



# Ydinvoima ja ydinaseet

Markku Anttila  
Erikoistutkija, VTT

Energia - turvallisuus - terveys -seminaari  
Helsinki 18.11.2006

Järjestäjät: Lääkärin sosiaalinen vastuu ry ja Greenpeace



# Sisältö

- Ydinvoima - nykyinen tilanne
- Ydinaseet - nykyinen tilanne
- Ydinvoima ja ydinaseet - tulevaisuudessa

# Ydinvoima - nykytilanne

# Ydinenergian rauhanomainen käyttö

Lähde: World Nuclear Association (<http://www.world-nuclear.org/> )

## A) Sähköä tuottavia ydinreaktoreita 21.9.2006

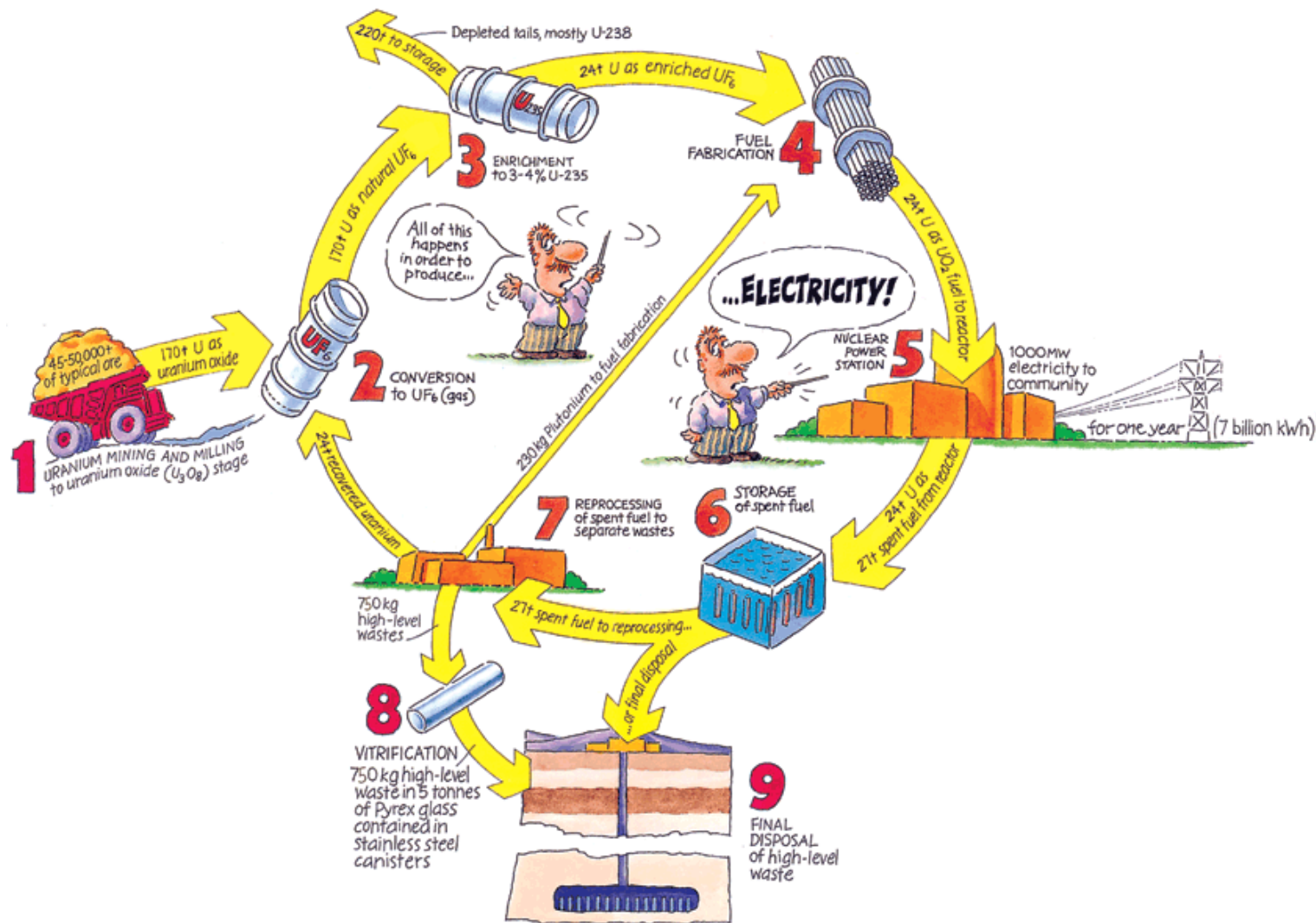
◆ 442 reaktoria	30 maassa (+ Taiwanissa)	käynnissä
◆ 28 "	12 " "	rakenteilla
◆ 62 "	16 "	suunnitteilla

## B) Tutkimusreaktorit

- ◆ Noin 280 tutkimusreaktoria noin 56 maassa

# Sähkötehoon 1000 MW:n ydinreaktorin polttoainekierto

Lähde: World Nuclear Association (<http://www.world-nuclear.org/education/graphics/nfc1-3.gif>)



# Tehoreaktorien polttoainekierto vaihtoehdot

## A) Avoin kierto

- käytetty ydinpolttoaine ensin välivarastoon ja sitten loppusijoitustilaan
- tunnetut uraanivarat riittävät 80 -100 vuodeksi

## B) Suljettu kierto

- käytetty ydinpolttoaine jälleenkäsitellään
  - erotetaan plutonium ja uraani (PUREX-prosessi)
  - erotetaan lisäksi muut aktinidit ja joitakin fissiotuotteita
- nykyisin vain osa erotetusta plutoniumista ja vähäinen osa erotetusta uraanista käytetään uuden polttoaineen valmistukseen
- tavoite: kaikki aktinidit käytetään hyväksi ns. nopeissa reaktoreissa
- polttoainetta jopa tuhansiksi vuosiksi

# Rauhanomainen ydinpolttoainekierto lukuina vuonna 2004

Lähde: OECD/NEA & IAEA Red Book 2005

◆ luonnonuraanin tarve	67 450 t
◆ luonnonuraanin tuotanto	40 263 t
◆ varastojen pienentäminen	?
◆ MOX-polttoaine	n. 1 300 t
◆ köyhdytetyn uraanin jatkoväkevöinti	n. 1 000 t
◆ jälleenkäsittelyuraani	n. 500 t
◆ aseuraanin muuttaminen polttoaineeksi	n. 6 000 t

Uraania on riittävästi, mutta toimivia kaivoksia tarvitaan lisää  
=> Uraanin hinta noussut jyrkästi viime vuosina



## Uraanin kaupallinen väkevöinti v. 2006

- ◆ Yhteensä noin 45 miljoonaa erotustyöyksikköä (SWU)
  - kilo ydinpolttoainetta (väkevöinti 3-5%) vaatii 5 - 8 SWU:ta
  
- ◆ Neljän yhtiön markkinaosuus 91 %
 

- TENEX	(Venäjä)	27 %	
- USEC	(USA)	24 %	(puolet Venäjältä ostetusta aseuraanista)
- Areva	(Ranska)	22 %	
- Urenco	(Saksa, Hollanti, Iso-Britannia)	18 %	
  
- ◆ Pieniä tuotantolaitoksia Japanissa, Kiinassa ja Brasiliassa
- ◆ Useita uusia laitoksia rakenteilla/suunnitteilla



## Käytetyn ydinpolttoaineen teollinen jälleenkäsittely

<u>Laitokset</u>		<u>Kapasiteetti (t)</u>
Ranska, La Hague	UP2	800
	UP3	800
Iso-Britannia, Sellafield	B205	1 500
	THORP	900
Venäjä, Majak		400
Intia, kolme laitosta yhteensä		260
Japani		<u>90</u>
		4 750
Kiina		?
Vain osa kapasiteetista käytössä		

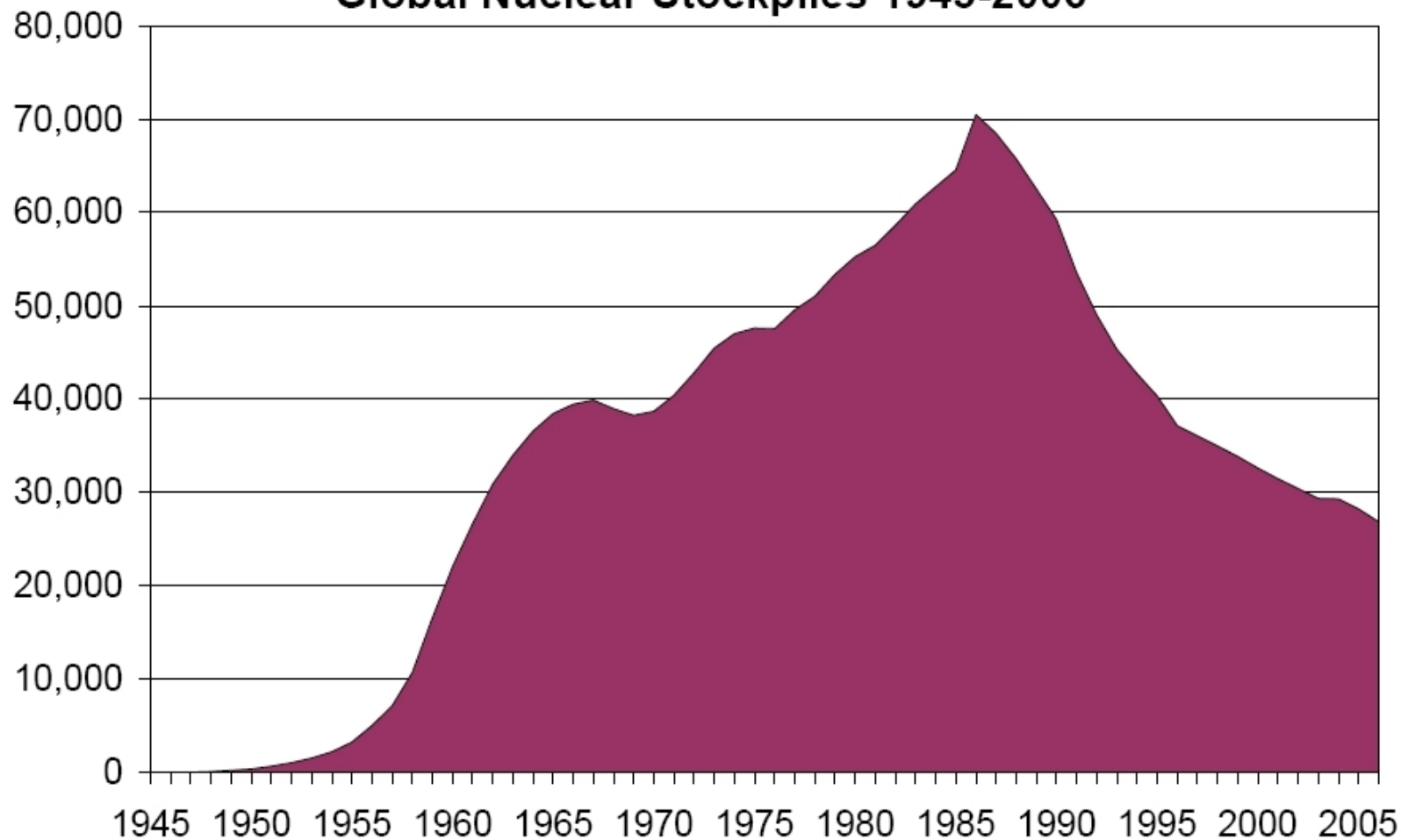
## Ydinreaktorien käytetystä polttoaineesta erotetun, säteilyttämättömän plutoniumin määrä (kg)

Maa	kotimaassa	ulkomailla
Belgia	3 300	
Japani	5 600	37 400
Saksa	11 500	(13 500)
Sveitsi	< 50	(1 000 - 2 000)
Ranska	78 500	< 50
USA	< 50	100
Iso-Britannia	104 900	900
Venäjä	<u>41 200</u>	900
	245 100	
Intia	1 - 1,5	
Hollanti		2 000 - 2 500
Italia		2 500
Ruotsi		830
Espanja		300



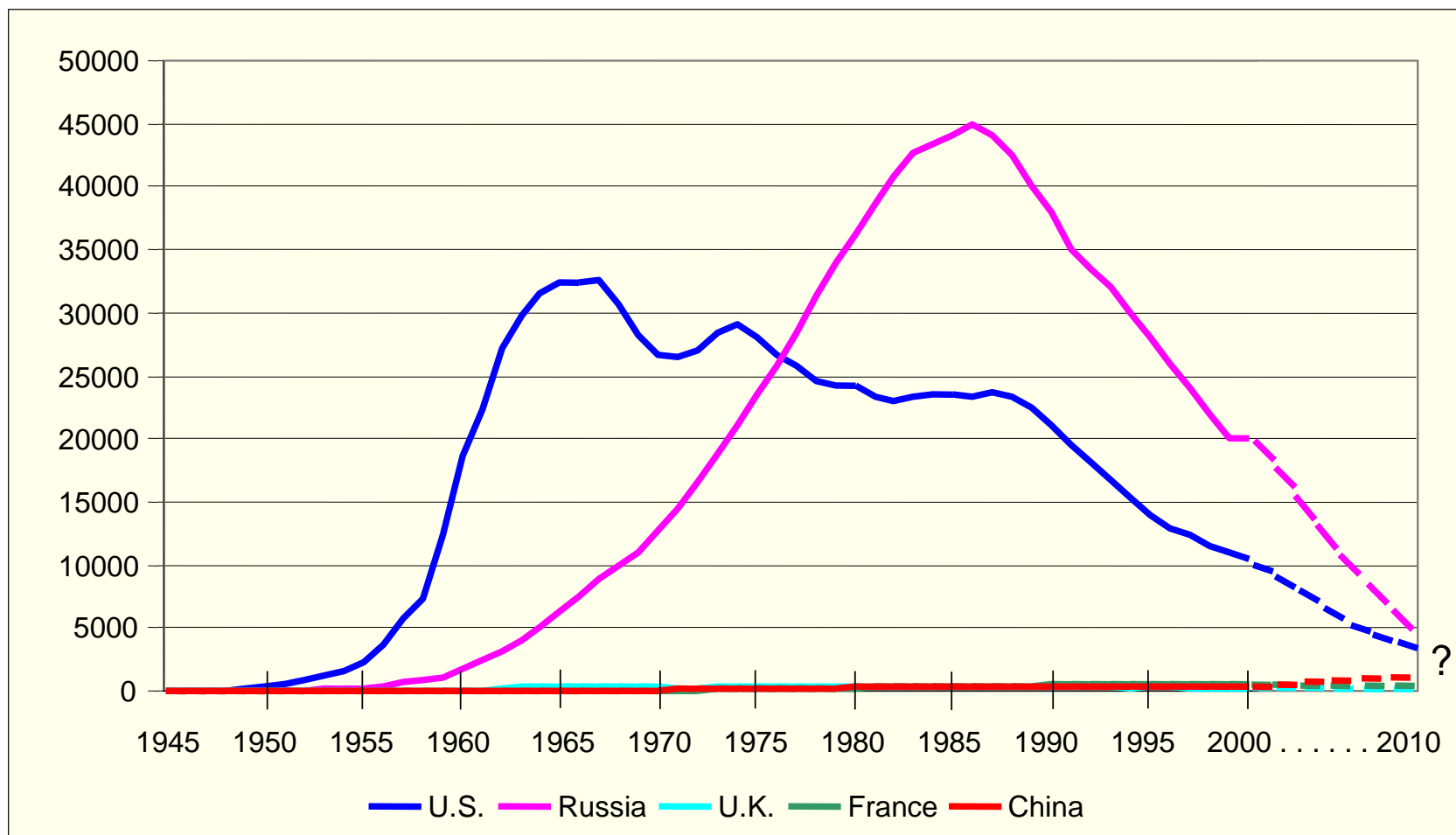
# Ydinaseet - nykytilanne

## Global Nuclear Stockpiles 1945-2006



Robert S. Norris and Hans M. Kristensen, "Global Nuclear Stockpiles, 2006," Bulletin of the Atomic Scientists, July/August, 2006.

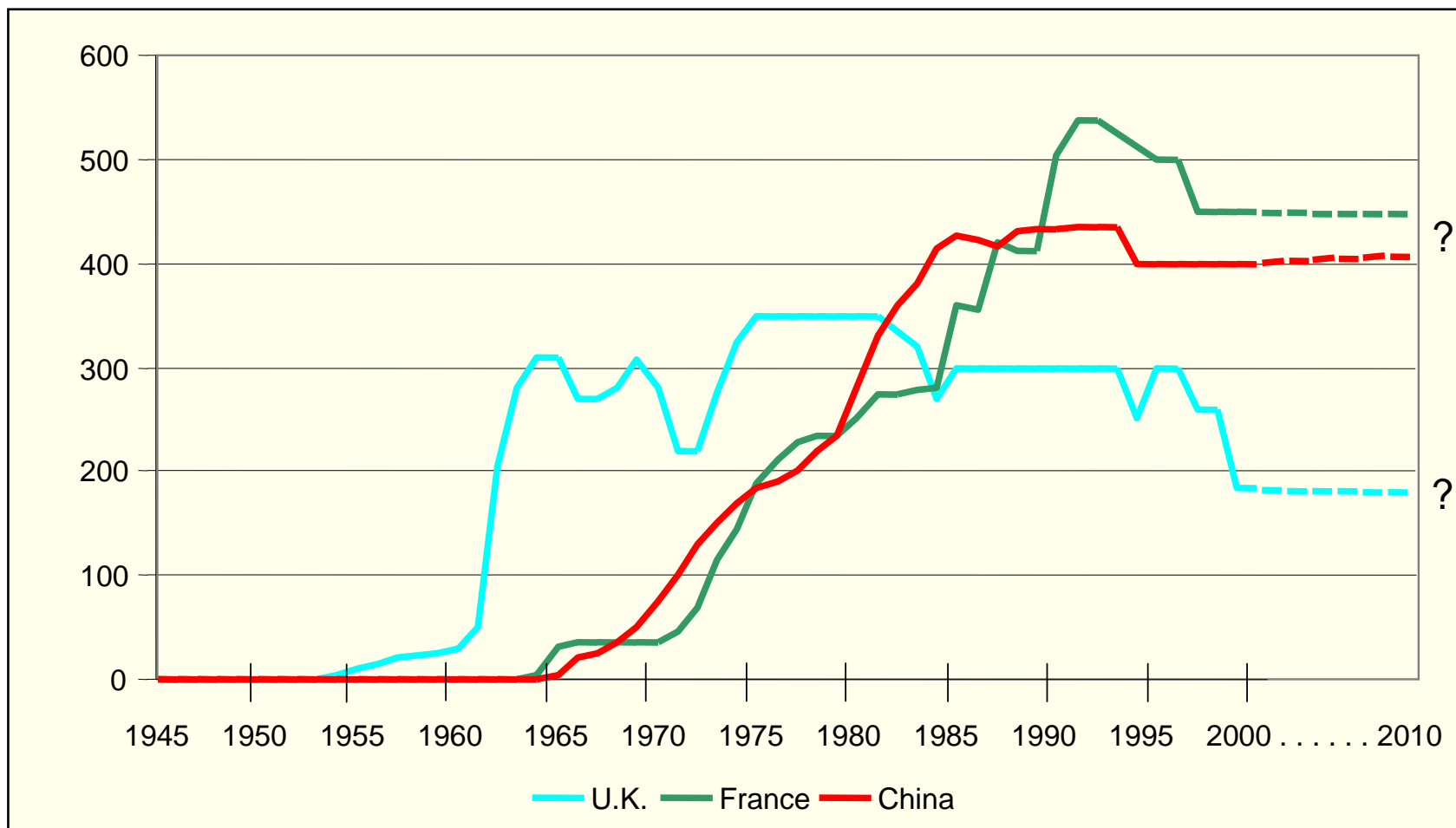
## Global Nuclear Stockpiles, 1945 - 2000



Source: NRDC Nuclear Notebook, Bulletin of the Atomic Scientists, March/April 2001

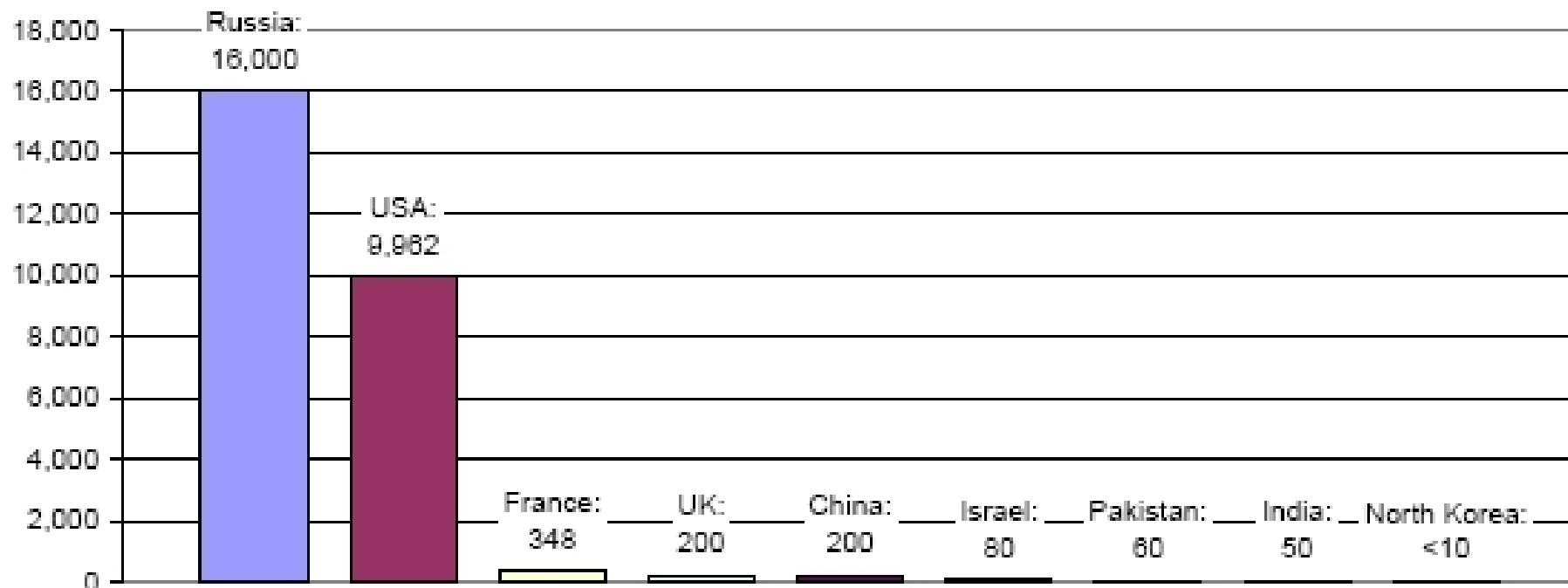


## Global Nuclear Stockpiles, 1945 - 2000

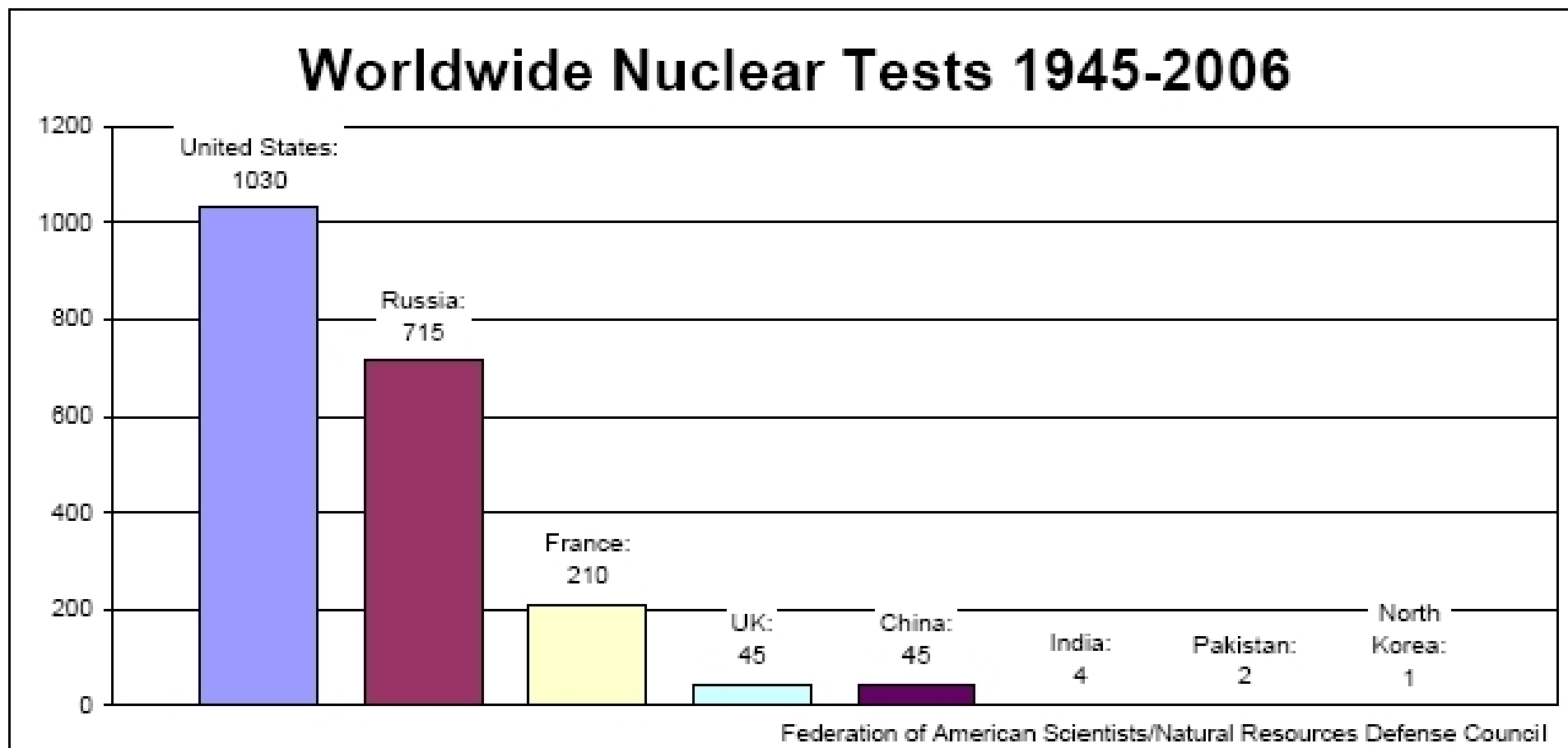


Source: NRDC Nuclear Notebook, Bulletin of the Atomic Scientists, March/April 2001

## World Nuclear Weapons 2006



Federation of American Scientists/Natural Resources Defense Council





## Ydinaseisiin tarvittavan fissiilin materiaalin määrä (kg)

- |    |                  |           |              |
|----|------------------|-----------|--------------|
| A) | Atomipommi       | aseuraani | aseplutonium |
|    | - imploosiopommi | 12 - 20   | 2 - 6        |
|    | - ammustyyppi    | 40 - 60   |              |
- 
- B) Kaksivaiheinen ydinase ('vetypommi')
- ensimmäinen vaihe = imploosiopommi
  - toinen vaihe = fuusioräjähde (+ 10 – 15 kg aseluokan fissiiliä materiaalia)

# Ydinasevaltioiden erotetun plutoniumin ja pitkälle väkevöidyn uraanin (HEU) varastot vuoden 2003 lopussa

Lähde: <http://isis-online.org/global-stocks/end2003/>

Maa	<u>Erotettu plutonium (t)</u>			<u>HEU (t)</u>		
	sotilaal- linen	siviili	yhteensä	sotilaal- linen	siviili	yhteensä
Venäjä	95	88	183	1073	15-30	1088-1103
Pakistan	0,04	0	0,04	1,1	0,017	1,120
Pohjois-Korea	0,015- 0,04	0	0,015-0,04	?	0,042	0,042
Intia	0,4	~1-1,5	1,4-1,9	~0,5	0,005- 0,01	0,505-0,51
Kiina	4	0	4	21	1	22
Ranska	5	78,6	84	29	6,4	35,4
Israel	0,6	0	0,6	?	0,034	0,034
Iso-Britannia	3,2	96,2	99	21,9	1,5	23
Yhdysvallat	47	45	92	580	125	705

# Viiden "virallisen" ydinasevaltion aseuraanin ja -plutoniumin tuotantotilanne = tuotannon lopetusvuosi

Lähde: <http://isis-online.org/global-stocks/end2003/>

	<u>Uraani</u>	<u>Plutonium</u>
Iso-Britannia	1962	1989 - 1995
Kiina	1987	1991
Ranska	1996	1994
Venäjä	1982 - 1988	1994
Yhdysvallat	1964	1988

# Ydinvoima - Ydinaseet: Kriittiset teknologiat

## Kriittiset teknologiat

### A) Uraanin väkevöinti

#### ◆ U-235-pitoisuus

- ydinpolttoaineessa 0,711 - 5 %
- asemateriaalissa > 80 %

#### ◆ menetelmät

- sähkömagneettinen erotus (tehoton, vanhentunut)
- kaasudiffuusio (väistyvä)
- kaasusentrifugi (teknisesti kehittynein)
- laserväkevöinti (kehitteillä, GE/SILEX)

### B) Plutoniumin erotus (jälleenkäsittely)

#### ◆ aseplutonium

- Pu-240-pitoisuus < 6 - 7 %
- => Pu-239-pitoisuus > 93 %

#### ◆ käytetyn ydinpolttoaineen plutonium

- Pu-240-pitoisuus ~ 20 % tai suurempi, asekelpoista

## Reaktoripolttoaine aseuraanin lähtöaineena

U-235-pitoisuus (%)

Lähtöaine	Tuote	Jäte	Erotustyön tarve (SWU)	Lähtöaineen määrä (kg)
0,711	4	0,25	5,89	8,1
0,711	90	0,25	208,03	195
4	90	1	44,11	30
4	90	2	33,74	44
4	90	3	28,39	87

Reaktoripolttoaineen käyttö lähtöaineena vähentää erotustyön tarvetta merkittävästi ja nopeuttaa siten aseuraanin valmistamista.

# Plutoniumin erottaminen salaa käytetystä ydinpolttoaineesta

- ◆ nykyiset jälleenkäsittelylaitokset suurikokoisia, suunniteltu pitkäikäisiksi
- ◆ nykytekniikalla voi olla mahdollista rakentaa pienikokoinen laitos vähäisen plutonium-määrän (= muutaman pommin raaka-aine) nopeaan erottamiseen?

## Ydinvoima - Ydinaseet

- ◆ Ydinenergian rauhanomainen ja sotilaallinen hyväksikäyttö perustuvat osittain samaan osaamiseen ja tekniikkaan
- ◆ Ydinenergian rauhanomaisen ja sotilaallisen hyväksikäytön välillä ei ole ollut suoraa kytkentää
- ◆ Tehoreaktorit käyttävät ja tuottavat ydinmateriaaleja, jotka ovat erilaisia kuin ydinaseteollisuuden raaka-aineet, mutta joita voi käyttää ydinaseen valmistamiseen
- ◆ Ydinenergian rauhanomaista käyttöä valvotaan tarkasti ydinaseettomissa valtioissa
- ◆ Tiedon ja teknologian leviämistä ei voida estää, mutta niiden käyttöä epätoivottuihin tarkoituksiin voidaan rajoittaa
- ◆ Ydinaseen hankinta on poliittinen ratkaisu
- ◆ Valtaosa maista valinnut ydinaseettomuuden