i

---

<sup>32</sup> Kan kalles "mixed carbide fuel".

Navn	Kapasitet	Ventet kritikalitet	Moderator	Brensel	Kommentar	IAEA
Reaktor til ubåten ATV (IGCAR, Kalpakkam)	40 – 100 MW <sub>t</sub>	Passert?	Lettvann	Høyenriktet uran	Ubåtreaktor	Nei
Multi Purpose Research Reactor (MPRR) (BARC, Trombay)	20 MW <sub>t</sub>	?	Lettvann	Lavanriktet uran	Bassengtype. Ombygges fra Apsara	Nei
PFBR (IGCAR, Kalpakkam)	500 MW <sub>e</sub>	2009?	Ingen	MOX	Formeringsreaktor	Nei
Kritisk fasilitet	0,10 kW	?	Tungtvann	Naturlig uran	Validering av programvare	Nei
Advanced Heavy Water Reactor (AHWR)	300 MW <sub>e</sub>	?	Ukjent	Thorium/uran-233-oksid eller thorium-plutonium-oksid	Thoriumsreaktor	Nei

Tabell 3.6 Forskningsreaktorer som er under bygging per 2004. Informasjonen kommer fra Jane's (45), Ramana (46), DAEs årsrapporter 2002-2003 (26) og 2003-2004 (35), og IAEA (40).

Tabell 3.6. De vil alle bli ikke-overvåkede.

India har under bygging en reaktor som skal benyttes i den fremtidige atomubåtflåten ATV (Advanced Technology Vessel, se avsnitt 5.2.4). Ifølge Jane's (45) vil reaktoren bli en trykkvannsreaktor (PWR) på 40 – 55 MW<sub>t</sub>. Analytikeren Ramana (46) har påpekt at dette synes lite, og at 90 MW<sub>t</sub> trolig er det minste mulige. BARC skal etter utallige tilbakeslag ha gjort ferdig reaktordesignen på slutten av 1990-tallet i samarbeid med Russland (46) (47). Etter det begynte utprøving av en prototyp reaktor ved IGCAR (46). Brenselet skal være fabrikkert i Hyderabad. Ulike meldinger om anrikningsgraden til brenselet i denne fremtidige ubåtreaktoren verserer (46). Uavhengige kilder har hevdet at den vil bli på 20 % (23) (48), men meldinger fra offisielt hold har vært på 30 – 45 % (49).

Årsaken til at Apsara (per 2003) er under ombygging er at den skal bli en test i mindre skala av en ny forskningsreaktordesign: Multi Purpose Research Reactor (MPRR), altså en forskningsreaktor som vil få "mange bruksområder". En fullskala MPRR vil få en kapasitet på 20 MW<sub>t</sub> (26). Designen er lettvanns (med lettvannskjøling og tungtvannsrefleksjon), og reaktoren skal gå på lavanriktet uran (26) (35). Trolig tenkes MPRR derfor ikke brukt i den fremtidige produksjonen av våpenplutonium.

Formeringsreaktoren Prototype Fast Breeder Reactor (PFBR) vil også ligge ved IGCAR. Per

2004 har byggingen av reaktoren nylig begynt. Se Figur 3-4. Det har vært forespeilet at ferdigstilling kan bli i 2008-2009. Kapasiteten blir på 500 MW<sub>e</sub> – over ti ganger så mye som FBTR. (11) (37) På grunn av dårlige erfaringer med plutonium-uran-karbidbrensel fra FBTR skal PFBR gå på MOX. MOX-en skal bestå av en blanding av 30 % plutoniumsoksid og 70 % uranoksid (23), og man skal bruke utarmet uran fra kraftreaktorene (35). Ifølge Albright et al (34) (side 207) vil driften av PFBR komme til å kreve svært store mengder reaktorplutonium. Første kjerne skal bestå av 2 000 kg plutonium, og de første fem årene skal den trenge et påfyll av ytterligere 3 000 kg – det vil si 600 kg per år. BARC har nå påbegynt arbeidet med å fabrikere MOX-brensel til PFBR, og som vi så i delkapittel 3.3, er et nytt anlegg for MOX-produksjon under oppføring (26).



*Figur 3-4 Bygging av formeringsreaktoren PFBR er i gang per 2004. Hentet fra DAE (42).*

En kritisk fasilitet er per 2004 under bygging (35). Slike reaktorer har svært liten effekt og brukes til eksperimenter. Effekten på denne skal være 0,10 kW, og hensikten er å validere fysikk-kode og biblioteker for den fremtidige thoriumsreaktoren AHWR og de fremtidige trykkttungtvannsreaktorene på 540 MW<sub>e</sub> (Tarapur-3 og Tarapur-4) (se avsnitt 3.5.5). (35) (40) (41)

Thoriumsreaktoren Advanced Heavy Water Reactor (AHWR) er under planlegging ved BARC. Status per 2003 er at reaktordesignen er ferdig, og noe uttesting er i gang. AHWR blir på 300 MW<sub>e</sub>. Reaktoren skal kunne bruke både thorium/uran-233-oksid og thorium-plutonium-oksid som brensel. BARC har per 2003 begynt å lage de ulike typene brensel. (26) (43)

I 1999 meldte avisen Indian Express (41) at India planla å bygge ytterligere en reaktor for produksjon av våpenplutonium ved BARC. Den skulle være på 100 MW<sub>t</sub>, startes opp i 2010 og trengtes fordi Cirus og Dhruva begynner å trekke på årene. Designen skulle være basert på Dhruvas, men forbedres. Vi har ikke funnet noen nyere informasjon som bekrefter at planen opprettholdes. Avisartikkelen er nå ganske gammel, og en slik plan nevnes ikke i DAEs årsrapport 2003-2004 (35) eller i IAEAs database (40).

### 3.5.3 Nedlagte forskningsreaktorer

India har hatt flere forskningsreaktorer som i dag er nedlagt. Nedlagt per 2003 er Zerlina (1961), Purnima-1 (1972), Purnima-2 (1984) og Purnima-3 (1990). Purnima-1 ble dekommisjonert og renovert til Purnima-2, som igjen ble dekommisjonert og renovert til Purnima-3 (24). Zerlina ble offisielt brukt innen materialforskning (gitterstudier). Purnima-1 hadde plutoniumoksid som brensel og var en hurtig reaktor. Hensikten var å studere fysikken i hurtige uran-233-reaktorer. Purnima-2 hadde uran-233 som brensel. Den ble brukt til å studere uran-233-brensel og mulighetene for fremtidens reaktorer. Purnima-3 var en prøvemodel for Kamini. (39) Tabell 3.7 viser en oversikt over de tidligere forskningsreaktorene.

Navn	Kapasitet	Nådd kritikalitet	Moderator	Brensel	Kommentar	IAEA	Nedlagt
Zerlina (BARC, Trombay)	100 W <sub>t</sub>	1961	Tungtvann	Naturlig uran		Nei	1983
Purnima-1 (BARC, Trombay)	0,1 kW <sub>t</sub>	1972	Ingen	Plutonium	Hurtig reaktor	Nei	1983
Purnima-2 (BARC, Trombay)	5 W <sub>t</sub>	1984	Lettvann	Uran-233	Thoriumsreaktor	Nei	1986
Purnima-3 (BARC, Trombay)	1 W	1990	Lettvann	Uran-233	Thoriumsreaktor	Nei	1993

Tabell 3.7 Indiske forskningsreaktorer som er nedlagt per 2003. Informasjonen kommer hovedsakelig fra BARC (39), 2002 World Nuclear Industry Handbook (27) og IAEA (40).

### 3.5.4 Dagens kraftreaktorer

India har per 2004 14 kraftreaktorer i drift fordelt på seks geografiske steder. Det er Nuclear Power Corporation of India Ltd (NPCIL) i Mumbai som er ansvarlig for driften. Kraftprogrammet er hovedsakelig basert på CANDU-reaktorer. To av reaktorene er kokvannsreaktorer, som er modererte med lettvann (vanlig vann), mens tolv er trykktungtvannsreaktorer av CANDU-design.

Bare fire reaktorer i kjernekraftprogrammet er underlagt IAEAs overvåkning. Disse kalles Tarapur-1, Tarapur-2, RAPS-1 og RAPS-2. Årsaken er at samarbeidspartnerne har krevd det. De ti resterende kraftreaktorene er ikke-overvåkede og kalles MAPS-1, MAPS-2, Narora-1, Narora-2, Kakrapar-1, Kakrapar-2, Kaiga-1, Kaiga-2, RAPS-3 og RAPS-4.

Kokvannsreaktorene Tarapur-1 og Tarapur-2 er amerikanske, overvåkede og befinner seg i

delstaten Maharashtra. De nådde kritikalitet i 1969 og var Indias første kjernekraftreaktorer. Nå har de blitt drevet omtrent like lenge som deres planlagte levealder. Det har kommet antydninger fra indisk hold om at disse reaktorene utgjør en alvorlig sikkerhetsrisiko. Offisielt mener India at de er i god stand og kan drives i 20 år til. (24) I 2000 inngikk India en avtale med Russland om kjøp av lavanriktet uran som kilde til brensel til Tarapur (9).

Tabell 3.8 gir tekniske data for Indias to kokvannsreaktorer. Total nåværende bruttokapasitet er 320 MW<sub>e</sub>. Designverdien av den termiske kapasiteten er 660 MW<sub>t</sub>, noe som er relativt lite. Internasjonale kjernekraftreaktorer gir generelt opptil 3 000 – 4 000 MW<sub>t</sub>.

Navn	Design-kapasitet [MW <sub>t</sub> ]	Nåværende bruttokapasitet [MW <sub>e</sub> ]	Nåværende nettokapasitet [MW <sub>e</sub> ]	Nådd kritikalitet	Moderator	Brensel	IAEA
Tarapur-1 (Maharashtra)	660	160	150	1969	Lettvann	Lavanriktet uran eller MOX	Ja
Tarapur-2 (Maharashtra)	660	160	150	1969	Lettvann	Lavanriktet uran	Ja

Tabell 3.8 Indias kokvannsreaktorer. Begge er i drift per 2003. "Lettvann" er det samme som "vanlig" vann. MOX-brensel er en oksidblanding med uran og plutonium. Informasjonen er hovedsakelig hentet fra 2002 World Nuclear Industry Handbook (27). Se også DAE (50), NPCIL (38) og IAEA (51).

CANDU-reaktorene RAPS-1 og RAPS-2 nær Kota i delstaten Rajasthan var Indias første kraftreaktorer av trykk tungtvannstypen. RAPS er forkortelse for "Rajasthan Atomic Power Station". Disse to reaktorene nådde kritikalitet i henholdsvis 1972 og 1980. Teknisk assistanse kom fra Canada, selv om ferdigstillingen av RAPS-2 måtte tas alene, siden Canada brøt samarbeidet etter Smiling Buddha.

Kjernekraftverket i Kalpakkam, ikke langt fra Madras i delstaten Tamil Nadu, var Indias første egenproduserte kjernekraftverk. Se Figur 3-5. De to reaktorene kalles MAPS-1 og MAPS-2<sup>33</sup>. Betegnelsen MAPS kommer av "Madras Atomic Power Station". Reaktorene nådde kritikalitet i henholdsvis 1983 og 1985. India brukte 15 år på å bygge reaktorene i Kalpakkam, og de har hatt kjølingsproblemer (44).



Figur 3-5 Kjernekraftverket i Kalpakkam. Hentet fra NPCIL (52).

De to Narora-reaktorene, som var de neste etter MAPS, tok mellom 15 og 20 år å bygge (44). Narora ligger i delstaten Uttar Pradesh. Etter

<sup>33</sup> Alternative navn er Kalpakkam-1 og Kalpakkam-2.

Navn	Design-kapasitet [MW <sub>t</sub> ]	Nåværbrotto-kapasitet [MW <sub>e</sub> ]	Nåværbnetto-kapasitet [MW <sub>e</sub> ]	Nådd kritikalitet	Moderator	Brensel	IAEA
RAPS-1 (Kota, Rajasthan)	693,5	100	90	1972	Tungtvann	Naturlig uran	Ja
RAPS-2 (Kota, Rajasthan)	693,5	200	187	1980	Tungtvann	Naturlig uran	Ja
MAPS-1 (Kalpakkam, Tamil Nadu)	801	170	155	1983	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
MAPS-2 (Kalpakkam, Tamil Nadu)	801	170	155	1985	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Narora-1 (Narora, Uttar Pradesh)	801	220	202	1989	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Narora-2 (Narora, Uttar Pradesh)	801	220	202	1991	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Kakrapar-1 (Kakrapar, Gujarat)	802	220	202	1992	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Kakrapar-2 (Kakrapar, Gujarat)	801	220	202	1995	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Kaiga-1 (Kaiga, Uttara Kannada)	801	220	202	2000	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Kaiga-2 (Kaiga, Uttara Kannada)	801	220	202	1999	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
RAPS-3 (Kota, Rajasthan)	801	220	202	1999	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
RAPS-4 (Kota, Rajasthan)	801	220	202	2000	Tungtvann	Naturlig uran	Nei

Tabell 3.9 Indias trykkungtvannsreaktorer som er i drift per 2003. Informasjonen er hovedsakelig hentet fra 2002 World Nuclear Industry Handbook (27). Se også DAE (50), NPCIL (38) og IAEA (51).





Trolig kunne også PFBR og AHWR vært gruppert sammen med fremtidige kraftreaktorer. Indiske myndigheter (35) (42) (52) varierer mellom å plassere dem sammen med forskningsreaktorene eller kraftreaktorene.

Navn	Design-kapasitet [MW <sub>t</sub> ]	Nåvær brutto-kapasitet [MW <sub>e</sub> ]	Nåvær netto-kapasitet [MW <sub>e</sub> ]	Ventet kritikalitet	Moderator	Brensel	IAEA
Tarapur-3 (Maharashtra)		540		2005	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Tarapur-4 (Maharashtra)		540		2006	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Kaiga-3 (Kaiga, Uttara Kannada)	801	220		2006	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
Kaiga-4 (Kaiga, Uttara Kannada)	801	220		2007	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
RAPS-5 (Kota, Rajasthan)		220		2007	Tungtvann	Naturlig uran	Nei
RAPS-6 (Kota, Rajasthan)		220		2007	Tungtvann	Naturlig uran	Nei

Tabell 3.10 De seks trykktungtvannsreaktorene som er under bygging i India per 2004. Informasjonen er hentet fra NPCIL (54), DAEs årsrapport 2002-2003 (26) og 2002 World Nuclear Industry Handbook (27).

Navn	Design-kapasitet [MW <sub>t</sub> ]	Nåvær brutto-kapasitet [MW <sub>e</sub> ]	Nåvær netto-kapasitet [MW <sub>e</sub> ]	Ventet kritikalitet	Moderator	Brensel	IAEA
Kudankulam-1 (Kudankulam, Tamil Nadu)	3 000	1 000	953	2007	Lettvann	Lavanriket uran	Ja
Kudankulam-2 (Kudankulam, Tamil Nadu)	3 000	1 000	953	2008	Lettvann	Lavanriket uran	Ja

Tabell 3.11 De to lett vannsreaktorene som er under bygging per 2004. Informasjonen er hentet fra NPCIL (54), DAEs årsrapport 2002-2003 (26) og 2002 World Nuclear Industry Handbook (27).

### 3.6 Gjenvinning

India har fire fullskala gjenvinningsanlegg<sup>35</sup> i drift per 2004. Alle er underlagt DAE. Tre av dem gjenvinner fra CANDU-reaktorer som drives av brensel av naturlig uran. De kan da gi plutonium og uran. Av disse tre er det ett (det i Trombay) som offisielt gjenvinner fra forskningsreaktorene (det vil si Cirus og Dhruva). De to andre (PREFRE og KARP) gjenvinner fra de kommersielle CANDU-reaktorene. (26) India er den eneste staten som gjenvinner CANDU-kraftreaktorbrensel (34). Ett gjenvinningsanlegg gjenvinner bestrålt thorium og gir da thorium og uran-233. Et anlegg i laboratorieskala for gjenvinning av karbidbrensel fra formeringsreaktorer skal nylig være ferdig, og et fullskala anlegg for gjenvinning fra formeringsreaktorer er under bygging (per 2004) (35) (55). De vil trolig kunne gi plutonium og uran. La oss ta for oss anleggene i denne rekkefølgen.

Norge var først ute med å assistere India i plutoniumssepallasjon, men da på laboratorieskala (se appendiks E.1.2). Gjenvinningsteknologien ble siden gjort tilgjengelig av USA gjennom Atoms for Peace-programmet og gjorde første indiske gjenvinningsanlegg mulig. Plutoniumsbehovet ble rettferdiggjort med at det skulle benyttes kommersielt som brensel i formeringsreaktorer.

Gjenvinningsanlegget befinner seg ved BARC i Trombay. Vi kaller det heretter "Trombay-anlegget". Det ble satt i drift i 1964 og er et pilotanlegg i mellomskala. Opprinnelig var kapasiteten på 30 tonn brukt brensel per år (tU/y)<sup>36</sup>. Det startet da med å gjenvinne brensel fra Cirus, og utbyttet gikk til Smiling Buddha. I 1974 måtte Trombay-anlegget legges ned på grunn av driftsproblemer. I 1985 kom det opp igjen med en oppgradering til 50 tonn brukt brensel per år. (7) (23) (34) Oppgraderingen kom av at Dhruva ble startet opp samme år. Det er bekreftet at Trombay-anlegget gjenvant plutonium fra Dhruva allerede i 1987-1988 (34).

I dag brukes Trombay-anlegget sannsynligvis til å gjenvinne våpenplutonium fra Cirus og Dhruva til våpenprogrammet. Beregninger kan vise at anlegget har mer enn høy nok kapasitet for å takle den normale mengden brukt brensel fra både Cirus og Dhruva samtidig. Ved full drift gir Trombay-anlegget 45 kg våpenplutonium per år. (Mer om slike beregninger i delkapittel 4.1.)

Erfaringen fra Trombay-anlegget ble brukt til å konstruere storskalaanlegget Power Reactor Fuel Reprocessing Plant, som forkortes PREFRE. Dette ligger i Tarapur. Opprinnelig var kapasiteten på 100 tonn brukt brensel per år (tU/y). Byggingen startet i 1969. Første testgjenvinning var i 1979, og blant annet brensel fra Cirus ble prøvd. I 1982 startet PREFRE å gjenvinne plutonium for bruk i brensel til FBTR. Rundt 1990 skal anlegget ha blitt oppgradert til en kapasitet på 150 tonn brukt brensel per år (23) (34). PREFRE har hatt en problemfylt

<sup>35</sup> Mer om plutoniumsveien i appendiks A.2.2.

<sup>36</sup> Kapasiteten til denne typen gjenvinningsanlegg kan angis i evnen til å separere ut uran per døgn. (Plutoniumsmengdene er mye mindre.) Dette kan omregnes til hvor mye brukt brensel som behandles per år. Listeverdiene for kapasiteter for gjenvinningsanlegg i tabeller er nok ganske usikre. Som regel benytter de benevnelsen tHM/y. Bestrålt brensel av naturlig uran (med opprinnelig 0,7 % uran-235) vil ha neglisjerbare mengder andre tungmetaller. Om måltallet oppgis med benevnelsen "tonn brukt brensel per år" eller tU/y, spiller derfor liten rolle innenfor usikkerheten for slikt brensel.

driftshistorie (21). I 1995 ble det meldt at PREFRE hadde blitt drevet på en kapasitet på bare om lag 25 tonn per år i mer enn ett tiår (37).

PREFRE gjenvinner i dag fra kommersielle reaktorer. Utbyttet ved full drift vil være om lag 530 kg reaktorplutonium per år. Den offisielle hensikten med PREFRE er å gi reaktorplutonium som skal brukes i forskningsøyemed (til FBTR og andre reaktorer som drives av brensel med plutonium i) (23) (34).

India har bekreftet at PREFRE har gjenvunnet brukt brensel fra Cirus, RAPS-1 (overvåket), MAPS-1 og MAPS-2 (34). IAEA overvåket gjenvinningen fra RAPS-1. Det dreide seg om 25 kg plutonium og foregikk over en kort periode på starten av 1980-tallet (34). Gjenvinningen av MAPS-brensel var ikke overvåket av IAEA. Dette startet i 1985 eller 1986. India var nå blitt i stand til å skaffe seg plutonium fritt for internasjonale betingelser. Som vi var inne på i delkapittel 3.5, har enkelte analytikere spekulert i om kilogrammengder MAPS-plutonium kan ha vært av våpenkvalitet og ha gått til kjernevåpenproduksjonen. DAE avkreftet denne påstanden i 1997 og annonserte at plutoniumet gikk til brensel for FBTR. (24) (37) (I så fall var det nok av reaktorkvalitet.)

Fra 1992 til 1995 mistet India sin importerte forsyning av lavanriktet uran til Tarapur-reaktorene. Isteden ble Tarapur satt på MOX-brensel med plutonium fra PREFRE. Albright et al (34) hevder at Tarapur-reaktorene krevde 300 kg reaktorplutonium per år (forutsatt full drift).<sup>37</sup> (Uranet kommer i tillegg.) Det var ytterligere én reaktor som krevde plutonium: FBTR, som ved full drift trengte 30 kg plutonium (avsnitt 3.5.1.). Det totale behovet ved full drift av alle de plutoniumskrevende reaktorene blir således på 330 kg plutonium per år ved full drift, og 170 kg plutonium per år dersom de ble kjørt på 50 % kapasitetsfaktor. Dette vil beslaglegge bare om lag 30 % av PREFREs kapasitet. Derfor kan det godt være at PREFRE var i stand til å dekke behovet til både Tarapur-reaktorene og FBTR, forutsatt at PREFRE ikke presterte veldig dårlig.

Indias tredje gjenvinningsanlegg for CANDU-brensel er Kalpakkam Atomic Reprocessing Plant, som forkortes til KARP. Se Figur 3-6. Anlegget ligger i Kalpakkam. Den offisielle hensikten er å gi reaktorplutonium som skal brukes i forskningsøyemed (til FBTR og andre reaktorer som drives av brensel med plutonium i) (23) (34). Ulike kilder oppgir forskjellige startår: 1996, 1997 eller 1998 (7) (11) (25). KARP er et storskalaanlegg med kapasitet som oppgis til 100 – 125 tonn brukt brensel (tU/y), altså ganske likt PREFRE. Av det følger at ved full drift vil



Figur 3-6 Gjenvinningsanlegget KARP i Kalpakkam.

<sup>37</sup> Listeverdier for mengden brensel som hver av Tarapur-reaktorene krever, er 13 tHM/y forutsatt full drift (27). Ifølge Albright et al (34) skal 1/3 av kjernen skiftes per år, og 1/3 av dette skal være MOX-brensel med 3,5 % plutonium. Det gir 150 kg plutonium per reaktor per år forutsatt full drift.

KARP kunne gi 440 kg reaktorplutonium.

Ifølge Nuclear Threat Initiative (23) brukes KARP til å gjenvinne fra MAPS-1 og MAPS-2. Både KARP og MAPS er lokalisert på same sted. På slutten av 1990-tallet skal plutoniumsproduksjonen ha vært øremerket til den fremtidige oppstarten av PFBR (23). I så fall dreier det seg av økonomiske årsaker høyst sannsynlig om plutonium av reaktorkvalitet.

Dersom MAPS-1 og MAPS-2 faktisk drives på normalmåten og produserer reaktorplutonium, vil de et normalår (med gjennomsnittlig produksjon) produsere om lag 37 tonn brukt brensel, noe som utgjør ca 30 % av KARPs kapasitet.<sup>38</sup> Med forbehold om dårlig drift kan KARP da gjenvinne fra flere reaktorer også. (Mer om beregninger i delkapittel 4.1.)

Både PREFRE og KARP er teknisk i stand til å gjenvinne våpenplutonium fra de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. Det ville i så fall motstride indisk informasjon. Da vil PREFRE kunne gi 140 kg våpenplutonium per år, mens KARP kunne gi 110 kg våpenplutonium per år. Kapasiteten for brenselsbehandling er konstant, men kapasiteten for plutoniumsseparesjon vil være forskjellig avhengig av om det gjenvunne plutoniumet er av våpenkvalitet eller reaktorkvalitet. Årsaken er at brensel som inneholder våpenplutonium, har hatt kortere bestrålingstid enn brensel som inneholder reaktorplutonium, slik at brensel med våpenplutonium har lavere plutoniumkonsentrasjon enn brensel med reaktorplutonium.

Man kunne tenke seg at hovedbeskjeftigelsen til PREFRE og KARP var/er å gjenvinne reaktorplutonium, men at en mindre del av kapasiteten kanskje benyttes til å gjenvinne våpenplutonium. Det trenger ikke å gi mer enn en mindre forstyrrelse av produksjonen av reaktorplutonium. Bare en liten forstyrrelse vil kunne være vesentlig for Indias våpenprogram. For eksempel vil én måneds full drift av PREFRE gi om lag 11 kg våpenplutonium, nok til kanskje to fisjonsvåpen.

Tabell 3.12 gir en oversikt over data for de tre gjenvinningsanleggene for brukt CANDU-brensel.<sup>39</sup>

I august 2002 ble et fullskala gjenvinningsanlegg for uran og thorium satt i drift i Trombay (26) (56). Anlegget kalles Uranium Thorium Separation Facility eller Facility for Uranium-233 Separation (FUS) (56). Se Tabell 3.13. India annonserte i 2003 at anlegget separerer uran-233 fra thorium som er bestrålt i Cirus og Dhruva (56). Buken skal være innen nøytronradiografi (26). India har også andre kilder til uran-233. Allerede i 1992 var det antatt at kilogrammengder uran-233 (fra bestrålt thorium i Cirus, Dhruva og Madras) var produsert (men ikke separert ut) (14). Vi vet også at India lenge har produsert uran-233 i Kamini.

<sup>38</sup> Dersom MAPS-1 og MAPS-2 brukes til å produsere våpenplutonium, gir de et gjennomsnittså 250 tU, som er om lag dobbelt så høyt som hva KARP maksimalt skal kunne takle.

<sup>39</sup> I litteraturen oppgis som regel startåret for KARP til 1996, 1997 eller 1998, se for eksempel Perkovich (11), Globalsecurity.org (25) og Ramana og Nayyar (7). Vi velger å føre opp 1998 i tabellen.

Navn	Kapasitet [tonn brukt brensel per år]	Årlig utbytte	Status	Start	IAEA
Trombay (BARC)	50	45 kg våpenplutonium	I drift	1964/ 1985	Nei
PREFRE (Tarapur)	150	140 kg våpenplutonium eller 530 kg reaktorplutonium	I drift	1979	Bare når overvåket brensel er tilstede
KARP (Kalpakkam)	125	110 kg våpenplutonium eller 440 kg reaktorplutonium	I drift		Nei

*Tabell 3.12 Gjenvinningsanleggene for CANDU-brensel. De er i drift per 2003. Størrelsene på utbytte forutsetter at anleggene drives på kapasiteten. Årsaken til at utbyttet av våpenplutonium er mindre enn utbyttet av reaktorplutonium, er at brensel med våpenplutonium har kortere bestrålingstid, slik at konsentrasjonen av plutonium blir mindre. Informasjonen om kapasitet og startår er hentet fra 2002 World Nuclear Industry Handbook (27), Cirincione (37), Perkovich (11) og Albright et al (34). (De benytter benevnelsen THM/y, men dette blir omtrent det samme som "tonn brukt brensel per år".)*

Navn	Kapasitet	Status	Start	IAEA
Uranium Thorium Separation Facility (Trombay)	Fullskala	I drift	2002	Nei

*Tabell 3.13 Indias gjenvinningsanlegg for uran-233 og thorium. Det er i drift per 2003. Informasjonen er hentet fra DAE (26) (56).*

Uran-233 er fissilt og kan brukes både i avansert forskningsbrensel og som drivstoff i kjernevåpen. (Thoriumet kan også brukes i forskningsbrensel.) Det faktum at våpenprodusentene Cirus og Dhruva benyttes gjør det ikke mindre sannsynlig at dette uranet kan gå til Indias kjernevåpen, men det fins ingen beviser.

Ved IGCAR i Kalpakkam har et anlegg i laboratorieskala for gjenvinning av brukt plutonium-uran-karbidbrensel fra FBTR vært under oppføring og ble i 2003 meldt å være "snart ferdig". DAEs årsrapport 2003-2004 (35) meldte at den var tatt i bruk for naturlig uran. Man vil da anta at anlegget er ferdig per 2004, men ikke satt i drift. Betegnelsen på anlegget er enten Lead Mini Cell (LMC) eller Lead Mini Plant. (23) (32) (35) (56) Hensikten skal være å øve seg på å gjenvinne fra formeringsreaktorer (23).

Per 2004 er det også en pågående utbygging av ytterligere et fullskala gjenvinningsanlegg. Det skal gjenvinne brukt brensel fra formeringsreaktorer og bygges for å møte Indias fremtidige, store behov for plutonium. Navnet blir Fast Reactor Fuel Reprocessing Plant (FRFRP). Se Tabell 3.14. Også dette skal naturlig nok ligge i Kalpakkam. (26) (35) (56) Anlegget vil bli

ikke-overvåket. Vi kjenner ikke estimert ferdigstillelsesår eller kapasitet for FRFRP.<sup>40</sup>

Navn	Kapasitet	Status	Start	IAEA
Lead Mini Cell (LMC) (Kalpakkam)	Laboratorieskala	Ferdig?	2003-2004	Nei
Fast Reactor Fuel Reprocessing Plant (FRFRP) (Kalpakkam)	Fullskala	Under bygging	?	Nei

Tabell 3.14 Status for gjenvinningsanleggene for brukt brensel fra formeringsreaktorer per 2004. LMC skal være tatt i bruk for naturlig uran. Informasjonen er hentet fra DAE (35) (55).

### 3.7 Urananrikning

Det har lenge vært kjent at India har et program for urananrikning<sup>41</sup>, men det er ingen sikker informasjon om kapasiteten eller anrikningsgraden. India har tilsynelatende ikke fått noen vesentlig utenlandsk assistanse. Tidligere har det blitt meldt om tekniske vanskeligheter med anrikningen.

India har to anrikningsanlegg for uran. De består av gassentrifuger. Det ene anlegget er ved BARC i Trombay, og det andre er i Rattehalli (nær Mysore) i Karnataka. Rattehalli-anlegget skal være større enn anlegget i Trombay, og i noe litteratur omtales bare Rattehalli.

India forsker på laseranrikning ved BARC og ved Center for Advanced Technology i Indore, et forsknings- og utviklingscenter underlagt DAE. Forskningen på laseranrikning skal ha startet tidlig på 1980-tallet. Vi har ingen informasjon om at India har lyktes med laseranrikning. Vi er heller ikke kjent med at noen andre stater har klart å gjøre denne anrikningsmetoden økonomisk. (24)

Tabell 3.15 oppsummerer informasjonen om Indias anrikningsprogram.

Trombay-anlegget startet opp i 1985 og er trolig et forsøksanlegg. Den pakistanske avisen News of Rawalpindi skrev i 1992 at anlegget bestod av hundre gassentrifuger. Visstnok skal avisen ha fått kjennskap til kapasiteten etter å ha fått fatt i deklareringsen av de kjernefysiske fasilitetene, som jevnlig utveksles mellom India og Pakistan i forbindelse med avtalen om ikke å

<sup>40</sup> Men Cirincione (37) og Perkovich (11) fører opp en kapasitet på en fremtidig "fase 2" i Kalpakkam på 100 tHM/y, hvis vi tolker dem rett. (Informasjonen er noe uklar.) Vi vet ikke om "fase 2" er identisk med FRFRP, eller om "fase 2" er et annet planlagt prosjekt som aldri ble noe av. Trolig er det det samme anlegget. Hvis FRFRP får en kapasitet på 100 tHM/y, vil de to fasene i Kalpakkam overgå kapasiteten ved Trombay-anlegget og PREFRE til sammen. I World Nuclear Industry Handbook 2002 (27) figurerer det svært optimistiske anslaget på 1 000 tHM/y, men denne informasjonen er trolig fra midten av 1990-tallet, og planlagt kapasitet kan ha blitt nedjustert siden. Ifølge Perkovich (11) skal utvidelsen i Kalpakkam være ferdig i 2008, men heller ikke han spesifiserer om han snakker om FRFRP.

<sup>41</sup> Mer om uranveien i appendiks A.2. Merk at grensen mellom lav- og høyanriket uran (i uran-235) er 20 %. Våpenuran består av minst 90 % uran-235.

Navn	Type	Utbytte	Status	Start	IAEA
Trombay (BARC)	Eksperimentalskala sentrifugeanlegg	Ukjent	I drift	1985	Nei
Rattehalli (Mysore)	Pilotsentrifugeanlegg	Ukjent, men relativt større enn Trombay	I drift	1990	Nei
Trombay (BARC)	Forskningssted på laseranrikning			Tidlig på 1980-tallet	Nei
Center for Advanced Technology (Indore)	Forskningssted på laseranrikning			1993	Nei

Tabell 3.15 *Indias anrikningsprogram for uran. Hentet fra Cirincione (37), Perkovich (11) og Ramana og Nayyar (7). Vi har ingen meldinger om at Trombay- eller Rattehalli-anlegget er noe annet enn i drift per 2003.*

skade dem (se delkapittel 2.4). (34)

Byggingen av Rattehalli-anlegget skal ha startet på midten av 1980-tallet, og det kom i drift i 1990. I 1992 ble eksistensen av Rattehalli bekreftet i et intervju med dr P K Iyengar. Dr Iyengar var nestkommanderende ved BARC under arbeidet med Smiling Buddha, og senere ble han leder for AEC. I 1992 var meldingen at Rattehalli-anlegget var satt opp for å forske på sentrifugeteknologien. (34) Tidligere DAE-sekretær Raj Ramanna skal i 1992 ha sagt at anlegget bestod av ”flere hundre” subkritiske sentrifuger med en gjennomstrømning på 3 SWU per sentrifuge per år (49). (Benevnelsen *SWU* benyttes i forbindelse med anrikningskapasitet og står for “separative work unit”.) I 1994 sa en indisk forsker at staten hadde erfart at denne typen anlegg er vanskelige å vedlikeholde, i det sentrifugene stadig brøt sammen (34). I 1997 meldte indiske tjenestemenn at Rattehalli-anlegget hadde driftsproblemer, og at mange sentrifuger var defekte. Utbedring av anlegget var påkrevd. (49)

Den meldte informasjonen fra 1992 om at antallet gassentrifuger ved Rattehalli var ”noen hundretalls”, kombinert med en antagelse om standard gjennomstrømning (2 – 3 SWU per sentrifuge per år), gir at India kan ha en årlig kapasitet på ”noen få kilogram våpenuran” eller ”flere hundre kilogram lavanriket uran” (14) (34). Estimater på kapasiteten forutsetter at antallet gassentrifuger ikke har økt siden 1992, og at de fungerer. Mer oppdatert informasjon er ikke tilgjengelig.

Kort tid etter prøvesprengningene i 1998 gikk Rattehalli-anlegget fra å være sivilt til å bli underlagt Forsvarsdepartementet (46), noe som indikerer militær interesse. I 1997 ble det rapportert fra indisk hold at hensikten med Rattehalli-anlegget skulle være å anrike uran til 30 – 45 % til Indias fremtidige atomubåt ATV (49). Fra uavhengig har det vært meldt om 20 % anrikning til ATV (23) (48). (Se avsnitt 3.5.2.)

India benektet i 1997 at Rattehalli-anlegget skal gi anriket uran til de kommersielle



reaktorene (49). Siden India har avtaler som forsyner nåværende og planlagte reaktorer som går på anriktet uran, ser vi ingen grunn til ikke å stole på dette.

Det har kommet flere ubekreftede (og dermed spekulative) påstander om Indias faktiske anrikningskompetanse. På den ene siden skal amerikanske og vestlige tjenestemenn ha sagt at Rattehalli-anlegget tidligst kan ha gitt anriktet uran på midten av 1990-tallet. På den andre siden skal såkalte "andre kilder" ha meldt at anlegget var i stand til å anrike til opptil 30 % i 1992-1993. (34) I 1997 meldte "vestlige tjenestemenn" at Rattehalli-anlegget skal ha anriktet "noe uran" til 30 – 40 % i perioden 1992 – 1997, men ikke til våpenuran (49).

Det er imidlertid kjent at utprøving av én prototyp reaktor til Indias fremtidige atomubåtflåte ATV skal ha startet (46), muligens i nærheten av årtusenskiftet (se avsnitt 3.5.2). Atomubåtreaktorer går som regel på høyanriktet uran for å redusere behovet for brenselsskifte og for å få mer kompakte reaktorer. Altså må India i hvert fall ha klart å produsert nok høyanriktet uran til minst én slik reaktor. Dette kan trolig tas som et bevis på at Indias anrikningsprogram gir resultater.

Uavhengige estimater på anrikningsevnen har kommet. Analytikeren Jones (57) estimerte den i år 2000 til å være maksimalt 10 kg våpenuran per år. Analytikeren Ramana (46) estimerte i 2004 at anrikningsevnen kunne være på minst 15 kg våpenuran per år i gjennomsnitt i perioden 1991 til 2001.<sup>42</sup> Det utelukkes ikke at kapasiteten kan ha vært høyere de siste årene enn i de første årene. Beregningene tok utgangspunkt i å anta at India har anriktet minst én ubåtreaktorkjerne til ATV, siden den er meldt å være under utprøving, og i antagelser om designen til en slik reaktor.

Vår oppsummering blir at det er ingen offentlig kjent informasjon om hvilken anrikningsgrad eller hvilke mengder Indias anrikningsanlegg leverer.<sup>43</sup> Det eksisterer ingen informasjon som går på at India skal ha et lager med vesentlige mengder høyanriktet uran. Man antar at forrådet av høyanriktet uran er neglisjerbart i forhold til forrådet av våpenplutonium. Man kunne tenke seg at innsatsen i anrikningsprogrammet hadde vært større hvis India ikke allerede hadde hatt et velfungerende plutoniumsprogram. Vi vet ikke om anriktet uran har noen anvendelse for dagens kjernevåpen i India. Det har vært spekulert i om det kan ha vært benyttet noe anriktet uran i ladningene som ble detonert i 1998, men ingenting er på det rene (2).

<sup>42</sup> Dersom det er slik at Indias kapasitet i dag er 15 kg våpenuran per år, vil kapasiteten på lavanriktet uran (mindre enn 20 %) være større enn 15 kg, siden lavere anrikning krever kortere behandlingstid. Det vil imidlertid ikke være veldig stor forskjell på kapasiteten for anrikning til våpenuran og til 20 % anrikning, fordi det mest tidkrevende arbeidet foregår ved anrikning til lavanriktet uran.

<sup>43</sup> Det har kommet presise påstander om at Trombay-anlegget kunne produsere opptil 2 kg høyanriktet uran per år, og at Rattehalli-anlegget kunne produsere 28 kg våpenuran per år. Informasjon om forutsetningene følger ikke med. Er dette kapasiteten til anleggene eller den faktiske produksjonen? Spesielt vil vi her være interessert i å følge opp påstanden om Rattehalli-anleggets kapasitet. Den eldste kilden vi har funnet som angir Rattehallis kapasitet til 28 kg våpenuran per år, er en oppsummering fra 1998 av Indias kjernevåpenprogram ved Center for Defence Information (20). Senteret oppgir ingen kildehenvisning, og vi vet ikke hvor påstanden har sitt opphav. Vi har derimot funnet noen yngre, uavhengige kilder som har akseptert påstanden: Koch (24) fra 1999 og GlobalSecurity.org (58) fra 2002. Disse kildene gir ingen ny informasjon om opprinnelsen. I de fleste kilder oppgis imidlertid Indias anrikningskompetanse som ukjent.

Samtidig ser vi at India importerer lavanriket brensel til nåværende og fremtidige kokvannsreaktorer (Tarapur og Kudankulam). Av dette kan vi ikke slutte en manglende nasjonal anrikningsevne. Tarapur ble i sin tid satt opp i samarbeid med USA under betingelse om overvåkning av brenselet (9). Dessuten vil reaktorer som går på lavanriket uran være mindre egnet til produksjon av våpenplutonium. Uten ulemper kan de ilegges overvåkning. Det kan også være at India ønsker å reservere anrikningsprogrammet til de militært relaterte aktivitetene, som atomubåtene og eventuelt til kjernevåpen. Kanskje koster det India mer å produsere lavanriket brensel selv enn å importere det. Alternativt kan det også være at all anrikning nå går til produksjon til de planlagte atomubåtrektorene.

### 3.8 Mulig kretsløp til det fissile materialet

Figur 3-7 gir en skjematisk oversikt over det mulige kretsløpet til det fissile materialet i India per 2003. Dette blir som en oppsummering av kapittel 3.

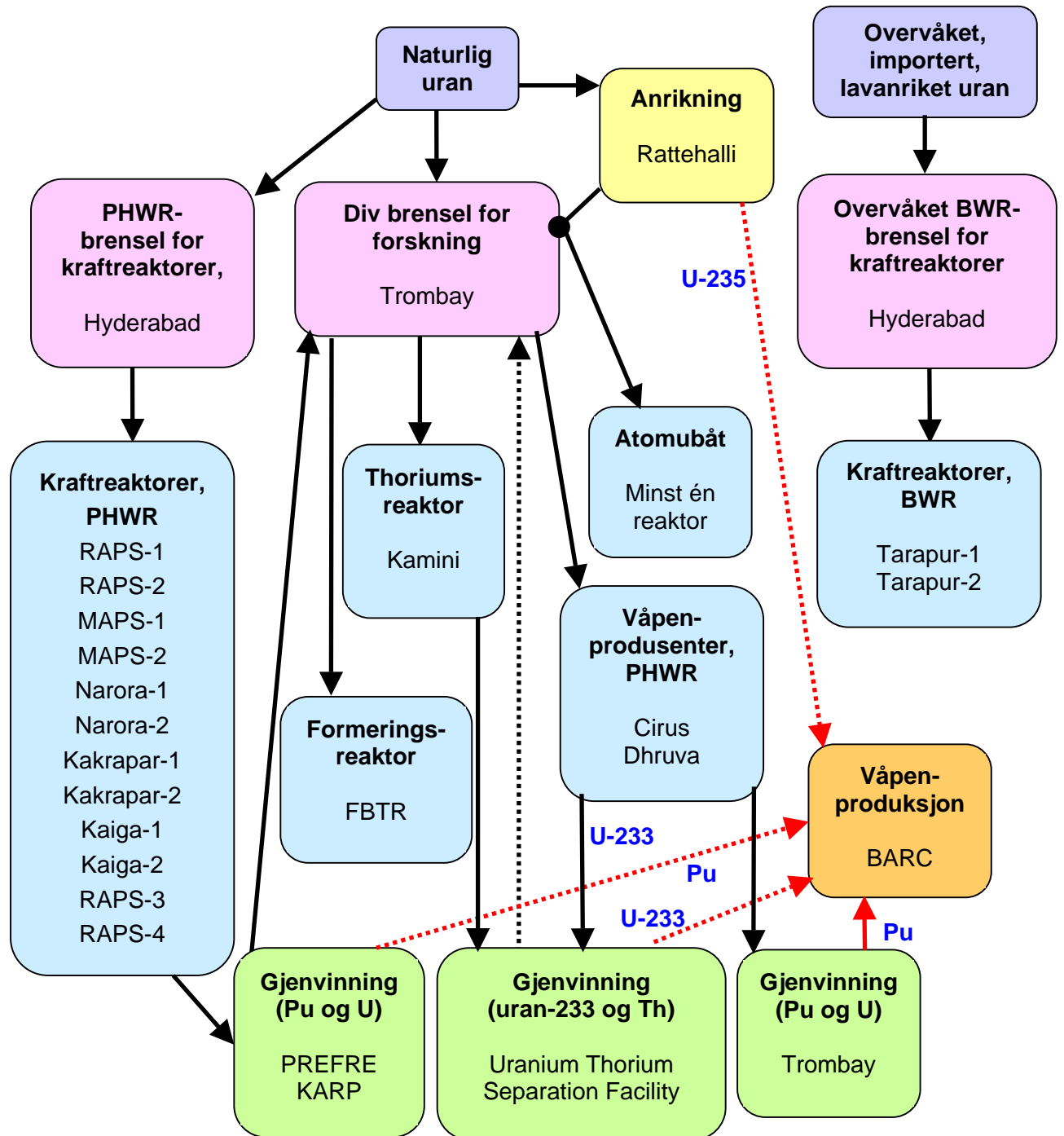
### 3.9 Termonukleært program

India hevder å ha termonukleære våpen (med sprengkraft opptil 200 kt). Det er ingen sikre beviser på et termonukleært program, men det er mange indikasjoner. Detaljene holdes naturlig nok hemmelig.

- India produserer litiumisotopen litium-6. Produksjonen foregår ved BARC. Litium-6 kan brukes enten som fusjonsbrensel i termonukleære våpen, eller til produksjon av tritium (ved nøytronbestråling i reaktor).
- India produserer tritium. Tritium har en rekke anvendelser innen kjernevåpenutvikling. Tritium kan brukes i enkelte nøytrongeneratorer<sup>44</sup>, til å booste fusjonsladninger (tritiumforsterkning), eller som bestanddel i fusjonsbrenselet i enkelte termonukleære våpen.
- India forsker på fusjon og fusjonsreaktorer. Fusjonsforskningen foregår ved minst tre forskningsinstitutter: Saha Institute of Nuclear Physics i Calcutta, Tata Institute of Fundamental Research i Mumbai og Institute for Plasma Research i Gandhinagar (23) (24).
- India har et Inertial Confinement Fusion-program (ICF) ved BARC. ICF-programmet startet opp i løpet av 1980-tallet. (14) (21) (22) Her studerer man høyenergi- og høytetthetsfysikk, som blant annet er relevant for termonukleære eksplosjoner. Dette vil kunne være til hjelp i utviklingen av termonukleære ladninger.

---

<sup>44</sup> Nøytrongeneratorer som benytter fusjon av deuterium og tritium som prinsipp.



Figur 3-7 Skjematisk oversikt over mulig kretsløp for det fissile materialet i India per 2003. Fissilt materiale i radioaktivt avfall og utarmet uran er utelatt. Stiplede linjer angir mulig (men ikke bevist) løp. Røde linjer angir siste trinn i en mulig våpenproduksjon, og disse er notert med aktuell fissil isotop (Pu for "våpenplutonium"). Per 2004 er det også ventet at laboratorieskalaanlegget Lead Mini Cell om "kort tid" begynner gjenvinning fra formeringsreaktoren FBTR.

- India har svært store IT-ressurser. Det er nødvendig for design av kompliserte kjernevåpen. Center for Development of Advanced Computing (C-DAC) ble stiftet i 1988 etter at USA ikke ville selge en Cray-maskin til India. I april 2003 skal senteret ha utviklet en IT-kapasitet som bringer India i verdensledende klasse sammen med USA, Japan, Israel og Kina. (23)

Når det gjelder tritiumproduksjonen, har India utviklet en egen metode for å trekke tritiumet ut av brukt tungtvann (24) (44). Produksjonen foregår tilknyttet CANDU-reaktorene ved BARC, i Madras, Kota og Narora (21) (44). Første tritiumseparerende anlegg stod ferdig ved BARC i 1992 (24). India hevder at hensikten er å fjerne tritium for å redusere helseskadene for de ansatte (23). Variable Energy Cyclotron Centre i Calcutta skal ha forsket noe på produksjon av tritiumgass ved å skyte protoner mot litium-6 (23) (24).

Det var i 1989 at Indias interesse for litium-6 og tritium ble allment kjent. Daværende CIA-direktør William Webster meddelte Kongressen mistanken om et indisk termonukleært våpenprogram.

Det har blitt hevdet at India startet forskningen på termonukleære våpen før 1980 (22), og at India gjennomførte teoretiske studier av boostede fisjonsvåpen og termonukleære våpen på 1980-tallet (21). I 1985 ble et dokument, som skal ha vært en vesttysk etterretningsrapport, kjent. Det siterte en ubekreftet melding fra en agent på at "Indias politiske ledelse skal ha gitt BARC klarsignal til å fortsette å utvikle termonukleære våpen", og at en eventuelt neste prøvesprengning skulle være en termonukleær eksplosjon (14) (21). Indiske antydninger (fra en ikke navngitt "tidligere AEC-leder") sier at dersom India hadde prøvesprengt på 1980-tallet eller på starten av 1990-tallet, ville ladningen trolig heller vært en boostet fisjonsladning fremfor et totrinns termonukleært våpen. Denne siste ubekreftede påstanden er spekulativ. Vi refererer den fordi den antyder at India i hvert fall ikke skal ha hatt kompetanse på ferdige termonukleære ladninger før på siste halvdel av 1990-tallet.

India har tydeligvis produsert litium-6 og tritium siden 1980-tallet, og deres interesse for termonukleære våpen er allment kjent. I 1998 hevdet India å vellykket ha prøvesprengt et termonukleært våpen med liten sprengkraft (43 – 45 kt). I FFI-rapporten (2) har vi etter vurderinger antatt at India ikke gjennomførte en vellykket fullskala prøvesprengning av en liten termonukleær ladning, selv om det ikke kan utelukkes. Vi spekulerer i om staten heller foretok et (kanskje vellykket) totrinns termonukleært *eksperiment* som, med et mindre antall fusjonsreaksjoner, hadde til hensikt å teste bare deler av designen. Dersom et slikt eksperiment faktisk ble gjennomført, har India i så fall store kunnskaper ikke bare om fisjonsladninger, men også om totrinns termonukleære våpen.

En stat vil trolig ikke starte serieproduksjon av en ny kjernevåpendesign uten å ha prøvesprengt den. Årsaken er de store produksjonskostnadene og risikoen man løper i en krig dersom kjernevåpnene ikke fungerer. Under prøvesprengningene i 1998 kan India ha fått sannsynliggjort at deres eventuelle termonukleære design fungerer.

#### 4 BEREGNINGER AV MULIG PLUTONIUMSPRODUKSJON

India holder naturlig nok informasjon om produksjonen av plutonium hemmelig – både reaktorplutonium og våpenplutonium. I avsnitt 3.5.1 så vi at forskningsreaktorene Cirus og Dhruva høyst sannsynlig benyttes til produksjon av våpenplutonium. Det er ukjent om de ti kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene kjøres på normalmåten (som gir reaktorplutonium) eller med hyppig brenselsskifte (som gir våpenplutonium).<sup>45</sup> Normalt eller hyppigere brenselsskifte gir ikke bare forskjellig kvalitet på plutoniumet, men også helt forskjellige mengder. Formeringsreaktoren FBTR kan også trolig lett benyttes i våpenproduksjonen. Det er aldri påvist at noen av disse reaktorene har produsert våpenplutonium.

I dette kapittelet vil vi først forklare hvordan man estimerer mengden plutonium produsert i Indias reaktorer ved ulike driftsmønstre (delkapittel 4.1). Deretter presenterer vi Indias offisielle elektrisitetsproduksjon (delkapittel 4.2). Resten av kapittelet (delkapitlene 4.3 og 4.4) inneholder beregninger av mulig plutoniumproduksjon. Vi tar for oss beregninger av to scenarier, som vi kaller henholdsvis det konservative estimatet og det radikale estimatet. Skillet går på hvor mange reaktorer som har blitt brukt til å produsere våpenplutonium.

*Det konservative estimatet* fås hvis bare Cirus og Dhruva, og eventuelt de første kjernene til de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene, gir plutonium av våpenkvalitet. (Ved normal reaktordrift blir de første kjernene skiftet hyppigere, og man får da noe plutonium av våpenkvalitet – se delkapittel 4.1.) De kommersielle, ikke-overvåkede CANDU-reaktorene kjøres på normalmåten – det vil si at man ikke skifter brensel oftere enn nødvendig for elektrisitetsproduksjonen. Da vil plutoniumet i det brukte brenselet være av reaktorkvalitet. Scenariet er i samsvar med avkreftelsen som var nevnt i delkapittel 3.5: MAPS skal ikke ha gitt kilogrammengder plutonium av våpenkvalitet til kjernevåpenprogrammet. Derfor kaller vi dette estimatet ”konservativt”. I delkapittel 4.3 beregner vi mengden våpenplutonium for det konservative estimatet, samt mengden reaktorplutonium fra alle de kommersielle reaktorene.

Konservative estimater på våpenplutonium og estimater på kommersielt reaktorplutonium har tidligere forekommet i litteraturen, hovedsakelig ved analytikeren D Albright (se Albright et al (34) og appendiks G). Imidlertid er det nå mange år siden siste estimat, slik at vi må gjøre beregningene på nytt for å få oppdaterte størrelser.

*Det radikale estimatet* fås hvis i tillegg én eller flere av de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene brukes til produksjon av våpenplutonium. Vi kaller estimatet ”radikalt” fordi det er ingen beviser på at dette skulle være tilfelle. I delkapittel 4.4 ser vi på Indias muligheter for å ta i bruk kommersielle reaktorer i våpenproduksjonen. Vi skjønner at våpenproduksjon krever større mengder brensel enn vanlig drift. Metodikken er derfor å sette den offisielle kapasiteten for brenselfabrikkasjon opp mot forbruket av brensel som en eventuell våpenproduksjon ville kreve.

---

<sup>45</sup> Reaktorplutonium kan også fås til å eksplodere kjernefysisk, men vil nok være mindre foretrukket av stater, spesielt av India som har gode muligheten til å produsere ikke-overvåket våpenplutonium. Se appendiks A.2.2 for generell informasjon om plutoniumskvaliteter.

En lignende vurdering av det radikale estimatet ble gjort i en artikkel av Nayyar, Toor og Mian i 1997 (33). Forfatterne konkluderte med at India hadde hatt stor nok kapasitet for brenselproduksjon til å benytte *alle* de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene (som fantes på den tiden – seks stykker) i produksjonen av våpenplutonium. Som vi skal se i delkapittel 4.4, er vi uenige.

#### 4.1 Teknisk grunnlag for beregninger av plutoniumsproduksjon

Den såkalte *utbrenningsgraden* (*burn-up rate*) for reaktorbrenselet er et mål på hvor mye energi som har vært trukket ut per brenselshet under drift av reaktoren. Dette målet er en økende funksjon av hvor mange fisjonsreaksjoner som er undergått i den gitte mengden brensel. Benevnelsen er  $MW_d/tU$ , som står for ”megawatt dager termisk effekt per tonn uran”.<sup>46</sup> (Heretter forenkler vi og skriver ”MWd/tonn”, der termisk effekt og uran er underforstått.)

CANDU-reaktorer kan ha utbrenningsgrader i området 3 000 – 8 000  $MW_d/tonn$  (34). Designverdien av utbrenningsgraden er 6 700  $MW_d/tonn$  for CANDU-reaktorer (33) (34).<sup>47</sup> Ved en så høy utbrenningsgrad som designverdien gir reaktoren reaktorplutonium.

Når vi skal beregne mengden reaktorplutonium som en CANDU-reaktor gir ved vanlig drift, gir Albright et al (34) to mulige oppskrifter:

- En gjennomsnittlig utbrenningsgrad på designverdien gir om lag 3,5 kg reaktorplutonium per tonn brukt brensel.<sup>48</sup>
- Hvis reaktoren gjennomsnittlig drives på utbrenningsgraden 7 500  $MW_d/tonn$ , vil den for hver brutto  $GW_e$  og ved 100 % kapasitetsfaktor produsere 570 kg plutonium på ett år.<sup>49</sup>

I CANDU-reaktorer foregår kontinuerlig utskifting av små mengder brensel. For den første kjernen vil noe av brenselet få lav utbrenningsgrad. Årsaken er at for en gang å komme inn i brenselsskifterutinene, må man ta ut en del brensel før det har fått høy utbrenningsgrad. Derfor vil første kjerne kunne gi noe våpenplutonium. Man kan regne med et bidrag på 5 kg våpenplutonium fra hver første kjerne (34).

<sup>46</sup> Mange kilder spesifiserer ikke om den anvendte utbrenningsgraden har enhet i brenselet (”tonn brensel”, for eksempel ”tonn uranoksid”), eller enhet i uran (”tonn uran”). Forskjellen mellom ”tonn uranoksid” og ”tonn uran” er om lag 13 % dersom brenselet er uranoksid. Vi anser det som logisk om utbrenningen angis i enhet av den fissionable isotopen (som regel uran). Dette er også i samsvar med lignende beregninger i en artikkel fra Ramana et al (59).

<sup>47</sup> Fra Albright et al (34) side 21. Albright et al (34) (side 181) angir ikke om utbrenningsgraden har ”tonn uran” eller ”tonn uranoksid” (det samme som ”tonn brensel”) i enheten for utbrenningsgrad for denne designverdien. Forskjellen er om lag 13 %. Vi antar at måltallet er oppgitt i enheten ”tonn uran” og benytter størrelsen 6 700  $MW_d/tU$  som designverdi for Indias CANDU-reaktorer.

<sup>48</sup> Se Albright et al (34) side 181. Kilden oppgir ikke hva benevnelsen til brenselet (”tonn uran” eller ”tonn uranoksid”) er i denne sammenhengen. Forskjellen mellom massen til  $UO_2$  og U er om lag 13 %. Vi antar at det skal være ”tonn uran”, men legger inn en usikkerhet i sluttsvaret

<sup>49</sup> Se Albright et al (34) side 473.

En CANDU-reaktor (og andre trykkungtvannsreaktorer) som skal produsere våpenplutonium, bør kjøres på en utbrenningsgrad nær 1 000 MWd/tonn. For denne utbrenningsgraden blir plutoniumet av våpenkvalitet (93,8 % av materialet består av isotopen plutonium-239) (34). Fra reaktorens termiske effekt beregner vi mengden produsert våpenplutonium. For utbrenningsgraden 1 000 MWd/tonn er produksjonen 0,9 gram våpenplutonium for hver av reaktorens MW<sub>t</sub>d (34).<sup>50</sup> For eksempel vil en 40 MW<sub>t</sub>-reaktor gi 36 gram våpenplutonium per døgn.

For kokvannsreaktorer som gjennomsnittlig drives på utbrenningsgraden 28 000 MWd/tonn, fås 330 kg plutonium per brutto GW<sub>e</sub> ved 100 % kapasitetsfaktor per år.<sup>51</sup> Dette plutoniumet er av reaktorkvalitet.

Den generelle sammenhengen mellom en reaktors termiske energiproduksjon og brukt brensel er

$$\text{bruttoproduksjon termisk energi} = \text{utbrenningsgrad} \cdot \text{brenselsforbruk} . \quad (4.1)$$

I tilfelle av produksjon av våpenplutonium kan vi også estimere mengden brukt brensel på en enklere måte. Man antar utbrenningsgraden 1 000 MWd/tonn og anslår mengden produsert våpenplutonium, som altså da er 0,9 gram for hver av reaktorens MW<sub>t</sub>d. For trykkungtvannsreaktorer vil det i ett tonn brukt brensel være bundet 0,9 kg våpenplutonium. Hvis man dividerer mengden våpenplutonium (i kg) med "0,9 kg våpenplutonium", får man mengden brukt brensel (i tonn).

Energiproduksjon oppgis ofte som elektrisk energi, og den bestemmes fra termisk energi ved relasjonen

$$\text{elektrisk energi} = \text{termisk energi} \cdot \text{termisk effektivitetskonstant} , \quad (4.2)$$

der den termiske effektivitetskonstanten er reaktoravhengig og finnes i tabeller.

Ved hjelp av den termiske effektivitetskonstanten kan vi uttrykke sammenhengen mellom en reaktors elektriske energiproduksjon og brukt brensel som

$$\text{bruttoproduksjon elektrisk energi} = \text{termisk effektivitetskonstant} \cdot \text{utbrenningsgrad} \cdot \text{brenselsforbruk} . \quad (4.3)$$

Tabell 4.1 gir en oversikt over typiske utbrenningsgrader for ulike driftsmønstre for CANDU-reaktorer, gjennomsnittlig utbrenningsgrad for kokvannsreaktorer, samt reaktorenes termiske effektivitetskonstanter.

<sup>50</sup> Albright et al (34) oppgir som kilde: Libby D, *Nuclear fuel cycle and nuclear reactors*, Pacific Northwest Laboratory, presentert ved en Department of Energy Nuclear Nonproliferation Workshop i Washington DC, 1993.

<sup>51</sup> Se Albright et al (34) side 473.

Reaktor-modell	Utbrenningsgrad, designverdi [MWd/tonn]	Utbrenningsgrad, gjennomsnitt [MWd/tonn]	Utbrenningsgrad, våpenproduksjon [MWd/tonn]	Termisk effektivitetskonstant
CANDU	6 700	7 000	1 000	Brutto: 0,32
				Netto: 0,29
Kokvanns		20 000		Brutto: 0,328
				Netto: 0,312

Tabell 4.1 Oversikt over typiske utbrenningsgrader for ulike driftsmønstre for CANDU-reaktorer, gjennomsnittlig utbrenningsgrad for kokvannsreaktorer, samt brutto og netto termiske effektivitetskonstanter. Ved designverdien for utbrenningsgrad og den gjennomsnittlige utbrenningsgraden produserer reaktorene reaktorplutonium. CANDU-reaktorer produserer våpenplutonium ved 1 000 MWd/tonn. Hentet fra Albright et al (34).

## 4.2 Kraftverkens offisielle energiproduksjon

Dette delkapittelet presenterer den offisielle energiproduksjonen til de indiske kraftverkene, som blir grunnlag for de kommende beregningene.

Vi kommer til å gjøre nytte av definisjonene som vi introduserte i delkapittel 3.5: Termiske vs elektriske størrelser, design- vs nåværende størrelser, og kapasitetsfaktorer.

I tillegg definerer vi to nødvendige begreper til:

- Den *maksimale, akkumulerte energiproduksjonen* er energien en reaktor maksimalt kunne ha gitt (altså ved full drift) gjennom hele livsløpet. Størrelsen bestemmes ved å multiplisere reaktorens kapasitet med dens levetid (i døgn). (Bruttostørrelser; nåværende størrelser.)
- *Livsløpskapasitetsfaktoren* angir gjennomsnittlig utnyttelsesgrad (i prosent) av en reaktors kapasitet gjennom hele dens levetid. Denne størrelsen er forholdet mellom akkumulert energiproduksjon og maksimal, akkumulert energiproduksjon.<sup>52</sup> (Bruttostørrelser; nåværende størrelser.)

Nuclear Power Corporation of India Ltd (NPCIL) (38) oppgir med jevne mellomrom kraftverkens elektrisitetsproduksjon fra kommersiell start og frem til i dag. Energien er oppgitt i enheten MUs, noe vi omregner før bruk. MUs står for "Mega Units", og 1 Unit er 1 kW<sub>e</sub>h. Derfor er

$$1 \text{ MU} = 1 \text{ GW}_e\text{h} \approx 41,7 \text{ MW}_e\text{d}. \quad (4.4)$$

Tabell 4.2 viser produksjonsdata for de to kokvannsreaktorene, og Tabell 4.3 viser de

<sup>52</sup> Vi kan også definere livsløpskapasitetsfaktoren som forholdet mellom 1) gjennomsnittlig effekt som reaktoren gjennom livsløpet faktisk har vært drevet på, og 2) bruttokapasiteten.



tilsvarende produksjonsdataene for de tolv kommersielle CANDU-reaktorene. Livsløpskapasitetsfaktorene er det vi som har beregnet.<sup>53</sup>

Navn	IAEA	Kommersiell start	Akkumulert energiprod per 31.08.2003 [GW <sub>e</sub> h]	Akkumulert energiprod per 31.08.2003 [MW <sub>e</sub> d]	Maksimal, akkumulert energiprod per 31.08.2003 [MW <sub>e</sub> d]	Livsløpskapasitetsfaktor [%]
Tarapur-1	Ja	28.10.1969	31 900	1 330 000	1 980 000	67,4
Tarapur-2	Ja	28.10.1969	32 000	1 330 000	1 980 000	67,5

Tabell 4.2 *Produksjonsdata for de to overvåkede kokvannsreaktorene per 31.08.2003. Energistørrelsene er oppgitt som bruttoverdier av elektrisk energi. Tallstørrelsen for den akkumulerte energiproduksjonen i GW<sub>e</sub>h er hentet fra NPCIL (38). De resterende størrelsene har vi beregnet. "Maksimal, akkumulert energiproduksjon" er hva reaktoren maksimalt kunne ha gitt – det vil si om den gjennom hele livsløpet hadde vært drevet på 100 % av kapasiteten. Livsløpskapasitetsfaktoren er forholdet mellom akkumulert energiproduksjon og maksimal, akkumulert energiproduksjon. (Nåværende størrelser.)*

### 4.3 Konservativt estimat

La oss gjøre estimater på hvor stort forråd India kan ha av våpenplutonium og reaktorplutonium hvis vi legger til grunn at våpenplutonium bare kommer fra Cirus, Dhruva og de første kjernene fra de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. Alle de kommersielle reaktorene antas å bli kjørt på normalmåten og å gi reaktorplutonium. Estimatenes er oppdatert per 2003.

#### 4.3.1 Våpenplutonium

Kapasitetsfaktorene til Cirus og Dhruva er hemmelige. Vi blir nødt til å gjøre antagelser.

Vi begynner med å bestemme laveste og høyeste verdi av livsløpskapasitetsfaktorene til de kommersielle, ikke-overvåkede kraftreaktorene av samme modell (CANDU). Nå må man merke seg at de oppgitte kapasitetene til Cirus og Dhruva (henholdsvis 40 MW<sub>t</sub> og 100 MW<sub>t</sub>) er designverdier, og vi ønsker derfor å finne designverdiene av livsløpskapasitetsfaktorene. Som vi ser av Tabell 4.3, ligger de nåværende verdiene av livsløpskapasitetsfaktorene mellom 61,8 % (Narora-1) og 83,7 % (Kakrapar-2). Siden MAPS har større forskjell mellom design- og nåværende kapasitet enn Narora-1, vil MAPS-2 likevel ha lavest designlivsløpskapasitetsfaktor. Vi beregner den og får 41,7 %. Den høyeste designverdien av livsløpskapasitetsfaktor er

<sup>53</sup> Man kan også finne livsløpskapasitetsfaktorene ("load factor, cumulative") til kraftreaktorene hos IAEA (51) på siden "Operating Experience History". Man må imidlertid være varsom, fordi kapasiteten som IAEA har lagt til grunn for disse kapasitetsfaktorene, ikke er spesifisert i tabellene. Det synes som om designverdien av den elektriske bruttokapasiteten er lagt til grunn. Beregninger viser at det kun er små forskjeller mellom IAEOs og våre livsløpskapasitetsfaktorer.

Navn	IAEA	Kommer- siell start	Akkumulert energiprod per 31.08.2003 [GW <sub>e</sub> h]	Akkumulert energiprod per 31.08.2003 [MW <sub>e</sub> d]	Maksimal, akkumulert energiprod per 31.08.2003 [MW <sub>e</sub> d]	Livsløps- kapasitets- faktor [%]
RAPS-1	Ja	16.12.1973	11 400	477 000	1 080 000	44,0
RAPS-2	Ja	01.04.1981	22 700	948 000	1 650 000	57,9
MAPS-1	Nei	27.01.1984	19 700	820 000	1 220 000	67,5
MAPS-2	Nei	21.03.1986	16 300	680 000	1 080 000	62,8
Narora-1	Nei	01.01.1991	15 100	628 000	1 020 000	61,8
Narora-2	Nei	01.07.1992	14 800	617 000	890 000	69,3
Kakrapar-1	Nei	06.05.1993	13 900	577 000	828 000	69,7
Kakrapar-2	Nei	01.09.1995	12 900	538 000	642 000	83,7
Kaiga-1	Nei	16.11.2000	4 320	180 000	224 000	80,2
Kaiga-2	Nei	16.03.2000	5 250	219 000	278 000	78,8
RAPS-3	Nei	01.06.2000	5 090	212 000	261 000	81,2
RAPS-4	Nei	23.12.2000	4 260	177 000	215 000	82,4

Tabell 4.3 *Produksjonsdata for de tolv kommersielle CANDU-reaktorene per 31.08.2003. To er overvåkede, resten ikke-overvåkede. Energistørrelsene er oppgitt som bruttoverdi av elektrisk energi. Tallstørrelsen for den akkumulerte energiproduksjonen i MUs er hentet fra NPCIL (38). De resterende størrelsene har vi beregnet. Maksimal, akkumulert energiproduksjon er hva reaktoren maksimalt kunne ha gitt – det vil si om den gjennom livsløpet hadde vært drevet på 100 % av kapasiteten. Livsløpskapasitetsfaktoren er forholdet mellom akkumulert energiproduksjon og maksimal akkumulert energiproduksjon. (Nåværende størrelser.)*

71,8 % (Kakrapar-2).<sup>54</sup> Designlivsløpskapasitetsfaktorene for de ikke-overvåkede, kommersielle reaktorene befinner seg altså i intervallet 42 – 72 %.

Likevel er det vanligst i litteraturen å benytte designlivsløpskapasitetsfaktorer på mellom 50 og 80 % som rimelig antagelse når man estimerer plutoniumsproduksjonen, og det gjør også vi. Som vi ser, er dette et anslag som er en anelse mer ”worst case” enn hva den kommersielle driften skulle antyde, men ikke så mye.

Antagelsen om at Cirus og Dhruva har designverdier av livsløpskapasitetsfaktorene mellom 50 og 80 %, gir at de i gjennomsnitt kan ha årlig utbytte på henholdsvis 6,6 – 10,5 kg og 16 – 25 kg våpenplutonium. (Vi har benyttet estimatet om produksjon av 0,9 gram våpenplutonium for hver MW<sub>e</sub>d – se delkapittel 4.1.) Samlet kan de da gi en årlig produksjon på 23 – 36 kg våpenplutonium.

Fra sammenhengen mellom brenselforbruk og mengden produsert våpenplutonium (se

<sup>54</sup> Designverdien av livsløpskapasitetsfaktoren til Kakrapar-2 beregnes fra  $(0,837 \cdot 220) / (802 \cdot 0,32) = 0,718$ .

delkapittel 4.1) får vi at Cirus og Dhruva sammenlagt kan antas å bruke 26 – 40 tonn uranbrensel per år. Gjenvinningsanlegget i Trombay, som er dedikert til å gjenvinne fra Cirus og Dhruva, har nominell kapasitet på 50 tonn brukt brensel per år. Vi kan anta at anlegg ofte ikke drives på den nominelle kapasiteten. Dermed ser det ut for oss som om Trombay kan gjenvinne alt brukt brensel fra Cirus og Dhruva, men neppe vesentlig mer.

Cirus ble satt i drift i 1960. Reaktoren var avslått fra september 1997 til oktober 2002. Vi ser bort fra produksjonen de første tre årene, fordi vi antar at den da var liten. Dermed antar vi at Cirus ved utgangen av 2003 har produsert våpenplutonium i 35 år. Vi får da at Cirus kan ha produsert totalt 230 – 370 kg våpenplutonium (per utgangen av 2003).

Dhruva ble satt i drift i 1985. Vi ser bort fra produksjonen de første tre årene. Vi antar en produksjon i 16 år (1988 – 2003). Estimert blir at Dhruva per utgangen av 2003 kan ha produsert totalt 260 – 400 kg våpenplutonium.

Tabell 4.4 oppsummerer produksjonen til Cirus og Dhruva..

Navn	Design-kapasitet [MW <sub>t</sub> ]	Antatt designverdi av livsløps-kapasitetsfaktor [%]	Årlig utbytte våpenplutonium [kg/år]	Årlig brenselsforbruk [tonn/år]	Akkumulert produksjon av våpenplutonium per 31.12.2003 [kg]
<b>Cirus</b>	40	50 – 80	6,6 – 10,5	7,3 – 12	230 – 370
<b>Dhruva</b>	100	50 – 80	16 – 25	18 – 28	260 – 400

Tabell 4.4 Beregninger av estimert årlig utbytte av våpenplutonium og brenselsforbruk, samt estimert akkumulert utbytte av våpenplutonium frem til utgangen av 2003, for forskningsreaktorene Cirus og Dhruva.

Per 2003 er ti kommersielle, ikke-overvåkede reaktorer satt i drift. Fra de første kjernene har man muligens fått et ekstra utbytte på i alt 50 kg våpenplutonium.

India har også forbrukt våpenplutonium. Vi estimerer at forbruket per 2003 trolig fordeler seg slik:<sup>55, 56</sup>

- Smiling Buddha: 10 kg;
- Svinn i produksjonen av Smiling Buddha: 10 kg;
- Første kjerne i FBTR: 50 kg;
- Purnima: 35 kg;
- Shakti-98: 30 kg;
- Svinn i produksjonen av Shakti-98: 15 kg.

<sup>55</sup> Albright et al (34) (side 268f) estimerte fordelingen av forbrukt våpenplutonium frem til 1995. Vårt estimat er basert på dette og oppdatert frem til utgangen av 2003.

<sup>56</sup> Kamini (se avsnitt 3.5.1) har hatt en første kjerne av plutonium, men denne har derimot sannsynligvis bestått av det mindre kostbare reaktorplutoniumet. Kamini ble igangsatt etter at gjenvinning til reaktorplutonium hadde startet.

Totalt anslår vi forbruket av plutonium til om lag 150 kg frem til utgangen av 2003.

Forrådet av våpenplutonium blir produksjonen minus forbruket. Vi anslår at India per utgangen av 2003 hadde 340 – 620 kg våpenplutonium. Noe er omgjort til stridshoder, noe er trolig på gjenvunnet form, men også noe er nok fremdeles i form av brukte brenselstaver.

Vi antar at hver plutoniumsladning består av 6 kg våpenplutonium (appendiks A.5). Ved å dividere anslått forråd av våpenplutonium med denne størrelsen finner vi anslått antall *våpenekvivalenter*, det vil si antallet kjernefysiske ladninger som hypotetisk sett kan lages. Vi tar altså ikke stilling til hvor stor andel av brenselstavene med våpenplutonium som er gjenvunnet og inkorporert i ladninger. Mengden våpenplutonium i India tilsvarer 60 – 100 våpenekvivalenter per utgangen av 2003. (I delkapittel 5.1 vurderes det faktiske antallet ladninger.)

Cirus og Dhruva har mulighet til å gi en årlig økning på om lag 4 – 6 våpenekvivalenter.

#### 4.3.2 Reaktorplutonium

Det brukte brenselet kan sendes til gjenvinning og gi reaktorplutonium, eller det kan bli oppbevart som høyradioaktive brenselstaver. La oss for enkelthetens skyld omtale begge former som "reaktorplutonium". Vi benytter metodene for beregning av produksjon av reaktorplutonium som vi presenterte i delkapittel 4.1. Utgangspunktet er offisiell akkumulert energiproduksjon per 31.08.2003 og siden reaktorenes kommersielle start, som vi finner i Tabell 4.2 og Tabell 4.3. For CANDU-reaktorene benytter vi den akkumulerte energiproduksjonen til å beregne brenselforbruket,<sup>57</sup> og brenselforbruket til å beregne plutoniumproduksjonen. For kokvannsreaktorene beregner vi reaktorenes gjennomsnittlige effekt (over livsløpet) fra den akkumulerte energiproduksjonen. Fra reaktorenes gjennomsnittlige effekt finner vi plutoniumproduksjonen. Fra plutoniumproduksjonen beregnes brenselforbruket. Vi gjør antagelsen om at kokvannsreaktorene har den gjennomsnittlige utbrenningsgraden 28 000 MWd/tonn, og at CANDU-reaktorene har hatt utbrenningsgraden 6 700 MWd/tonn. Vi ser bort fra reaktordriften før kommersiell start, som ikke er inkludert i NPCILs offentliggjøringer, og som på lang sikt er neglisjerbar.<sup>58</sup>

<sup>57</sup> Vi må bemerke at offisiell utbrenningsgrad og brenselforbruk per år (forutsatt kapasitetsfaktoren 100 %?) for hver reaktor listes i 2002 World Nuclear Industry Handbook (27). Utbrenningsgrad henger sammen med årlig brenselforbruk. De utbrenningsgradene som er ført opp, forutsatt kapasitetsfaktoren 100 %, leder teoretisk til andre verdier for brenselforbruket enn hva som er ført opp! Vi ser også at det ikke er konsistens ved sammenligning mellom flere reaktorer. Reaktorer med samme nåværende kapasitet og årlig brenselforbruk føres opp med forskjellige utbrenningsgrader! Av disse grunnene velger vi å se bort fra listeverdiene for utbrenningsgrad og årlig brenselforbruk. Isteden gjør vi antagelser om utbrenningsgraden og estimerer brenselforbruket selv. For øvrig nevner vi at 2002 World Nuclear Industry Handbook (27) hevder at (alle) RAPS, MAPS og Kaiga kjøres på designverdien 6 700 MWd/tonn, mens (begge) Kakrapar kjøres på 6 500 MWd/tonn, og Narora (begge) på 6 130 MWd/tonn. India hevder altså at CANDU-reaktorene enten kjøres på en utbrenningsgrad som er på designverdien eller lavere.

<sup>58</sup> Reaktorene er trolig innkjørt før de settes i kommersiell drift. Vi trenger derfor ikke i våre beregninger ta hensyn til "for tidlig" brenselsskifte, og dermed lav utbrenningsgrad, i deler av brenselet.

Resultatene for estimatene på akkumulert brenselforbruk og produksjon av reaktorplutonium vises i Tabell 4.5 (kokvannsreaktorer) og i Tabell 4.6 (CANDU-reaktorer). De fire overvåkede reaktorene (Tarapur-1, Tarapur-2, RAPS-1 og RAPS-2) skal ha forbrukt om lag 950 tonn brensel (tonn uran) per 31.08.2003. Dette brenselet vil være overvåket. De ikke-overvåkede reaktorene skal ha forbrukt 2 200 tonn brensel (tU) frem til samme dato. Totalt dreier det seg altså om rundt 3 200 tonn brukt brensel fra de kommersielle reaktorene. (Her har vi ikke tatt hensyn til noen usikkerhet i svarene.) (Forutsetningen er de bestemte verdiene for utbrenningsgradene som angitt ovenfor. I tillegg ser vi bort fra brukt brensel fra tiden før kommersiell start.)

Navn	IAEA	Akkumulert energiprod [MW <sub>e</sub> d]	Gjennomsnittlig effekt multiplisert med antall leveår [MW <sub>e</sub> y]	Akkumulert brenselforbruk [tU]	Akkumulert mengde reaktorplutonium [kg]
Tarapur-1	Ja	1 330 000	3 650	144	1 200
Tarapur-2	Ja	1 330 000	3 660	144	1 200
<b>Sum</b>		<b>2 660 000</b>	<b>7 300</b>	<b>288</b>	<b>2 400</b>

*Tabell 4.5 Beregninger av akkumulert brenselforbruk og den produserte mengden reaktorplutonium for de to kokvannsreaktorene fra kommersiell start og frem til 31.08.2003. Estimaten tar ikke hensyn til variasjon av utbrenningsgrad eller hyppigere brenselsskifte for første kjerne. Forutsatt utbrenningsgrad er 28 000 MWd/tonn. "Gjennomsnittlig effekt multiplisert med antall leveår" bestemmes ved å dividere den akkumulerte energiproduksjonen med 365 døgn, og fra denne størrelsen beregnes plutoniumsproduksjonen (delkapittel 4.1). Begge reaktorene er overvåkede.*

Vi beregner så hvor mye plutonium som fins i det brukte brenselet. I det overvåkede brenselet vil det være 4 700 kg reaktorplutonium. I det ikke-overvåkede brenselet vil det være 7 600 kg reaktorplutonium. Vi legger inn en usikkerhet på om lag  $\pm 15\%$ .<sup>59</sup> Sammenlagt fås at India har produsert brukt brensel tilsvarende om lag 11 000 – 14 000 kg reaktorplutonium per 31.08.2003. (Forutsetningen er at utbrenningsgraden er som oppgitt ovenfor, og at driften før kommersiell start sees bort fra.) Anslaget på totalforrådet av reaktorplutonium er i overensstemmelse med det siste estimatet fra 1999 på reaktorplutonium fra D Albright og Institute for Science and International Study (60). (Se appendiks G.)

Beregninger viser også at årlig økning av mengde produsert reaktorplutonium i de 14 kommersielle reaktorene er om lag 930 – 1 100 kg. (Forutsatt livsløpskapasitetsfaktoren og innbakt en usikkerhet på  $\pm 15\%$ .)

Hva skjer ved en mindre endring av standardverdiene av utbrenningsgradene? Mengden produsert reaktorplutonium per tonn brukt brensel for CANDU-reaktorer er en økende funksjon

<sup>59</sup> Jevnfør fotnote 46.

Navn	IAEA	Akkumulert energiprod [MW <sub>t</sub> d]	Akkumulert brenselforbruk [tU]	Akkumulert mengde reaktorplutonium [kg]
RAPS-1	Ja	1 490 000	222	780
RAPS-2	Ja	2 960 000	442	1 500
MAPS-1	Nei	2 560 000	382	1 300
MAPS-2	Nei	2 120 000	317	1 100
Narora-1	Nei	1 960 000	293	1 000
Narora-2	Nei	1 930 000	288	1 000
Kakrapar-1	Nei	1 800 000	269	940
Kakrapar-2	Nei	1 680 000	251	880
Kaiga-1	Nei	562 000	84	290
Kaiga-2	Nei	684 000	102	360
RAPS-3	Nei	663 000	99	350
RAPS-4	Nei	555 000	83	290
<b>Sum</b>		<b>19 000 000</b>	<b>2 830</b>	<b>9 900</b>

Tabell 4.6 Beregninger på akkumulert brenselforbruk og den produserte mengden reaktorplutonium ved normal drift for alle kommersielle CANDU-reaktorer fra kommersiell start og frem til 31.08.2003. Den akkumulerte energiproduksjonen er oppgitt som en termisk størrelse. Forutsatt utbrenningsgrad er 6 700 MWd/tonn.

av utbrenningsgrad. Vi husker at ved utbrenningsgraden 7 500 MWd/tonn vil reaktoren for hver brutto GW<sub>e</sub> ved 100 % kapasitetsfaktor produsere 570 kg reaktorplutonium på ett år. Fra denne sammenhengen kan det vises at det vil være 3,7 gram plutonium i hvert tonn brukt brensel (tU). Forskjellen i mengde plutonium mellom utbrenningsgradene 7 500 MWd/tonn og 6 700 MWd/tonn er ikke veldig stor. Kanskje er heller ikke forskjellen stor dersom utbrenningsgraden reduseres fra 6 700 MWd/tonn. Vi øker ikke usikkerheten i svaret til mer enn ± 15 %.

Vi tror ikke at India i særlig grad vil benytte reaktorplutoniumet til våpenformål, siden denne typen plutonium er mindre hensiktsmessig, og India har tilgang til mye våpenplutonium. Man kan regne om reaktorplutoniumet til våpenekvivalenter, men det anser vi bare for å være av teoretisk interesse. Vi antar at én fisjonsladning vil trenge 8 kg reaktorplutonium – et anslag som D Albright (85) har benyttet for slike tilfeller. Det gir at Indias ikke-overvåkede reaktorplutonium tilsvarer rundt 950 våpenekvivalenter.

#### 4.3.3 Oppsummering

Resultatene fra det konservative estimatet oppsummeres i Tabell 4.7.

#### 4.3.4 Vurderinger av forbruk, forråd og behov for reaktorplutonium

Den viktigste faktiske anvendelsen av reaktorplutonium vil nok heller enn til kjernevåpen, være til forskningsbrensel – først og fremst til forskningsreaktoren FBTR og til den kommende

Reaktor	Årlig produksjon av våpenplutonium [kg plutonium]	Årlig produksjon av reaktorplutonium [kg plutonium]	Akkumulert produksjon av plutonium siden start [kg plutonium]	Akkumulert antall våpenekvivalenter [stk]
Cirus	6,6 – 10,5	0	230 – 370	40 – 60
Dhruva	16 – 25	0	260 – 400	45 – 65
De 14 kommersielle reaktorene	0	930 – 1 300	11 000 – 14 000	–

*Tabell 4.7 Sammenfatning av det konservative estimatet. Cirus og Dhruva antas å produsere våpenplutonium, mens alle Indias 14 kommersielle reaktorene antas å produsere reaktorplutonium. For årlig produksjon av plutonium ved Cirus og Dhruva er det forutsatt 50 – 80 % kapasitetsfaktor, mens livsløpskapasitetsfaktorene er forutsatt for de kommersielle reaktorene. Den akkumulerte produksjonen er fra kommersiell start til utgangen av 2003 (for Cirus og Dhruva) eller til 31.08.2003 (for de kommersielle reaktorene). Mengden akkumulert våpenplutonium er omregnet til våpenekvivalenter. Det er ikke vurdert om våpenplutoniumet faktisk er omdannet til kjernevåpen. Det er innbakt en usikkerhet på  $\pm 15\%$  i estimatene på reaktorplutonium.*

PFBR. Kokvannsreaktorene Tarapur-1 og Tarapur-2 har i perioder også gått på plutoniumsholdig brensel. Vi skal nå gjøre noen betraktninger vedrørende det mulige forbruket, forrådet og behovet for reaktorplutonium.

La oss først vurdere gjenvinningen av ikke-overvåket brensel fra de kommersielle reaktorene. Vi betrakter PREFRE og KARP (siden 1998), men Trombay-anlegget holder vi utenfor. Helt siden den første ikke-overvåkede kommersielle reaktoren kom i drift i 1984, har India hatt stor nok nominell gjenvinningskapasitet til å takle det brukte brenselet fra alle ikke-overvåkede kraftreaktorer på én gang (men ikke fra alle de overvåkede i tillegg).<sup>60, 61</sup> Dette er også tilfelle i dag (2003).<sup>62</sup> (Vurderingene er basert på den gjennomsnittlige årlige mengden brukt brensel fra reaktorene, det vil si at reaktorens livsløpskapasitetsfaktor er lagt til grunn.)

Men også praktiske faktorer må tas i betraktning når gjenvinningsevnen vurderes. En stat gjenvinner for det første ikke mer enn hva den har bruk for. Kapasiteten for håndtering av flytende, radioaktivt avfall (fra gjenvinningsprosessene) vil spille en rolle. Dessuten drives anlegg generelt ofte ikke på full kapasitet. Et mer realistisk forslag er kanskje 25 % drift de første leveårene og deretter en økning til kanskje 50 %, før nærmere 100 % omsider nås. Men dette blir bare spekulasjoner. Den siste praktiske faktoren er at brukt brensel er svært radioaktivt og dermed problematisk å frakte. Den geografiske avstanden og kommunikasjonen mellom gjenvinningsanleggene og reaktorene er derfor viktig. Vår slutning blir derfor at en vesentlig andel av de brukte brenselstavene likevel trolig er på ikke-gjenvunnet form.

<sup>60</sup> KARP ble satt i drift noenlunde samtidig med at det totale brenselforbruket teoretisk sett overskred den nominelle kapasiteten til PREFRE.

<sup>61</sup> Overvåket brensel har blitt gjenvunnet (delkapittel 3.6). Kapasiteten for ikke-overvåket gjenvinning har da blitt tilsvarende redusert, men dette dreier seg om veldig små mengder.

<sup>62</sup> Samlet ikke-overvåket brenselforbruk er i dag 260 tU/y dersom livsløpskapasitetsfaktorene legges til grunn.

Hvor mye reaktorplutonium kan India ha forbrukt? Vi anslår at FBTR neppe har forbrukt mer enn 440 kg reaktorplutonium totalt (frem til 31.08.2003) (se avsnitt 3.5.1). Purnima brukte trolig ikke mer enn 15 kg plutonium totalt (34). Tarapur-reaktorene har trolig forbrukt 600 – 800 kg reaktorplutonium.<sup>63</sup> Thoriumsreaktoren Kamini må ha hatt fissilt materiale i kjernen som utgangspunkt, og da trolig reaktorplutonium. Sannsynligvis var mengden neglisjerbar i denne sammenhengen (titalls kg?). Det gir at estimert mengde forbrukt indisk reaktorplutonium per 31.08.2003 er om lag 1 100 – 1 300 kg.

Den kommende formeringsreaktoren PFBR vil ifølge meldinger trenge en første kjerne bestående av 2 000 kg plutonium og en årlig tilførsel av 600 kg (avsnitt 3.5.1). Om India har gjenvunnet 40 % av sitt ikke-overvåkede, brukte brensel, har staten i dag (2003) et forråd som er stort nok til oppstarten av PFBR.<sup>64</sup> Den nødvendige årlige forsyningen på 600 kg vil tilsvare en beslagleggelse av om lag 60 % av dagens nominelle gjenvinningskapasitet for reaktorplutonium.<sup>65</sup> Det er teoretisk mulig å dekke behovet uten å utvide dagens gjenvinningskapasitet. Men det vil kreve at ikke bare KARP (som ligger like ved PFBR) bidrar, men også PREFRE.

Gjenvinningsanlegget FRFRP bygges for å kunne gjenvinne fra formeringsreaktorer. Sammensetningen av brenselet fra CANDU-reaktorer og formeringsreaktorer er veldig forskjellig, spesielt i mengden plutonium, slik at behandlingen blir ulik. FRFRP skal ligge ved IGCAR i Kalpakkam, slik som formeringsreaktorene PFBR og FBTR. Vi har sett at det antydes at oppstart av FRFRP blir samtidig med PFBR. Sammen vil disse to (og kanskje FBTR) kunne produsere plutonium. Plutoniumet kan igjen brukes til å dekke store deler av PFBRs fremtidige plutoniumsbehov (vi vil tippe alt) – med mindre PFBRs plutonium er tilsiktet annen bruk. (PFBR kan trolig lett brukes innen våpenproduksjonen, på samme måte som teoretisk sett er tilfelle med formeringsreaktoren FBTR.) Dermed frigjøres produksjonen til PREFRE og KARP til andre formål, og igjen får India mulighet for stor overskuddsproduksjon av plutonium. Dette overskuddet kan staten benytte i sitt våpenprogram, dersom den skulle ønske det.

#### 4.4 Radikalt estimat

Nå går vi over til det radikale estimatet og ser på Indias mulighet for å benytte de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene i våpenproduksjonen. For å få et begrep om betydningen opplyser vi om at én typisk, indisk kommersiell reaktor vil kunne gi om lag 110 – 180 kg våpenplutonium på ett år, noe som tilsvarer om lag 18 – 30 kjernevåpen.<sup>66</sup> Dette er mer enn hva Cirus og Dhruva gir, og årsaken er at kraftreaktorene har større kapasitet.

<sup>63</sup> Tarapurs livsløpskapasitetsfaktorer gir et gjennomsnittlig årlig plutoniumsforbruk på rundt 200 kg, og det dreier seg om et behov i 3 – 4 år. Se delkapittel 3.6.

<sup>64</sup> Summen av forbruk av reaktorplutonium (1 200 kg) og behov for oppstart av PFBR (2 000 kg reaktorplutonium) beslaglegger bare om lag 42 % av den totale mengden ikke-overvåket brukt brensel (som tilsvarer om lag 7 600 kg reaktorplutonium) per 31.08.2003.

<sup>65</sup> PREFRE og KARP kan ved full drift årlig produsere 970 kg reaktorplutonium.

<sup>66</sup> Forutsatt en kapasitetsfaktor mellom 50 og 80 % og bruttokapasitet på 220 MW<sub>e</sub>.



Før vi gjør disse studiene, har vi i utgangspunktet ikke utelukket muligheten for at hele livsløpet til alle de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene kan ha blitt benyttet med denne hensikten.

Én kilde som hevder at noen kommersielle reaktorer kan bli brukt i våpenproduksjonen, er Cirincione (37) ved Carnegie Endowment for International Peace. På et kart over Indias kjernevåpenprogram står det der at gjenvinningsanlegget PREFRE gjenvinner fra kraftverkene MAPS og Narora, og at gjenvinningsanlegget er ”antatt å støtte kjernevåpenproduksjonen”. Det er dessverre ingen utdypning av påstanden i bokens tekst. Ved disse to kraftverkene er det fire kommersielle, ikke-overvåkede reaktorer: MAPS-1, MAPS-2, Narora-1 og Narora-2. Vi trekker slutningen om at det hevdes at opptil fire kommersielle reaktorer i dag kan bli brukt til å produsere plutonium til våpenprogrammet. Dessuten er alle de andre kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene på kartet også merket med teksten ”tilgjengelig for å produsere plutonium for kjernevåpen”.

Fins det noen sammenhenger som gjør at man med matematikk kan finne ut noe om evnen til å produsere våpenplutonium? Fordi typiske utbrenningsgrader for CANDU-reaktorer vil være 1 000 MWd/tonn for våpenplutonium og 6 700 MWd/tonn for reaktorplutonium, vil produksjon av våpenplutonium kreve om lag 6,7 ganger mer brensel enn produksjon av reaktorplutonium. Derfor må man kunne bestemme en barriere der kapasiteten for brenselsfabrikasjon legger en begrensning på våpenproduksjonen. Før denne barrieren kan våpenproduksjonen ha foregått. Det er imidlertid ikke bevist å ha foregått, blant annet fordi brenselsfabrikasjonen kan ha vært mindre enn kapasiteten. Men over denne barrieren vil man kunne bevise at våpenproduksjon har vært umulig, dersom man forutsetter at offisielle data for energiproduksjonen og kapasiteten for brenselsfabrikasjonen er korrekte.<sup>67</sup> En slutning kan trekkes.

I 1997 kom Nayyar, Toor og Mian med en artikkel (33) som ved nettopp denne metoden studerte muligheten for å benytte de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene til våpenproduksjon. Artikkelforfatterne konkluderte med at det kunne være mulig at India benyttet *alle* reaktorene som da eksisterte (seks stykker) samtidig og hele tiden siden start. Imidlertid antok forfatterne at Indias kapasitet for brenselsfabrikasjon i fortiden var like høy som moderne verdier. Vi har funnet data for kapasiteten for brenselsfabrikasjon for tidlige år, og disse var lavere. Det er derfor en logisk feil i resonnementet i (33), og artikkelforfatterne skulle ikke vært i stand til å trekke den konklusjonen de gjorde. Vi har gjennomført studiet på nytt og dessuten oppdatert frem til august 2003.

#### 4.4.1 Tilgjengelig brenselsfabrikasjon

I Tabell 3.2 presenterte vi de beste tilgjengelige dataene for dagens kapasiteter for brenselsfabrikasjon ved alle indiske anlegg. Det er i Hyderabad at uranoksidbrensel til de kommersielle reaktorene blir fabrikkert (PHWR-brensel og BWR-brensel). Vi har også funnet offisiell dokumentasjon på historiske verdier for kapasiteten på PHWR-brensel i et dokument fra 1997 fra Comptroller and Auditor General of India (28). Før 1986 var den offisielle kapasiteten

<sup>67</sup> Man må også forutsette at reaktorene har vært brukt like mye som oppgitt. Mer om dette senere.

100 tonn brenselknipper per år. Fra 1986 og inntil 1989 var den 225 tonn brenselknipper per år. Fra 1989 var kapasiteten 300 tonn brenselknipper per år, og dette varte i hvert fall frem til 1997. (28) Vi argumenterte i delkapittel 3.3 for at en kapasitet på 600 tonn brenselknipper per år trolig er oppnådd. Vi antar at det ble oppnådd innen år 2000. Måltallene kan omregnes slik at benevnelsene blir tonn uran (tU/y). (Se delkapittel 3.3.)

Vi er interessert i hvor stor del av kapasiteten for brenselproduksjon som er tilgjengelig for de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. Kokvannsreaktorene er overvåkede, så vi trekker fra kapasiteten for BWR-brensel (ca 25 tU/y).<sup>68</sup> Vi må også trekke fra brenselforbruket til de to overvåkede reaktorene RAPS-1 og RAPS-2. Man kan regne ut at i et gjennomsnittsårlig<sup>69</sup> vil disse to samlet forbruke om lag 27 tU/y.<sup>70</sup> Totalt trekker vi derfor 52 tU/y fra kapasiteten for kommersielt brensel. Da får vi ”øvre grense for tilgjengelig brenselmengde” for de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene, som er en funksjon av år. Se Tabell 4.8.

	1971 – 1985	1986 – 1988	1989 – 1997	1998 – 1999	2000 – 2004
Kapasitet for kommersielt brensel (PHWR og BWR) [tonn brenselknipper per år]	100	225	300	300 eller 600	600
Kapasitet for kommersielt brensel (PHWR og BWR) [tU/y]	88	200	260	260 eller 530	530
Tilgjengelig, øvre grense [tU/y]	36	150	210	210 eller 480	480

*Tabell 4.8 Data for kapasitet for brensel til kommersielle reaktorer gjennom tidene. Størrelsene i første rad er hentet fra Comptroller and Auditor General of India (28) og Times of India (29). Størrelsene er oppgitt i to kolonner med ulike benevnelser: tonn brenselknipper per år (uranoksid) og tonn uran per år (tU/y). Årsaken til bruken av ordet ”eller” i tabellen er at vi er usikre på når den aktuelle utvidelsen av kapasiteten fant sted. Vi antar at den fant sted senest innen år 2000. ”Tilgjengelig, øvre grense” viser vår øvre grense for tilgjengelig brenselmengde for de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. Da er kapasiteten for brenselproduksjon ved de overvåkede kokvannsreaktorene og gjennomsnittlig forbruk ved de overvåkede CANDU-reaktorene (RAPS-1 og RAPS-2) trukket fra.*

<sup>68</sup> Det årlige forbruket ved Indias to kokvannsreaktorer (Tarapur-1 og Tarapur-2) krever samlet et gjennomsnittsårlig 12 tonn uranbrensel (antar livsløpskapasitetsfaktoren og utbrenningsgraden 20 000 MWd/tonn). For med innsatte størrelser i ligning (4.3) får vi for én reaktor:  
 $160 \text{ MW}_e \cdot 365 \text{ d/år} \cdot 0,67 = 20 \text{ 000 MWd/tonn uran} \cdot 0,33 \text{ W}_e/\text{W}_t \cdot \text{brenselforbruk}$ ,  
 som gir *brenselforbruk* = 6,0 tonn uran/år. Vi har da bekreftet at kapasiteten for BWR-brensel er tilstrekkelig for å dekke forbruket ved kokvannsreaktorene.

<sup>69</sup> Gjennomsnittsårlig: Antatt livsløpskapasitetsfaktoren og utbrenningsgraden 6 700 MWd/tonn.

<sup>70</sup> RAPS-1 og RAPS-2 vil hver forbruke henholdsvis 7,5 og 19,7 tonn uranbrensel i løpet av et ”gjennomsnittsårlig” (antatt livsløpskapasitetsfaktoren og designutbrenningsgraden). Vi viser dette for RAPS-1, da ligning (4.3) blir:  
 $100 \text{ MW}_e \cdot 365 \text{ d/år} \cdot 0,44 = 6 \text{ 700 MWd/tonn uran} \cdot 0,32 \text{ W}_e/\text{W}_t \cdot \text{brenselforbruk}$ ,  
 som gir *brenselforbruk* = 7,5 tonn uran/år.

Første kommersielle, ikke-overvåkede reaktor hadde kommersiell start i 1984 (MAPS-1). Før det produserte Hyderabad brensel til bare overvåkede reaktorer. Vi gjør hypotesen at India før 1984 ikke la opp noe stort lager av PHWR-brensel. Summerer vi kapasiteten for brenselproduksjon (se Tabell 4.8) for hvert år fra og med 1984 til 31.08.2003, får vi vår ”akkumulerte, øvre grense for tilgjengelig brenselmengde”. Resultatet er 4 100 tU eller 4 700 tU (avhengig av når fase 2 i Hyderabad kom i drift). Vi kan vise at dette er fornuftige tall. (Se appendiks H.) De er for små til å dekke produksjon av våpenplutonium gjennom livsløpene til alle de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene, men store nok til å dekke normal drift.

En kommentar er at man kan anta at faktisk brenselproduksjon har vært en del lavere enn kapasiteten. En drift på kapasiteten vil kreve at alle anleggene som inngår i kjeden for brenselproduksjon, har blitt drevet som forventet. Spesielt i startfasen vil et anlegg kunne ha driftsproblemer. Produksjonen kan også holdes lavere enn kapasiteten fordi behovet er mindre.

#### 4.4.2 Resultater

Vi deler avsnitt 4.4.2 med resultatene for det radikale estimatet opp i fire delavsnitt for å gjøre det lettere å følge argumentasjonen.

##### 4.4.2.1 Innledning

Resultatet fra beregningene på det radikale estimatet er at India ikke har hatt kapasitet til å ha dedikert til våpenproduksjonen flere livsløp enn for eksempel det til MAPS-1 (eller tilsvarende) blant de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. Dersom staten har utnyttet sin kapasitet for brenselproduksjon maksimalt, kan det ha vært mulig å ha dedikert nesten hele livsløpet til MAPS-1 (eller tilsvarende). Med spesifiseringen ”eller tilsvarende” mener vi at om for eksempel tre reaktorer med omtrent samme årlige energiproduksjon som MAPS-1, har blitt benyttet i omtrent sju år hver, vil det være ”tilsvarende” at MAPS-1 har vært benyttet i 20 år (som er levealderen til MAPS-1). Vi mener altså et like stort historisk omfang i antall kg våpenplutonium.

Hvis vi antar at det er livsløpet til MAPS-1 som eventuelt er valgt, må altså livsløpene til de ni andre kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene utelukkes. Eller sagt på en annen måte: Dersom det har vært slik at India har utført våpenproduksjonen jevnt gjennom alle år, har vi utelukket at India har dedikert mer enn én reaktor (for eksempel MAPS-1). Vi kan imidlertid ikke bevise at India har dedikert noe kommersiell reaktordrift til våpenproduksjonen i det hele tatt. Beregningene sier bare hva det teoretisk sett har vært kapasitet for, og å bevise krever at man faktisk kan påvise at det har vært tilfelle.

Årsaken til at vi trekker frem akkurat MAPS-1 her, er at denne reaktoren er den eldste kommersielle, ikke-overvåkede reaktoren. Den ble satt i kommersiell drift i 1984. Hvis India har ønsket å benytte kommersielle, ikke-overvåkede reaktorer i våpenproduksjonen, har staten kanskje ønsket det fra starten av. MAPS-2 er en like god kandidat som MAPS-1, fordi den kom kort tid etter. Etter disse to var det en pause i utvidelsen av det kommersielle reaktorprogrammet, før Narora-1 og Narora-2 kom på starten av 1990-tallet.

#### 4.4.2.2 Argumentasjon for at MAPS-1 kan ha vært våpenprodusent

Vår fremgangsmåte startet med å beregne gjennomsnittlig årlig brenselforbruk ved normal drift (utbrenningsgrad 6 700 MWd/tonn) og ved våpenproduserende drift (utbrenningsgrad 1 000 MWd/tonn) for alle kommersielle, ikke-overvåkede reaktorer. Et gjennomsnittsåar representeres av livsløpskapasitetsfaktoren. Tabell 4.9 viser resultatene.<sup>71</sup> Spesielt ser vi at om MAPS-1 brukes til våpenproduksjon, kreves det i gjennomsnitt om lag 110 tonn mer brensel enn vanlig drift.

Reaktor	Livsløps- kapasitets- faktor [%]	Årlig brenselforbruk ved normal drift [tU]	Årlig brenselforbruk ved våpenprod [tU]
MAPS-1	67,5	20	131
MAPS-2	62,8	17	122
Narora-1	61,8	23	155
Narora-2	69,3	26	174
Kakrapar-1	69,7	26	175
Kakrapar-2	83,7	31	210
Kaiga-1	80,2	30	201
Kaiga-2	78,8	30	198
RAPS-3	81,2	30	204
RAPS-4	82,4	31	207
<b>Sum</b>		<b>265</b>	<b>1 780</b>

Tabell 4.9 Gjennomsnittlig årlig brenselforbruk ved både normal drift (utbrenningsgrad 6 700 MWd/tonn) og våpenproduksjon (utbrenningsgrad 1 000 MWd/tonn) ved de ti kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. Livsløpskapasitetsfaktoren representerer et gjennomsnittsåar.

Med hver reaktors gjennomsnittlig årlige brenselforbruk for både normal drift og våpenproduksjon kunne vi se hvilke kombinasjoner av driftsmønstre som lot seg gjøre som funksjon av år, dersom det samlede, akkumulerte brenselforbruket ikke skulle overgå vår akkumulerte, øvre grense for tilgjengelig brenselmengde. I det lange løp det lite å si om vi brukte gjennomsnittlige verdier for alle årene. Det var i orden at reaktorene samlet krevde mer brensel enn øvre grense for tilgjengelig brenselmengde for ett år dersom det i løpet av de foregående årene hadde bygd seg opp et overskudd av brensel.

Vi gjorde også en annen forenkling. Vi har bare driftsdata fra kommersiell start. Det vil også være brenselforbruk fra oppnådd kritikalitet til kommersiell start, og også noe ekstra på grunn av at den første kjernen skiftes "for tidlig". Vi brukte størrelsen 25 tU (om lag en halv

<sup>71</sup> Ifølge Albright et al (34) (side 183) har det vært snakk om å ha plutonium i brenselet til de kommersielle CANDU-reaktorene. Vi vet ikke om dette gjøres. Dette ville påvirke både brenselforbruk og plutoniumsproduksjon.

CANDU-kjerne) som et estimat på dette ekstra forbruket. Dette forutsetter en tidlig kommersiell start og er trolig en nedre grense. Vi ønsket en nedre grense fordi vi ville se på hva India maksimalt kan ha gjort. Sett i forhold til en reaktors brenselforbruk gjennom mange år får forskjellen liten betydning.

I Tabell 4.10 og Tabell 4.11 viser vi resultatene for scenariet der MAPS-1 benyttes til våpenproduksjon, men ingen av de andre kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. Den første tabellen tar for seg perioden fra og med 1984 til og med 1994, og den andre fra og med 1995 til og med 2005.

Reaktor	1984 [tU]	1985 [tU]	1986 [tU]	1987 [tU]	1988 [tU]	1989 [tU]	1990 [tU]	1991 [tU]	1992 [tU]	1993 [tU]	1994 [tU]
MAPS-1	25(i) + 31	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131
MAPS-2		25(i)	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Narora-1						25(i)		23	23	23	23
Narora-2								25(i)	26	26	26
Kakrapar-1									25(i)	26	26
<b>Sum</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>175</b>	<b>150</b>	<b>195</b>	<b>225</b>	<b>225</b>	<b>225</b>
Tilgjengelig, øvre grense	35	35	150	150	150	210	210	210	210	210	210

*Tabell 4.10 Her vises hva kravet om brenselforbruk ("sum") blir som funksjon av år fra 1984 til 1994, dersom MAPS-1 er den eneste kommersielle, ikke-overvåkede reaktoren som har blitt benyttet til å produsere våpenplutonium. Tallene i de to nederste radene er avrundet til nærmeste 5-tall. Størrelsen "25(i)" er et anslag på nedre grense for hvor mye ekstra brensel som kan ha blitt forbrukt før kommersiell start. Tabell 4.11 viser fortsettelsen av resultatene.*

Tabellene viser at scenariet gir et samlet brenselforbruk ved alle reaktorer som, for de aller fleste år, er mindre enn øvre grense for tilgjengelig brenselmengde. Dermed kan våpenproduksjon ved MAPS-1 ha vært opprettholdt disse årene. Det er bare i noen kortere perioder det blir problemer. Vi får konklusjonen at vi ikke kan utelukke at nesten hele livsløpet til MAPS-1 (eller tilsvarende) har vært dedikert til produksjon av våpenplutonium. Men vi kan utelukke en større dedikering. (Se også en kommentar i avsnitt 4.4.2.4.)

I Tabell 4.10 ser vi at for årene 1984 og 1985 overgikk brenselforbruket i tilfelle av våpenproduksjon ved MAPS-1 (155 tU) tilsynelatende øvre grense for tilgjengelig brenselmengde (35 tU). Vi antar likevel at en eventuell våpenproduksjon kunne gjennomføres problemfritt, fordi kapasiteten i årene forut var mye høyere enn forbruket (se Tabell 4.8), og det kan ha vært bygd opp et lager.

Navn	1995 [tU]	1996 [tU]	1997 [tU]	1998 [tU]	1999 [tU]	2000 [tU]	2001 [tU]	2002 [tU]	2003 [tU]	2004 [tU]	2005 [tU]
MAPS-1	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131
MAPS-2	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Narora-1	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Narora-2	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Kakrapar-1	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Kakrapar-2	25(i) + 31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Kaiga-1						25(i) + 30	30	30	30	30	30
Kaiga-2					25(i)	30	30	30	30	30	30
RAPS-3					25(i)	30	30	30	30	30	30
RAPS-4						25(i)	30	30	30	30	30
<b>Sum</b>	<b>280</b>	<b>255</b>	<b>255</b>	<b>255</b>	<b>305</b>	<b>395</b>	<b>375</b>	<b>375</b>	<b>375</b>	<b>375</b>	<b>375</b>
Tilgjengelig, øvre grense	210	210	210	210/ 480	210/ 480	480	480	480	480	480	480?

Tabell 4.11 Her vises hva kravet om brenselforbruk ("sum") blir som funksjon av år fra 1995 til 2005, dersom MAPS-1 er den eneste kommersielle, ikke-overvåkede reaktoren som har blitt benyttet til å produsere våpenplutonium. Størrelsen "25(i)" er et anslag på nedre grense for hvor mye ekstra brensel som kan ha blitt brukt før kommersiell start. Denne tabellen er fortsettelsen av Tabell 4.10.

For 1986, 1987 og 1988 ser vi at våpenproduksjon akkurat kunne gå. I 1989, 1990 og 1991 var det muligheter for overskuddsfabrikasjon av brensel. Fra og med 1992 til og med 1995 var årlig forbruk større enn årlig produksjon, men man kunne tære på et mulig lager fra de tre foregående årene.

Bare i 1996 og 1997 kan vi påvise at full våpenproduksjon ikke var mulig med våre antagelser. Det er et underskudd på 45 tU/y. Nøyaktige beregninger på dette tallet gir at 2/3 av maksimal våpenproduksjon kan ha funnet sted ved MAPS-1 i disse to årene. Antallet mulige våpenekvivalenter blir redusert med et mindre beløp, som har lite å si når man betrakter livsløpet som helhet.<sup>72</sup> I 1998 og 1999 er det uklart om scenariet gir en overskudds- eller underskuddsproduksjon av brensel. Dersom India har utnyttet sine anlegg maksimalt, og satt fase 2 av brenselproduksjonen i Hyderabad i drift så fort som mulig, kan MAPS-1 (og vel så det) ha støttet våpenproduksjon også i disse årene. Fra og med år 2000 antar vi igjen at øvre grense for tilgjengelig brenselmengde er stor nok til å støtte våpenproduksjonen ved MAPS-1. I tillegg er det mulighet for oppbygging av et vesentlig overskuddslager.

<sup>72</sup> Et gjennomsnittså vil MAPS-1 produsere brukt brensel med nok plutonium til 20 våpenekvivalenter (se delavsnitt 4.4.2.5). Det medfører at under de omtalte omstendighetene ville reaktoren i 1996 og 1997 produsere ca 7 våpenekvivalenter mindre per år.

Vi husker fra avsnitt 4.4.1 at den akkumulerte øvre grensen for tilgjengelig brenselmengde for de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene fra 1984 til 31.08.2003 er enten 4 100 tU eller 4 700 tU (avhengig av når fase 2 i Hyderabad ble satt i drift). Det akkumulerte brenselforbruket for alle disse reaktorene i samme tidsperiode forutsatt at bare livsløpet til MAPS-1 har produsert våpenplutonium, er ifølge beregninger 4 800 tU. Sammenligning bekrefter altså at dersom India har satt fase 2 i gang tidlig (år 1998), kan nesten hele livsløpet av MAPS-1 ha produsert våpenplutonium. Hvis ikke (år 2000), kan opptil 85 %<sup>73</sup> av livsløpet ha vært dedikert. Det bekreftes også at mer enn livsløpet til MAPS-1 (eller tilsvarende) kan utelukkes.

Dersom våpenproduksjonen har vært jevnt fordelt over alle de 20 foregående årene (i motsetning til intensivering de senere år), kan vi altså utelukke at mer enn én kommersiell reaktor har vært brukt om gangen. En slik eliminering "frifinner" om lag 80 % av Indias ikke-overvåkede kommersielle drift.<sup>74</sup>

Det er to forutsetninger. Den ene er at offisielle listeverdier for kapasiteten for brenselproduksjon i perioden 1984 til 1997, samt reaktorenes akkumulerte bruttoenergiproduksjon, må være korrekte. Det vil si at tallene ikke er manipulert med. Den andre forutsetningen er at India ikke hadde et stort opplag av PHWR-brensel per 1984. Dersom brenselproduksjonen før 1984 var høy og nær kapasiteten, kan vi ikke utelukke at India også har kjørt (for eksempel) MAPS-2 på våpenproduksjon i "noen få år".

#### 4.4.2.3 Vedrørende økning av kapasitet for brenselproduksjon

Vi ser av Tabell 4.10 at da MAPS-2 kom i drift, var det et behov for å øke kapasiteten for brenselproduksjon uansett om våpenproduksjon foregikk eller ikke ved MAPS-1.<sup>75</sup> Imidlertid var den nye kapasiteten fire ganger så høy som Indias behov ville være ved normal drift av MAPS-1. Interessant er det at økningen av kapasiteten var så stor at den akkurat tillot MAPS-1 å bli brukt til våpenproduksjon. Én mulig forklaring er at nettopp dette ble gjort. En annen mulighet er at kapasitetsøkningen kom fordi man ønsket å være forberedt på et fremtidig større brenselbehov. Den tredje muligheten er at mye av brenselproduksjonen var av dårlig kvalitet, slik at deler måtte kasseres, og at det var enklere eller billigere å høyne kapasiteten enn å bedre kvaliteten. Selv om en slik forklaring kan høres ulogisk ut, har India (28)) selv hevdet å ha et stort kasseringbehov på grunn av kvalitetsproblemer.

<sup>73</sup> Fra 4 100 / 4 800.

<sup>74</sup> Mengden ikke-overvåket, brukt brensel siden reaktorenes kommersielle start og ved normal drift er om lag 2 200 tU per 31.08.2003. Andelen til MAPS-1 utgjør 383 tU av dette (17 %). Se appendiks H. Derfor utgjør MAPS-1 sin drift om lag 17 % av den kommersielle, ikke-overvåkede reaktordriften. Om lag 80 % av den kommersielle, ikke-overvåkede driften kan da "frifinnes".

<sup>75</sup> Dersom MAPS-1 drives normalt i stedet for til våpenproduksjon, "frigjøres" 110 tU/y. Vi må derfor subtrahere 110 tU/y fra det samlede brenselforbruket til MAPS-1 og MAPS-2 for å få det samlede brenselforbruket ved disse i tilfelle av normal drift ved MAPS-1. Da vil "tilgjengelig, øvre grense" i Tabell 4.10 bli:

150 tU/y – 110 tU/y = 40 tU/y.

Resultatet for hva som blir tilgjengelig for MAPS-1 og MAPS-2 i tilfelle av normal drift, 40 tU/y, er nær og større enn øvre grense for tilgjengelig mengde på 35 tU/y. Altså må kapasiteten for brenselproduksjon økes.

I Tabell 4.10 ser vi at tre år senere, i 1989, overgikk forbruket forutsatt at MAPS-1 ble brukt til våpenproduksjon (175 tU/y) den øvre grensen for tilgjengelig brenselfabrikasjon som var før 1989 (150 tU/y). Hvis MAPS-1 ikke var dedikert til våpenproduksjon, vil det med stor margin ha vært unødvendig å gjennomføre en økning i 1989.<sup>76</sup> Økningen var til 210 tU/y. Av Tabell 4.11 ser vi at først i 1995 ville det samlede brenselforbruket ved normal drift (170 tU/y)<sup>77</sup> ha overgått kapasiteten som var før 1989 (150 tU/y). (Forutsetningen for at det skulle være unødvendig med en økning er fremdeles at produksjonen ikke var av dårlig kvalitet og at det var enklere å bygge ut anlegget enn å bedre kvaliteten. Hvis produksjonen var av dårlig kvalitet og MAPS-1 ikke ble brukt til våpenproduksjon, er det et stort sammentreff at kapasitetsøkningen kom akkurat på dette tidspunktet hvor økning var nødvendig i tilfelle av en våpenproduksjon. Og hvis produksjonen i seg selv var for lav og ikke nådde anleggets kapasitet, var det ikke noe behov for å gjøre anlegget større.)

Tabell 4.11 viser at på slutten av 1990-tallet krevdes en økning av kapasiteten, også uten våpenproduksjon ved MAPS-1. I dag (2003) er gjennomsnittlig brenselforbruk hvis alle reaktorer drives normalt (265 tU/y), langt lavere enn kapasiteten (480 tU/y). Faktisk er kapasiteten tilstrekkelig til at både MAPS-1 og MAPS-2 (eller tilsvarende) kan drives for våpenproduksjon dersom livsløpskapasitetsfaktorene legges til grunn for reaktorene (470 tU/y). Man kan utelukke at flere enn de to dedikeres. Slik har situasjonen vært de senere år (siden fase 2 ble satt i drift).

#### 4.4.2.4 Vurderinger med faktiske kapasitetsfaktorer i stedet for livsløpskapasitetsfaktorer

NPCIL (38) har publisert reaktorenes kapasitetsfaktorer for fire av de fem siste årene. De er høyere enn livsløpskapasitetsfaktorene, som vi har benyttet i våre analyser. Det gir større brenselforbruk. En siste betraktning er å undersøke hva dette har av konsekvenser for våre beregninger, og det gjøres i appendiks I.<sup>78</sup> Vi finner at våpenproduksjon uansett kunne opprettholdes i MAPS-1 disse fire årene. Konklusjonene våre forandres ikke.

#### 4.4.2.5 Den eventuelle våpenproduksjonen ved MAPS-1

I det radikale estimatet har vi funnet at vi ikke kan utelukket at nesten hele livsløpet til MAPS-1 (eller tilsvarende) kan ha blitt brukt til produksjonen av våpenplutonium. Et gjennomsnittså kan MAPS-1 produsere om lag 120 kg våpenplutonium, eller om lag 20 våpenekvivalenter.<sup>79</sup>

<sup>76</sup> Fordi da ville brenselforbruket vært ca 65 tU/y:

$175 \text{ tU/y} - 110 \text{ tU/y} = 65 \text{ tU/y}$ ,

mens kapasiteten ble hevet fra 150 tU/y til 210 tU/y.

<sup>77</sup> Bestemmes fra:

$280 \text{ tU/y} - 110 \text{ tU/y} = 170 \text{ tU/y}$ .

<sup>78</sup> Dessuten har IAEAs database (51) historiske kapasitetsfaktorer.

<sup>79</sup> Ligning (4.3) for sammenheng mellom energiproduksjon og brenselforbruk for MAPS-1 blir i dette tilfellet:

$170 \text{ MW}_e \cdot 365 \text{ d/år} \cdot 0,675 = 0,32 \text{ W}_e / \text{W}_t \cdot 1\,000 \text{ MW}_t \text{d/tU} \cdot \text{brenselforbruk}$ ,

som gir *brenselforbruk* = 131 tU/y. I våpenplutonium tilsvarer dette mengden:

$131 \text{ tU} \cdot 0,9 \text{ kg våpenplutonium/tU} = 120 \text{ kg våpenplutonium}$ .



Akkumulert fra kommersiell start og frem til 31.12.2003 vil reaktoren kunne ha gitt brukt brensel med om lag 1 800 – 2 400 kg våpenplutonium.<sup>80</sup> Det betyr at den mulige mengden våpenplutonium fra Indias kommersielle reaktorer ligger i området 0 – 2 400 kg, det vil si 0 – 400 våpenekvivalenter.

Dersom denne produksjonen har foregått, er stridshoder neppe utviklet. Begrunnelsen er at India ikke er antatt å ha slike mengder stridshoder. (Se delkapittel 5.1.) Eventuelt materiale oppbevares trolig delvis i form av brukt brensel og delvis som gjenvunnet plutonium.

Våpenproduksjon krever om lag 6,7 ganger mer brensel enn vanlig reaktordrift, og dette medfører ekstra kostnader. Man kan derfor lure på hvorfor India vil ha brukt penger på et lager av brensel/plutonium av våpenkvalitet, hvis det ikke er inkorporert i stridshoder. Vi mener at man kan tenke seg at en stat generelt kan finne nytte av å ha et slikt lager for en eventuell senere intensivering av våpenproduksjonen, i tilfelle den politiske situasjonen skulle forandre seg.

Gjenvinningsanleggene PREFRE og KARP har hver for seg tilstrekkelig nominell kapasitet til å gjenvinne det årlige bidraget av brukt brensel med våpenplutonium som MAPS-1 kan gi.<sup>81</sup> Derfor er det i teorien ikke umulig at en mengde plutonium som tilsvarer 0 – 400 våpenekvivalenter, har blitt gjenvunnet. Men slik som i det konservative estimatet, er også praktiske faktorer av betydning:

- Kapasiteten til bassengene som leder bort varmen fra de radioaktive prosessene i det brukte brenselet før gjenvinning;
- Muligens lavere drift enn nominelle verdier ved gjenvinningsanleggene;
- Kapasitet for håndtering av flytende, radioaktivt avfall fra gjenvinningsanleggene;
- Problematisk frakt av radioaktivt, brukt brensel fra kommersielle reaktorer til gjenvinningsanleggene.

Bassengkapasitetene er trolig relativt enkle å bygge ut, men kan gi indikasjoner om hva som er omfanget.

Det er for øvrig bekreftet at India har fraktet mindre mengder brukt brensel (av reaktorkvalitet) mellom MAPS og PREFRE (delkapittel 3.6). Da KARP kom i drift ca i 1998, ble det potensielle avstandsproblemet løst. Disse to anleggene er lokalisert på samme sted.

#### 4.4.2.6 Oppsummering

En oppsummering av resultatene for det radikale estimatet fins i Tabell 4.12.

<sup>80</sup> Fra tabellen i appendiks H ser vi at største brenselsforbruk (våpenproduksjon) akkumulert ved MAPS-1 er 2 560 tU, noe som tilsvarer om lag 2 300 kg våpenplutonium. Vi får et mindre fradrag for de årene hvor kapasiteten for brenselsfabrikasjon var for lav til å støtte full våpenproduksjon ved MAPS-1. For 1996 og 1997 blir dette mindre enn 100 kg våpenplutonium. For 1998 og 1999 er det full dekning eller også noe fradrag. Dermed ender vi opp med anslaget 2 000 – 2 200 kg våpenplutonium. Man må også ta hensyn til en viss usikkerhet, noe som gjør anslaget på maksimalt 1 800 – 2 400 kg våpenplutonium fra MAPS-1 rimelig.

<sup>81</sup> For KARP sin del gjelder det fra 1998, som er det året anlegget antas å ha kommet i drift.

Reaktor	Årlig produksjon av våpenplutonium [kg Pu]	Årlig produksjon av reaktorplutonium [kg Pu]	Akkumulert produksjon av våpenplutonium siden start [kg Pu]	Akkumulert produksjon av reaktorplutonium siden start [kg Pu]	Akkumulert antall våpenekvivalenter [stk]
Cirus	6,6 – 10,5	0	230 – 370	0	40 – 60
Dhruva	16 – 25	0	260 – 400	0	45 – 65
MAPS-1	0 – 120	0 – 70	0 – 2 400	0 – 1 300	0 – 400
Resterende 13 kommersielle kraftreaktorer	0	860 – 1 300	0	9 700 – 14 000	–

*Tabell 4.12 Sammenfatning av det radikale estimatet. Cirus og Dhruva antas å produsere våpenplutonium, mens man ikke kan utelukke at nesten hele livsløpet til MAPS-1 (eller tilsvarende) kan ha blitt brukt til produksjon av våpenplutonium. Oversikten tar med muligheten for at bare deler av livsløpet til MAPS-1 kan ha gitt våpenplutonium, og resten reaktorplutonium. Derfor er produksjonen av våpenplutonium ved MAPS-1 oppgitt som et intervall mellom null og det maksimale (nesten hele livsløpet). En kommersiell dedikering som tilsvarende mer enn dette, kan utelukkes, forutsatt at oppgitte listeverdier er korrekte. Derfor er det antatt at de resterende kommersielle reaktorene i India (13 stykk) produserer reaktorplutonium. I estimatene av reaktorplutonium er det innbakt en mindre usikkerhet. Den akkumulerte produksjonen er fra kommersiell start til utgangen av 2003 (Cirus og Dhruva) eller til 31.08.2003 (kommersielle reaktorer). Mengden akkumulert våpenplutonium er omregnet til våpenekvivalenter. Det er ikke tatt stilling til om våpenplutoniumet faktisk er omdannet til stridshoder.*

#### 4.4.3 Er listeverdiene korrekte?

Merk at det er staten selv som oppgir verdiene for kapasiteten for brenselsfabrikasjonen og for elektrisitetsproduksjonen. Våre beregninger og konklusjoner forutsetter at de offisielle verdiene er korrekte. Når det gjelder for eksempel brenselkapasiteten, kan en stat velge å oppgi den til verdier som både er lavere eller høyere enn i virkeligheten. For at slik manipulering ikke skal bli oppdaget, bør strategien imidlertid ha vært gjennomført i alle år siden starten.

Det er ingenting som per i dag tyder på at oppgitt elektrisitetsproduksjon for reaktorene ikke er korrekt. Vi har bare funnet at India oppgir høyere kapasitetsfaktorer for reaktorene enn enkelte andre instanser, fordi definisjonen av en reaktors kapasitet kan være forskjellig (design- vs nåværende).

Vi har sett at dersom India har produsert så mye brensel som staten har hatt kapasitet til, tillates at nesten hele livsløpet til MAPS-1 kan ha blitt dedikert til våpenproduksjonen. Årlig gjennomsnittlig utbytte ville ha blitt veldig stort, faktisk om lag tre eller fire ganger større enn det antatte årlige utbyttet fra Cirus og Dhruva til sammen! Det er derfor ingenting per i dag som tyder på at listeverdiene for kapasiteten for brenselsfabrikasjon er oppgitt for lavt. En enda

høyere mulig brenselproduksjon ville gitt en svært stor våpenproduksjon og er neppe tilfelle.

Listeverdiene for kapasiteten for brenselproduksjon kunne imidlertid også ha blitt oppgitt for høye. Kanskje for at analytikere skal gjennomføre nettopp de beregningene vi har gjort her og konkludere med at India kan ha produsert mer våpenplutonium enn hva Cirus og Dhruva har gitt.

Spesielt for perioden fra 1992-1993 til 1996-1997 har vi funnet at India (28) hevder at statens faktiske brenselproduksjon har vært lavere enn listet kapasitet (om lag halvparten). Årsaken skal være kasseringer på grunn av dårlig kvalitet på brenselet. I appendiks J har vi gransket konsekvensene av disse påstandene. Vi konkluderer med at denne påståtte brenselproduksjonen til og med er for liten til å støtte normal drift av alle kommersielle reaktorer (inkludert MAPS-1). Dette er underlig og kan ikke ha vært tilfelle. Én mulig forklaring kan være at India ønsker å gi inntrykk av at våpenproduksjon ikke foregår. Vi kan derfor ikke ta i betraktning disse størrelsene, og resultatene i Tabell 4.12 opprettholdes.

## **5 MILITÆR, KJERNEFYSISK SLAGKRAFT**

I kapittel 3 og 4 studerte vi Indias anlegg for kjernevåpenproduksjon og deres mulige produksjon av fissilt materiale. Vi så at India er kjernefysisk høyt kompetent, og at staten har mulighet for en høy produksjon av fissilt materiale.

Fra en militær synsvinkel er dette ikke nok. En god, militær, kjernefysisk slagkraft krever at staten faktisk også har produsert et tilstrekkelig antall kjernefysiske stridshoder, og at staten har evne og vilje til å levere dem. Levering må skje med fly eller missiler. I dette kapitlet studerer vi antallet kjernefysiske stridshoder (delkapittel 5.1), leveringsmidlene (delkapittel 5.2) og antatt vilje til bruk (delkapittel 5.3).

### **5.1 Antallet kjernefysiske stridshoder**

Kapittel 4 tok for seg beregninger av mulig indisk produksjon av brukt brensel med våpenplutonium. Vi analyserte både scenariet der det kan ha vært bidrag fra kraftreaktorprogrammet, og der det ikke har.

Men hele mengden brukt brensel med våpenplutonium trenger ikke nødvendigvis å være utnyttet i stridshodeproduksjonen. Det kan være at deler fremdeles oppbevares i form av brukte brenselstaver, og at deler er gjenvunnet til plutonium – men ikke omdannet til stridshoder. Estimaterne på antallet stridshoder vil derfor ofte være lavere enn estimatene på antallet våpenekvivalenter.

Estimater på antall stridshoder er vanskelig å gjennomføre og vil trolig være basert på helhetsvurderinger av militær kapasitet og etterretning, og ikke bare på estimater av produksjonen av fissilt materiale.

Det synes som om det er bredest akseptert i litteraturen at India per 2002 skal ha hatt (eller på kort tid ha kunnet sette sammen) om lag 30 – 35 stridshoder. Estimater er ubegrunnet. Antallet stridshoder inkluderer alle typer kjernevåpen som India måtte ha. Nuclear Notebook (61), ett av opphavene til anslaget, hevder å ha basert seg på ”flere kilder” – men disse blir ikke spesifisert. Anslaget 30 – 35 stridshoder per 2002 tilsvarer omtrent nedre grense for estimatet på våpenproduksjonen til én av de to antatte våpenprodusentene Cirus og Dhruva (fra kommersiell start og frem til 2002). Tabell 5.1 viser forskjellige estimater på antall indiske stridshoder som fins i åpen litteratur.

Litteratur	Antall stridshoder (årstall)	Antall fysikkipakker (årstall)
NRDC Nuclear Notebook 2002 (61)	30 – 35 (2002)	
Albright (21), artikkel i Bulletin of the Atomic Scientists	20 – 30 (1998, før Shakti-98)	
Hibbs (17), artikkel i Nuclear Watch		25 (1998)
Center for Defence Information (62)	60 + (2003)	
Federation of American Scientists (22)	60 (2000)	
Jane's Nuclear, Biological and Chemical Defence, 2003 (63)	100 – 150 (2003)	

Tabell 5.1 Estimater fra åpen litteratur på antallet indiske kjernefysiske stridshoder (og i ett tilfelle fysikkipakker – se appendiks A.4), sammen med årstallene da estimatene ble presentert.

Som vi så i det konservative estimatet i avsnitt 4.3.1, antas det at årlig produksjon av våpenplutonium er på 4 – 6 våpenekvivalenter. Denne årlige økningen kan ligge til grunn for en enkel oppdatering av estimatet på antallet stridshoder med den antagelsen at økningen av stridshodeproduksjonen ikke overgår økningen av plutoniumsproduksjonen. Vi får da at India estimeres å ha 30 – 40 stridshoder per 2003, og 30 – 45 stridshoder per 2004.

Vi estimerte videre at India per utgangen av 2003 hadde et forråd på 340 – 620 kg våpenplutonium, noe som utgjør anslagsvis 60 – 100 våpenekvivalenter. Dersom India hadde 40 stridshoder allerede, hadde India igjen 100 – 380 kg våpenplutonium, enten i form av brukte brenselstaver eller på gjenvunnet form.

For å gjøre den gjenværende mengden våpenplutonium om til ladninger må plutoniumet være gjenvunnet og bearbeidet for stridshodefabrikasjon, og alle de andre våpenkomponentene må være ferdigfabrikkerte. Hvis alt er klart, kan man argumentere for at det i dag (2003) kan ta om

lag et halvt årsverk å sette sammen alle de nødvendige komponentene i ett indisk stridshode.<sup>82</sup> Dermed vil det ta ”noen titalls” årsverk (om lag 8 – 30 årsverk) å omdanne det antatt resterende forrådet av våpenplutonium (15 – 60 våpenekvivalenter) om til kjernefysiske ladninger.

## 5.2 Leveringsmidler

Etter at en stat har produsert fissilt materiale av våpenkvalitet og deretter har inkorporert det til kjernefysiske våpen, må det finnes en egnet leveringsmåte. India har per 2004 to typer leveringsmidler: fly (avsnitt 5.2.1) og landbaserte missiler (avsnitt 5.2.2).

India har allerede 17 konvensjonelle ubåter per 2004 (64). For å kunne levere kjernevåpen fra havet er fartøybårne missiler under utvikling (avsnitt 5.2.3). Dessuten pågår utvikling av en atomubåtflåte (avsnitt 5.2.4). Atomubåter er ubåter som drives av kjernereaktorer (de er kjernedrevne). Det er ikke utenkelige at atomubåtene blir bygd for kjernefysisk levering.

### 5.2.1 Fly

For helt sikker levering anses fly å være det sikreste indiske leveringsmiddelet, men fly har relativt kort rekkevidde (aksjonsradius). Indias to flymodeller MiG-27 Flogger (”Bahadur” eller ”dristig”) og Jaguar IS/IB (”Shamsher” eller ”sverd”) skal være de mest sannsynlige flymodellene for levering av kjernevåpen (61). Tekniske fakta er oppsummert i Tabell 5.2.

Fly	Antall	Rekkevidde [km]	Maksimal last [kg]
MiG-27 Flogger (”Bahadur”)	165	800	4 000
Jaguar IS/IB (”Shamsher”)	131	1 600	4 800

Tabell 5.2 De to flymodellene som India per 2003 mest trolig vil anvende ved en eventuell levering av kjernevåpen (61).

MiG-27 Flogger er en sovjetisk modell som ble produsert på 1970- og 1980-tallet. India skal ha produsert 165 stykker under lisens. Jaguar IS/IB (”Shamsher”) var en engelsk-fransk modell (1970- og 1980-tallet) som India skaffet seg 131 stykker av.

Andre flymodeller (som Su-30K og Mirage 2000H) kan levere kjernevåpen, men anses som mer sannsynlige for bruk i luftforsvaret. (61)

### 5.2.2 Landbaserte missiler

For en reell avskrekker overfor det fjerntliggende Kina er missiler nødvendig. Missiler gjør det også mulig å nå hele Pakistan. For Pakistan bør missilene ha en rekkevidde på om lag 2 000 km. Tabell 5.3 gir de tekniske dataene for ballistiske, landbaserte missiler som trolig kan

<sup>82</sup> Ifølge Jane’s (65) tok det amerikanske ingeniører 624 timer å sette sammen komponentene i én Mk-3-bombe etter andre verdenskrig. Mk-3 lignet på plutoniumbomben som ble sluppet over Nagasaki, og trolig også på Indias første design. Ifølge samme kilde tar det kanskje 1 500 timer å sette sammen ett moderne, amerikansk kjernefysisk stridshode i dag. Et rimelig estimat er at det tiden det tar å montere ett indisk stridshode (forutsatt at delene er ferdige) ligger mellom disse størrelsene: om lag 1 000 timer (som er et halvt årsverk). (65)

brukes for levering av kjernefysiske stridsoder.

Missil	I bruk siden	Antall	Rekkevidde [km]	Maksimal last [kg]
Prithvi I	1994	60	150	1 000
Prithvi II	1999	70	250	500
Agni I	2002	10	700 – 800	1 000
Agni II	2000	20	> 2 200	1 000

Tabell 5.3 Missilmodellene som per 2004 kan tenkes anvendt til kjernefysisk levering (61). Året da missilene kom i bruk og antallet missiler er hentet fra Jane's (66).

Prithvi I ("Jordan") er et kortdistansemissil og har vært i beredskap siden midten av 1990-tallet (67). Prithvi II har en rekkevidde på 250 km, men mindre bæreevne (500 kg).

Etter årtusenskiftet har Indias missilprogram hatt flere viktige milepæler.

Agni I ("ild") (700 – 800 km, 1 000 kg), som har tatt over for Agni (1 000 – 1 500 km, 1 000 kg), fyller gapet mellom kortdistanse- og mellomdistansemissiler (68). Første test var i 1999. Agni II har blitt prøveskutt til 2 200 km. En slik distanse tar 11 minutter å tilbakelegge (61). Missilet kan nå hele Pakistan og mesteparten av Kina. Mesteparten av Nordøst-Kina er utenfor rekkevidde, men Beijing kan muligens nå dersom missilet skytes fra de aller østligste delene av India.

Etterfølgeren Agni III er under utvikling og forventes å prøveskutt første gang i 2004 (69). Missilet forventes offisielt å få en rekkevidde på 3 000 km. Agni III vil kunne nå enda flere viktige kinesiske mål, ikke minst Beijing.

Trolig er Agni-variantene mer aktuelle for kjernefysisk levering enn landbaserte Prithvi-er.

Det går rykter om at India har planer om et interkontinentalt, ballistisk missilprogram (ICBM), kalt Surya. (61) Utvikling av interkontinentale missiler vil eventuelt kreve mange års arbeid.

I appendiks K er et kart som viser hvordan antatt maksimal rekkevidde for flere staters missiler i 2005 forholder seg geografisk. Spesielt ser vi en skisse av nedslagsområdet for Agni II.

### 5.2.3 Fartøybårne missiler

Fartøybårne missiler er utskytbare fra vannet. De vil være utskytbare fra enten overflatefartøyer eller ubåter (konvensjonelle eller kjernedrevne). India har per 2004 en flåte av 17 konvensjonelle ubåter. En flåte av atomubåter er under utvikling (se avsnitt 5.2.4). Det er ikke utenkelig at det er ønskelig å kunne bruke ubåtene som leveringsmidler for kjernefysiske våpen.

Missilet Phrithvi III (også kalt Dhanush eller "bue") (250 km, 500 kg) for overflatefartøy ble

prøveskutt i 2000, men skal ha vært bare en ”delvis suksess” (61). Derfor er trolig utviklingsarbeidet fremdeles pågående. I tillegg skal en ubåtversjon av Prithvi III være under utvikling ved DRDO (70).

Missilet Sagarika (”født på havet”) skal være under utvikling hos DRDO, og det skal bli utskytbart fra ubåter. Kjernefysisk anvendelse skal være aktuelt. Det er ikke på det rene om Sagarika vil bli et kryssermissil (som er styrbart) eller et ballistisk missil.<sup>83</sup>

#### 5.2.4 Fremtidige atomubåter

De fem anerkjente kjernevåpenstatene har alle atomubåter. India utvikler nå sin første atomubåt, kalt Advanced Technology Vessel (ATV). Den vil bli en angrepsubåt (45) (47), som er en taktisk ubåt. En flåte på tre eller fem er forespeilet (45) (47). Arbeidet på ATV-en skal være et samarbeid mellom BARC, IGCAR, DRDO og Marinen. India skal ha startet forskningsarbeidet på atomubåten tidlig på 1970-tallet, men programmet ble ikke offentlig kjent før i 1984 (48). Planen per 2004 er at ubåtene skal sjøsettes i 2006 og tas i bruk i 2008 (45). Når atomubåten ATV omsider blir ferdig, kan India bli eneste stat ved siden av de fem anerkjente kjernevåpenstatene som har atomubåter. Reaktoren er omtalt i avsnitt 3.5.2.

Bygging av skroget kan ha begynt per 2004 (45). Ifølge Jane’s (64) skal selve ubåten være basert på den russiske atomubåtklassen Charlie I, uten å spesifisere *i hvilken grad* den skal være modell. India har tidligere (1988 – 1990) leid Charlie I av Sovjetunionen. Ifølge meldinger skal India leie to atomubåter av Akula-klasse av Russland i fem år fra 2004-2005. Hensikten skal være at arbeidet på ATV-en skal gå raskere, og at personellet skal få øvelse i å håndtere atomubåter. (47) (64)

Angrepsubåten Charlie I fraktet med seg åtte kryssermissiler med rekkevidde på drøye 50 km for kjernefysisk levering, samt torpedoer. Kryssermissiler kan benyttes til angrep på land, men denne rekkevidden er kort. Charlie I fraktet ikke med seg ballistiske missiler eller leveringsmidler for lang distanse. Siden ATV skal være basert på Charlie I, kan man spekulere i om også ATV vil bli få noenlunde samme kjernefysiske kapasitet.

Atomubåter er vanskelige å lokalisere siden de kan holde seg lenge neddykket uten å gå opp til overflaten, og det er vanskelig å sette en neddykket ubåt ut av spill. Kjernevåpen om bord i atomubåter har betydning for sikkerhetsvurderingene. Det synes imidlertid som om den indiske rekkevidden, når ATV kommer i drift en gang i fremtiden, vil bli begrenset. Hvis den lages som en angrepsubåt, vil eventuell krigføring først og fremst bli taktisk. Det må tas forbehold mot forberedelser for utskyting av ballistiske missiler. Uansett vil India få en større mobilitet og fleksibilitet i sin kjernefysiske levering. Selv om alle kjernevåpnene på land skulle bli uskadeliggjort, kan staten likevel kunne komme med et kjernefysisk svar fra undervannsstilling. Utvidelsen til levering fra undervannsstilling har også stor symbolverdi, og i neste delkapittel vil

<sup>83</sup> Ifølge Jane’s (71) vil missilet bli et kryssermissil og forventes i funksjon i 2005. Ifølge NRDC Nuclear Notebook 2002 (61) skal Sagarika tidligere ha hatt rykte på seg for å være et kryssermissil, men nå skal det være identifisert av CIA som et ballistisk missil, og det skal tidligst bli tatt i bruk i 2010.

vi se at India har programfestet muligheten for evne til kjernefysiske angrep fra fartøy.

### 5.3 Antatt vilje til bruk

India har ikke kunngjort sin kjernefysiske doktrine – det vil si under hvilke omstendigheter staten kan tenke seg å ta kjernevåpen i bruk. Imidlertid er et utkast til doktrine fra 1999 (72) tilgjengelig, men det er ikke annonsert at det har fått en mer formell status enn som et utkast. Statsledelsen har i tillegg kommet med flere løse uttalelser, særlig i forbindelse med prøvesprengningene i 1998.

India hevder å være i besittelse av kjernevåpen for å ha en troverdig kjernefysisk minimumsavskrekker i mangelen på global kjernefysisk nedrustning. (72)

India skal ikke være den første staten som tar kjernevåpen i bruk (ingen førstebruk). Dette er en relativt defensiv holdning. Kjernevåpnene vil bli brukt som gjengjeldelse på et kjernefysisk angrep.

Ifølge utkastet til doktrine (72) innebærer avskrekking følgende:<sup>84</sup>

1. Tilstrekkelige, overlevelsesdyktige og operasjonsforberedte kjernefysiske styrker;
2. Et robust kommando- og kontrollsystem;
3. Effektiv etterretning og tidlig varsel;
4. Planlegging og øvelse; og
5. Vilje til å anvende kjernevåpen.

Den kjernefysiske slagkraften ønskes å komme fra fly, fra mobile, landbaserte missiler og fra fartøybårne missiler (72). (Men foreløpig har ikke India evne til kjernefysiske angrep fra fartøy.)

Avgjørelsen om faktisk bruk av kjernevåpen ligger hos statsministeren. Det vil si at det er statsministeren som har kommandoen over både de kjernefysiske ladningene og leveringsmidlene.

Den generelle kontrollen over kjernevåpnene er imidlertid delt mellom det sivile og det militære. Det er sivile instanser (DAE) som har kontrollen over de fissile kjernene, mens militære instanser har kontrollen over stridshodene uten fissilt materiale (DRDO) og leveringsmidlene (Militæret) (63). Denne todelingen virker betryggende i den forstand at den burde redusere sannsynligheten for uautorisert bruk.

Selv om India kanskje begrenser seg til å ha en minimumsavskrekker for kjernefysisk slagkraft, vil det ifølge utkastet til doktrine ikke være begrensninger på innsatsen innen forskning og utvikling på feltet (72).

<sup>84</sup> Mer om Indias doktrine og avskrekkingsevne i Totalforsvarets Forskningsinstitut (67).



## 6 OPPSUMMERING OG KOMMENTARER

Vi har sett at India er kjernefysisk høyt kompetent. Staten har omfattende infrastruktur, forskningsprogram og kjernevåpenprogram. India hevder selv å være i besittelse av kjernevåpen som inkluderer taktiske lavytelsesvåpen (med sprengkraft ned til 0,2 kt), fisjonsvåpen og termonukleære våpen (opptil 200 kt). Faktoren mellom hevdet laveste og høyeste sprengkraft er tusen, noe som vil kreve høy kjernevåpenkompetanse.

Vi mener det er sannsynlig at India behersker fisjonsvåpen og boostede fisjonsvåpen (2). Det kan være at en stor andel av stridshodene har relativt lav sprengkraft, slik som prøvesprengningen Smiling Buddha fra 1974 (kanskje 10 – 15 kt). Det er indikasjoner på et termonukleært program, men ingen kjente beviser. India skal ha begynt å produsere litium-6 (som har anvendelse som fusjonsbrensel) på 1980-tallet. I FFI-rapporten om prøvesprengningene (2) har vi etter vurderinger spekulert i om India i 1998 kanskje heller gjennomførte et vellykket totrinns termonukleært *eksperiment*. (Delkapittel 3.9) Det kan ikke utelukkes at staten behersker termonukleære ladninger og/eller lavytelsesladninger.

Etter at India ”kom ut av skapet” med sine prøvesprengninger i 1998, har staten kanskje i større grad måttet innse at kjernevåpnene kan bli brukt. Det kan ha oppstått et større behov for å gjøre slagkraften mer militært anvendelig. I 1999 kom et ”utkast” til en kjernefysisk doktrine. Utkastet til doktrine og/eller erklæringer i media etter 1998 signaliserer en noe moderat kjernefysisk bruksvilje. Indias kjernevåpen hevdes bare å skulle brukes som svar på et angrep med kjernevåpen (altså selvforsvar og ingen førstebruk). (Delkapittel 5.3.)

De indiske kjernevåpnene har plutonium som fissilt materiale (men det kan ikke utelukkes at noe våpenuran også er anvendt). Anleggene som sikkert inngår i produksjonen av kjernevåpen, ligger ved forskningssenteret BARC i Trombay. Hvert år kan de små forskningsreaktorene Cirus og Dhruva trolig produsere brukt brensel med 23 – 36 kg våpenplutonium. Det brukte brenselet gjenvinnes til plutonium ved Trombay gjenvinningsanlegg. Kapasiteten er stor nok til at anlegget kan håndtere produksjonen fra både Cirus og Dhruva. Årlig kan trolig våpenplutonium nok til om lag 4 – 6 kjernevåpen fremstilles. Vi estimerer at India kan ha et forråd på 340 – 620 kg våpenplutonium fra Cirus og Dhruva, tilstrekkelig til om lag 60 – 100 kjernevåpen, per utgangen av 2003. (Avsnitt 4.3.1.)

Basert på åpne kilder med helhetsvurderinger antar vi at antallet kjernevåpen i India er 30 – 45 per utgangen av 2004. (Delkapittel 5.1.) Det er ingen kjent informasjon om at de er umiddelbart klare til bruk (37). Trolig kan antallet relativt stridshoder økes raskt (og altså kanskje til det tredoblede).

Antallet stridshoder er relativt lite og langt mindre enn hos de anerkjente kjernevåpenstatene. Dersom vi ser bort fra det faktum at ”ingen førstebruk” er annonsert, tror vi at antallet er for lite til i et førsteangrep å kunne ødelegge en annen stats kjernefysiske gjengjeldelsesevne. Dersom kjernevåpnene tas i bruk, må staten regne med gjengjeldelse.

Evnen til kjernefysisk slagkraft synes å være i noenlunde balanse mellom India og Pakistan, da Pakistan antas å ha om lag 30 – 70 stridshoder per utgangen av 2004 (1). I en hypotetisk kjernevåpenkrig vil ingen av dem kunne vinne uten store, egne tap. Konvensjonelt er det en ubalanse, der den minst befolkede staten Pakistan er den underlegne part. Den tradisjonelle frykten er om Pakistan i en eventuell ny konvensjonell krig skulle gå mot tap og se på kjernevåpenene som eneste utvei. Pakistan har uttalt policy om førstebruk, noe som gjenspeiler den konvensjonelle svakheten.

Skulle India ønske større produksjon av kjernevåpen, kan staten også ta i bruk én eller flere av sine ti kommersielle, ikke-overvåkede reaktorer til å produsere våpenplutonium. Én av disse vil på ett år gi nok våpenplutonium til om lag 18 – 30 kjernevåpen. Det fins ingen beviser for at dette har funnet sted. Produksjon av våpenplutonium krever mer brensel enn produksjon av reaktorplutonium. Beregninger viser at dersom India har utnyttet sin kapasitet for brenselsfabrikasjon (ifølge offisielle listeverdier) til det fulle, kan brenselsfabrikasjonen ha vært tilstrekkelig til å produsere maksimalt om lag 1 800 – 2 400 kg våpenplutonium i de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene (per 31.08.2003). Gjenvinningsanlegget PREFRE i Tarapur (oppstart 1979) har hatt stor nok kapasitet til å gjenvinne en slik mengde brukt brensel. Denne ytterligere forsyningen vil tilsvare opptil 300 – 400 kjernevåpen, slik at India totalt kan ha nok våpenplutonium til så mye som opptil 360 – 500 kjernevåpen. Innsatsen tilsvarer at én kommersiell reaktor nesten kontinuerlig er benyttet til våpenproduksjon i ca 20 år. Det innebærer videre at om lag 80 % av den kommersielle, ikke-overvåkede reaktordriften finnes ”ikke skyldig”, det vil si at bare en mindre andel av det kommersielle, ikke-overvåkede reaktorprogrammet kan ha vært anvendt med våpenhensikt. (Forutsetningen er at de offisielle listeverdiene for kapasitet for brenselsfabrikasjon og for elektrisitetsproduksjonen ved reaktorene er korrekte.) Reaktoren MAPS-1 kom først i drift (1984), så det kan være at denne eventuelt har vært et valg. (Delkapittel 4.4.)

Vårt resultat her skiller seg fra tidligere påstander i litteraturen, som hevder at opptil fire eller seks av de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene kan bli brukt innen Indias kjernevåpenproduksjon. (Delkapittel 4.4.)

Dersom hensikten med Indias kjernevåpenprogram ”bare” er å avskrekke Pakistan, er det lite trolig at de indiske kommersielle reaktorene har blitt benyttet til annet enn produksjon av elektrisitet. Dersom Indias formål med en kjernefysisk avskrekker også er rettet mot Kina, er neppe et arsenal på 30 – 45 kjernevåpen tilfredsstillende. Kina er stort og har selv trolig i størrelsesorden 400 kjernefysiske stridshoder (73). Som vi ser, kan India muligens matche dette hvis også kommersielle, ikke-overvåkede reaktorer har blitt benyttet i våpenproduksjonen.

De 14 kommersielle reaktorene har uansett gitt store mengder brukt brensel med reaktorplutonium. Dersom de alle har drevet på normalmåten (bare elektrisitetsproduksjon), estimerer vi at India har produsert brukt brensel tilsvarende 11 000 – 14 000 kg reaktorplutonium per 31.08.2003. Deler av denne mengden er overvåket. (Avsnitt 4.3.2.) Siden staten har muligheter for stor produksjon av våpenplutonium, er det lite trolig at den skulle finne

interesse av å benytte reaktorplutonium i kjernevåpen.

Indias evne til urananrikning (det vil si produksjon av uran-235) er ukjent, men det antas at mengden våpenuran er neglisjerbar i forhold til mengden våpenplutonium. Det er ukjent om våpenuran brukes i Indias kjernevåpenprogram. En prototyp atomubåtrektor skal være under utprøving. I så fall er dette ett tegn på at anrikningsanlegget i Rattehalli produserer høyanriket uran. (Delkapittel 3.7.)

Planleggingen og satsningen innen Indias kjernefysiske kraftprogram er stor. Seks CANDU-reaktorer og to lett vannsreaktorer er under bygging. India forbereder også en fremtidig kommersiell bruk av formeringsreaktorer og thoriumsreaktorer, som skal bli henholdsvis andre og tredje trinn i Indias kjernefysiske elektrisitetsproduksjon. Bygging av en prototyp formeringsreaktor (Prototype Fast Breeder Reactor, PFBR) er per 2004 i gang i Kalpakkam. Formeringsreaktorer drives av både plutonium og uran, men produserer mer plutonium enn de forbruker. Thoriumsreaktoren Advanced Heavy Water Reactor (AHWR) er per 2004 under planlegging. I thoriumsreaktorer bestråles thorium, noe som gir produksjon av uran-233. Uran-233 er fissilt og driver så reaktoren. (Appendiks A.3 og delkapittel 3.5.)

Det bygges fasiliteter for å gjenvinne også fra formeringsreaktorer og thoriumsreaktorer. I 2002 kom Indias fjerde fullskala gjenvinningsanlegget i drift: Uranium Thorium Separation Facility ved BARC, som separerer den fissile isotopen uran-233 fra bestrålt thorium. Den offisielle hensikten bak fremstillingen skal være for bruk innen nøytronradiografi. Men denne uranisotopen kan også brukes både som fissilt materiale i kjernevåpen eller avansert reaktorbrensel. Per 2004 er et fullskala gjenvinningsanlegg for brukt brensel fra formeringsreaktorer under bygging, og et laboratorieanlegg skal stå ferdig. (Delkapittel 3.6.)

Myndighetene erklærte stans av prøvesprengninger etter serien i 1998, og India skal ikke være den første staten som gjenopptar prøvesprengning. Opprettholdelse av et gjensidig forbud mot prøvesprengninger (med mindre man skulle bli utsatt for en ekstraordinær trussel) ble bekreftet av både India og Pakistan under de fredsfremmende samtaler i 2004 (74) (75). Men vi ser ikke bort fra at India kan ha et ønske om flere prøvesprengninger for å videreutvikle våpnene sine og bekrefte nye design. India ønsker kanskje flere prøver av den termionukleære designen som staten hevder å ha utviklet. Vi kan tenke oss at dersom en annen stat bryter prøvesprengningspausen som vi nå er inne i, og spesielt hvis det er en anerkjent kjernevåpenstat som prøvesprenger, kan det tenkes at Sør-Asia følger etter.

India har både fly og landbaserte missiler, og disse kan tenkes å levere kjernevåpen. Missilet Agni II har per 2004 lengst rekkevidde (minst 2 200 km) og kan nå hele Pakistan og mesteparten av Kina. En videreutvikling (Agni III) er ventet prøveskutt i nærmeste fremtid. Dette missilet antas også å kunne nå de nordøstlige delene av Kina, ikke minst Beijing. (Avsnitt 5.2.2.)

”Utkastet” til doktrine fra 1999 sier at India skal ha mulighet for kjernefysisk avfyring fra

fartøy, men det har ikke staten per 2004. Kortdistansemisilet Prithvi III (også kalt Dhanush) (250 km) er under utvikling og skal kunne gi utskytningmuligheter fra overflatefartøy. Den kommer muligens også i ubåtversjon. Sagarika, et missil som vil bli utskytbart fra ubåter, skal være under arbeid. (Avsnitt 5.2.3.)

Utvikling av en atomubåtflåte (Advanced Technology Vessel, ATV) av angrepsubåter er under arbeid. India kan bli den første staten ved siden av de fem anerkjente kjernevåpenstatene som har atomubåter, noe som vil ha stor symbolverdi. Man kan spekulere i om disse atomubåtene vil få mulighet for å levere kjernefysiske stridshoder med en begrenset rekkevidde, noe som gir større fleksibilitet. Ifølge den britiske forsvarsressursen Jane's (64) skal ubåten være basert på den russiske atomubåten Charlie I, uten å si *i hvilken grad* den er modell. Charlie I kunne levere kjernevåpen med kort distanse. (Avsnitt 5.2.4.)

Vi ser på det som lite trolig at India i nærmeste fremtid vil slutte seg til Ikke-spredningsavtalen (NPT, 1968) som ikke-kjernevåpenstat. Staten har mange ganger tatt avstand fra avtalen. Å omskrive avtalen for å inkludere India (og Pakistan) kan være risikabelt fordi avtalen kan bli svekket, og fordi andre stater kan bli oppmuntret til kjernevåpenutvikling.

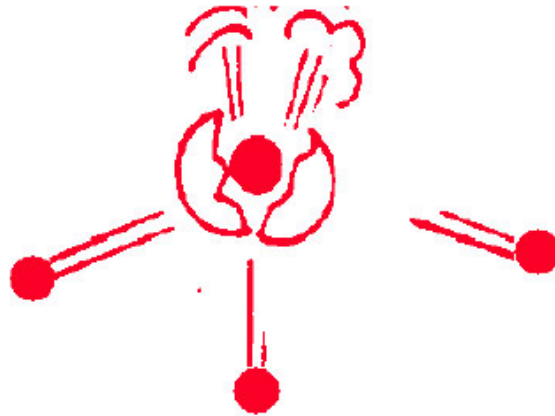
## APPENDIKS

### A TEKNISK GRUNNLAG FOR KJERNEFYSISKE VÅPEN

For lesere som ikke allerede er kjent med fagområdet kjernevåpen, gis her et teknisk grunnlag for teorien om produksjon av fissilt materiale, og design og bygging av kjernevåpen.

#### A.1 Introduksjon og hovedtrekk for bygging av kjernefysiske ladninger

Å bygge kjernefysiske ladninger fra grunnen av er et omfattende, ekstremt dyrt og teknisk krevende arbeid. Det vil sysselsette minst flere hundre forskere og ingeniører i mange år og kreve milliardinvesteringer.

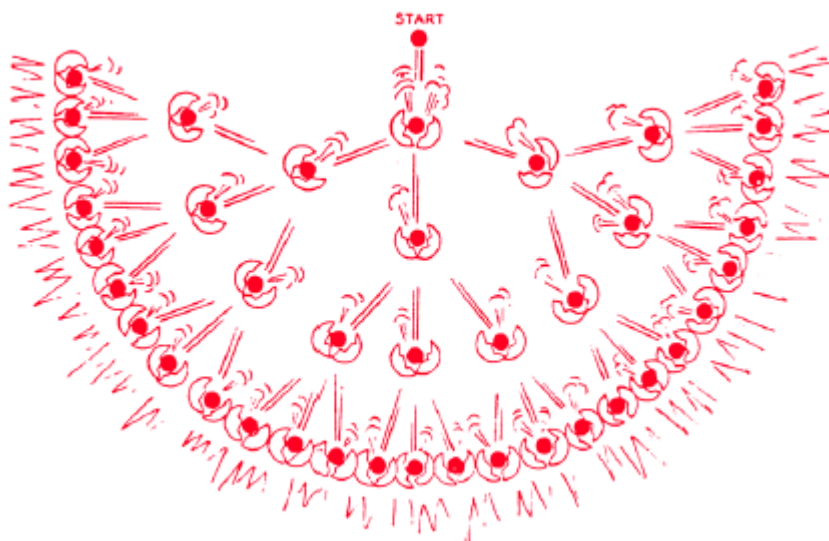


*Figur A-1* Én fisjon. Et nøytron spalter en kjerne, og tre nye nøytroner sendes ut. Figuren er hentet fra FFI-rapporten S-1 (76).

En *fisjon* (se Figur A-1) er en spaltning av en tung atomkjerne. Energi og typisk to til tre frie nøytroner frigjøres. En *kjedereaksjon* (se Figur A-2) forekommer når nøytroner som frigjøres i én fisjon, induserer i gjennomsnitt minst én ny fisjon, slik at fisjonsprosessene opprettholdes. Materiale som kan opprettholde en kjedereaksjon, kalles *fissilt materiale* (eller *spaltbart materiale*). Alle kjernevåpen må ha fissilt materiale.

*Kritisk masse* er minimumsmassen fissilt materiale som kreves for å få kjedereaksjon. For å få en kjernefysisk eksplosjon må vi minst ha kritisk masse. Kan kjedereaksjon foregå, er materialet *kritisk* (én ny fisjon kan induseres i gjennomsnitt) eller *overkritisk* (mer enn én). Begrepene *kritikalitet* og *overkritikalitet* benyttes også.

De vanligste (og nyttigste) fissile materialene er uran-235 og plutonium-239. Tallet indikerer antallet partikler (protoner pluss nøytroner) i urankjernen. En urankjerne med et bestemt antall kjernepartikler, kaller vi en *isotop*. Én uranisotop er uran-235, mens uran-233 og uran-238 er andre uranisotoper. Plutonium har også flere isotoper.



Figur A-2 En kjedereaksjon. Nøytronene fra én fisjon, forårsaker nye fissioner i andre kjerner. Figuren er hentet fra FFI-rapporten S-1 (76).

Det mest omfattende i prosessen med å utvikle kjernevåpen er å produsere fissilt materiale. Man må bygge enten et anrikningsanlegg (for tilegnelse av uran-235); eller én kjernefysisk reaktor og ett gjenvinningsanlegg (for tilegnelse av plutonium-239).

Dersom man skal lage én eller flere kjernefysiske ladninger, vil arbeidet inkludere følgende hovedtrekk:

1. Å produsere fissilt materiale;
2. Å foreta eksperimenter;
3. Å lage en design (på papiret) for den kjernefysiske ladningen (mer om design i appendiks A.4);
4. Å bygge ladningen etter designen; og
5. Helst å foreta kjernefysiske prøvesprengninger for å bekrefte designen før serieproduksjon iverksettes.

Hypotetiske snarveier er om en annen stat gir fra seg designen eller et ferdig våpen, eller om en aktør lykkes med å kjøpe eller stjele ferdig fissilt materiale eller en ferdig kjerneladning.

Det er nødvendig å tilegne seg svært mye eksperimentell erfaring og ingeniørkompetanse. Eksperimenter som må utføres, er blant andre:

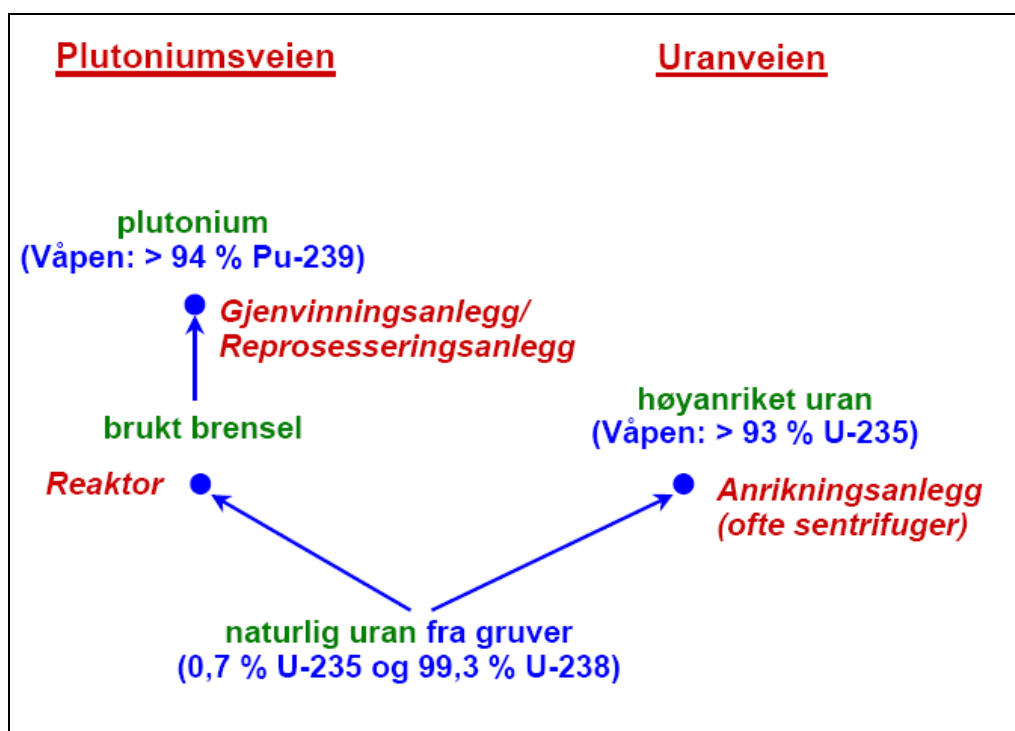
- Fysikk eksperimenter med fissilt materiale, for å kartlegge egenskapene til uran og/eller plutonium;
- Eksperimenter som tester ut de konvensjonelle delene i ladningen;
- Andre ikke-fissile eksperimenter som sannsynliggjør at designen fungerer.

## A.2 Å lage fissilt materiale

Å fremskaffe fissilt materiale er som nevnt den største hindringen i et kjernevåpenprogram. Man følger *uranveien* (kjernefysiske ladninger basert på uran-235) eller *plutoniumsveien* (kjernefysiske ladninger basert på plutonium-239).

Begge muligheter starter med behandling av naturlig uran. Staten må ha en uranåre (eller skaffe naturlig uran på annet vis). Den aspirerende staten må opprette en urangruve og hente ut uranmalmen. Uranmalmen består typisk av under 1 % naturlig uran. Malmen må sendes til uranutvinning (i en såkalt *uranium mill*) for å fjerne forurensningene. Uranutvinning består av mekaniske og kjemiske prosesser, der uranet til slutt bunnfelles som såkalt uranoksidkonsentrat eller urankonsentrat (*yellow cake*): en ikke-støkiometrisk forbindelse kalt  $U_3O_8$ .

Prosessen videre avhenger av om staten velger uranveien eller plutoniumsveien. Se skjematisk oversikt i Figur A-3.



Figur A-3 Skjematisk oversikt over hovedstegene innen henholdsvis plutoniumsveien og uranveien.

### A.2.1 Uranveien

Naturlig uran består av 0,7 % av isotopen uran-235 og resten hovedsakelig uran-238. Uran-235 er fissilt og kan benyttes som brensel i kjernevåpen. Uran-238 er *fisjonerbart*, men ikke fissilt. Det vil si at enkelte energifrigjørende fisjoner kan forekomme (for høyenergetiske nøytroner), men at kjedereaksjon ikke kan opprettholdes. (77) Uran-238 er ikke kjernevåpenbrensel. Disse forskjellige egenskapene til uran-235 og uran-238 kommer av antallet partikler i deres kjerner og hvordan disse partiklene vekselvirker med hverandre. For uranveien må uranet *anrikes*, det

vil si at andelen uran-235 i materialet må økes på bekostning av uran-238.

Urankonsentratet vil ofte bli omdannet til uranheksafluorid ( $\text{UF}_6$ ) i et annet anlegg. Denne forbindelsen blir så behandlet i et anrikningsanlegg, der anrikning foregår i stor skala. Anrikning er en teknisk og ingeniørmessig svært vanskelig prosess og det største hinderet for kjernevåpenutvikling. Detaljene i designen av anrikningsanleggene forsøkes hemmeligholdt.

Anrikning baserer seg på at uran-238 har flere partikler i kjernen og dermed høyere masse enn uran-235. De to viktigste prosessene som er i bruk i dag, er diffusjonsanrikning (*gaseous diffusion enrichment*) og sentrifugeanrikning (*ultra-centrifuge enrichment* eller *gas centrifuge enrichment*).

Ved diffusjonsanrikning blir gassen sendt gjennom en rekke porøse membraner. Uran-235, med minst masse, passerer raskere. Etter en membran vil gassen være mer anrikt i uran-235 enn før. Anrikt gass sendes videre til neste trinn, og utarmet gass sendes tilbake til forrige trinn. Til slutt har man en høyt anrikt gass.

Ved sentrifugeanrikning sendes gassen inn i en rekke rør (sentrifuger), som roterer rundt med et svært høyt turtall. Uran-238-kjernene, med størst masse, legger seg nærmere sentrifugens sylindervegg enn uran-235-kjernene. Prosessen gjentas i mange trinn. Ett sentrifugeanlegg vil ofte bestå av flere tusen sentrifuger.

Den anrikede uranheksafluoridgassen må deretter omdannes til metallisk uran. Etter denne behandlingen og tilstrekkelig anrikningsgrad (over 90 % (34)) har man fått anrikt uran av våpenkvalitet, såkalt *våpenuran*, som egner seg godt for kjernevåpenbruk.

Andre klassifiseringsgrupper er *lavanrikt uran* (mer enn 0,7 % og mindre enn 20 % uran-235) og *høy-anrikt uran* (mer enn 20 % uran-235).

### A.2.2 Plutoniumsveien

Dersom man går for plutoniumsveien, vil urankonsentratet  $\text{U}_3\text{O}_8$  bli sendt til et renseanlegg (*uranium purification plant*) for å øke renhetsgraden.

Uranet blir deretter omgjort til brensel-elementer i et anlegg som produserer slike. Reaktorer som kan drives av naturlig uran, er tungtvannsmodererte<sup>85</sup> reaktorer eller gasskjølte-grafittmodererte reaktorer. (Moderering kreves for at kjedereaksjonen skal gå. Mer om reaktorer og moderatorer i appendiks A.3.) Disse genererer mer og bedre plutonium enn reaktorer som drives av lavanrikt uran og modereres av lett vann ("vanlig" vann). For å kjøre reaktoren må staten skaffe seg tungtvann eller reaktorgrafitt. Staten bør derfor helst ha egne anlegg for å produsere minst én av delene.

---

<sup>85</sup> Tungtvann er vann som har hydrogenisotopen deuterium (som har ett nøytron) i seg, i motsetning til "vanlig" vann, som består av hydrogen (ingen nøytroner).



Nøytroner kan absorberes av uran-238-kjernene. Dette fører etter hvert til dannelse av plutonium-239. Ut av reaktoren kommer brukt brensel, der en liten andel plutonium fins blant ikke-forbrukt uran og store mengder radioaktive avfallsstoffer. Et gjenvinningsanlegg (*reprocessing plant*) er nødvendig for å separere plutoniumet (og andre stoffer av interesse) fra det brukte brenselet. Separasjonen er en avansert kjemisk prosess i mange trinn, og den krever strenge sikkerhetstiltak på grunn av den radioaktive strålingen. Selv om den kjemiske fremgangsmåten ble avgradert på 1950-tallet, er den ingeniørmessige og strålingsmessige vanskelighetsgraden fremdeles et viktig hinder for kjernevåpenspredning. Det antas at mange av statene som har forsøkt plutoniumsveien i sin kjernevåpenproduksjon, har fått utenlandsk assistanse i prosessen (13). India og Pakistan er blant dem som har fått assistanse.

Plutoniumet, som skilles ut i gjenvinningsprosessen, er enten såkalt *reaktorplutonium* eller såkalt *våpenplutonium*. (Man kan også si plutonium av *reaktorkvalitet* og plutonium av *våpenkvalitet*.) Reaktorplutonium fås hvis brenselet er lenge i reaktoren og mottar høy nøytronbestråling. Slikt plutonium er mindre bra for kjernevåpenbruk. Ved normal reaktordrift fås reaktorplutonium. Reactorer som skal lage våpenplutonium, må skifte brensel langt oftere. Er hensikten våpenproduksjon fremfor elektrisitetsproduksjon, kreves derfor at staten investerer i større brenselproduksjon.

Forskjellen på reaktorplutonium og våpenplutonium er at våpenplutonium nesten bare består av isotopen plutonium-239 (typisk mer enn 93 % (34)), mens reaktorplutonium har en større andel av tyngre plutoniumisotoper. De tunge isotopene lages ved at plutonium-239 tar opp et nøytron og danner plutonium-240, som igjen ved nøytronopptak kan danne isotopen plutonium-241 og så videre.

Årsaken til at plutonium-239 er mest gunstig er at denne isotopen langt sjeldnere enn de tyngre isotopene undergår såkalt *spontane fisjoner* (78). Dette stiller strengere krav til kompresjonshastigheten i våpenet, ellers kan frie nøytroner sette i gang en kjedereaksjon før våpenet er ment å gå av. Med reaktorplutonium kan man få altså *predetonasjon* – en detonasjon på feil tidspunkt og med lavere sprengkraft enn ønsket. Dessuten gjør mer radioaktivitet produksjonsfasen vanskeligere. Reaktorplutonium er nok av mindre interesse for kjernevåpenutvikling blant statlige aktører om de også er i stand til å lage våpenplutonium. Alt plutonium kan imidlertid fås til å eksplodere kjernefysisk.

### A.3 Reactorer

Her kommenteres de forskjellige reaktortypene. Alle reaktorer produserer plutonium. Derfor er det ønskelig om Det internasjonale atomenergibyrået (IAEA) i Wien kunne ha overvåket alle verdens reaktorer.

I en reaktor er kjedereaksjonen kontrollert. Antall fisjoner per tidsenhet er konstant, i motsetning til i et kjernevåpen, der antallet fisjoner per tid øker eksplosivt.

Reaktorer deles inn i to kategorier: *termiske* eller *hurtige* reaktorer.

I de termiske reaktorene vil en *moderator* gjennom kollisjoner bremse nøytronene til om lag samme energi som atomkjernene i moderatoren. Nedbremsingen øker sannsynligheten for at nøytronene vil forårsake fisjon (og energifrigjøring) i uran-235-kjernene i brenselet. Det er tre hovedtyper termiske reaktorer: 1) letvannsmodererte, 2) tungtvannsmodererte og 3) gasskjølte-grafittmodererte reaktorer. I de to første brukes vannet både som moderator og til å kjøle systemet.

Den vanligste typen reaktor er den letvannsmodererte. Denne krever uranbrensel som er anriket. Årsaken er at letvann har en relativt høy evne til å absorbere nøytroner, og at man derfor får et nøytronsvinn. Denne reaktoren fins i to utgaver: *trykkvannsreaktoren* (Pressurized Water Reactor, PWR) eller *kokvannsreaktoren* (Boiling Water Reactor, BWR). Forskjellen er at i trykkvannsreaktoren settes opp et så høyt trykk at moderatorvannet i reaktortanken ikke koker, mens i kokvannsreaktoren får vannet koke.

Tungtvannsmodererte reaktorer (Heavy Water Reactor, HWR) kan drives av naturlig uran, fordi tungtvann har lavere evne til å absorbere nøytroner. Men fordi tungtvann har en dårligere evne til å moderere nøytronene, kreves større mengde væske. Reaktorene blir større. De fleste tungtvannsmodererte reaktorene er under trykk, og de kalles trykktungtvannsmodererte reaktorer (Pressurized Heavy Water Reactor, PHWR).

Når hensikten er å produsere plutonium for kjernevåpen, er reaktorer som går på naturlig uran og modereres av tungtvann, de beste. Naturlig uran har høyest andel av isotopen uran-238, som kan gi plutonium. Tungtvann har relativt lav absorpsjon av nøytroner. Lav nøytronabsorpsjon gjør at flere nøytroner er tilgjengelig for å bestråle uran-238.

Den modererende evnen til grafitt er noe lavere enn den til tungtvann, men likevel ganske god. Naturlig uran kan benyttes i gasskjølte-grafittmodererte reaktorer. Denne type reaktor er også aktuelle for plutoniumproduksjon til kjernevåpen.

En trykktungtvannsmodeell som er velegnet for våpenproduksjon, er CANDU-reaktoren. Ironisk nok kan navnet høres ut som "can do" ("kan gjøre"). *CANDU* står for "CANadian Deuterium Uranium Reactor". Spesielt for CANDU-reaktorer er at brenselet skiftes kontinuerlig uten at reaktoren må stenges av. Siden produksjon av våpenplutonium krever hyppig brenselsskifte, er det en fordel at reaktoren ikke må stenges av. Man unngår at elektrisitetsproduksjonen blir forstyrret. Derfor kan operatøren enklere i hemmelighet produsere våpenplutonium i en ikke-overvåket CANDU-reaktor.

I den hurtige reaktoren er det ingen moderator som bremser nøytronene. Hurtige nøytroner har mye mindre evne til å indusere fisjon (både i uran og plutonium) enn sine termiske kolleger (78). Derfor må mengden fissilt materiale være større enn hos andre reaktortyper. Ett mulig brensel kan være plutoniumoksid.

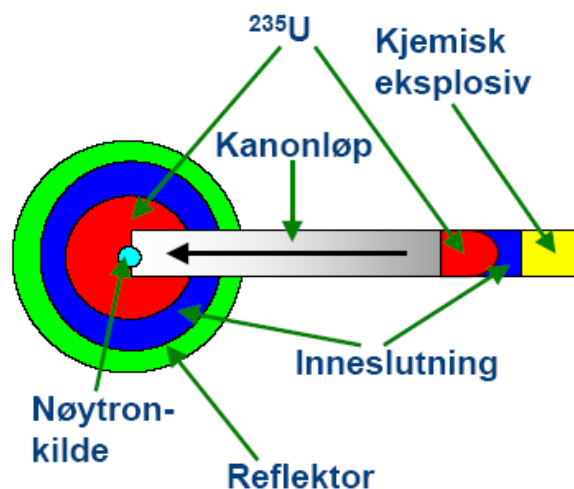
Én type hurtig reaktor er *formeringsreaktoren* (Fast Breeder Reactor, FBR). Navnet kommer av at den har evnen til å produsere mer plutonium enn den forbruker. Brenselet er ofte *MOX* med en kappe av uran-238 rundt. *MOX* står for "Mixed Oxide Fuel" og er en blanding av fissile oksider, som for eksempel 20 %  $\text{PuO}_2$  og 80 %  $\text{UO}_2$ . Når reaktoren går, produseres plutonium i kappen og i *MOX*-brenselet. (Igjen prosesser som starter ved at uran-238 tar opp et nøytron.)

Den siste typen reaktor vi skal introdusere, er *thoriumreaktoren*. Denne utnytter naturlig thorium som vi finner i naturen: thorium-232. Analogt med at uran-238 ved opptak av ett nøytron starter en prosess som gir plutonium-239, starter thorium-232 ved opptak av ett nøytron en prosess som gir den fissile isotopen uran-233. Thoriumreaktoren må ha fissilt materiale i brenselet i utgangspunktet, men deretter vil den danne sitt eget fissile materiale (uran-233) ved bestråling av thorium. Så vil uran-233 drive reaktoren. (78)

#### A.4 Design av kjernefysiske ladninger (fysikkpakker)

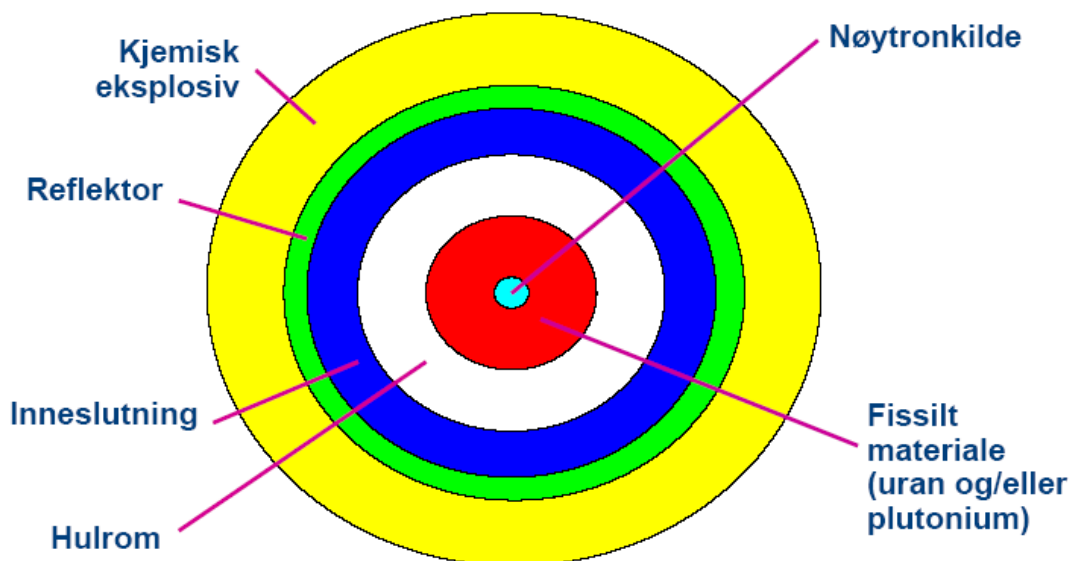
Kjernefysiske ladninger er enten *fisjonsladninger* eller *termonukleære ladninger*. Termonukleære ladninger kalles også *fusjonsladninger* (eventuelt *hydrogenbomber*). Begrepene "fusjons-" og "termonukleær" kan benyttes om hverandre. I det følgende beskrives kort begge de to kategoriene ladninger.

Av fisjonsdesign er det to typer: *kanonløpsdesign* (se Figur A-4) og *implosjonsdesign* (se Figur A-5). Kanonløpsdesignen fungerer ved at biter av våpenuran skytes sammen i et kanonløp, og det skapes forhold som kan gi kjedereaksjon. En slik tilstand kalles "overkritikalitet". Plutonium kan ikke brukes i denne typen fisjonsvåpen, fordi sammenføringen er en relativt langsom prosess og plutonium har en spontan fisjonsrate som er for høy. Risikoen for predetonasjon (og dermed lav sprengkraft) blir for stor hvis man benytter plutonium i et kanonløpsvåpen.



Figur A-4 Skjematisk skisse av kanonløpsdesignen.

For implosjonsdesignen komprimeres (*imploderes*) en underkritisk kule av våpenuran og/eller



Figur A-5 Skjematisk skisse av implosjonsdesignen.

våpenplutonium til overkritikalitet før detonasjon. Kjemiske høyeksplosiver rundt kulen forårsaker den innoverrettede eksplosjonen. Det er svært viktig at implosjonen blir presist jevn. Ellers kan man få en såkalt *fizzle* (en detonasjon med lavere sprengkraft enn forventet), eller ingen eksplosjon i det hele tatt. Presis implosjon er vanskeligere å få til enn å skyte to masser sammen. Implosjonsdesignen er derfor teknisk mer avansert enn kanonløpsdesignen.

Såkalte *nøytronkilder* brukes for å sende ut nøytroner som kan starte kjedereaksjonen på det mest optimale tidspunktet. Én type nøytronkilde er polonium-210/beryllium-9-typen. Polonium er en alfaemitter, mens beryllium stråler ut nøytroner ved opptak av alfapartikler. De tidligste amerikanske kjernevåpnene benyttet denne typen nøytronkilde, men i dag benyttes trolig andre typer.

Anordningene (ladningene) som er beskrevet ovenfor (inkludert det kjemiske høyeksplosivet og tenningsystemene ytterst), kalles ofte *fysikkpakker*.

Kanonløpsdesignen er altså relativt enklere å lage, men er sjelden brukt av kjernevåpenstatene i dag. Implosjonsdesignen vil ofte foretrekkes fremfor kanonløpsdesignen fordi

1. Den muliggjør bruk av plutonium;
2. Sprengkraften blir større hvis operasjonen lykkes; og
3. Ladningen kan lages lettere fordi kritisk masse senkes på grunn av at:
  - Plutonium har lavere kritisk masse enn uran; og
  - Implosjonen vil føre til en økning av massetettheten.
4. Ladningen holdes sammen i flere generasjoner.

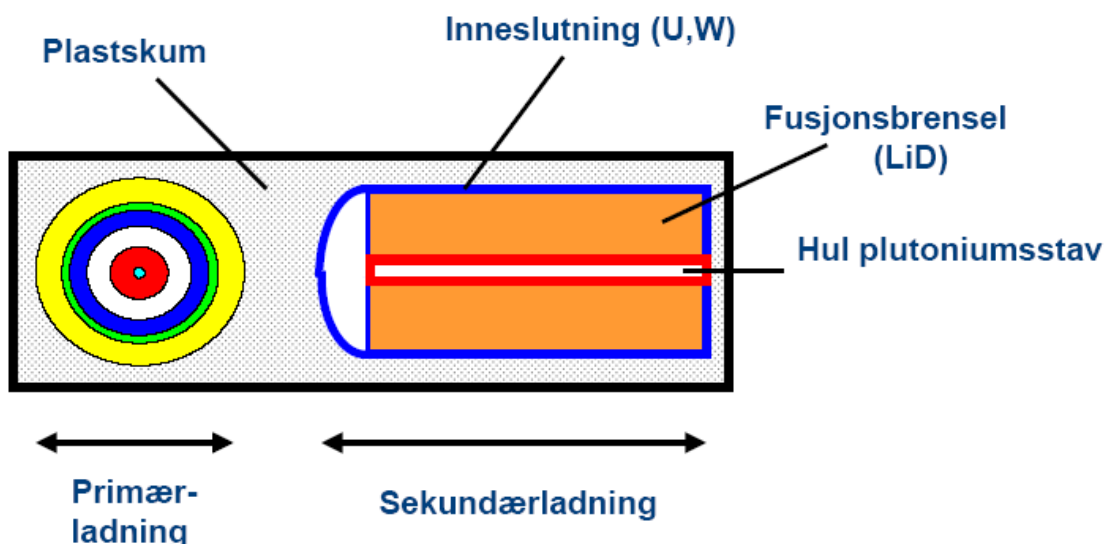
En gitt implosjonsladning kan få sin sprengkraft forsterket ved å tilsette noen få gram av en blanding av hydrogenisotopene deuterium og tritium (*boost gas*). Den høye massetettheten og

temperaturen vil få hydrogenkjernene til å smelte sammen. En slik sammensmelting kalles *fusjon*. Fusjonen mellom deuterium og tritium skaper energirike nøytroner, slik at antallet fisjonsprosesser i den gitte mengden fisjonsmateriale kan bli langt større. Slik får fisjonsladningen enda større sprengkraft. Fisjonsladninger som har tilsatt små mengder deuterium og tritium, kalles *boostede*<sup>86</sup>, *avanserte eller tritiumforsterkede* fisjonsladninger.<sup>87</sup> Med boosting kan sprengkraften til ladningen økes, eller ladningen kan gjøres lettere uten at sprengkraften blir lavere (fordi mengden fissilt materiale kan reduseres).

Sprengkraften til kjernefysiske eksplosjoner oppgis i enheter av *kilotonn (kt)* og angir hvor mange tusen tonn konvensjonelt sprengstoff (TNT) man måtte ha benyttet for å få samme sprengkraft. For sammenligning hadde bomben som ble sluppet over Hiroshima i 1945, en sprengkraft på 13 kt.

En *lavytelsesladning (low-yield device)* har liten sprengkraft og kan være en taktisk ladning. Ofte vil den defineres til å ha sprengkraft mindre enn 5 kt. En *subkilotonnladning (subkiloton device)* har en sprengkraft på mindre enn 1 kt. Sprengkraften er lav fordi kjedereaksjonen stopper tidligere enn i andre kjernefysiske eksplosjoner.

De kjernefysiske ladningene som har potensielt størst sprengkraft, er de termonukleære ladningene. Vi antar at den termonukleære designen omtalt som *Teller-Ulam* (eller modifikasjoner av den) (se Figur A-6), sannsynligvis er basis for kjernefysiske ladninger med høy sprengkraft i dag.



Figur A-6 Skisse av hvordan man i dag tenker seg at Teller-Ulam-designen er bygd opp.

<sup>86</sup> Boostet: etter engelsk for "forsterket".

<sup>87</sup> Merk at tilsetningen av den lille mengden fusjonsmateriale ikke gjør at ladningen kan kalles en termonukleær ladning eller fusjonsladning. (Disse ladningstypene omtales senere i dette appendikset.)

Selv om Teller-Ulam-designen aldri har blitt offisielt bekreftet, er det gjengs oppfatning at den består av to separate ladninger: én primærladning og én sekundærladning. Designen er altså totrinns.<sup>88</sup> Primærladningen er en fisjonsladning (av implosjonstype) som detonerer først. Sekundærladningen består typisk av ytterst en såkalt *inneslutning* (gjørne av utarmet uran eller wolfram), deretter hovedbestanddelen, som er fusjonsmateriale (litiumdeutrid antas å være gunstig), og i midten en hul plutoniumstav (*tennplugg*). Energien fra primærladningen skaper et innoverrettet trykk på sekundærladningen, som får den til å implodere (*strålingsimplosjon*). Massetettheten i sekundærladningen økes og får tennpluggen til å gå kritisk og undergå en fisjonseksplisjon. Varmefrigjøringen i midten av fusjonsmaterialet og økningen av massetetthet forårsaker at fusjonsreaksjonene starter.

Enorme mengder energi kan frigjøres fra en termonukleær ladning, typisk i megatonnområdet. Det er i prinsippet ingen øvre grense for sprengkraft. Årsaken er at fusjonsbrensel ikke går kritisk uansett hvor store mengder man har av det (ingen kritisk masse), samt at flere fusjonsladninger kan legges etter hverandre, slik at strålingen fra ett fusjonstrinn antenner det neste.

*Nøytronbomben* antas å være en variant av Teller-Ulam-designen. Ideen er å minimere all frigjort energi unntatt nøytronstrålingen, som maksimeres. Nøytronstrålingen forserer betong og annet tett materiale, og nøytronstålingen har høy dødelighet. Typisk sprengkraft er i kilotonnområdet, altså langt lavere enn ved en standard Teller-Ulam-design.

## A.5 Mengde fissilt materiale i hver fisjonsladning

Informasjon om mengden fissilt materiale som trengs i hver ladning er gradert. Man må derfor basere seg på antagelser, noe som blir usikkert.<sup>89</sup> Mengden fissilt materiale varierer nødvendigvis fra design til design avhengig av ønsket sprengkraft og designernes og ladingproduzentenes dyktighet. En stat med mindre kjernevåpenerfaring vil forbruke mer fissilt materiale per ladning enn en stat med mye erfaring. Dessuten vil produksjonen kreve noe mer fissilt materiale enn hva som ladingen faktisk består av, på grunn av svinn, eventuell eksperimentering og lignende.

Vanlige antagelser er at moderne fisjonsladninger hos stater med teknisk avanserte kjernevåpenprogrammer kan bestå av 2 – 5 kg våpenplutonium eller 10 – 15 kg våpenuran. Man kan kanskje tenke seg at det kan kreves 5 – 8 kg våpenplutonium eller 15 – 25 kg våpenuran for å lage én fisjonsladning, muligens enda mer hvis staten er nybegynner.<sup>90</sup> Vi antar i vår rapportserie at India og Pakistan trenger 6 kg våpenplutonium eller 20 kg våpenuran for å lage én kjerneladning.

<sup>88</sup> Begrepet *totrinns* kan brukes for å spesifisere en fusjonsladning som benytter seg av prinsippet med strålingsimplosjon fremfor tidlige design av fusjonsladninger uten strålingsimplosjon.

<sup>89</sup> IAEA opererer med begrepet "significant quantities", som defineres som 25 kg høyanriket uran eller 8 kg plutonium.

<sup>90</sup> Verdens to første kjernevåpen (1945) skal ha bestått av henholdsvis 64 kg høyanriket uran (til 80 %) (Little Boy, Hiroshima, kanonløp) og 6,2 kg plutonium (Fat Man, Nagasaki, implosjon) (79).

## A.6 Utvikling av kjernefysiske stridshoder og våpen

Et kjernefysisk *stridshode* er en ladning som er klar til å leveres av et *leveringsmiddel* (missil eller fly). Klargjøring forutsetter at fysikkpakken er designet slik at den kan brukes som et leverbart våpen.<sup>91</sup> Designen må være slik at stridshodet blir kompakt, relativt lett og kan fraktes av leveringsmiddelet. Det forsettes også tilstrekkelige sikringssystemer m m som gjør våpenet sikkert og holdbart, samt en ytre innkapsling rundt fysikkpakken.

Dersom man setter stridshodet på et leveringsmiddel, får man et *kjernefysisk våpen* eller et *kjernevåpen*.<sup>92</sup>

---

<sup>91</sup> Å konstruere en design slik at ladningen kan brukes som våpen, kalles *weaponizing* på engelsk.

<sup>92</sup> De to begrepene brukes om hverandre.

## B FORKORTELSER

Her er en oversikt over de viktigste forkortelsene som er benyttet i denne rapporten. Vi gir fulltekst og eventuelt norsk oversettelse.

<b>FORKORT- ELSE</b>	<b>FULLTEKST</b>	<b>OVERSETTELSE</b>
AEC	Atomic Energy Commission	
AHWR	Advanced Heavy Water Reactor	
ATV	Advanced Technology Vessel	
BARC	Bhabha Atomic Research Centre	
BJP	Bharatiya Janata Party	
BWR	Boiling Water Reactor	kokvannsreaktor
CANDU	CANadian Deuterium Uranium Reactor	
CTBT	<i>Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty</i>	<i>Traktat om totalforbud mot kjernefysiske prøvesprengninger (CTBT) av 10. september 1996 (ikke trådt i kraft ennå); "Prøvestansavtalen", "CTBT-avtalen"</i>
DAE	Department of Atomic Energy	
DRDO	Defence Research & Development Organisation	
FBR	Fast Breeder Reactor	formeringsreaktor
FBTR	Fast Breeder Test Reactor	
FRFRP	Fast Reactor Fuel Reprocessing Plant	
IAEA	International Atomic Energy Agency	Det internasjonale atomenergibyrådet. (Lokalisert i Wien)
IGCAR	Indira Gandhi Centre for Atomic Research	
KARP	Kalpakkam Atomic Reprocessing Plant	Kalpakkam gjenvinningsanlegg
MAPS	Madras Atomic Power Station	Madras kjernekraftverk
MOX	Mixed Oxide Fuel	
MRR	Multi Purpose Research Reactor	
NFC	Nuclear Fuel Complex	
NPCIL	Nuclear Power Corporation of India Ltd	



<b>FORKORT- ELSE</b>	<b>FULLTEKST</b>	<b>OVERSETTELSE</b>
NPT	<i>Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons;</i> ”Non-Proliferation Treaty”	<i>Traktat om ikke-spredning av kjernefysiske våpen</i> av 1. juli 1968 (NPT); ”Ikke-spredningsavtalen”
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor	trykk tungtvannsreaktor
PWR	Pressurized Water Reactor	trykkvannsreaktor
PNE	Peaceful Nuclear Explosion	fredelig kjerneeksplosjon, fredelig kjernefysisk eksplosjon
PREFRE	Power Reactor Fuel Reprocessing Plant	
RAPS	Rajasthan Atomic Power Station	Rajasthan kjernekraftverk
UCIL	Uranium Corporation of India Ltd	

### C BENEVNELSER

Under følger en oversikt over de viktigste benevnelsene som er benyttet i denne rapporten. Vi gir fulltekst og eventuelt forklaring.

<b>BENEVN- ELSE</b>	<b>FULLTEKST</b>	<b>FORKLARING</b>
GW <sub>e</sub>	gigawatt elektrisk effekt	
kt	kilotonn (= 1 000 tonn = 1 million kilogram)	Sprengkraften til kjernefysiske eksplosjoner oppgis i enheter av kt. Måltallet til enheten kilotonn sier hvor mange tusen tonn av det konvensjonelle sprengstoffet TNT som man måtte ha benyttet for å få samme sprengkraft. 1 kt tilsvarende $4,184 \cdot 10^{12}$ joule.
MW <sub>e</sub>	megawatt elektrisk effekt	
MW <sub>t</sub>	megawatt termisk effekt	
MW <sub>e</sub> d	megawatt dager elektrisk effekt	
MW <sub>t</sub> d	megawatt dager termisk effekt	
MWd/tonn	Underforstått: MW <sub>t</sub> /tonn. Megawatt dager termisk effekt per tonn	utbrenning av brensel (energiproduksjon per tonn)
tHM/y	tons Heavy Metals per year	tonn tungmetaller (uran, plutonium, thorium m m) per år
tU	tonn uran (= 1 000 kg uran)	
SWU/y	separative work units per year	Benevnelse på gjennomstrømmingen av anrikt uran fra sentrifuger

## D ORDFORKLARINGER FOR KJERNEVÅPENRELATERTE ORD

Dette appendikset presenterer ordforklaringer for uttrykk innen fagområdet kjernevåpen som er benyttet i denne rapporten. Der faguttrykk listes kommaseparert, er uttrykkene ekvivalente.

- **anerkjente kjernevåpenstater**

De *anerkjente kjernevåpenstatene* er USA, Russland/Sovjetunionen, Storbritannia, Frankrike og Kina. Begrepet ble definert ved forhandlingene for Ikke-spredningsavtalen (NPT, 1968). Kriteriet for å bli regnet som en anerkjent kjernevåpenstat, var at staten måtte ha bygd og detonert en kjernefysisk ladning før 1. januar 1967.

- **anneks 2-statene**

*Anneks 2-statene* er definert i CTBT og er de statene som formelt deltok på Konferansen om nedrustning i 1996, og som i 1996 var i besittelse av minst én kjernereaktor (kraftreaktor eller forskningsreaktor). Det er 44 anneks 2-stater, og Norge er blant disse. Alle anneks 2-statene må ratifisere CTBT før den kan tre i kraft. (5) Se ellers *kjernefysisk kvalifisert stat*.

- **anrikning**

*Anrikning* vil si å øke andelen av isotopen uran-235 på bekostning av andre uranisotoper. Et materiale som består av halvparten uran-235, er "50 % anrikt" (eller "50 % anrikt i uran-235").

- **boosting**

En *boostet ladning* er en fisjonsladning som er tilsatt en liten mengde fusjonsmateriale (deuterium og tritium). Sprengkraften blir høyere. En boostet fisjonsladning må ikke forveksles med en fusjonsladning (termonukleær ladning). Begrepet kommer av engelsk for "forsterket". Man kan også si en "tritiumforsterket ladning" eller en "avansert fisjonsladning".

- **design**

En *design* er en plan (på papiret). Som regel mener vi "kjernevåpendesign", altså tegninger for et kjernevåpen (ladning) og dets komponenter.

- **eksplosjon**

En *eksplosjon* forekommer når én ladning blir detonert.

- **fisjon**

En *fisjon* forekommer når en tung kjerne deler seg. Energi og typisk to til tre nøytroner frigjøres.

- **fisjonerbart materiale**

Et *fisjonerbart materiale* er materiale som består av kjerner som kan la seg spalte av høyenergetiske nøytroner, men ikke lavenergetiske. Fisjonerbart materiale kan ikke vedlikeholde kjedereaksjon. Isotopen uran-238 er fisjonerbar, men ikke fissil. (77)

- **fisjonsladning, fisjonsvåpen**

En *fisjonsladning* er en kjernefysisk ladning som frigjør energi ved hjelp av fisjonsprosesser. En fisjonsladning er enten av kanonløps- eller implosjonsdesign.

- **fissilt materiale, spaltbart materiale**

Et *fissilt materiale* er materiale som består av kjerner som lar seg spalte av nøytroner med alle energier (også av lavenergetiske nøytroner) (77). Det fissionelle materialet har evnen til å vedlikeholde kjedereaksjon og kan derfor undergå en kjernefysisk eksplosjon. Enkelte

uranisotoper og de fleste plutoniumsisotoper er fissile materialer. Begrepet ”spaltbart materiale” brukes også.

- **fizzle**

En *fizzle* er en mislykket kjernefysisk eksplosjon og har en delvis utbrenningsgrad av det fissile materialet, men mindre enn planlagt.

- **fredelig kjernefysisk eksplosjon, fredelig kjerneeksplosjon, PNE**

En *fredelig kjernefysisk eksplosjon* er en detonasjon av en kjernefysisk ladning i fredelig hensikt. Den fredelige eksplosjonen har enten en direkte anvendelse (for eksempel i forbindelse med oljeutvinning eller gruvedrift), eller den er en prøvesprengning i (fredelig) forskningsøyemed. På engelsk sier man ”Peaceful Nuclear Explosion”, som er grunnlaget for forkortelsen *PNE*, som man også benytter i norske tekster.

- **fusjon**

En *fusjon* er når to lette kjerner smelter sammen ved samtidig energifrigjøring.

- **fusjonsladning, fusjonsvåpen, termonukleær ladning, hydrogenbombe**

En *fusjonsladning* eller *termonukleær ladning* er en ladning som frigjør energi ved både fisjoner og fusjoner. (Kalles også *hydrogenbombe*.)

- **fysikkkpakke**

En *fysikkkpakke* er en anordning (ladning) der det fissile materialet, det kjemiske høyeksplosivet og tenningsystemene er inkludert.

- **gjenvinning, repressering**

*Gjenvinning*, eller repressering, vil si å separere ut ønskede grunnstoffer fra brukt brensel. Dette gjøres ved kjemiske prosesser. Som regel gjenvinner man plutonium og uran.

- **hydrogenbombe**

Se *fusjonsladning*.

- **høyanriket uran, HEU**

*Høyanriket uran* er uran der minst 20 % av urankjernene er isotopen uran-235. Høyanriket uran lages ved behandling av uran i et anrikningsanlegg. På engelsk heter begrepet ”highly enriched uranium” og forkortes *HEU*.

- **implosjon**

En *implosjon* er en innoverrettet eksplosjon. Når fissilt materiale imploderes, komprimeres det til overkritikalitet, og kjedereaksjonen kan starte.

- **isotop**

To *isotoper* av ett og samme grunnstoff inneholder like mange protoner, men ikke like mange nøytroner. Massene og de kjernefysiske egenskapene er forskjellige. De kjemiske egenskapene er like.

- **kanonløp**

I et *kanonløp* føres (skytes) mindre, underkritiske masser av uran sammen til én større og overkritisk masse. Slik oppnås overkritikalitet, og kjedereaksjonen kan starte.

- **kjedereaksjon**

En *kjedereaksjon* forekommer når nøytronene som frigjøres i én fisjon, induserer i gjennomsnitt minst én ny fisjon. I en reaktor er kjedereaksjonen *kontrollert* (konstant fisjonsrate), mens i en kjernesprengning er den *ukontrollert*.

- **kjernefysisk**

Adjektivet *kjernefysisk* er godt norsk for adjektivet ”nukleær”, eller ”nuclear” på engelsk. Disse adjektivene betyr ”som gjelder atomkjernen”.

- **kjernefysisk eksplosjon, kjerneeksplosjon, kjernefysisk sprengning, kjernesprengning**

Begrepene *kjernefysisk eksplosjon, kjerneeksplosjon, kjernefysisk sprengning* og *kjernesprengning* er ekvivalente betegnelser. Hver av disse er fellesord for *alle* detonasjoner av kjernefysiske ladninger. Begrepene dekker fire klasser av eksplosjoner:

1. En prøvesprengning av en PNE (fredelig hensikt)
2. En prøvesprengning med våpenhensikt (utvikling av kjernevåpenteknologi)
3. Detonasjon av et våpen (sprengning med krigshensikt)
4. PNE med direkte anvendelse (og selvsagt med fredelig hensikt) (for eksempel i forbindelse med oljeutvinning eller gruvedrift)

- **kjernefysisk kvalifisert stat**

Begrepet *kjernefysisk kvalifisert stat* kan defineres som en stat som har minst én kjernereaktor (kraftreaktor eller forskningsreaktor). Norge er kjernefysisk kvalifisert. Se ellers *anneks 2-stater*.

- **kjernefysisk ladning, kjerneladning, ladning**

En *kjernefysisk ladning*, eller ekvivalent *kjerneladning*, er en ansamling av fissilt materiale som kan gi en kjernefysisk eksplosjon når/dersom den detoneres. På engelsk sier man ”nuclear device”.

- **kjernefysisk prøvesprengning**

En *kjernefysisk prøvesprengning* er en betegnelse på detonasjon av en kjerneladning med den hensikt å forske på eller utvikle den kjernefysiske teknologien. Begrepet kan benyttes både for forskning/utvikling av fredelige eksplosjoner (PNE) og av kjernevåpen. På engelsk er betegnelsen ”nuclear test”. (Motstykket til en prøvesprengning er en sprengning med direkte anvendelse. Dette kan være en PNE eller et kjernevåpen.)

USA og Sovjetunionen har i avtalen ”Threshold Test Ban Treaty” (TTBT, 1974) definert én prøvesprengning som 1) én eksplosjon eller 2) to eller flere eksplosjoner detonert innenfor en sirkel med diameter 2 km i løpet av maksimalt 0,1 sekund.

- **kjernevåpen, kjernefysisk våpen**

Et *kjernevåpen*, eller ekvivalent *kjernefysisk våpen*, er en anretning med minst én kjernefysisk ladning som kan brukes som våpen (krigshensikt) når/dersom den detoneres. Ved et kjernevåpen er den kjernefysiske ladningen plassert på et leveringsmiddel. Et kjernevåpen frigjør energi ved kjernefysiske reaksjoner (fisjon, fusjon).

- **kjernevåpenstat**

Med en *kjernevåpenstat* eller en *offisiell kjernevåpenstat* mener vi en stat som offisielt har erklært at den innehar kjernevåpen. I dag er USA, Russland, Storbritannia, Frankrike, Kina, India og Pakistan kjernevåpenstater. India og Pakistan er offisielle, men ikke anerkjente, kjernevåpenstater. De andre er anerkjente.

- **kritikalitet**

Dersom et materiale er kritisk, har vi *kritikalitet*.

- **kritisk**

Når et fissilt materiale er *kritisk*, kan det undergå kjedereaksjon.

- **lavanriket uran, LEU**  
*Lavanriket uran* er uran der mindre enn 20 % av urankjernene er isotopen uran-235, men man har mer enn den naturlige andelen uran-235 (0,7 %). Lavanriket uran lages ved behandling av naturlig uran i et anrikningsanlegg. På engelsk heter begrepet "low enriched uranium", som forkortes *LEU*.
- **lavytelsesladning, liten ladning**  
En *lavytelsesladning*, eller en *liten ladning*, er en ladning med liten sprengkraft og kan være en taktisk ladning. Ofte vil begrepet defineres som en ladning med sprengkraft mindre enn 5 kt. Sprengkraften er lav fordi kjedereaksjonen stopper tidligere enn i andre kjerneladninger. Det engelske begrepet er *low-yield device*. (Én type lavytelsesladning er subkilotonnladningene, som har sprengkraft mindre enn 1 kt. Se *subkilotonnladning*.)
- **leveringsmiddel**  
Et leveringsmiddel er et middel som kan levere et kjernefysisk stridshode, som regel missil eller fly.
- **MOX**  
MOX står for "Mixed Oxide Fuel". MOX er en blanding av uranoksid og plutoniumsoksid og kan brukes som reaktorbrensel.
- **nøytronbombe**  
Nøytronbomben er en variant av Teller-Ulam-designen. All frigjort energi minimeres, unntatt nøytronstrålingen, som maksimeres. Sprengkraften er lav (kilotonnområdet).
- **offisiell kjernevåpenstat**  
Se *kjernevåpenstat*.
- **plutoniumsveien**  
Hvis en stat velger *plutoniumsveien*, betyr det at staten velger å lage kjernefysiske ladninger med plutonium-239 som fissilt materiale. På engelsk sier man "the plutonium path" eller "the plutonium track".
- **PNE**  
Se *fredelig kjerneeksplosjon*.
- **reaktorplutonium**  
*Reaktorplutonium* er plutonium som har en relativt høy andel isotoper forskjellig fra plutonium-239 (minst 18 % plutonium-240 (34)). Reaktorplutonium har blitt bestrålt relativt lenge i en reaktor og er mindre gunstig for bruk i kjernevåpen.
- **stridshode**  
Den kjernefysiske ladningen er et kjernefysisk *stridshode* hvis den er klar for levering.
- **subkilotonnladning**  
En *subkilotonnladning* er en lavytelsesladning med sprengkraft mindre enn 1 kt. Subkilotonnladninger kan brukes som taktiske våpen (på slagmarken).
- **Teller-Ulam**  
Teller-Ulam-designen (eller varianter av den) er sannsynligvis basis for alle kjernevåpen med høy sprengkraft i dag. Designen antas å bestå av to separate ladninger: én primærladning (av implosjonsdesign) og én sekundærladning (med fusjonsbrensel). Designen er totrinns. Energien (i form av røntgenstråling) fra den eksploderende primærladningen imploderer fusjonsbrenselet (strålingsimplosjon). En fissil stav i midten av fusjonsbrenselet går kritisk

og skaper også svært høye temperaturer. Fusjonsreaksjonene starter.

- **termonukleær ladning**

Se *fusjonsladning*.

- **terskelstat**

En *terskelstat* er en stat som antas å ha kjernefysiske ladninger eller evnen til raskt å sette sammen slike. Begrepet har blitt brukt især om India, Pakistan og Israel, men i dag regnes India og Pakistan som offisielle (men ikke anerkjente) kjernevåpenstater. Det engelske uttrykket er "threshold state".

- **totrinns termonukleært eksperiment**

Et *totrinns termonukleært eksperiment* er en prøvesprengning av en totrinns termonukleær design som kanskje tester bare deler av den termonukleære designen og derfor kanskje ikke har et vesentlig antall termonukleære reaksjoner i det andre trinnet (men bekrefter at de kan gå). Med uttrykket "eksperiment" viser vi at vi ikke tenker på en termonukleære prøvesprengning som er *fullskala*.

- **uranveien**

Hvis en stat velger *uranveien*, betyr det at staten velger å lage kjernefysiske ladninger med uran-235 som fissilt materiale. På engelsk sier man "the uranium path" eller "the uranium track".

- **våpenekvivalent**

Begrepet *våpenekvivalent* benyttes når man vil anslå et tall for hvor mange kjernefysiske ladninger som man hypotetisk sett kan lage ut av en mengde fissilt materiale. (Eksempel: "12 kg våpenplutonium tilsvarer 2 våpenekvivalenter".)

- **våpenplutonium**

*Våpenplutonium* er plutonium som består typisk av minst 93 % av isotopen plutonium-239 (34). Våpenplutonium er plutonium som er optimalisert for kjernevåpenbruk.

- **våpenuran**

*Våpenuran* er uran som består av minst 90 % av isotopen uran-235 (34). Våpenuran er optimalt for kjernevåpenbruk.

## E UTENLANDSK ASSISTANSE

India mottok mye utenlandsk assistanse i starten av sitt kjernefysiske program. Etter prøvesprengningen i 1974 fikk overføringene mindre omfang, men de stoppet ikke. Russland har de siste tre årene spesielt bemerket seg med eksport av lavanrikt uran til Tarapur-reaktorene og med assistanse i byggingen av de to store kraftverkene Kudankulam-1 og Kudankulam-2.

Tabellen under presenterer påstått utenlandsk assistanse til Indias kjernefysiske program. For kolonnen med overskrift "årstall" føres enten årstallet for overførsel av teknologi eller årstallet for avtaleinngåelsen.

Tabellen er hovedsakelig basert på en liste hos Nuclear Threat Initiative (9), men kildehenvisning er eksplisitt oppført. Vi har ikke gått enhver påstand etter i sømmene.

Norge tar vi spesielt for oss i appendiks E.1.

Stat	Produkt	Årstall	Kommentar
Canada	Teknisk assistanse til reaktorbygging	1955	Cirus-reaktoren. Cirus gav plutonium til prøvesprengningen i 1974
	Brensel av naturlig uran (9)	1956	Til Cirus
	Dokumentasjon til CANDU-reaktorene (9)	1964	Til RAPS-1 (underlagt overvåkning)
	Assistanse i reaktorbygging (9)	1966	RAPS-2 (underlagt overvåkning)
	Tungtvannsanlegg (24) (80)		Kota. Canada stoppet samarbeidet etter prøvesprengningen i 1974, men India ferdigstilte anlegget alene
Finland	Teknisk assistanse til reaktorbygging (9)	1980	Finland og India avtaler finsk assistanse i bygging av reaktorer
Frankrike	Assistanse i bygging av tungtvannsanlegg (9) (80)	1969 – 1971	Baroda
	Teknisk assistanse (9)	1969	30 indiske teknologer drar til Frankrike for å jobbe med design av formeringsreaktorer
	Assistanse i bygging av formeringsreaktor (9)	1978 – 1979	FBTR
	Lavanrikt uran (9) (80)	1983 – 1992	Til Tarapur-1 og Tarapur-2

Kina	Tungtvann? (9) (80)	Midten av 1980-tallet	Natural Resources Defense Council hevder at India illegalt importerte kinesisk tungtvann for å sette tre kjernereaktorer i drift i 1985. Påstanden avvises av India
	Lavanriket uran (9) (80)	1995	Til Tarapur-1 og Tarapur-2
Norge	Assistanse innen utvinning av tungtvann og plutonium	1950-tallet	Se appendiks E.1
	Kraftige datamaskiner til BARC	1980-tallet	
Romania	Tungtvann (av norsk opprinnelse)	1986	Ulovlig videreoverførsel. Norsk tungtvann til Romania havner angivelig i India, men India benekter påstandene
Sovjetunionen/ Russland	Tungtvann (9)	1980	Første forsyning av sovjetisk tungtvann kommer
	Lavanriket uran (9)	2001	Til Tarapur-1 og Tarapur-2
	Teknisk assistanse, utstyr og brensel til to kraftreaktorer (9)	2002	Kudankulam-1 og Kudankulam-2 (overvåkning)
Storbritannia	Forsyning av brenselstaver av anriket uran (9)	1954	
	Dokumentasjon for reaktorbygging (9) (23)	1955	Apsara
	Brensel av naturlig uran (9)	1955	Til Cirus
	Teknisk assistanse til reaktorbygging (9)	1955	Zerlina
	Høyanriket brensel		Til Apsara (i drift fra 1957)
Sveits / Frankrike	To tungtvannsanlegg (24) (80)	1970 – 1971	Baroda og Tuticorin ble levert av det sveitsisk-franske konsortiet M-S Gelpra
USA	Tungtvann	1955 – 1956	Til Cirus
	Teknisk assistanse (9) (10)	1955 – 1974	Mer enn tusen indiske forskere får opplæring og tilgang til tusenvis av avgraderte dokumenter
	Dokumentasjon til gjenvinningsanlegg (9) (80)	1961	Til gjenvinningsanlegget i Trombay. PUREX-metoden ble gjort tilgjengelig gjennom Atoms for Peace-programmet. Trombay har siden gjenvunnet våpenplutonium
	To kokvannsreaktorer	1964 – 1969	Tarapur-1 og Tarapur-2 (overvåkning)



	Plutonium (9)	1966	Liten mengde til forskningsbruk, i forståelse med IAEA
	Lavanriket uran (UF <sub>6</sub> ) (9) (80)	1978 – 1980	Til Tarapur-1 og Tarapur-2
	Minst fem avanserte pulsgeneratorer (9)	1998 – 2001	Firmaet Berkeley Nucleonics Corporation solgte fem avanserte pulsgeneratorer til India til tross for sanksjonene. Tiltale ble tatt ut
Vest-Tyskland	To tungvannsanlegg (24) (80)	1962 og 1972	Nangal og Talcher. Nangal gav tungtvann til Cirus og Dhruva
	Tungtvann (av norsk opprinnelse)	1983	Ulovlig overførsel. Norsk tungtvann skulle egentlig til Vest-Tyskland, men endte angivelig i India. India avviser påstanden
	Beryllium (9) (80)	1989	
Flere europeiske stater	Utstyr til kraftreaktorer (9)	1976 – 1996	Etter 1974-prøvesprengningen kjøpte India mesteparten av utstyret til Tarapur-reaktorene fra flere europeiske stater, bl a Tyskland, Spania og Sverige (9)
Uspesifisert	Teknisk assistanse (9)	1962	76 indiske kjernefysikere sendes utenlands for opplæring

Til slutt bemerker vi at Programme for Promoting Nuclear Non-Proliferation (81) i 1998 kom med en påstand om at India og Israel kan ha hatt tettere kjernefysisk samarbeid enn hva som har vært kjent. Direktøren ved DRDO skal ha besøkt Israel mange ganger, mens israelske seniorforskere skal ha besøkt India. En israelsk avis har avslørt at Israels stabssjef avlyste en reise til India etter prøvesprengningene i 1998. Årsaken skal ha vært at ”de grunnløse meldingene om kjernevåpensamarbeid kunne få mer troverdighet”. (81)

India skal ha spilt liten rolle i spredning av kjernevåpenteknologi til andre stater, selv om staten ikke er folkerettslig forpliktet til å holde slik teknologi for seg selv, siden den ikke er part i Ikke-spredningsavtalen.

### E.1 Norsk assistanse

Norsk assistanse til Indias kjernevåpenprogram fordeler seg på fire områder. På 1950-tallet gav Norge assistanse innen utvinning av tungtvann og plutonium. Dette har trolig vært viktig for India. På 1980-tallet solgte Norge kraftige datamaskiner til BARC, som kan ha blitt brukt innen kjernevåpenutviklingen. I samme tidsperiode skal tungtvann med norsk opprinnelse ha blitt overført til India uten Norges samtykke, men India benekter det.

### E.1.1 Tungtvannsteknologi

Norsk Hydro bygde i 1934 verdens første tungtvannsfabrikk: Rjukan i Telemark. På 1950-tallet var Norsk Hydro storleverandør av tungtvann.

Ifølge NRKs Brennpunkt (82) var Norsk Hydro på 1950-tallet nær ved å selge seks tonn tungtvann til India – med norske myndigheters velsignelse. India hadde tilbud om å kjøpe amerikansk tungtvann, men kunne ikke gå med på betingelsene om at tungtvannet ikke skulle benyttes i kjernevåpenproduksjon. Norge stilte ingen slike krav, men hadde allerede forskuddssolgt produksjonen sin. Norsk Hydro tilbød å løse problemet ved at India finansierte en utbygging av kapasiteten, noe India skal ha vært villig til. India leverte bestilling på norsk tungtvann, men den ble kansellert fordi staten omsider fikk kjøpe amerikansk tungtvann uten betingelser. (82)

Dersom Norge hadde solgt tungtvann til India, ville det ha blitt benyttet i Cirus og medvirket i kjernevåpenproduksjonen. Cirus var Indias første tungtvannsreaktor.

India ønsket å bygge sitt eget anlegg for tungtvannsproduksjon. Staten fikk engasjere en norsk ekspert, som hadde deltatt i utbyggingen av Rjukan-anlegget. Den norske eksperten anbefalte lokaliseringen (Nangal), foretok kostnadsberegninger og anbefalte å benytte samme elektrolysemetode som Norsk Hydro. India fulgte anbefalingene til punkt og prikke og bygde Nangal-anlegget. Raja Ramanna, som senere ble AEC-leder og i 1974 hadde ansvaret for den første prøvespreningen, sa til Brennpunkt: ”Den norske konsulenten var viktig for oss. Det var et stort skritt fremover da vi kunne produsere tungtvann selv. Dette var kanskje det viktigste resultatet av vår forbindelse med Norge.” (82)

I 1957 la Norsk Hydro inn tilbud om å levere elektrolyseutstyret til Nangal. Oppdraget ville ha vært enormt og verdt over en halv milliard kroner i dagens valuta. Men jobben gikk til det vesttyske konsernet Linde. (82)

Nangal åpnet i 1962 og ble Indias første tungtvannsanlegg. Som vi så i delkapittel 3.4, ble tungtvannet derfra brukt i både Cirus og Dhruva og dermed i kjernevåpenproduksjonen.

### E.1.2 Plutoniumsteknologi

I 1953 klarte en norsk forsker ved det daværende Institutt for Atomenergi (IFA)<sup>93</sup> på Kjeller for første gang i Norge å separere ut plutonium på laboratorieskala. Norge var da blant de få statene i verden som kjente fremgangsmåten. Plutoniumsteknologien var høyt gradert i de fleste stater. Men Norge delte villig sine kunnskaper, blant annet med India.

Brennpunkt (82) skal ha funnet dokumentasjon på at IFA i 1953 sendte detaljerte tegninger av den mest sentrale teknologien for plutoniumsseparesjon til India. Dette skal ha gjort India i stand til å fremstille våpenplutonium på laboratorieskala ved et svært tidlig tidspunkt. IFA-direktøren,

<sup>93</sup> IFA er det nåværende Institutt for energiteknikk (IFE).

Gunnar Randers, sendte samme år også et tilbud om å stille til disposisjon en norsk glassblåser for produksjon av nødvendige glasskolber. (82)

Denne norske åpenheten vedrørende plutoniumsteknologien skal ha gjort inntrykk på India. Ramanna formulerte seg slik til Brennpunkt: ”På den tiden var dette helt spesielt. Selv de minste tingene innen kjernefysikken ble holdt høyt gradert. Da vi kom til Norge på den tiden, fikk vi ikke følelsen av hemmelighold, slik vi fikk andre steder – som for eksempel i Sverige.” (82)

Det første indiske, storskala gjenvinningsanlegget for plutonium (Trombay-anlegget) ble satt i drift i 1964, men etter å ha fått teknologi fra USA gjennom programmet Atoms for Peace. Likevel var den tidlige, norske assistansen på laboratorieskala trolig viktig for India.

### E.1.3 Ulovlig overførsel av norsk tungtvann til India

Her utdyper vi påstandene om ulovlig overførsel og ulovlig videreoverførsel av norsk tungtvann til India (oppført i tabellen).

I 1983 kom 15 tonn norsk tungtvann på avveie, noe Utenriksdepartementet bekreftet i 1988. Norsk Hydro hadde solgt tungtvannet til et vesttysk firma, men leveransen endte ikke der. Tungtvannet antas å ha blitt solgt til India via den tyske forretningsmannen og gammelnazisten Alfred Hempel. Dette skal ikke være første gangen at Hempel har lurt tungtvannsproduserende stater. (83)

I 1986 solgte Norsk Hydro 12,5 tonn tungtvann til et firma i Romania. Det rumenske handelsdepartementet hadde garantert at bruken skulle være fredelig, og at videresalg ikke skulle forekomme. Norsk påtalemyndighet la i 1992 frem beviser på at tungtvannet samme år ble videresolgt til India. Veien skal være dokumentert i detalj, og Økokrim anså saken som oppklart. Avsløringen ble i sin tid en politisk skandale i Norge.

De rumenske myndighetene la etter avsløringene ansvaret på det daværende Ceausescu-regimet. Det indiske firmaet som kjøpte tungtvannet, var ”Direktoratet for innkjøp og lagre” med adresse i Bombay. Dette direktoratet var en grein av det indiske atomenergiministeriet (DAE). (84)

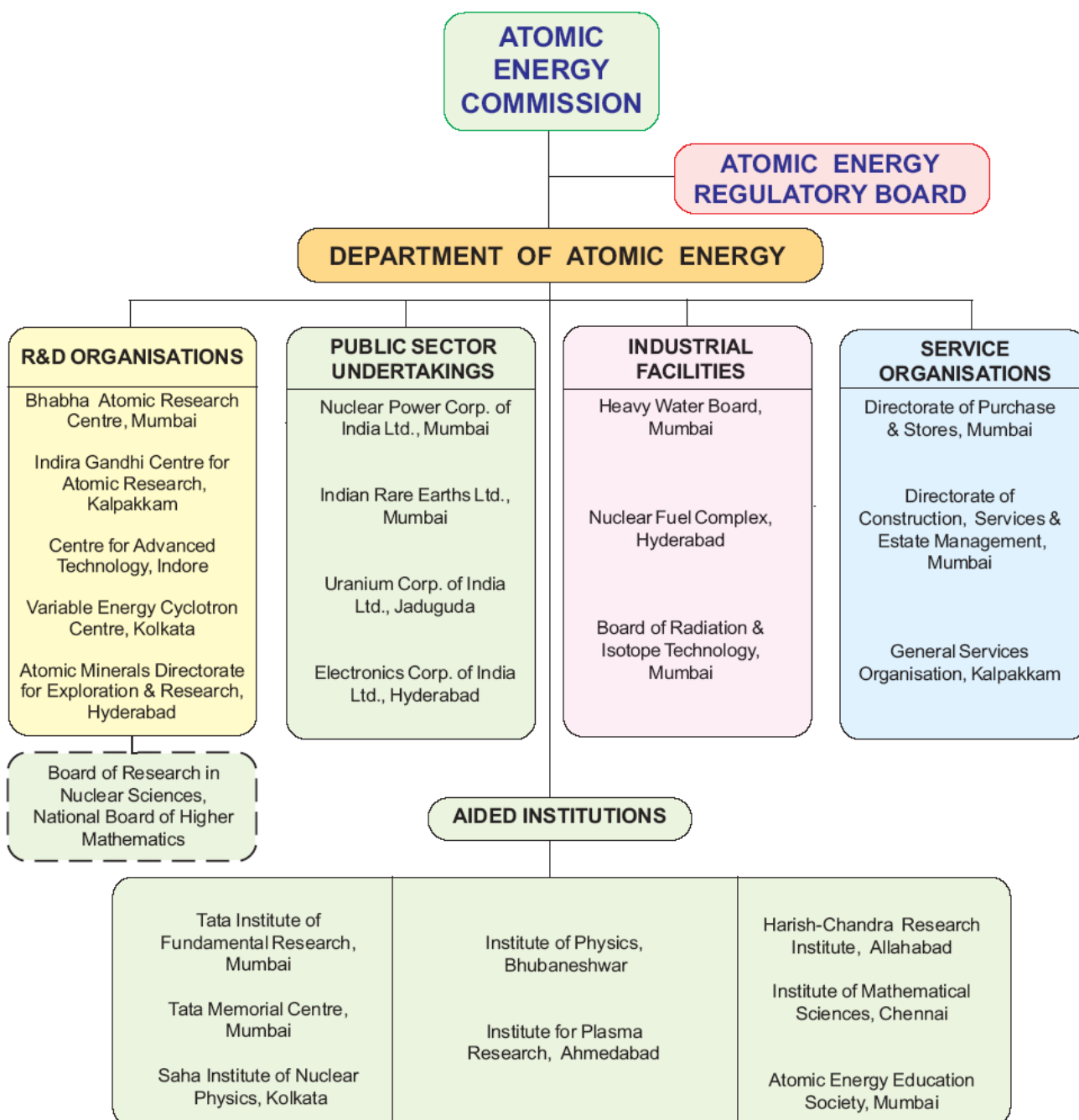
India benekter å ha mottatt norsk tungtvann, selv om norske myndigheter med jevne mellomrom har forsøkt å få staten til å innrømme det (82) (83) (84).

### E.1.4 Kraftige datamaskiner

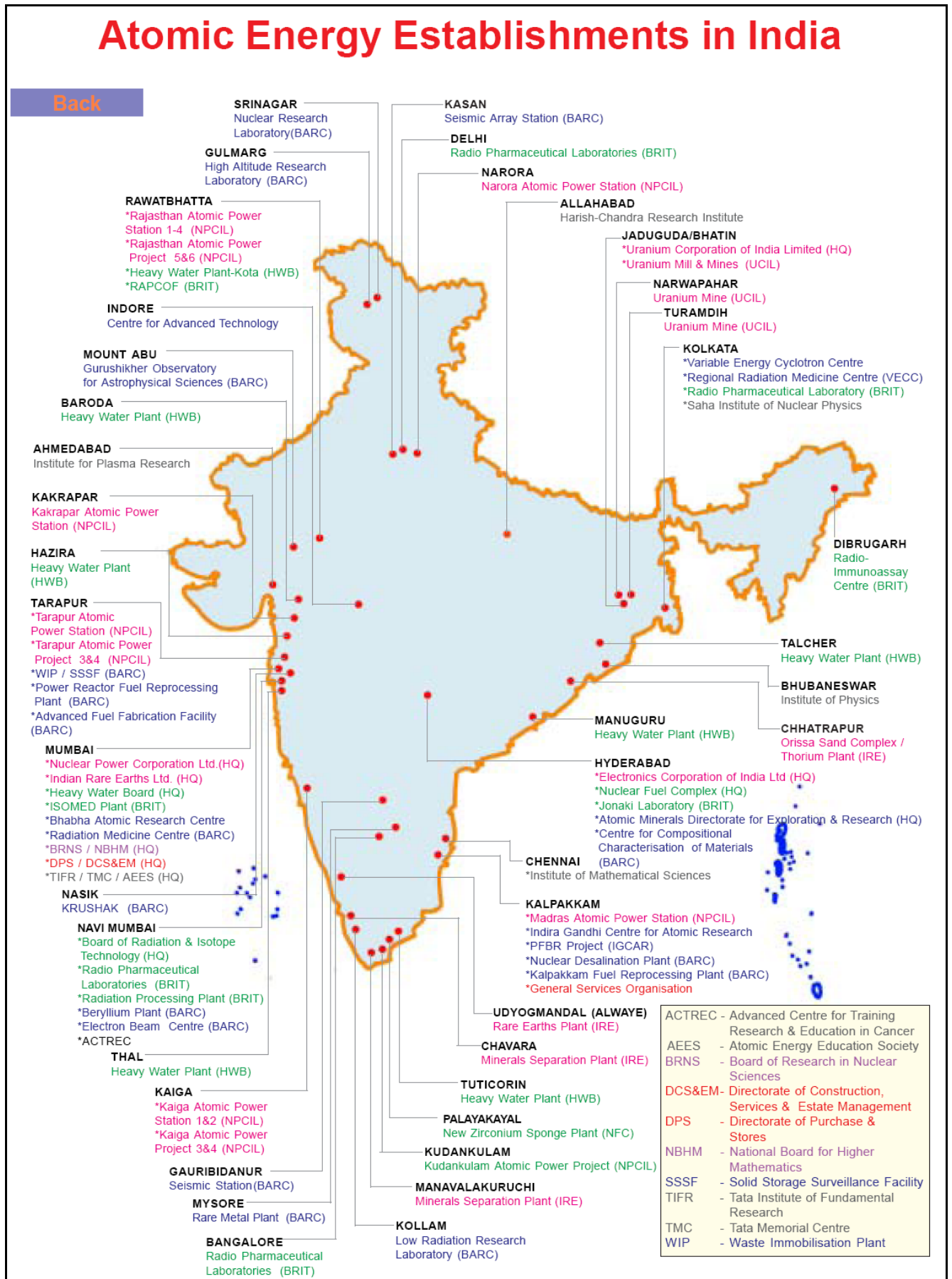
Dagbladet avslørte i 1990 at Norsk Data solgte seks svært kraftige datamaskiner til BARC i 1983 – 1984. I perioden 1984 – 1990 solgte Norge til India 60 datamaskiner og retten til å fabrikere flere av modellen. Senere avstod Norge fra å selge datamaskiner i frykt for at de kunne bli brukt i Indias kjernevåpenprogram. (9) (82) En eventuell slik bruk er ikke bekreftet.

## F OFFISIELL KJERNEFYSISK ORGANISASJONSSTRUKTUR

Figur F-1 viser Indias offisielle, kjernefysiskrelaterte organisasjonsstruktur. Figur F-2 er et offisielt kart over kjernefysisk relaterte stiftelser, men en del anlegg (som forskningsreaktorene) mangler.



Figur F-1 Indias kjernefysiske organisasjonsstruktur per 2003. Hentet fra DAEs årsrapport 2002-2003 (26).



Figur F-2 Kartet er offisielt og viser kjernefysisk relaterte stiftelser per 2003. En del anlegg mangler, inkludert forskningsreaktorene. Hentet fra DAE (42).

## **G SAMMENLIGNING AV MENGDE REAKTORPLUTONIUM MED GAMLE BEREGNINGER FRA INSTITUTE FOR SCIENCE AND INTERNATIONAL STUDY (KONSERVATIVT ESTIMAT)**

I avsnitt 4.3.2 anslo vi forrådet av indisk reaktorplutonium fra de kommersielle reaktorene per 31.08.2003 til 11 000 – 14 000 kg reaktorplutonium. (Forutsatt standardverdier for utbrenningsgraden.)

Institute for Science and International Study (60) (85) har gjort estimater på hvilke mengder Indias reaktorer kan ha gitt av reaktorplutonium per 31.12.1998 og 31.12.1999. Se tabellen under. Fremgangsmåte er ikke oppgitt. Den 31.12.1999 estimeres India å ha hatt 8 300 kg reaktorplutonium. Mesteparten av reaktorplutoniumet antas å være i ikke-gjenvunnet form.

Dato	Overvåket av IAEA [kg]		Ikke-overvåket [kg]		Totalt [kg]
	Gjenvunnet	Ikke-gjenvunnet	Gjenvunnet	Ikke-gjenvunnet	
31.12.1998	25	3 800	700	3 000	7 500
31.12.1999	25	4 100	800	3 400	8 300

*Tabell G.1 Estimerte mengder reaktorplutonium per 31.12.1998 og 31.12.1999 ved Institute for Science and International Study (60) (85).*

Vi kan gjøre en enkel sjekk opp mot vårt estimat. Vi ser at økningen i mengden reaktorplutonium fra 1998 til 1999 er på 800 kg. Med konstant stigningstall (som er et underestimat siden antallet reaktorer har økt siden 1999) får vi et forråd på 11 200 kg reaktorplutonium per 31.08.2003. Innenfor usikkerheten er anslaget likt med vårt.

## **H DET MINSTE OG STØRSTE MULIGE BRENSSELSFORBRUKET (RADIKALT ESTIMAT)**

Vi så i avsnitt 4.4.1 at vår akkumulerte, øvre grense for den tilgjengelige brenselmengden for de ikke-overvåkede CANDU-reaktorene fra og med 1984 til og med 31.08.2003 var 4 100 tU eller 4 700 tU (avhengig av når fase 2 i Hyderabad kom i drift). La oss ta en sjekk på at denne øvre grensen er fornuftig.

Tabellen viser minste og største brenselforbruk ved Indias kommersielle, ikke-overvåkede reaktorer. Størrelsene er akkumulert fra kommersiell start og frem til 31.08.2003.

Vi finner at vår akkumulerte, øvre grense for tilgjengelig brenselmengde (4 100 tU eller 4 700 tU) er høy nok til at alle de kommersielle reaktorene kan ha blitt brukt til produksjon av reaktorplutonium (2 200 tU), og for lav til at alle de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene kan ha blitt benyttet til produksjon av våpenplutonium (15 000 tU). Det er fornuftig. (Forutsetningene er at listeverdier benyttet i vår akkumulerte, øvre grense for tilgjengelig brenselmengde og listeverdier for akkumulert bruttoenergiproduksjon er korrekte.)

<b>Reaktor</b>	<b>Akkumulert bruttoenergi prod per 31.08.2003 [MW,d]</b>	<b>Minste brenselsforbruk (akkumulert) [tU]</b>	<b>Største brenselsforbruk (akkumulert) [tU]</b>
MAPS-1	2 560 000	383	2 560
MAPS-2	2 120 000	317	2 120
Narora-1	1 960 000	293	1 960
Narora-2	1 930 000	288	1 930
Kakrapar-1	1 800 000	269	1 800
Kakrapar-2	1 680 000	251	1 680
Kaiga-1	562 000	84	562
Kaiga-2	684 000	102	684
RAPS-3	663 000	99	663
RAPS-4	555 000	83	555
<b>Sum</b>	<b>4 650 000</b>	<b>2 170</b>	<b>14 500</b>

*Tabell H.1 Beregninger av minste brenselsforbruk ved de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene (reaktorplutonium; utbrenningsgrad 6 700 MWd/tonn), samt største brenselsforbruk ved de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene (våpenplutonium; utbrenningsgrad 1 000 MWd/tonn). Størrelsene er akkumulert fra kommersiell start og frem til 31.08.2003.*

## **I OFFISIELLE KAPASITETSFAKTORER FOR DE KOMMERSIELLE REAKTORENE FRA 1998-1999 TIL 2001-2002 OG VURDERINGER AV KONSEKVENSENE (RADIKALT ESTIMAT)**

Fordi NPCIL (38) har offentliggjort nøyaktige kapasitetsfaktorer for alle de kommersielle reaktorene for fire av de siste fem årene (fra og med budsjettåret 1998-1999 til og med budsjettåret 2001-2002), kan vi studere disse årene grundigere uten å forenkle ved å benytte livsløpskapasitetsfaktorene. Vi betrakter ikke kokvannsreaktorene.

Tabell I.1 viser kapasitetsfaktorene for de overvåkede CANDU-reaktorene i denne perioden, og hva disse medfører av brenselsforbruk. (Vi har antatt at kapasitetsfaktorene er nåværende og bruttostørrelser.)

Tabell I.2 viser vår øvre grense for tilgjengelig brenselmengde for de ikke-overvåkede kommersielle reaktorene som funksjon av år i den aktuelle perioden.

Reaktor	1998-1999		1999-2000		2000-2001		2001-2002	
	KF [%]	BB [tU]	KF [%]	BB [tU]	KF [%]	BB [tU]	KF [%]	BB [tU]
RAPS-1	63	11	71	12	39	6,6	21	3,6
RAPS-2	69	23	74	25	91	31	86	29

*Tabell I.1 Estimer på forbrukt PHWR-brensel (forkortet "BB") ved de overvåkede CANDU-reaktorene (RAPS-1 og RAPS-2) for fire av de fem siste år. Kapasitetsfaktorene (forkortet "KF") for RAPS-1 og RAPS-2 er hentet fra NPCIL (38).*

Tabell I.3 viser hvor høyt brenselforbruk de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene vil ha gitt ved de kapasitetsfaktorene som NPCIL har offentliggjort for den aktuelle perioden. Vi har gjort en liten forandring i estimatet av ekstra forbruk av brensel på grunn av tidligere skifting av første kjerne og driften fra oppnådd kritikalitet til kommersiell start. La oss anta at ekstraforbruket minst vil ha vært ¼ av kjernen, det vil si minst om lag 12 tonn uran. (Vi er ute etter en nedre grense fordi vi skal undersøke hva som maksimalt kan ha vært mulig å gjøre.) For alle reaktorer er normal drift (reaktorplutonium) forutsatt, og resultatet er vist med vanlig skrift. For MAPS-1 har vi i tillegg sett på brenselforbruket ved produksjon av våpenplutonium, og resultatet er vist med kursivert skrift. I nest siste rad ("brukt brensel") har vi summert mengdene brukt brensel for alle reaktorene.

	1998-1999 [tU]	1999-2000 [tU]	2000-2001 [tU]	2001-2002 [tU]
Kapasitet for kommersiell PHWR-fabrikasjon	235 eller 505	505	505	505
Overvåket PHWR-brensel for RAPS-1 og RAPS-2	34	37	38	33
Tilgjengelig, øvre grense	201 eller 471	468	467	472

*Tabell I.2 Estimat over øvre grense for tilgjengelig mengde PHWR-brensel for de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. Kapasiteten for kommersiell PHWR-fabrikasjon er brenselkapasiteten i Hyderabad (fra Tabell 4.8) minus kapasiteten for BWR-brensel (25 tU/y). Årsaken til bruken av ordet "eller" er at vi er usikre på når den aktuelle utvidelsen av kapasiteten fant sted. Vi antar at det var senest i år 2000. "Tilgjengelig, øvre grense" er denne minus forbruket ved de overvåkede PHWR-reaktorene (RAPS-1 og RAPS-2) (se Tabell I.1). "Tilgjengelig, øvre grense" er øvre grense for brenselmengden som er tilgjengelig for de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene.*

Vi ser at kapasitetsfaktorene i denne perioden er høyere enn reaktorenes livsløpskapasitetsfaktorer for alle reaktorene som har hatt langt livsløp (MAPS, Narora, Kakrapar, Kaiga, RAPS-3 og RAPS-4). Derfor blir brenselforbruket i Tabell I.3 høyere enn i Tabell 4.11. Imidlertid går det fint at India kan ha opprettholdt våpenproduksjon ved MAPS-1 i hele perioden. Muligheten for at MAPS-2 samtidig kan ha blitt brukt, reduseres tilsynelatende. Imidlertid skjønner vi at høyere kapasitetsfaktorer enn livsløpskapasitetsfaktorene de senere år



krever at de har vært lavere tidligere år. Da kan vi ikke bevise at India ikke har lagt opp et forråd av ferdig brensel. Av denne grunn gir granskningen av kapasitetsfaktorene i den aktuelle perioden ingen mulighet til å gjøre andre konklusjoner enn hva vi gjorde i delavsnitt 4.4.2.2.

	1998-1999		1999-2000		2000-2001		2001-2002	
	KF [%]	BB [tU]	KF [%]	BB [tU]	KF [%]	BB [tU]	KF [%]	BB [tU]
MAPS-1	75	22 / 145	70	20 / 136	76	22 / 147	85	25 / 165
MAPS-2	72	21	80	23	93	27	76	22
Narora-1	68	25	83	31	81	30	92	34
Narora-2	77	29	79	30	77	29	81	30
Kakrapar-1	72	27	85	32	95	36	89	33
Kakrapar-2	78	29	91	34	86	32	96	36
Kaiga-1	0	0	0	0	28	10 + 12(i)	76	28
Kaiga-2	0	0	0	12(i)	69	26	80	30
RAPS-3	0	0	0	12(i)	70	26	74	28
RAPS-4	0	0	0	0	13	4,9 + 12(i)	84	31
Brukt brensel	153 / 276		194 / 310		267 / 392		298 / 438	
Tilgjengelig, øvre grense	201 / 471		468		467		472	

*Tabell I.3 Beregnet brenselforbruk (forkortet "BB") gitt at alle de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene kjøres på normal drift (utbrenningsgrad 6 700 MWd/tonn; reaktorplutonium) fra året 1998-1999 til året 2001-2002 med de offisielle kapasitetsfaktorene (forkortet "KF"). De offisielle kapasitetsfaktorene er hentet fra NPCIL (38).<sup>94</sup> Bare i tilfellet MAPS-1 har vi også lagt inn brenselforbruket dersom reaktoren brukes i våpenproduksjon (utbrenningsgrad 1 000 MWd/tonn), og da er tallverdiene kursiverte. Nest nederste rad viser summert mengde brukt brensel (og de kursiverte tallene gjelder dersom MAPS-1 bruker i våpenproduksjonen, og tallene med vanlig skrift gjelder om alle reaktorene drives normalt). Nederste rad viser vår øvre grense for tilgjengelig mengde brensel (fra Tabell I.2).*

<sup>94</sup> I de tilfellene der kommersiell start var samme år som kritikalitet ble nådd første gang, har NPCIL (38) gått ut fra en lavere verdi for reaktorenes nåværende bruttokapasitet siden reaktorene ikke ble startet 1. januar. (Det gjelder RAPS-3, RAPS-4 og Kaiga-1.) Den offisielle kapasitetsfaktoren for det året blir derfor kunstig høy. For ikke å få

## J OFFISIELLE VERDIER PÅ UTLEVERT BRENSEL FRA 1992-1993 TIL 1996-1997

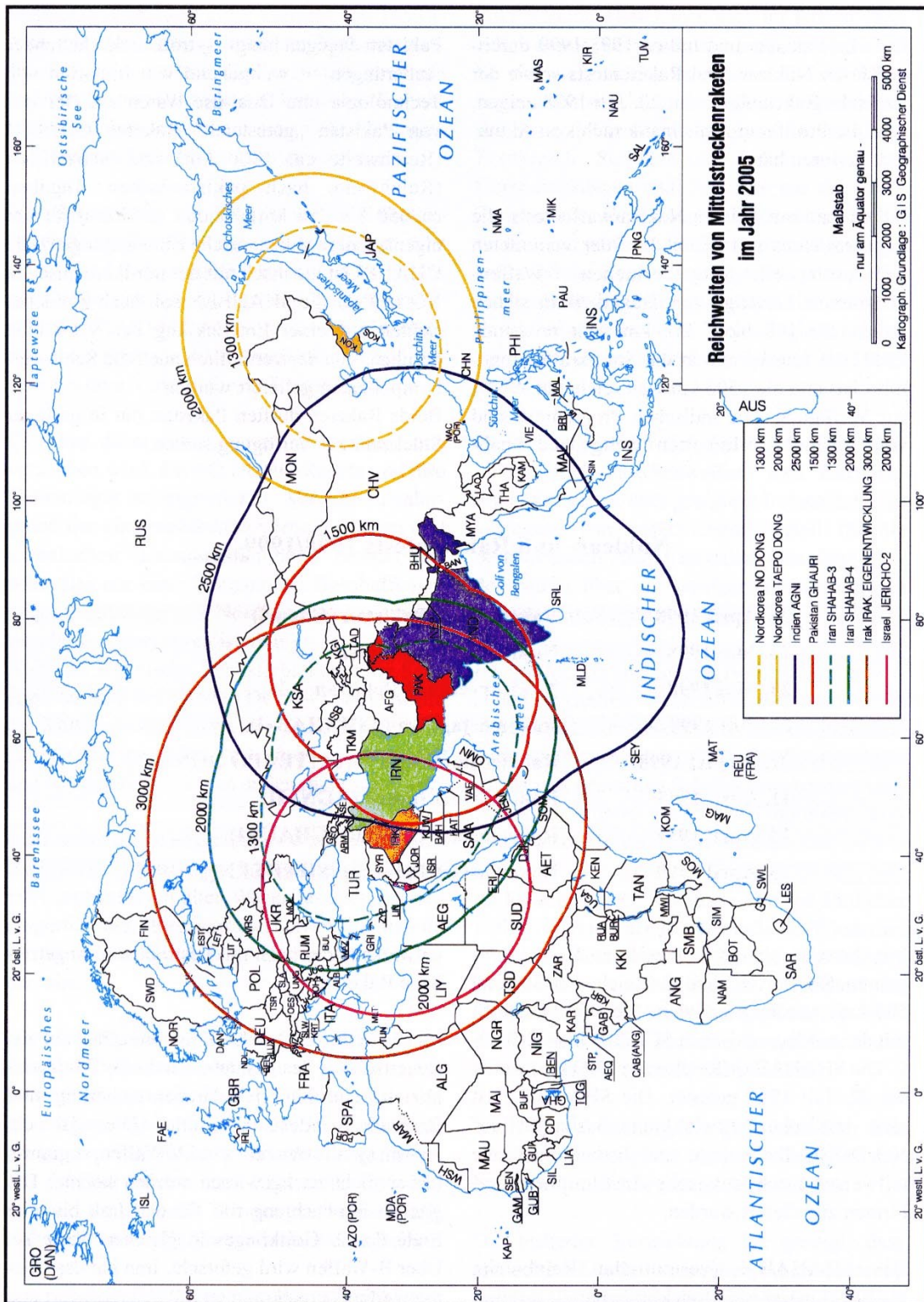
For perioden fra budsjettåret 1992-1993 til budsjettåret 1995-1996 har vi funnet offisiell informasjon om faktisk brenselproduksjon og utlevering ved Hyderabad. Brenselsproduksjonen var på om lag halvparten av kapasiteten. Utlevert brensel var dessuten som regel lavere enn fabrikkert brensel. (28) Informasjonen om utlevert brenselmengde listes i tabellen. Størrelsene er sammenlignet med brenselmengden som da blir igjen til de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene dersom ingen av dem (heller ikke MAPS-1) brukes til våpenproduksjon.

Tabellen viser at ikke engang vanlig drift er mulig å opprettholde ifølge Indias offisielle verdier for utlevert brensel. Det blir da i hvert fall ikke mulig å støtte våpenproduksjon. Man kunne tenke seg at et lager av brensel fra tidligere år var opparbeidet, men gapet er likevel så stort at det blir søkt.

	1992-1993 [tU/y]	1993-1994 [tU/y]	1994-1995 [tU/y]	1995-1996 [tU/y]	1996-1997 [tU/y]
Offisielt utlevert (PHWR og BWR)	154	93	95	120	180
Overvåket brensel (PHWR og BWR)	52	52	52	52	52
<b>Faktisk tilgjengelig</b>	<b>102</b>	<b>41</b>	<b>43</b>	<b>68</b>	<b>128</b>
Gjennomsnittlig minimumsbehov	112	113	113	169	144

Tabell J.1 Offisielle data for utlevert brensel fra Hyderabad (PHWR og BWR) fra budsjettåret 1992-1993 til budsjettåret 1996-1997, ifølge Comptroller and Auditor General of India (28). Vi har regnet om størrelsene fra uranoksid til uran. "Overvåket brensel" er summen av gjennomsnittlig forbruk ved RAPS-1 og RAPS-2 (27 tHM/y) og kapasiteten for BWR-brensel (25 tHM/y). "Faktisk tilgjengelig" er utlevert brensel minus overvåket brensel – og tilgjengelig for de kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene. "Gjennomsnittlig minimumsbehov" er gjennomsnittlig brenselforbruk (forutsatt livsløpskapasitetsfaktorene) dersom alle de ti kommersielle, ikke-overvåkede reaktorene (også MAPS-1) drives normalt (reaktorplutonium). For budsjettåret 1992-1993 er reaktorenes gjennomsnittlige minimumsbehov for 1992 ført opp osv.

K ANTATT MISSILREKKEVIDDE I 2005



Figur 6-7 Kartet viser antatt rekkevidde til flere staters missiler i 2005, ifølge (86) i 1999. For India ser vi hvor nedslagsområdet til missilet Agni II er geografisk (svart linje merket med "2 500 km").

## Litteratur

- (1) Toft H K (2004): *Pakistans kjernevåpenprogram*, FFI/RAPPORT-2004/00113, ugradert, Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, <http://rapporter.ffi.no/rapporter/2004/00113.pdf>.
- (2) Toft H K (2004): *De kjernefysiske prøvesprengningene i India og Pakistan (1974 og 1998)*, FFI/RAPPORT-2003/00459, ugradert, Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, <http://rapporter.ffi.no/rapporter/2003/00459.pdf>.
- (3) Toft H K, Bokhari L (2004): *India og Pakistan – Historiske, politiske og tekniske perspektiver på kjernevåpenkonflikten*, FFI/RAPPORT-2004/00906, ugradert, Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, ISBN-82-464-0879-8, <http://rapporter.ffi.no/rapporter/2004/00906.pdf>.
- (4) Toft H K, Høibråten S (2004): *En vurdering av Indias og Pakistans kjernevåpenprogrammer*, FFI/RAPPORT-2004/00801, ugradert, Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, ISBN-82-464-0809-7, <http://rapporter.ffi.no/rapporter/2004/00801.pdf>.
- (5) Toft H K (2003): *Kjernevåpenrelaterte folkerettslige avtaler*, FFI/RAPPORT-2003/00996, ugradert, Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, ISBN-82-464-0740-6, <http://rapporter.ffi.no/rapporter/2003/00996.pdf>.
- (6) Encyclopædia Britannica Online (2002): *India*, Encyclopædia Britannica Article, <http://search.eb.com/>.
- (7) Ramana M V, Nayyar A H (2001): *India, Pakistan and the Bomb*, Scientific American, desember 2001.
- (8) Department of Atomic Energy, India (2002): *Salient Milestones of Atomic Energy in India*, <http://www.dae.gov.in/milestone.htmz>.
- (9) Nuclear Threat Initiative (2003): *Nuclear Imports*, [http://www.nti.org/e\\_research/profiles/India/Nuclear/2860.html](http://www.nti.org/e_research/profiles/India/Nuclear/2860.html).
- (10) Weiss L (2003): *Atoms for Peace*, Bulletin of the Atomic Scientists **59**, nr 6, november/desember 2003, <http://www.thebulletin.org/issues/2003/nd03/nd03weiss.html>.
- (11) Perkovich G (1999): *India's Nuclear Bomb*, University of California Press, ISBN 0-520-21772-1.
- (12) Embassy of India, Washington, DC (): *Nuclear Non-Proliferation*, Indias offisielle holdning til ikke-spredning, tydeligvis skrevet mellom 1995 og 1998, [http://www.indianembassy.org/policy/CTBT/embassy\\_non\\_proliferation.htm](http://www.indianembassy.org/policy/CTBT/embassy_non_proliferation.htm).
- (13) Jones R W, McDounough M G (1998): *Tracking Nuclear Proliferation, A Guide in Maps and Charts, 1998*, ISBN 0-87003-113-9, <http://www.ceip.org/programs/npp/track98b.htm>.

- (14) Albright D, Hibbs M (1992): *India's silent bomb*, Bulletin of the Atomic Scientists, september 1992, <http://www.bullatomsci.org/issues/1992/s92/s92.albright.html>.
- (15) Sublette C (2001): *Smiling Buddha: 1974*, India's Nuclear Weapons Program, <http://nuclearweaponarchive.org/India/IndiaSmiling.html>.
- (16) Nuclear Suppliers Group (2004): Offisiell hjemmeside, <http://www.nsg-online.org/>.
- (17) Hibbs M (1998): *India Made "About 25 Bomb Cores" Since First Test in 1974*, Nuclear Watch, 17. juni 1998, <http://www.nyu.edu/globalbeat/nucwatch/nucwatch061798.html>.
- (18) Department of Atomic Energy og Defence Research & Development Organisation, India (1998): *Joint Statement by Department of Atomic Energy and Defence Research and Development Organisation*, pressemelding, New Delhi, 17. mai 1998, [http://www.indianembassy.org/pic/PR\\_1998/May98/prmay1798.htm](http://www.indianembassy.org/pic/PR_1998/May98/prmay1798.htm).
- (19) Nuclear Threat Initiative (2003): *India Nuclear Facilities*, kjernefysisk kart, [http://www.nti.org/e\\_research/profiles\\_pdfs/India/India\\_Nuclear\\_Facilities.pdf](http://www.nti.org/e_research/profiles_pdfs/India/India_Nuclear_Facilities.pdf).
- (20) Center for Defense Information (1998): *Building the Indian Bomb*, <http://www.cdi.org/issues/testing/inbombfct.html>.
- (21) Albright D (1998): *The shots heard 'round the world*, Bulletin of the Atomic Scientists, juli/august 1998 **54**, nr 4, <http://www.thebulletin.org/issues/1998/ja98/ja98albright.html>.
- (22) Federation of American Scientists (2000): *Nuclear Weapons*, om Indias kjernevåpenprogram, <http://www.fas.org/nuke/guide/india/nuke/>.
- (23) Nuclear Threat Initiative (2003): *Nuclear Facilities, India Profile*, [http://www.nti.org/e\\_research/profiles/India/Nuclear/2103.html](http://www.nti.org/e_research/profiles/India/Nuclear/2103.html).
- (24) Koch A (1999): *Selected Indian Nuclear Facilities*, Monterey Institute of International Studies, <http://cns.miis.edu/research/india/nuclear.htm>.
- (25) Global Security.Org (2002): *Indira Gandhi Centre for Atomic Research [IGCAR], Kalpakkam Atomic Reprocessing Plant [KARP]*, ved J Pike, <http://globalsecurity.org/wmd/world/india/kalpakkam.htm>.
- (26) Department of Atomic Energy, India (2003): *Annual Report 2002-2003*, <http://www.dae.gov.in/publ/ar0203/main.pdf>.
- (27) Nuclear Engineering International (2003): *2002 World Nuclear Industry Handbook*.
- (28) The Comptroller and Auditor General of India (1997): *Report of the CAG on the Union Government*, for budsjettåret som endte mars 1997, kapittel 3, [http://www.cagindia.org/reports/scientific/1998\\_book1/chapter3.htm](http://www.cagindia.org/reports/scientific/1998_book1/chapter3.htm).
- (29) Times of India (2001): *Targets score over safety norms at NFC*, 12. oktober 2001.

- (30) Ramana M V (Princeton University, USA) (2003): Personlig kommunikasjon.
- (31) Nuclear Engineering International, Storbritannia (2003): Personlig kommunikasjon.
- (32) Department of Atomic Energy, India (2003): *Nuclear Fuel Cycle*, <http://www.dae.gov.in/publ/persp/nfc/nfc2.htm>.
- (33) Nayyar A H, Toor A H, Mian Z (1997): *Fissile Material Production Potential in South Asia*, *Science and Global Security* **6**, 1997, s 186 - 203.
- (34) Albright D, Berkhout F, Walker W (1997): *Plutonium and highly enriched uranium 1996, World inventories, capabilities and policies*, Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), ISBN 0-19-829009-2.
- (35) Department of Atomic Energy, India (2004): *Annual Report 2003-2004*, <http://www.dae.gov.in/publ/AR-2003-04/ar0304.htm>.
- (36) Heavy Water Board, India (2003): *Heavy Water Plants*, <http://www.heavywaterboard.org/docs/plants.htm>.
- (37) Cirincione J (2002): *Deadly Arsenals, Tracking Weapons of Mass Destructions*, Carnegie Endowment for International Peace, Washington, D C, ISBN 0-87003-193-7.
- (38) Nuclear Power Corporation of India Limited (2003): *Plant Performance*, <http://www.npcil.org/docs/plants.htm>.
- (39) Bhabha Atomic Research Centre (2003): Offisiell hjemmeside, <http://www.barc.ernet.in>.
- (40) International Atomic Energy Agency, Wien (2003): *Nuclear Research Reactors in the World*, database over forskningsreaktorer, <http://www.iaea.org/worldatom/rrdd/>.
- (41) Indian Express (1999): *New reactor for plutonium at BARC planned*, New Delhi, 27. april 1999, <http://www.expressindia.com/ie/daily/19990428/ige28008.html>.
- (42) Department of Atomic Energy, India (2004): Offisiell hjemmeside, <http://www.dae.gov.in/>.
- (43) Indira Gandhi Centre for Atomic Research (2003): Offisiell hjemmeside, <http://www.igcar.ernet.in/>.
- (44) Arbman G, Danielson G, Larsson T, Nordström H, Persson G, Prawitz J, Stenholm L, Strömberg L G, Wigg L, Zetterström H-O (1998): *Indien och Pakistan - Nygamla kärnvapenstater*, Försvarets Forskningsanstalt, Umeå, FOA-R--98-00812-865--SE.
- (45) Jane's (2004): *ATV, Submarines - Submarine and submersible designs, India*, Jane's Underwater Warfare Systems, 15. januar 2004.
- (46) Ramana M V (2004): *An Estimate of India's Uranium Enrichment Capacity*, *Science & Global Security* **12**, nr 1-2, 2004, Taylor & Francis.

- (47) Jane's (2003): *Submarines – Submarine forces, India*, Jane's Underwater Warfare Systems, 16. juni 2003.
- (48) Jane's (1998): *Asia, Nuclear-powered Submarines: India's Strategic Trump Card*, Jane's Intelligence Review **10**, nr 6, 1. juni 1998.
- (49) Hibbs M (1997): *India to Equip Centrifuge Plant With Improved Rotor Assemblies*, Nuclear Fuel **22**, nr 24, 1. desember 1997.
- (50) Department of Atomic Energy, India (2003): *Nuclear Power in INDIA*, <http://www.dae.gov.in/power.htm>.
- (51) International Atomic Energy Agency, Wien (2003): *Power Reactor Information System (PRIS)*, database over kommersielle reaktorer, status per 31. desember 2002, <http://www.iaea.org/programmes/a2/>.
- (52) Nuclear Power Corporation of India Limited (2003): Offisiell hjemmeside, <http://www.npcil.org/>.
- (53) The Hindu (2003): *Fuel Supply Agreement with Russia for Koodankulam*, 22. mars 2003, <http://www.thehindu.com/thehindu/2003/03/22/stories/2003032203471100.htm>.
- (54) Nuclear Power Corporation of India Limited (2003): *Projects under Construction*, [http://www.npcil.org/docs/u\\_const.htm](http://www.npcil.org/docs/u_const.htm).
- (55) Department of Atomic Energy, India (2004): *Summary-2003-2004*, sammendrag av årsrapporten for 2003-2004, <http://www.dae.gov.in/publ/AR-2003-04/ar0304.htm>.
- (56) Department of Atomic Energy, India (2003): *Annual Report 2002-2003*, et sammendrag av årsrapporten, <http://www.dae.gov.in/ar2002/ar2002.pdf>.
- (57) Jones G S (2000): *From Testing to Deploying Nuclear Forces, The Hard Choices Facing India and Pakistan*, RAND, <http://www.rand.org/publications/IP/IP192/>.
- (58) GlobalSecurity.org (2002): *Overview - India Special Weapons Facilities*, ved John Pike, <http://www.globalsecurity.org/wmd/world/india/facility-overview.htm>.
- (59) Ramana M V, Thomas D G, Varughese S (2001): *Estimating nuclear waste production in India*, Current Science **81**, nr 11, desember 2001.
- (60) Albright D (1999): *India's and Pakistan's Fissile Material and Nuclear Weapons Inventory, end of 1998*, Institute for Science and International Security (ISIS), 27. oktober 1999, <http://www.isis-online.org/publications/southasia/stocks1099.html>.
- (61) NRDC Nuclear Notebook 2002 (2002): *India's Nuclear Forces, 2002*, Bulletin of the Atomic Scientists **58**, nr 2, mars/april 2002, <http://www.thebulletin.org/issues/nukenotes/ma02nukenote.html>.
- (62) Center for Defence Information (2003): *The World's Nuclear Arsenal*, <http://www.cdi.org/issues/nukef&f/database/nukearsenals.cfm>.

- (63) Jane's (2003): *NBC Capabilities, India*, Jane's Nuclear, Biological and Chemical Defence, 20. mars 2003.
- (64) Jane's (2004): *Submarine Forces*, Jane's Underwater Warfare Systems 2005-2006, ved Anthony Watts, 11. februar 2004.
- (65) Jane's (1998): *Asia's rival reactors a cause for concern*, Jane's Intelligence Review, ved Ian Steer, oktober 1998.
- (66) Jane's (2003): *Comparing India's and Pakistan's strategic nuclear weapons capabilities*, Jane's Strategic Weapons Systems 40, ved Duncan Lennox, 27. november 2003.
- (67) Axelsson A, Jonson P, Lindblad A, Norlander L, Norquist A, Unge W, Wigg L (2002): *Indian and Pakistani Weapons of Mass Destruction in a Security Policy Context*, Totalförsvarets Forskningsinstitut, ISSN 1650-1942.
- (68) Choudhury U (2003): *Too close for comfort*, Bulletin of the Atomic Scientists, mars/april 2003.
- (69) Jane's (2004): *Agni 1/2/3*, Offensive Weapons, India, Jane's Strategic Weapon Systems 40, ved D Lennox, 15. juni 2004.
- (70) Jane's (2003): *Prithvi (SS-150/-250/-350) (P-1/P-2/P-3) and Dhanush*, Jane's Strategic Weapon Systems 40, 31. juli 2003.
- (71) Jane's (2003): *Sagarika, Strategic and Cruise Missiles, India*, Jane's Underwater Warfare Systems, ved A Watts, 25. februar 2003.
- (72) Embassy of India, Washington, DC (1999): *Draft Report of National Security Advisory Board on Indian Nuclear Doctrine*, [http://www.indianembassy.org/policy/CTBT/nuclear\\_doctrine\\_aug\\_17\\_1999.html](http://www.indianembassy.org/policy/CTBT/nuclear_doctrine_aug_17_1999.html).
- (73) NRDC Nuclear Notebook 2002 (2002): *Global nuclear stockpiles, 1945 - 2002*, Bulletin of the Atomic Scientists **58**, nr 6, november/desember 2002, <http://www.thebulletin.org/issues/nukenotes/nd02nukenote.html>.
- (74) Washington Post (2004): *India, Pakistan to Set Up Hotline - Talks End With Deal to Maintain Moratorium on Nuclear Testing*, ved J Lancaster, 21. juni 2004.
- (75) Reuters (2004): *No Slowdown in Pakistan Nuclear Program - Musharraf*, ved M Collett-White, 1. juli 2004.
- (76) Randers G (1946): *Atomvåpen*, bidrag til samlerapport om den tekniske utviklingen under andre verdenskrig, rapport nr S-1, FFI, 1946, strengt hemmelig, nedgradert til konfidensielt 1959.
- (77) US Congress, Office of Technology Assessment (1993): *Technical Aspects of Nuclear Proliferation*, kapittel 4 i dokumentet *Technologies Underlying Weapons of Mass Destruction*, OTA-BP-ISC-115, Washington, DC,



- <http://www.fas.org/spp/starwars/ota/934406.pdf> eller  
<http://www.wws.princeton.edu/cgi-bin/byteserv.prl/~ota/disk1/1993/9344/934406.pdf>.
- (78) Mozley R F (1998): *The Politics and Technology of Nuclear Proliferation*, University of Washington Press, ISBN 0-295-97726-4.
- (79) Sublette C (2002): *Nuclear Weapons Frequently Asked Questions, Section 8.0: The First Nuclear Weapons*, <http://www.nuclearweaponarchive.org/Nwfaq/Nfaq8.html>.
- (80) Nuclear Control Institute (1998): *Outside Assistance to the Indian and Pakistani Nuclear Programs*, ved Steven Dolley, <http://www.nci.org/f/for-asst.htm>.
- (81) Programme for Promoting Nuclear Non-Proliferation (1998): *Proliferation-Related Developments: India and Pakistan*, PPNN Newsbrief **42**, 2nd Quarter 1998, <http://www.ppnn.soton.ac.uk/nb42i.pdf>.
- (82) Brennpunkt, NRK (2002): *Tungtvann og plutoniumshjelp til India*, artikkel i forbindelse med Brennpunkt-programmer som ble vist i 2001, <http://www.nrk.no/programmer/tv/brennpunkt/609528.html>.
- (83) Aftenposten (1988): *Norsk tungtvann havnet ulovlig i India?*, 5. mai 1988, ved Elisabeth Holte, tilgjengelig ved søk i Aftenpostens nettarkiv.
- (84) Aftenposten (1992): *India: Mottok ikke tungtvann*, 9. juni 1992, tilgjengelig ved søk i Aftenpostens nettarkiv.
- (85) Albright D (2000): *India's and Pakistan's Fissile Material and Nuclear Weapons Inventories, end of 1999*, Institute for Science and International Security (ISIS), 11. oktober 2000, <http://www.isis-online.org/publications/southasia/stocks1000.html>.
- (86) Bundesnachrichtendienst (1999): *Proliferation von Massenvernichtungsmitteln und Trägerraketen*, oktober 1999.