

# Atomfegyver kísérletek sugaras következményei

Vincze Árpád

# A légköri atomfegyver kísérletek okozta globális hatások

UNSCEAR (UNITED NATIONS' SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATIONS) (2000),  
*Sources and Effects of Ionizing Radiation, Vol. I.: Sources*, United Nations, New York

Dózisrekonstrukció lehetőségei:

I. Mérés: - csak korlátozottan állnak adatok rendelkezésre ( $^{90}\text{Sr}$ )

II. Modellelés:

1. A töltet pontos összetétele, hatóereje
2. Robbantás helye, módja
3. Globális légköri modell

# Atombomba készítéshez alkalmas hasadó anyagok

Hasadóanyag	Kritikus tömeg	Előállítás
$^{235}\text{U} >90\%$ , $^{238}\text{U} <10\%$		Fizikai dúsítás (centrifuga)
tiszta fém gömb	~50 kg	
dupla sűrűség esetén	~12 kg	
$^{239}\text{Pu} >93\%$ , $^{240}\text{Pu} <7\%$		$^{238}\text{U}$ besugárzás (reaktor)
tiszta fém gömb	~25 kg	kémiai elválasztás
dupla sűrűség esetén:	~6 kg	
k-növelése: neutron reflektorok használata (Be)		

## Tervezési cél:

1. A láncreakció irányított beindítása
2. Minél tökéletesebb kiterjesztése
3. Biztonságos kezelhetőség

# Működés elvi lépései

1. Szubkritikus kiindulási állapot
2. Szuperkritikus állapot kialakítása
3. Átmenet gyorsabb legyen, mint egy véletlen neutron előfordulási gyakorisága
4. Kellő időben neutronok a láncreakció indításához

# Probléma: spontán maghasadás

Izotóp	felezési idő	neutron/g/másodperc
$^{235}\text{U}$	$7.04 \times 10^8$ év	$1.0 \times 10^{-5}$
$^{238}\text{U}$	$4.47 \times 10^9$ év	0.0136
$^{239}\text{Pu}$	$2.41 \times 10^4$ év	$2.2 \times 10^{-2}$
$^{240}\text{Pu}$	6569 év	920
$^{242}\text{Cf}$	2.638 év	$2.3 \times 10^{12}$

# 1. Töltet összetétele

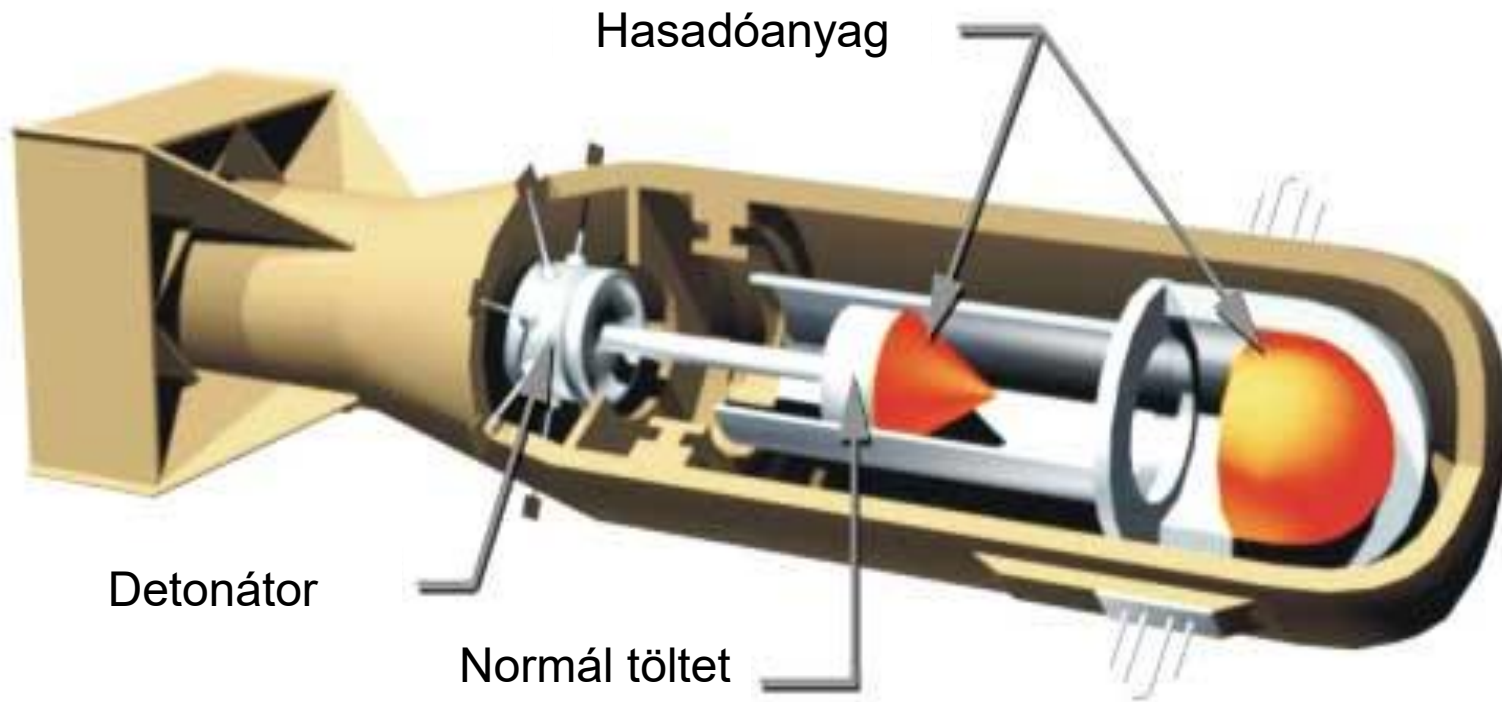
A robbanás mechanizmusa szerint:

- Egyfázisú (Maghasadás)
- Kétfázisú (Maghasadás – Magegyesülés)
- Háromfázisú  
(Maghasadás – Magegyesülés – Maghasadás)

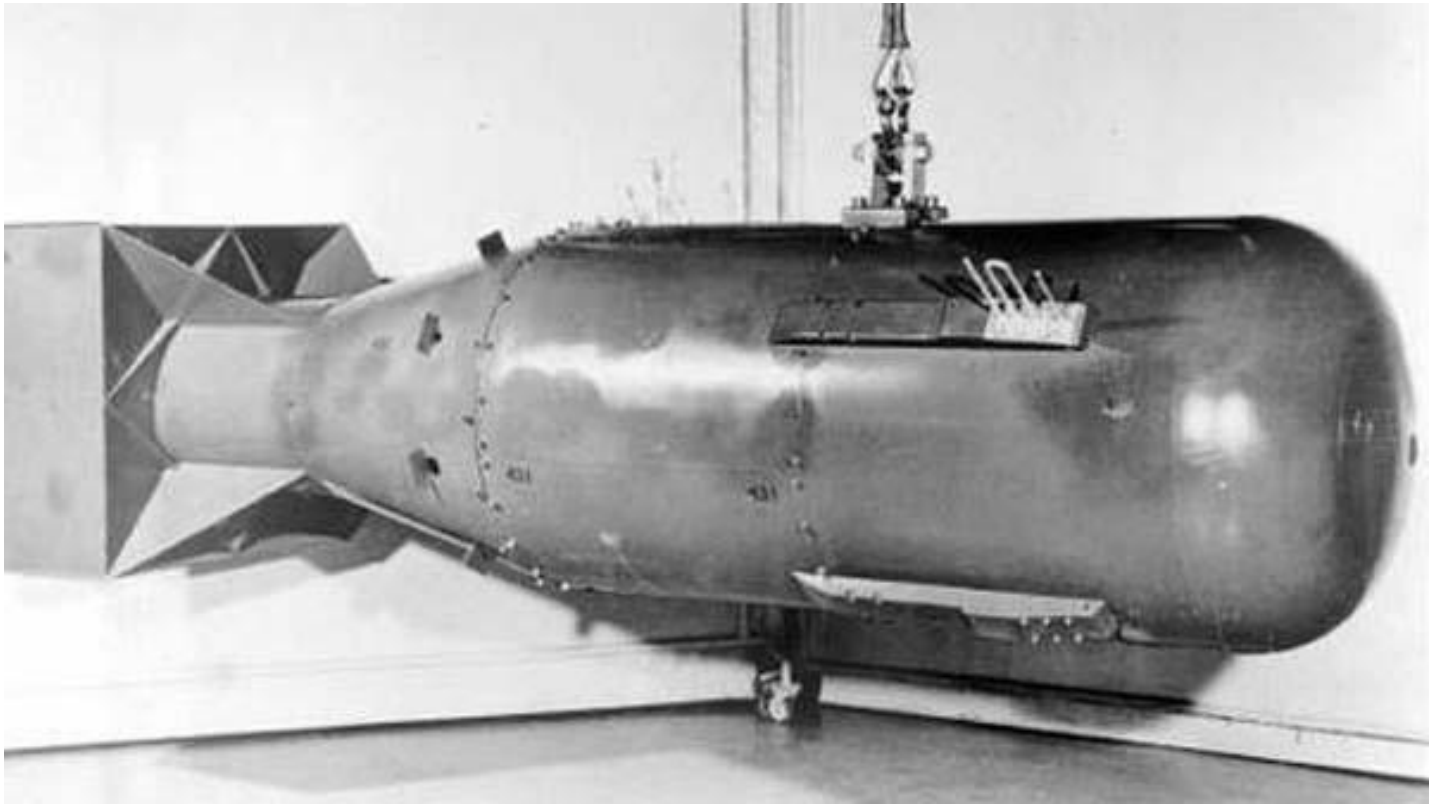
# EGYFÁZISÚ ATOMBOMBA

## „PUSKA” TÍPUS (GUN-TYPE)

### LITTLE BOY – $^{235}\text{U}$



# LITTLE BOY



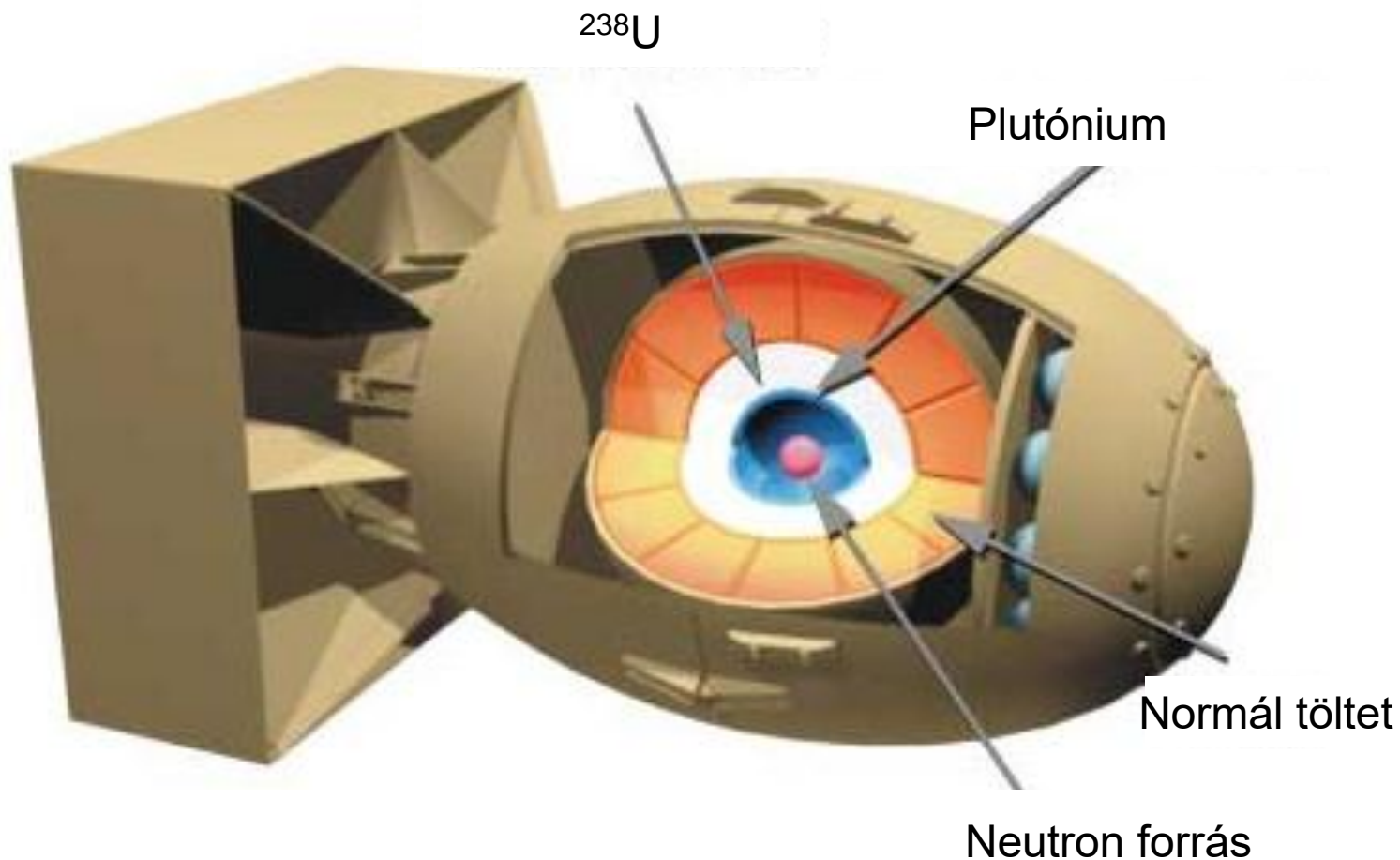
HIROSIMA 20 KT

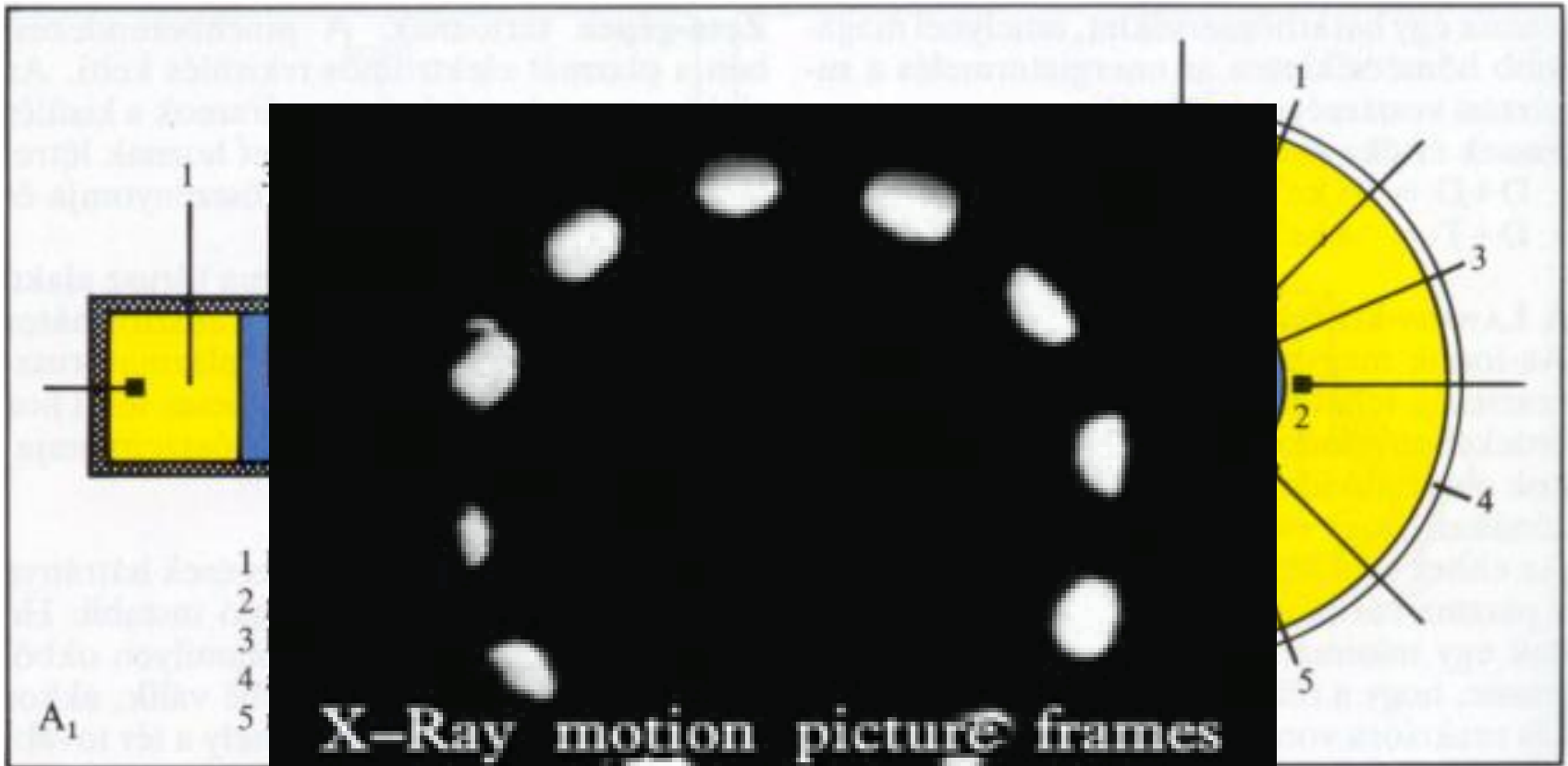


# EGYFÁZISÚ ATOMBOMBA

„IMPLÓZIÓS” TÍPUS

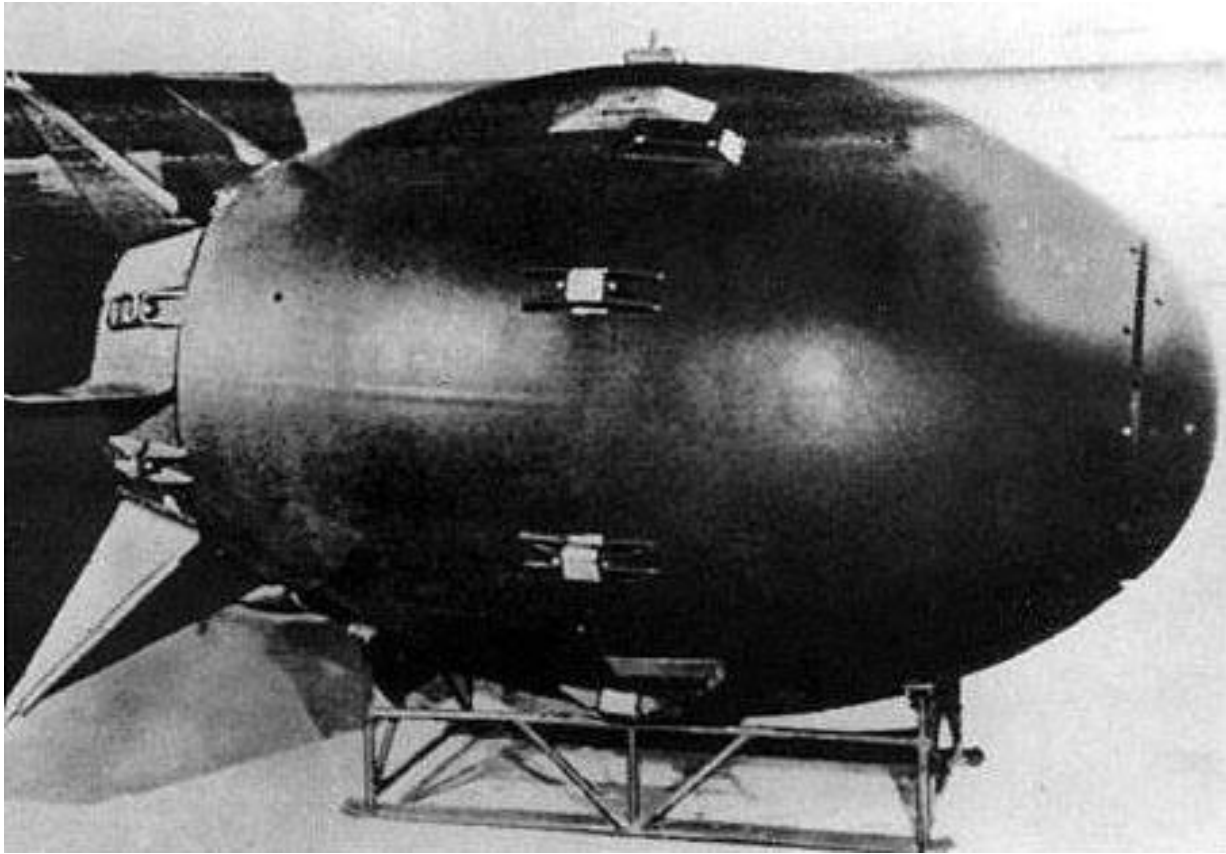
FAT MAN –  $^{239}\text{Pu}$





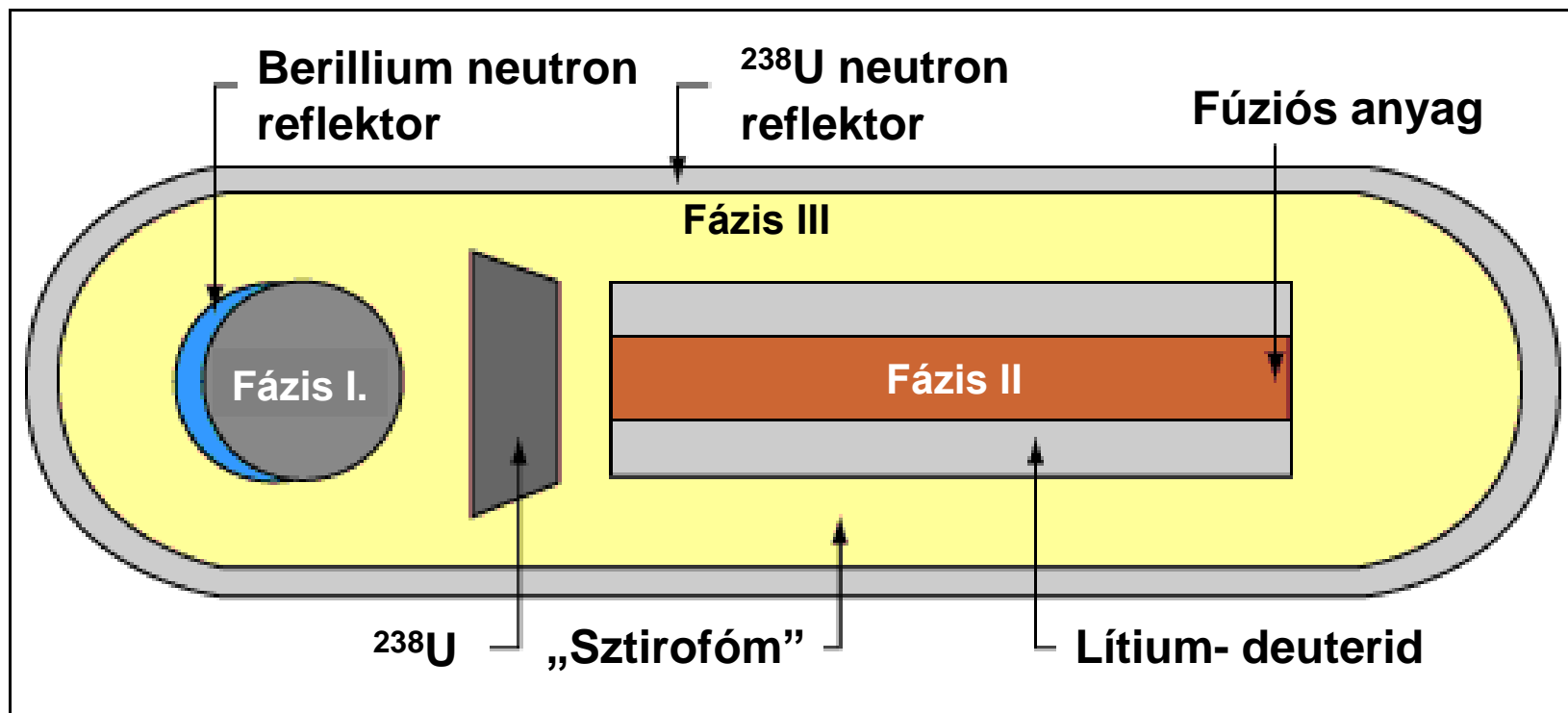
X-Ray motion picture frames of implosion experiment

# FAT MAN



**NAGASAKI-20 KT**









# A HÁROMFÁZISÚ ATOMBOMBA



# 50 Mt -Novaja Zemlja 1961 október 30





-  Reprocessing plants
-  Nuclear power plants
-  Atmospheric nuclear weapons tests
-  Underground tests
-  Peaceful nuclear explosions
-  Naval sites
-  Storage spent fuel
-  Dumping of waste



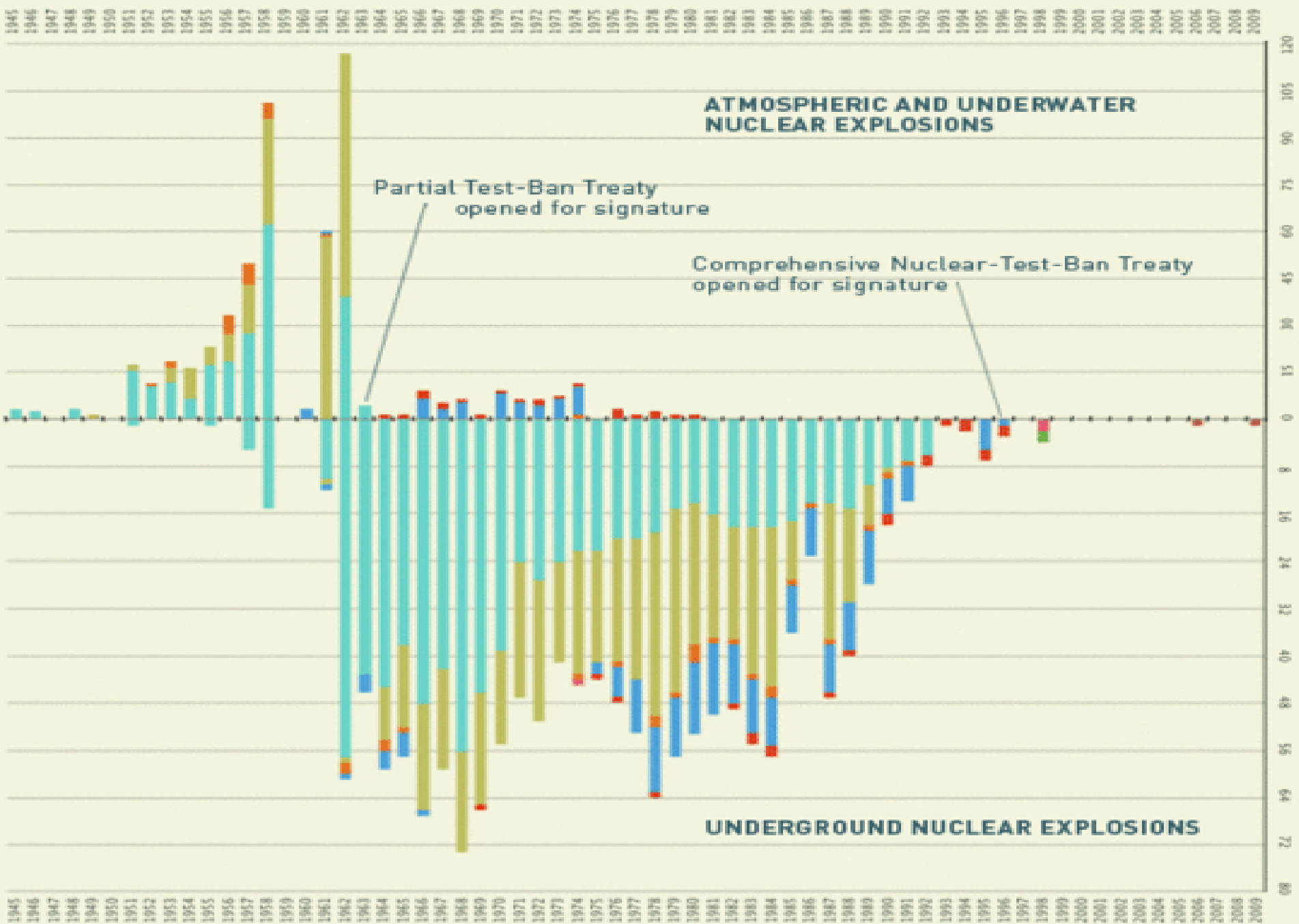
## 2. Töltet hatóereje

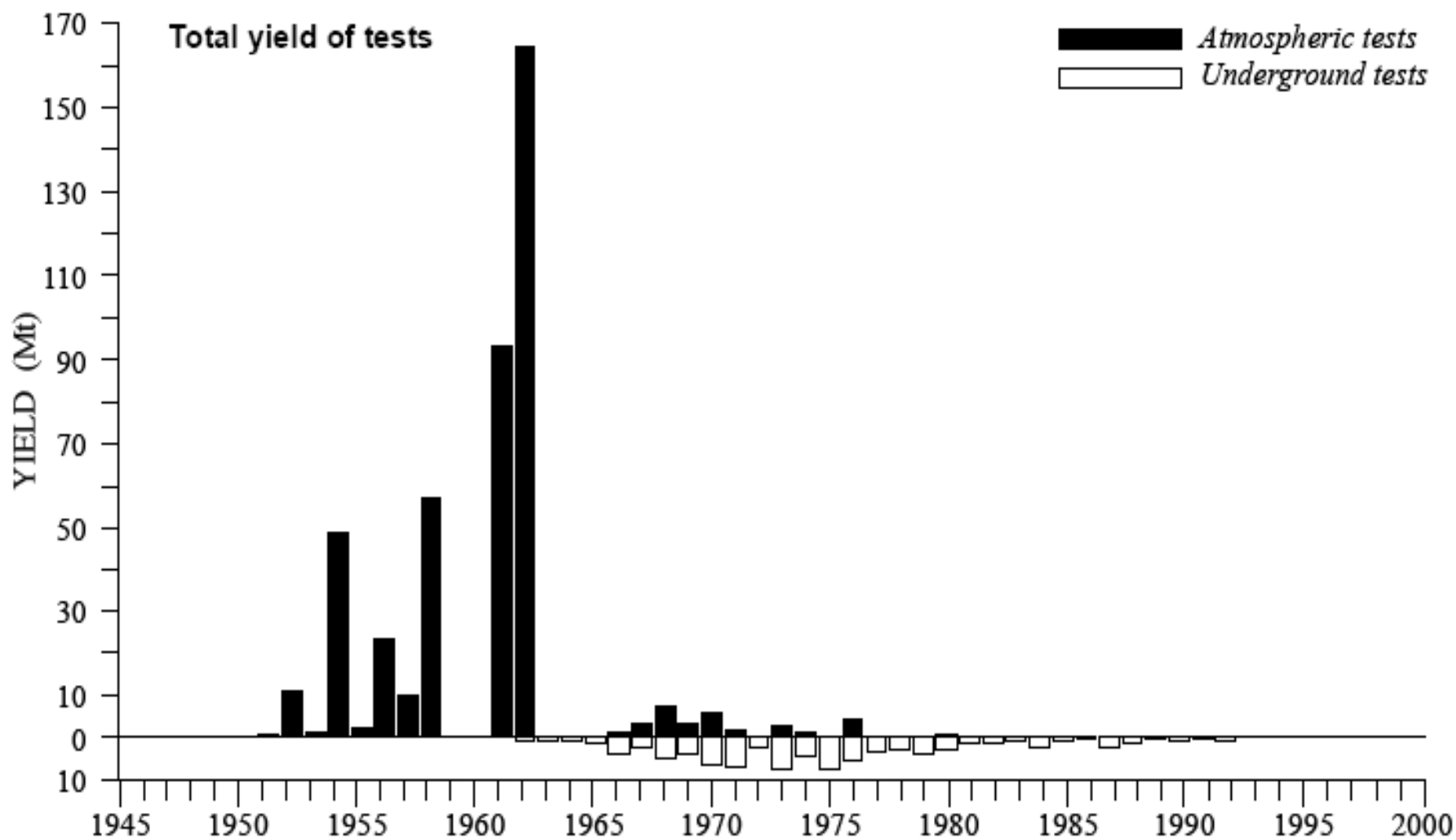
Feltétel:		hasadás	fúzió
• $Y < 0,1 \text{ Mt}$	$\Rightarrow$	100 %	
• $0,1 < Y < 0,5 \text{ Mt}$	$\Rightarrow$	67%	33%
• $0,5 < Y < 5 \text{ Mt}$	$\Rightarrow$	50 %	50 %
• $Y > 5 \text{ Mt}$	$\Rightarrow$	33%	67%

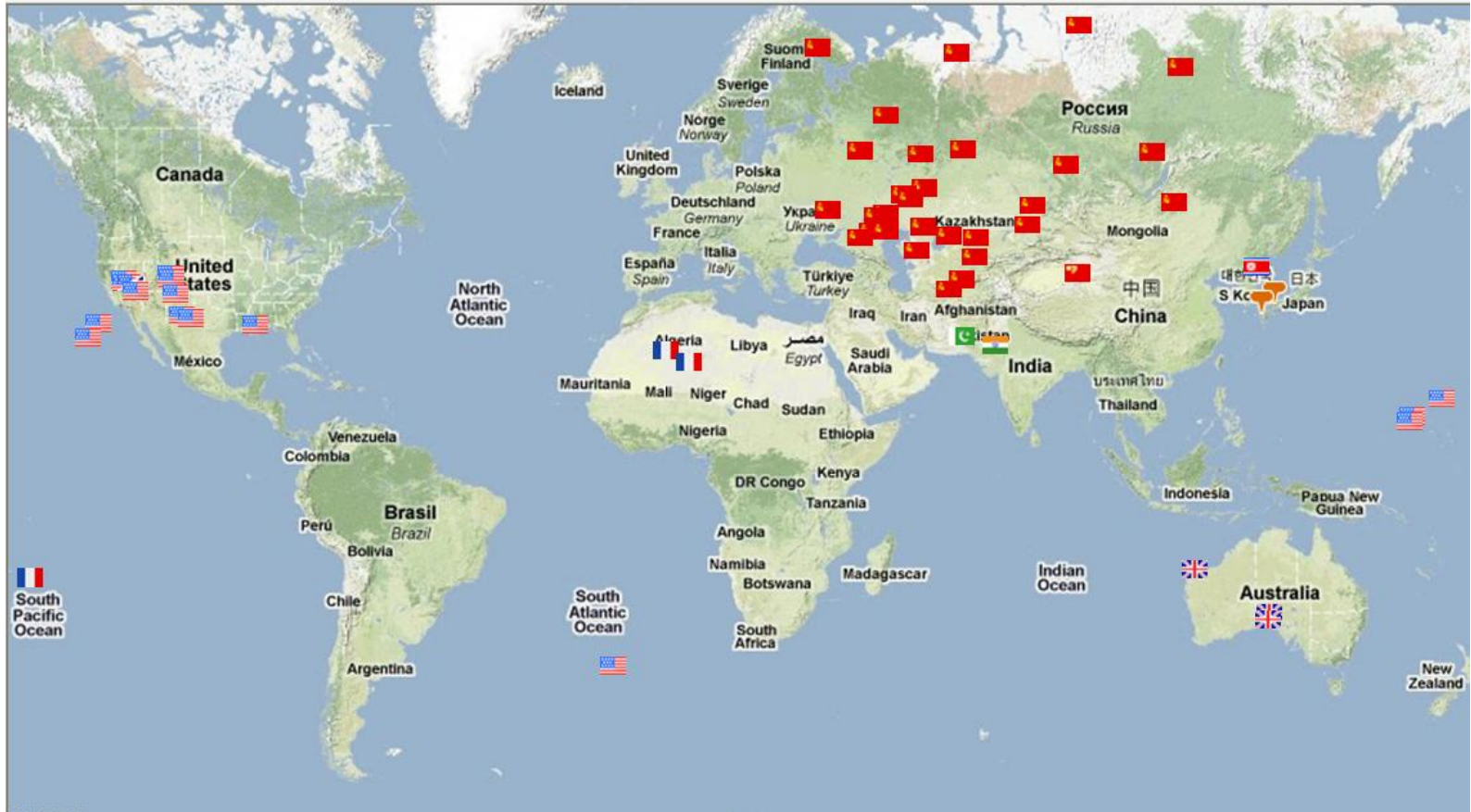
$1,45 \cdot 10^{26}$  hasadás/Mt



■ USA   
 ■ USSR/Russia   
 ■ UK   
 ■ France   
 ■ China   
 ■ India   
 ■ Pakistan   
 ■ DPRK







# Nukleáris fegyverek hatásai

- Lökőhullám (50%)
- Fény és hőszugárzás (35%)
- Áthatoló sugárzások (5%)
- Radioaktív szennyezés (10%)
  - lokális, regionális
  - globális



# Kihullás-eloszlás függése a robbantás magasságától

Felszíni robbantások:

	Lokális (0-200 km)	Regionális (200-3000 km)	Globális
Nem illékony ( $^{95}\text{Zr}$ és a $^{144}\text{Ce}$ ):	50 %	25 %	25 %
illékonyabb $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$ és $^{131}\text{I}$	25 %	25 %	50 %

Ha a robbantás magassága H:

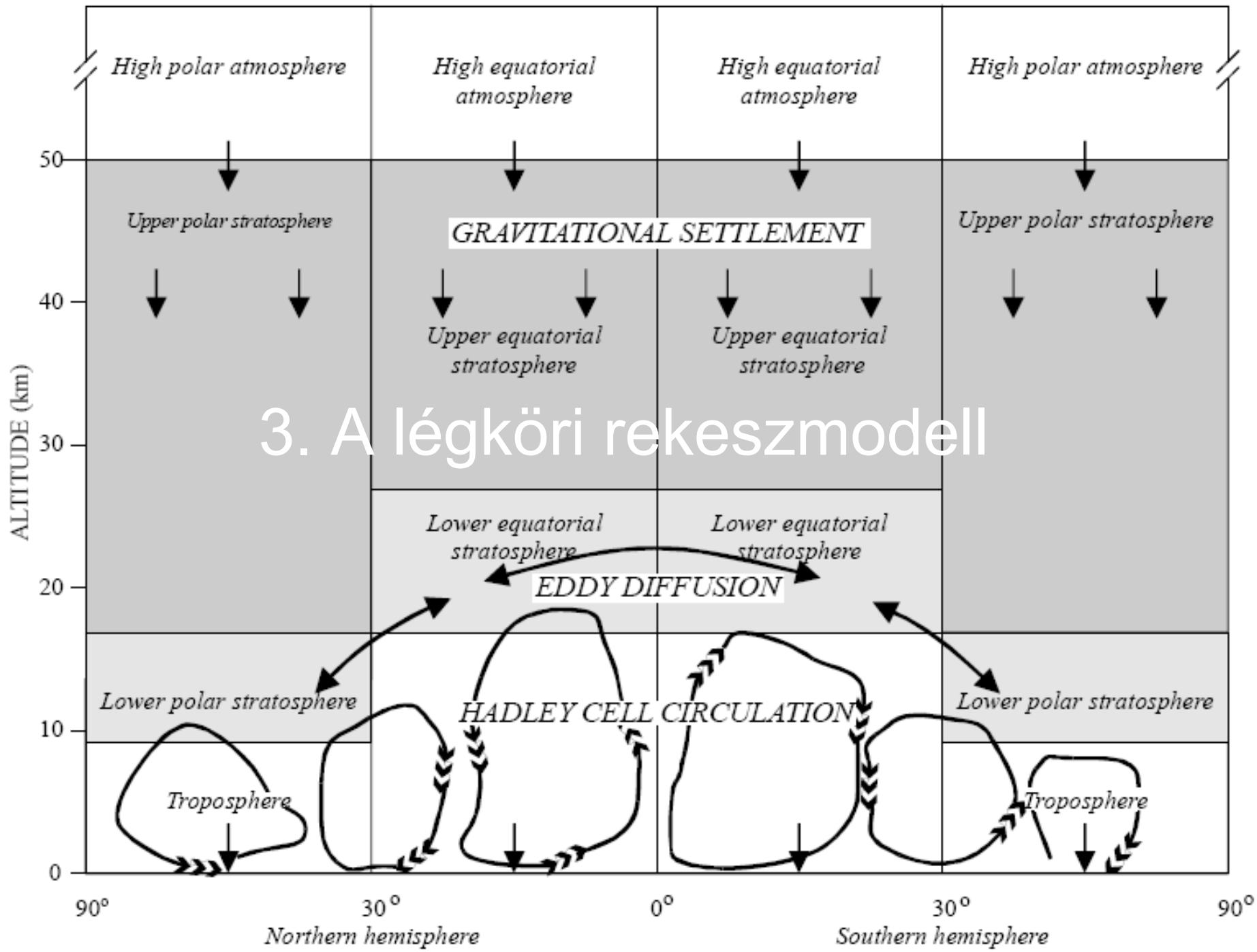
20 kt ~ 185 m

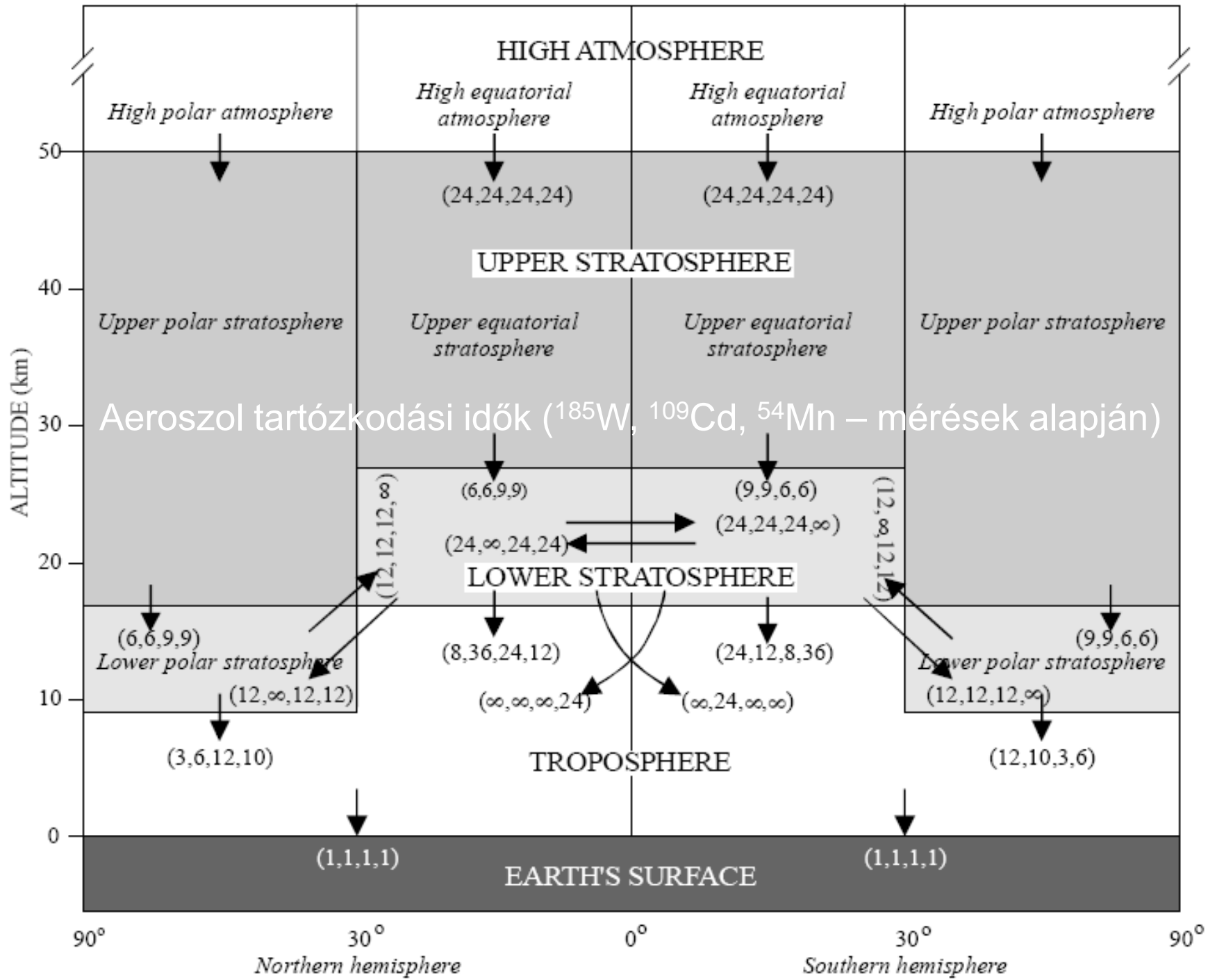
100 %

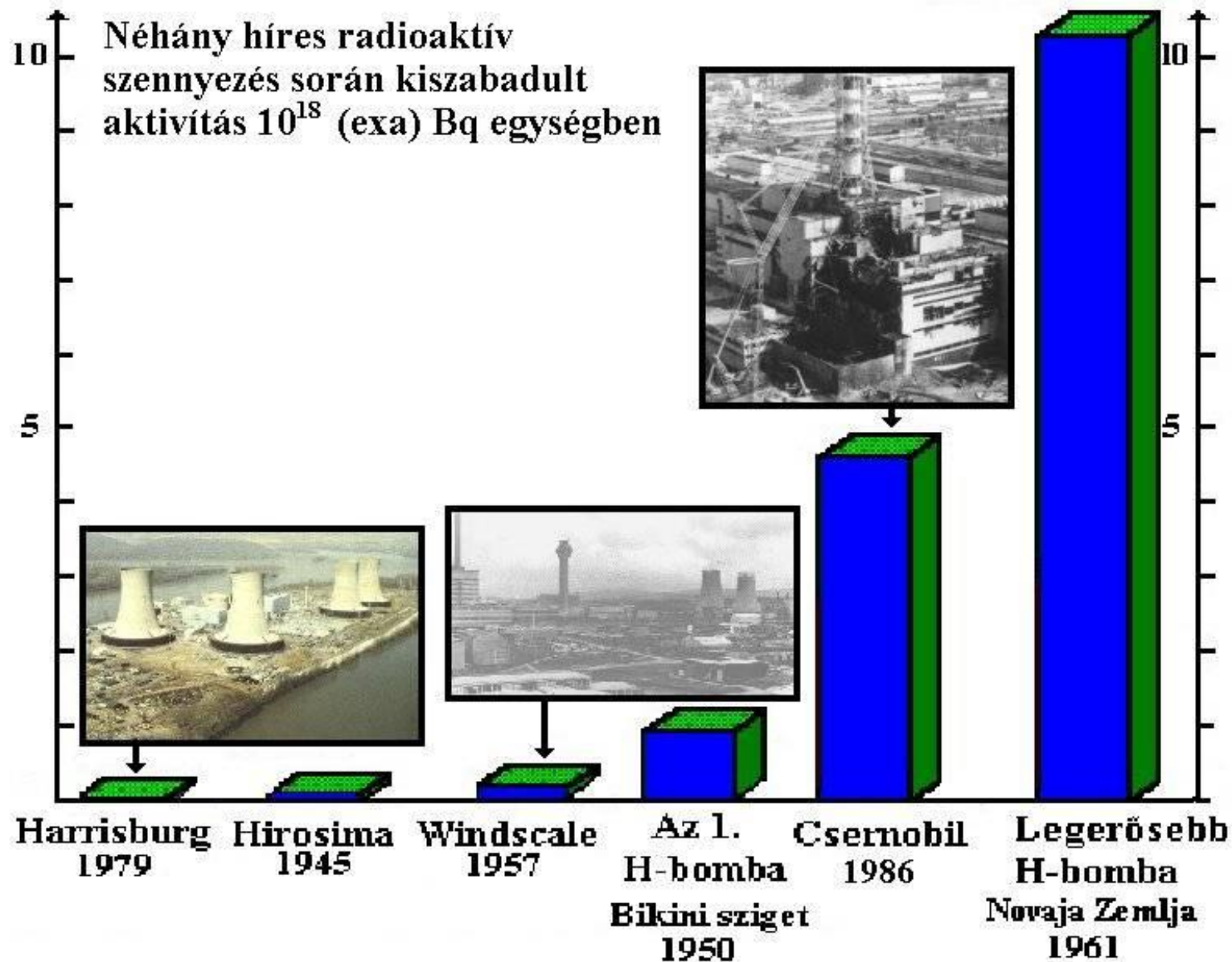
➤  $H > 55 \times Y^{0,4}$  [m],

ahol Y a töltet hatóereje [kt]

# 3. A légköri rekeszmodell



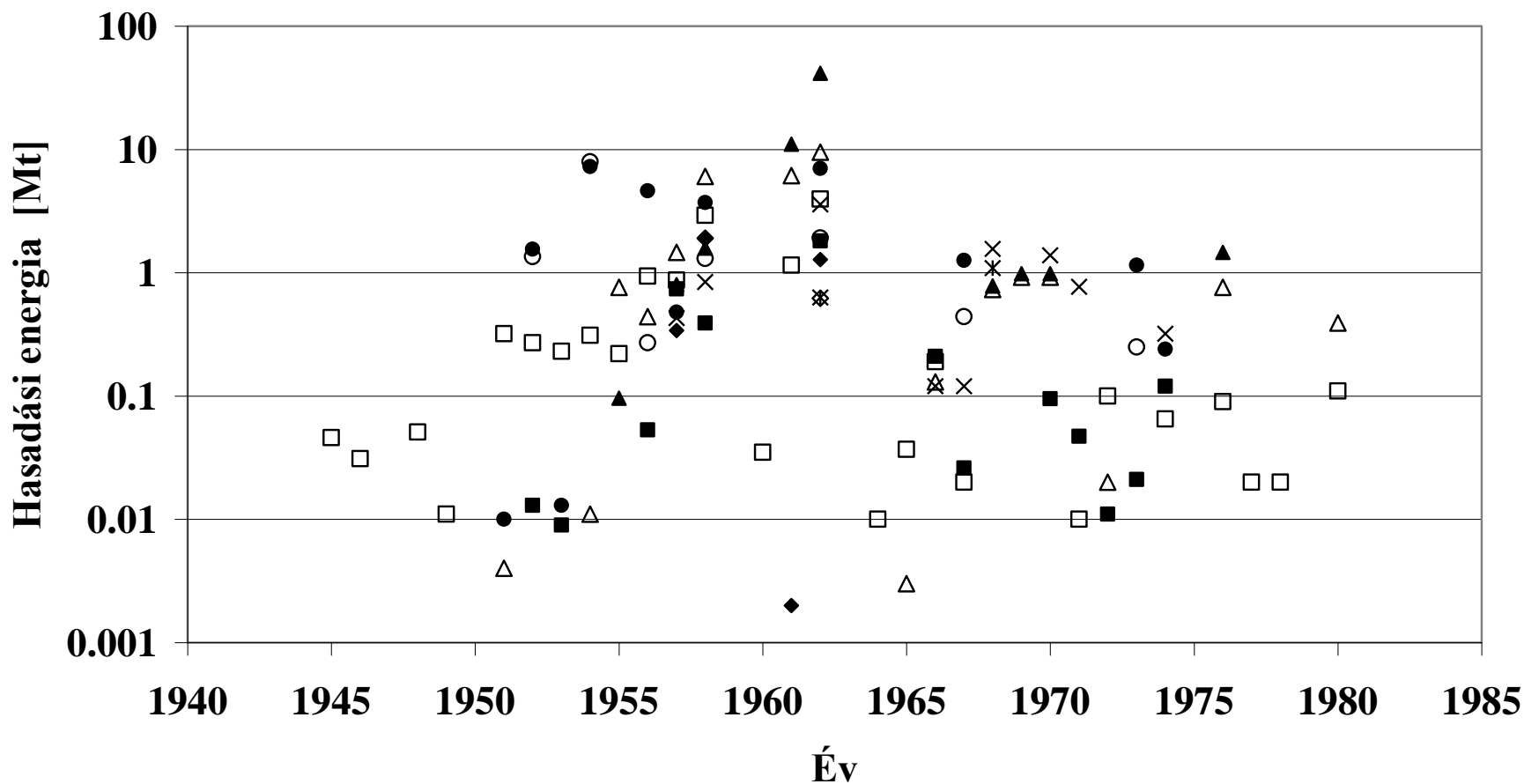




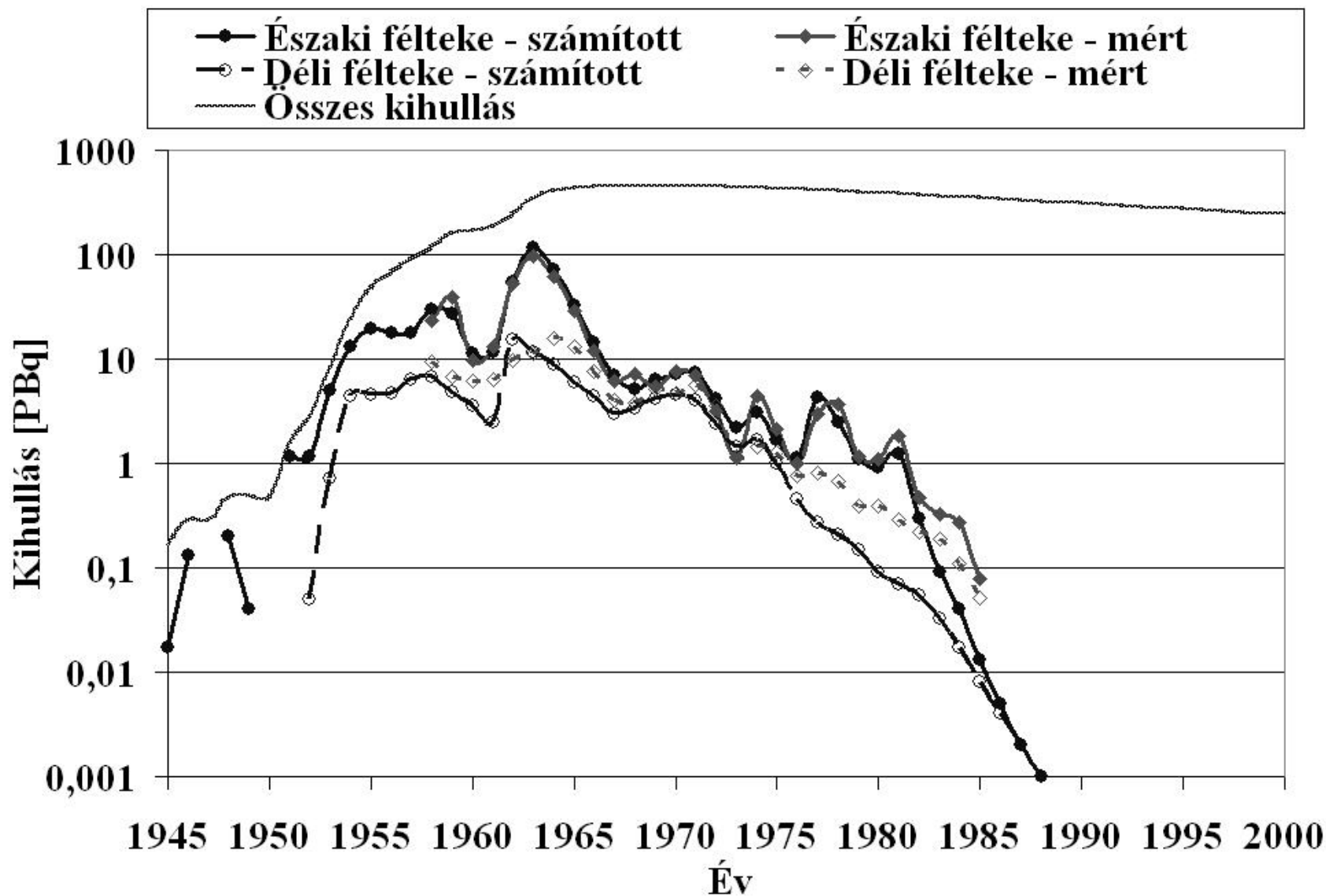


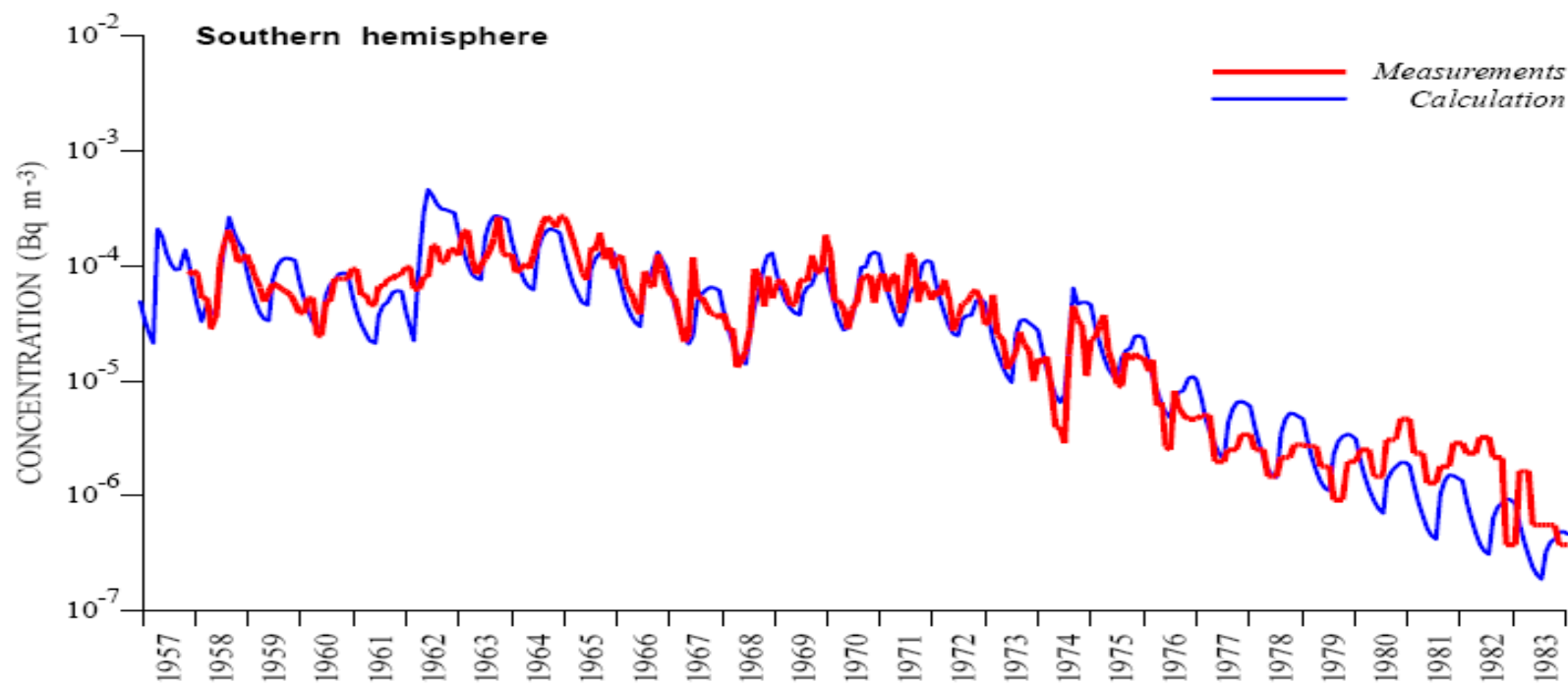
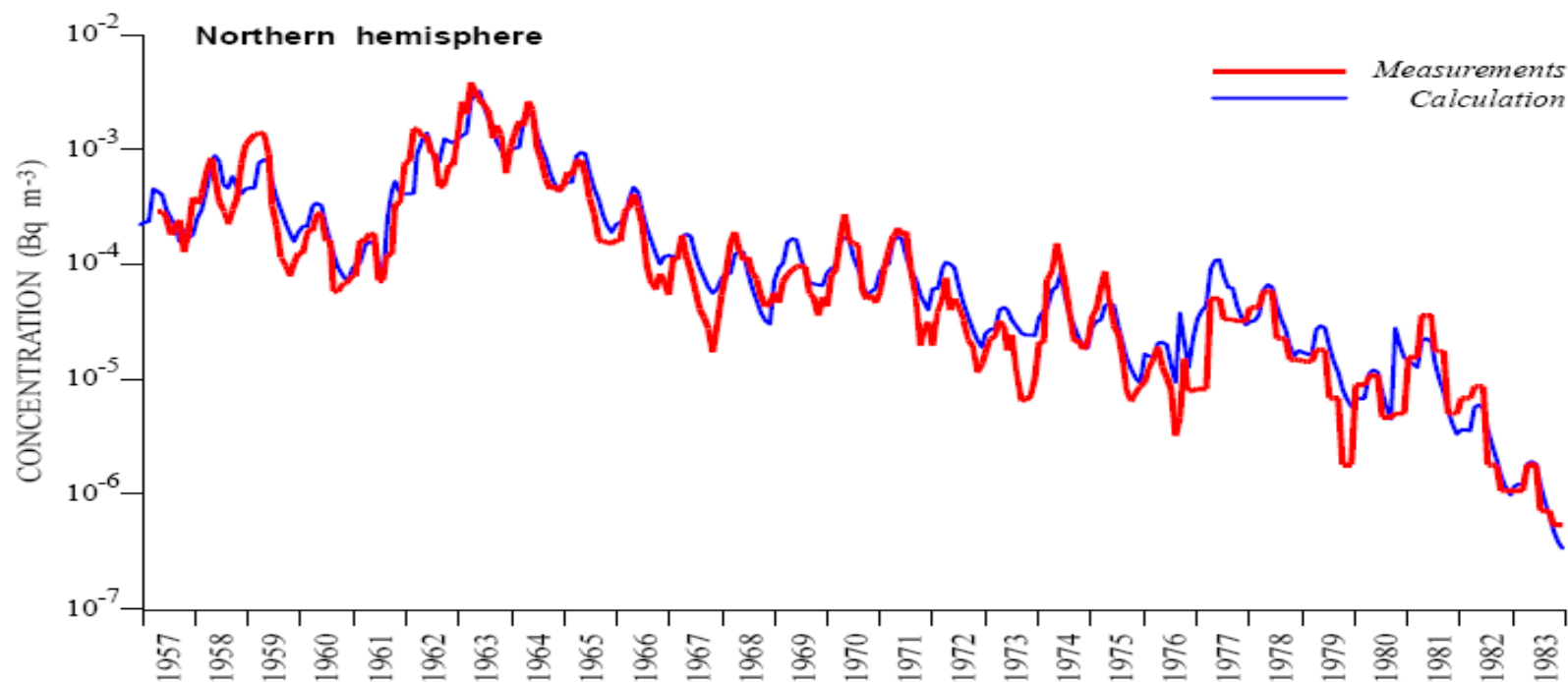
# A légkörbe jutott radioaktív anyagmennyiség évenkénti megoszlása hasadási energia (Mt)

- |  |  |                                       |
|--|--|---------------------------------------|
| ◆ Egyenlítői atmoszféra - É            | ◇ Egyenlítői atmoszféra - D            | ▲ Sarki sztratoszféra - É - felső     |
| △ Sarki sztratoszféra -É - alsó        | ○ Egyenlítői sztratoszféra - É - felső | ● Egyenlítői sztratoszféra - É - alsó |
| × Egyenlítői sztratoszféra - D - felső | × Egyenlítői sztratoszféra - D - alsó  | □ Troposzféra - É                     |
| ■ Troposzféra - D                      |  |                                       |



# Eredmények – $^{90}\text{Sr}$

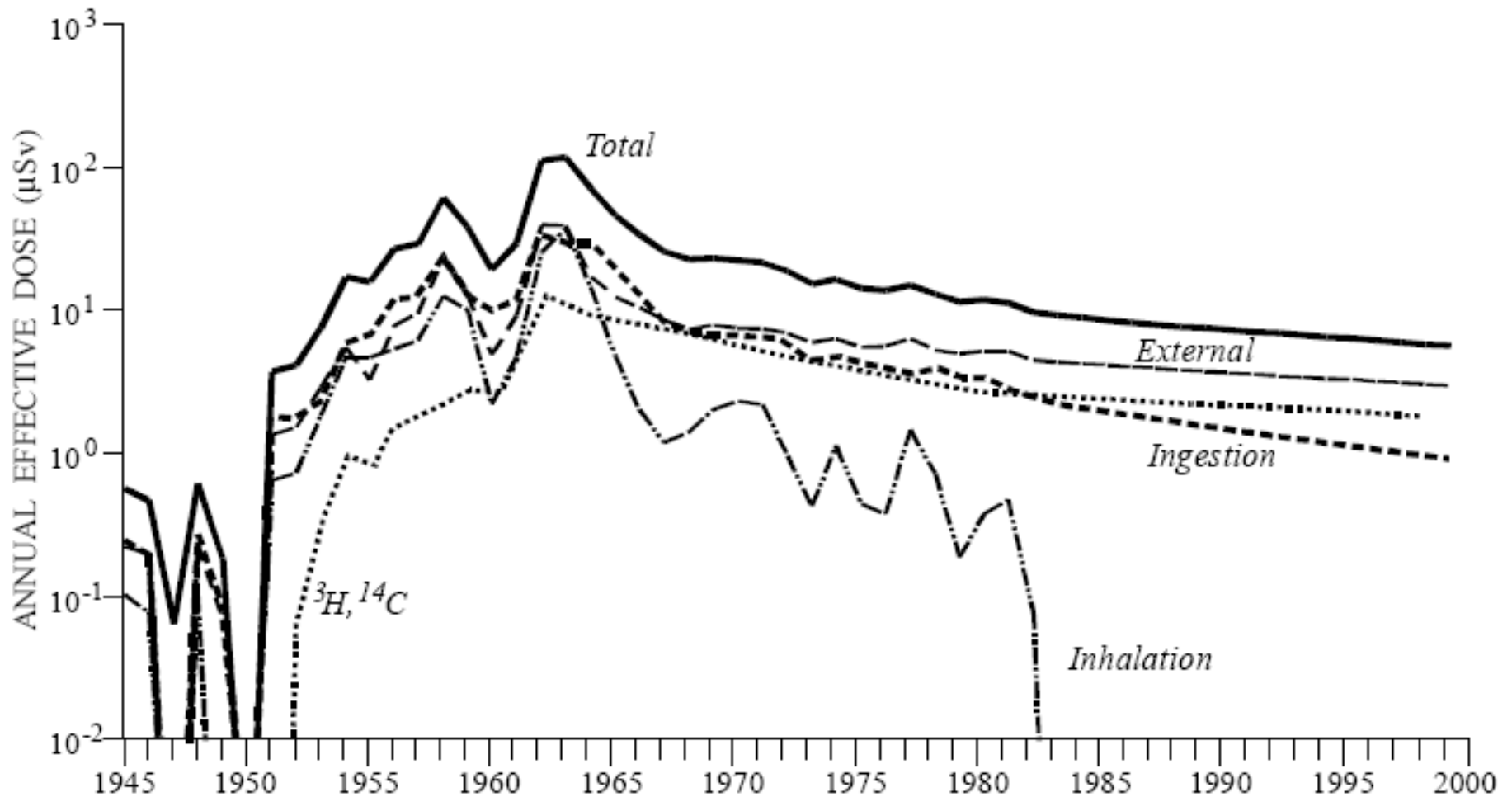






Izotóp	Fizikai felezési idő	Hasadási hozam (%)	Fajlagos kibocsátás (PBq/Mt)	Globális kibocsátás (PBq)	Összes effektív dózis világszerte		
					1945–2000		
					külső	lenyelés	belélegzés
<sup>3</sup> H	12,33 év		740	186 000		23,7	
<sup>14</sup> C	5 730 év		0,85	213		144	
<sup>54</sup> Mn	312,3 nap		15,9	3 980	19,2		
<sup>55</sup> Fe	2,73 év		6,1	1 530		6,6	0,014
<sup>89</sup> Sr	50,53 nap	3,17	730	117 000		1,9	2,56
<sup>90</sup> Sr	28,78 év	3,50	3,88	622		97	9,22
<sup>91</sup> Y	58,51 nap	3,76	748	120 000			4,07
<sup>95</sup> Zr	64,02 nap	5,07	921	148 000	81,3		2,92
<sup>103</sup> Ru	39,26 nap	5,20	1 540	247 000	12		0,93
<sup>106</sup> Ru	373,6 nap	2,44	76,0	12 200	24,5		35,2
<sup>125</sup> Sb	2,76 év	0,40	4,62	741	12,2		0,085
<sup>131</sup> I	8,02 nap	2,90	4 210	675 000	1,58	64,2	2,58
<sup>140</sup> Ba	12,75 nap	5,18	4 730	759 000	26,7	0,51	0,4
<sup>141</sup> Ce	32,50 nap	4,58	1 640	263 000	1,09		0,77
<sup>144</sup> Ce	284,9 nap	4,69	191	30 700	7,94		52,5
<sup>137</sup> Cs	30,07 év	5,57	5,90	948	166	154	0,33
<sup>239</sup> Pu	24 110 év			6,52			37,8
<sup>240</sup> Pu	6 563 év			4,35			Pu, Am
<sup>241</sup> Pu	14,35 év			142			együtt
Összesen				2,6·10 <sup>6</sup>	352	492	149

# Éves dózisterhelés alakulása



# Lokális, regionális hatások dózisrekonstrukció

WARNER F., KIRCHMANN, RENÉ J.C. (2000), *Nuclear Test Explosions: Environmental and Human Impacts*, Scope 49, Wiley, Chichester, England

1. A forrás természete (a radioaktív felhő nagysága és alakja, a felhőben lejátszódó folyamatok, a radioaktív részecskék méreteloszlása, valamint a radioaktív izotópok eloszlása a részecskék felületén és belsejében).
2. Meteorológiai jellemzők (szélesebesség magasság függése, csapadék)
3. A kihullott radioaktív izotópok eloszlása
4. A tápláléklánc jellemzői

# Példák lokális hatásokra

Terület	Érintett lakosok száma	Gyermek pajzsmirigy dózis (Gy) átlag (terjedelem)	Külső egésztest dózis (mGy) átlag (terjedelem)
USA Nevada Csendes óceán (Bravo teszt)	180 000 64 (Rongelap)	0,66 (0,2 - 1,9) 50 (1 – 200)	8 (1-130) 1900
Szovjetunió Szemipalatyinszk (első teszt) (1954-1962)	Veszelojarszk 906 (Dolon)	28 ~2(átlag belső)	200 (60 – 300) ~2000
UK Ausztrália (Antler teszt 1)	~100 (Emu)	-	0,05-0,37

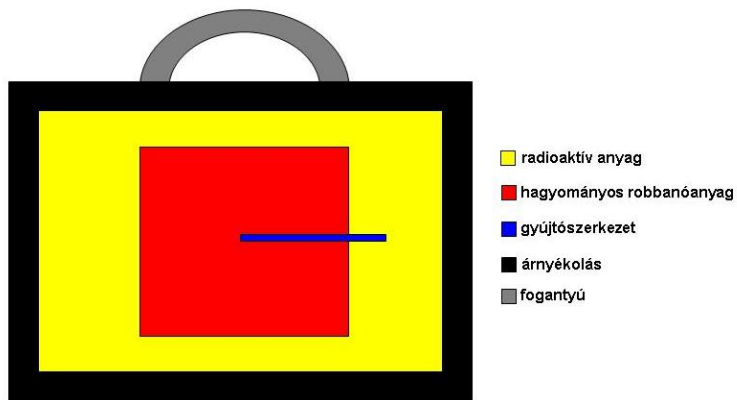


# Radiológiai fegyverek ( RW - „piszkos bombák”), Radiológiai diszpergáló eszközök (RDE)

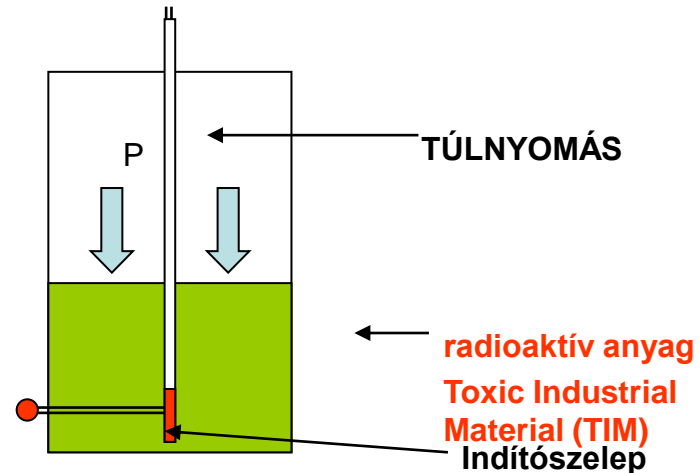
## Miről is van szó?

Radioaktív anyagok szándékos kihelyezése, szétszórása

Radiológiai robbantó eszköz



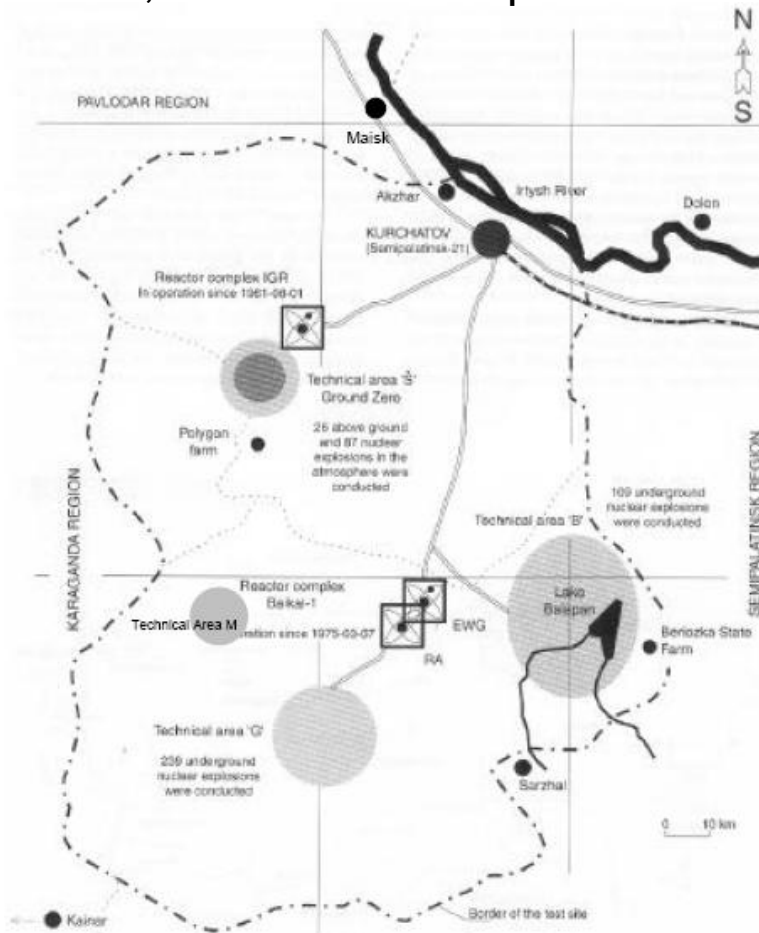
Radiológiai porlasztó eszköz



# RADIOLÓGIAI FEGYVEREK

## “Dirty bombs”

Pu, Am and Sr isotopes

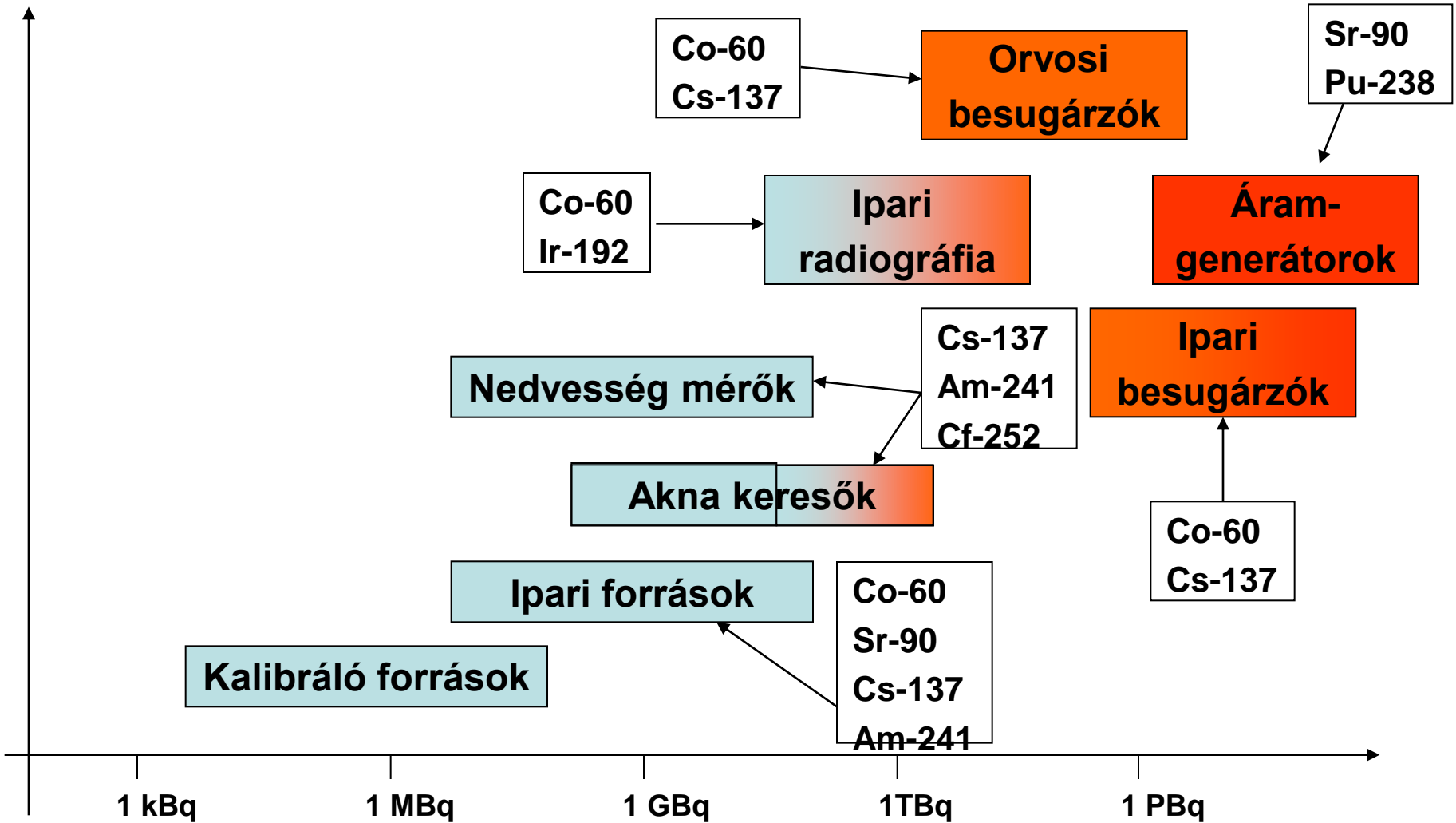


**Semipalatinsk, 1953-1959**

# Miért veszélyesek?

- Egyszerűen elkészíthetők
  - megfelelő könnyen „beszerezhető”  
pl.: számos nagy aktivitású sugárforrás van használatban, melyek közül sokat már nem használnak vagy nincs meg.
- Súlyos rövid- és hosszú távú hatások
  - Radiológiai balesetek és eddigi próbálkozások tapasztalatai

# Kereskedelmi radioaktív források (IAEA, 2001)



# Radioizotópos áramgenerátorok

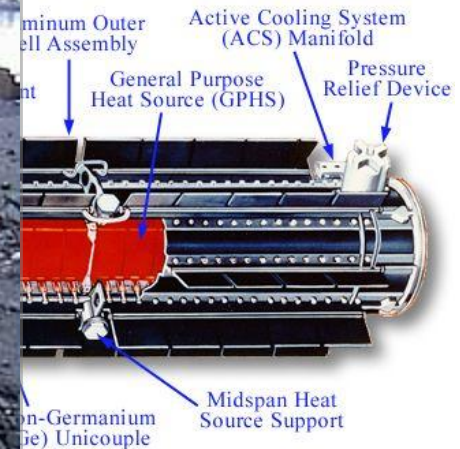
## Radiológiai Hőelektromos Generátorok (RTG)

**Sr-90**



**Pu-238**

**GPHS-RTG**



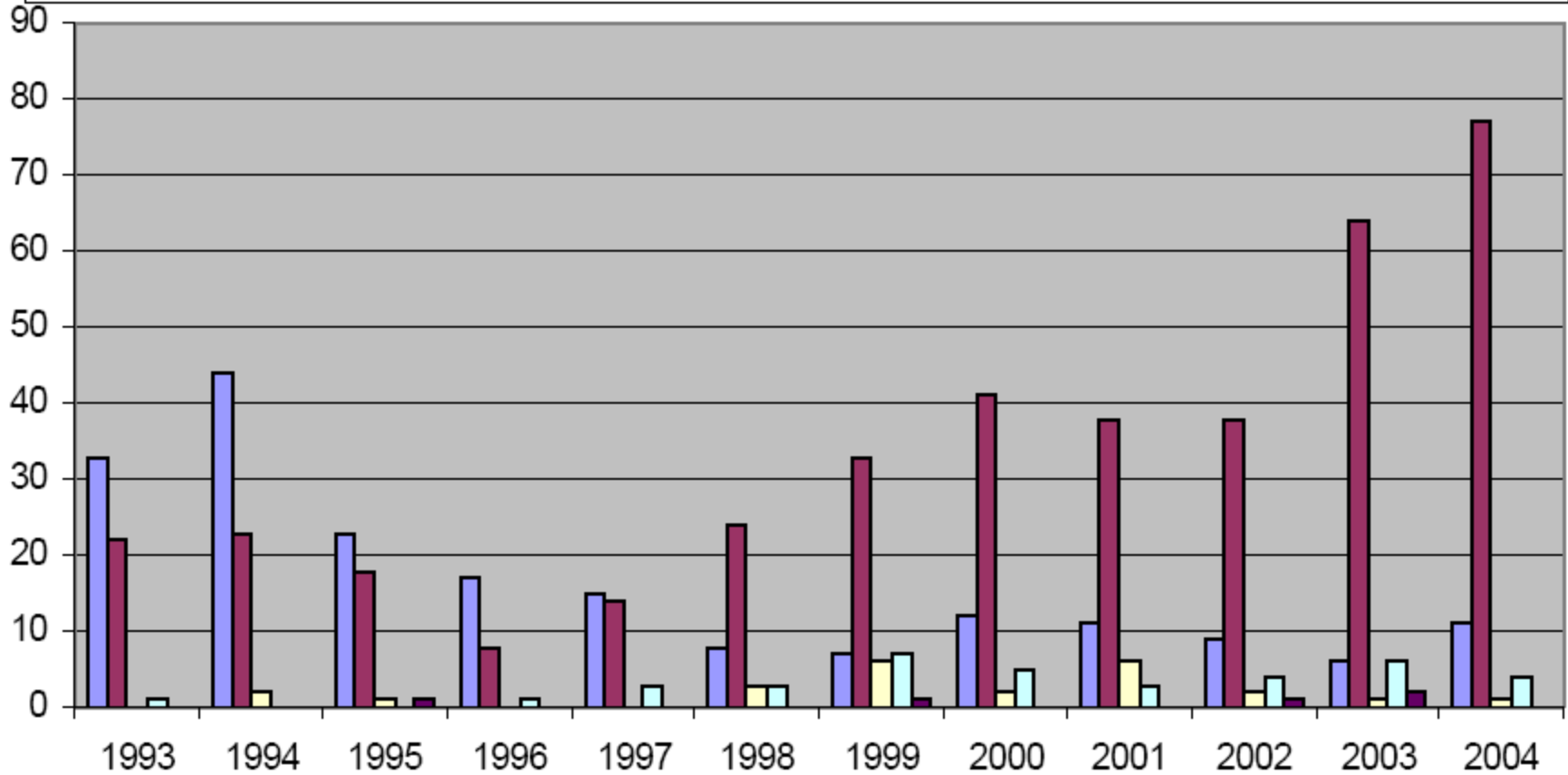
zezer PBq  $^{238}\text{Pu}$ )

Orosz RTG : 100-500 kCi

= 3.7 – 15 TBq  $^{90}\text{Sr}$

## Illicit trafficking 1993 – 2004 (IAEA ITDB)

- Nukleáris anyag
- Nukleáris és radioaktív anyag
- Egyéb
- Radioaktív anyag
- Sugárszennyezett anyag



# Valós félelem?

1995 November, Moszkva, Izmailovszky park  
Csecsenek: Cs-137-tartalmú zacskó



# Potenciális helyszínek





# Porlasztás áruházban

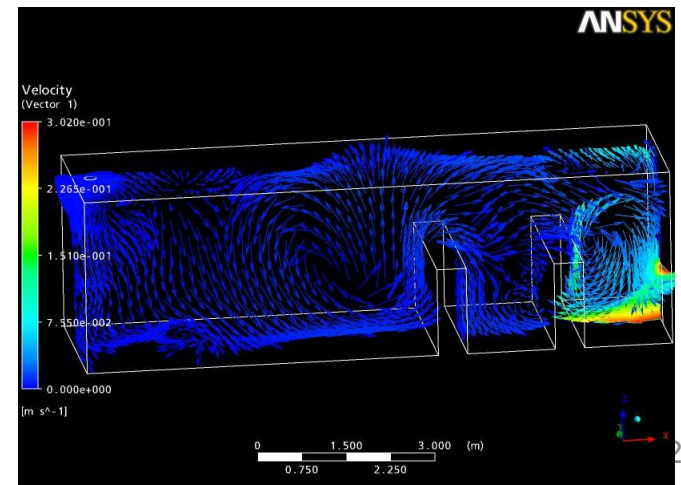
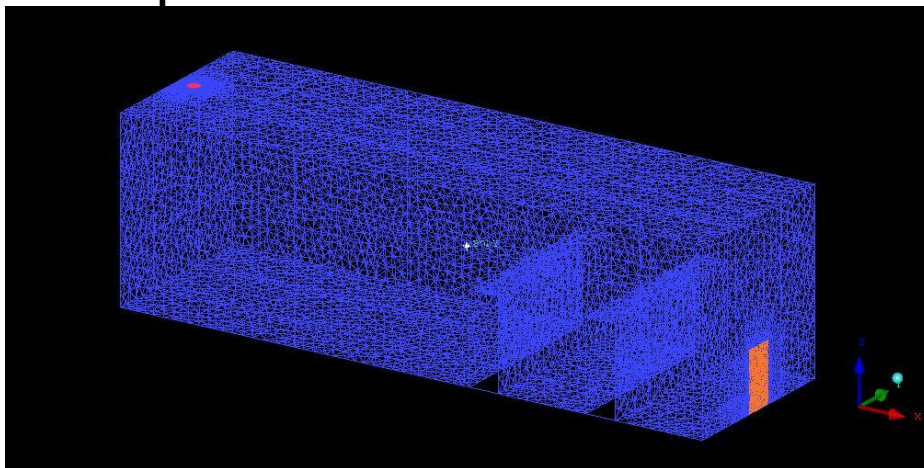
CORA  
(Törökbálint  
)



# Porlasztás áruházban

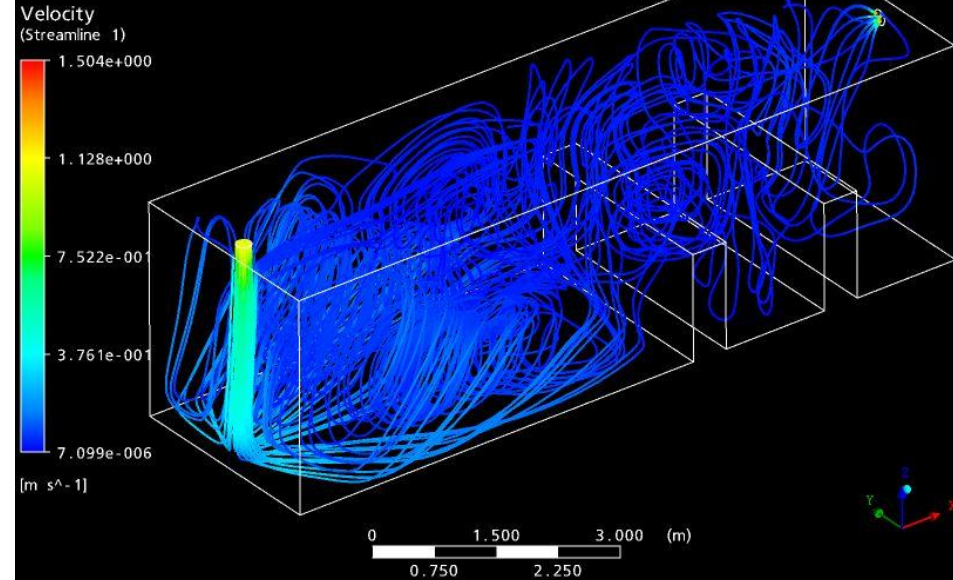
- Kvalitatív vizsgálat 3D áramlástanival kóddal (forrás: Petőfi Gábor, PhD )

- Részecskeméret
- Befúvás elhelyezése
- Befúvási nyílás mérete
- Kilépés hatása
- Polcok hatása
- Geometriai modellek vizsgálata



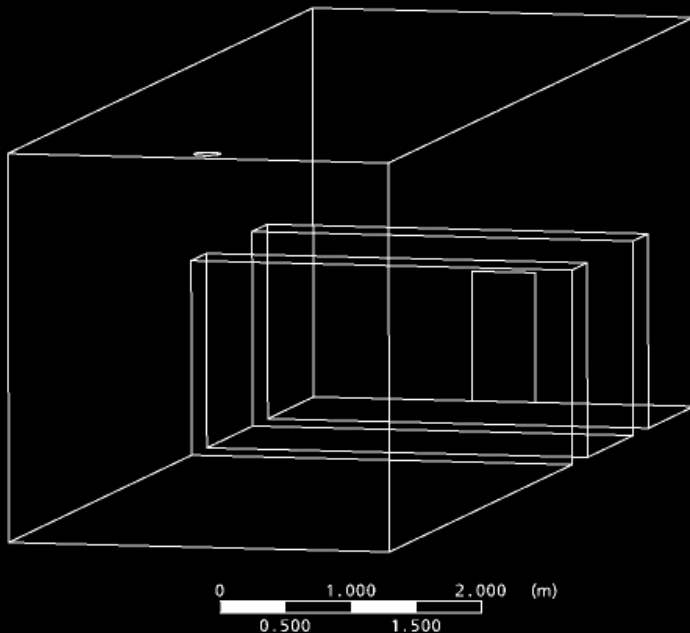
# Eredmények

- Geometria és a szemecse méret jelentősen befolyásolja az áramlást, így az ülepedést
- Befújás iránya alapvetően megváltoztatja a sebességmezőt



t = 0 [s]

ANSYS



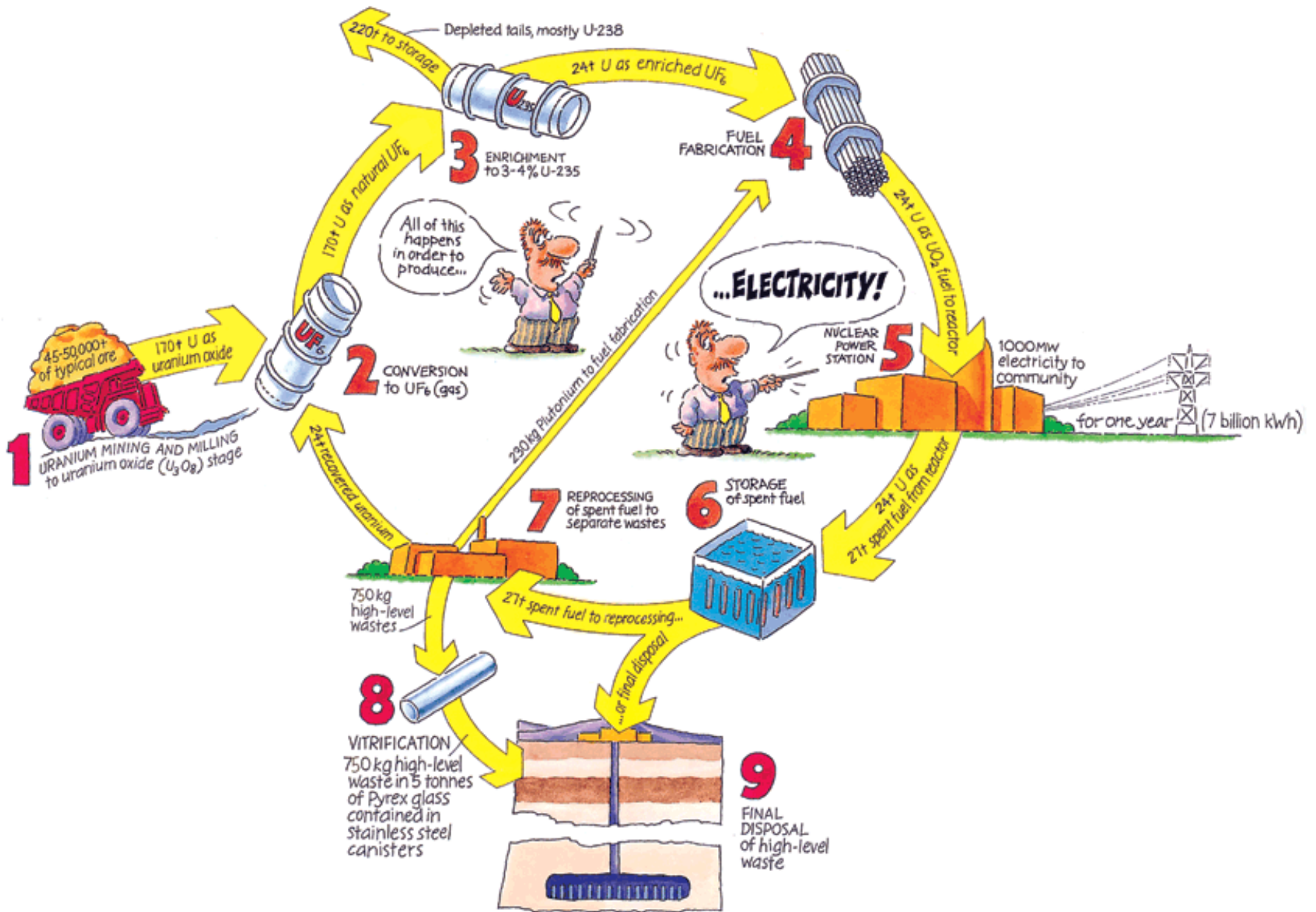
- Kilépés kevésbé befolyásolja az áramlási képet
- Megfelelően tervezett szellőző berendezésnél hamar egyenletes eloszlás alakul ki

# Hatások

- Robbantás vagy porlasztás: (jelentős) determinisztikus hatásokkal nem kell számolni
- A direkt besugárzás okozza a legjelentősebb terhelést
- Legfontosabb feladatok:
  - 1. Felderítés, értékelés (felmérés)
  - 2. Hiteles tájékoztatás
  - 3. A terület lezárása, kimenekítés
  - 4. Szennyezett személyek gyülekeztetése, szennyezett ruházat begyűjtése, fürdetés (személyi mentesítés)
  - 5. **Orvosi ellátás, (sérülések, pszichiáterek)**
  - 6. Terület mentesítése
  - 7. A médiahatás kezelése
  - 8. **Tömegpszichózis és hipochondria kezelése**

Esetenként a 7 és 8-as pontok a legsúlyosabbak

# A nukleáris üzemanyag-ciklus környezeti sugárzási következményei



# Bányászat, ércfeldolgozás

Globálisan kibányászott urán [ezer t]

1997 ⇒ 35,7

2007 ⇒ 41

2010 ⇒ 53,7

1. Kazahsztán

2. Kanada,

3. Ausztrália



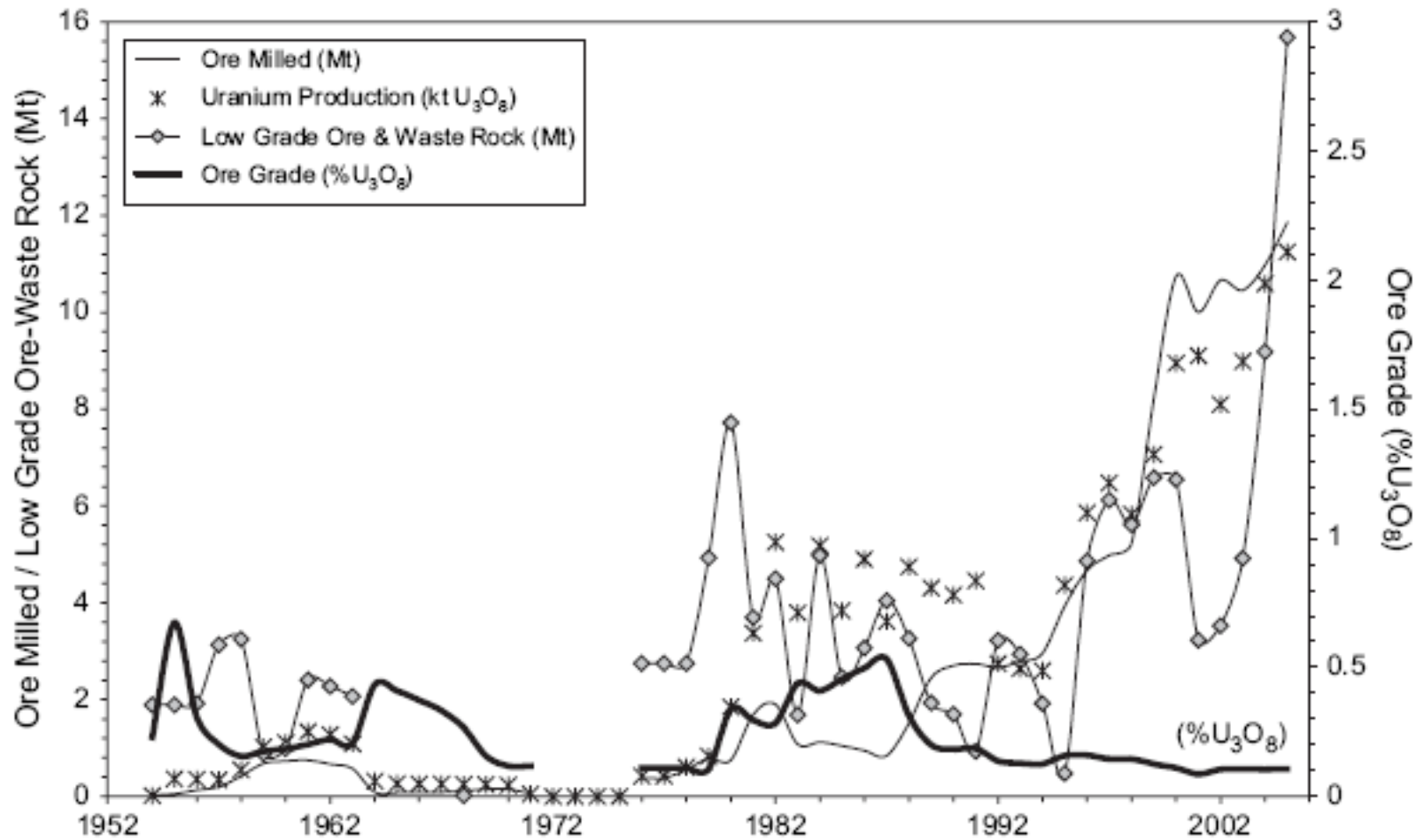


Fig. 2. Annual Australian uranium production statistics 1954–2005.



# 1 t $U_3O_8$ előállítása

## $^{222}Rn$ kibocsátása

Tevékenység	$^{222}Rn$ [GBq]	(1 GW – 250 t) [TBq/(GW·év)]
érc kitermelése	300	75
érc feldolgozása	13	3
Meddőhányó (1 ha/(GW·év))		
Aktív		3
Lezárt		1

UNSCEAR -  $K = (9 \text{ nSv/ (Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}))$

4000 t/év



100 km

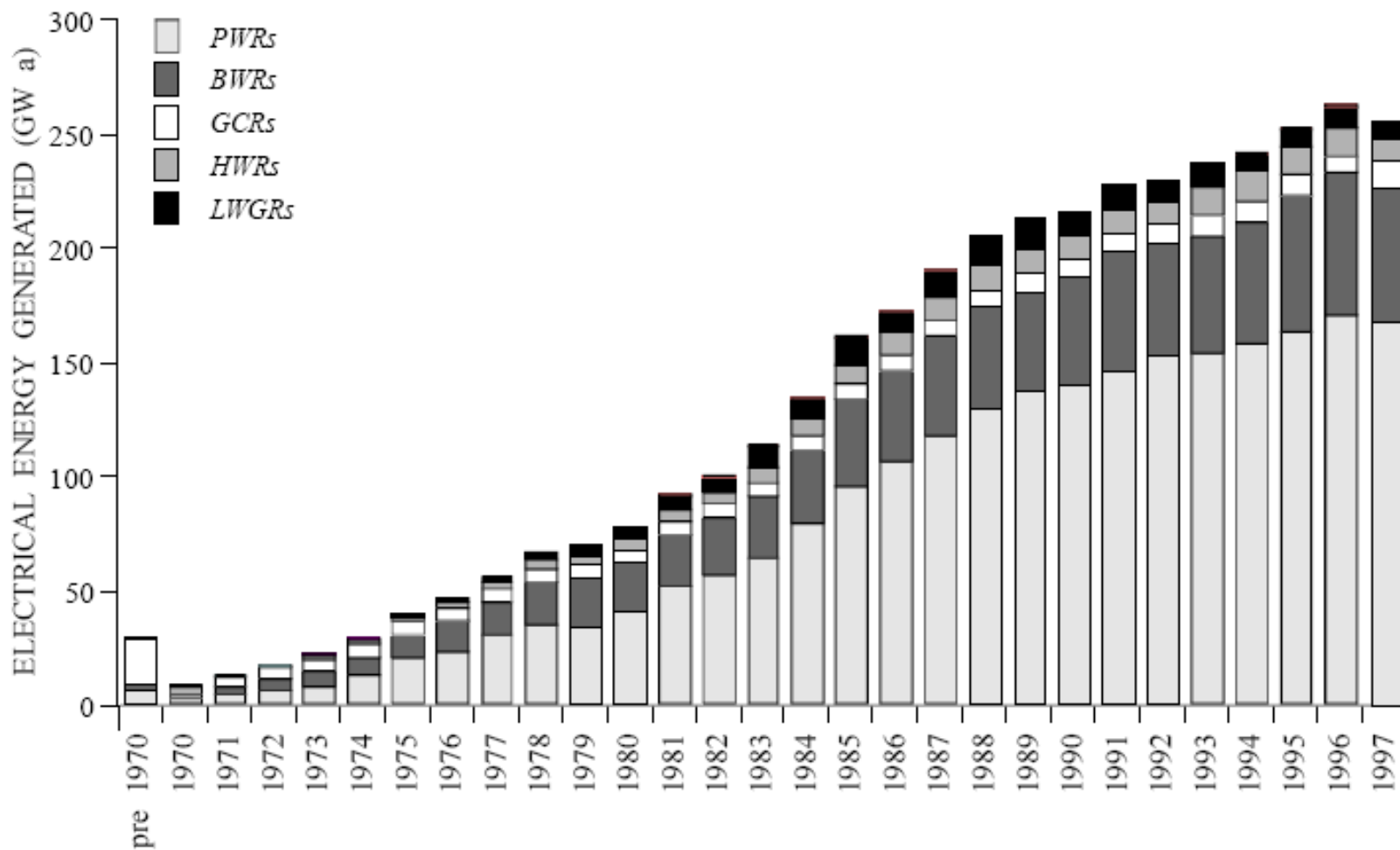
Népsűrűség:  $3 / \text{km}^2$

*éves effektív dózisterhelés  $40 \mu\text{Sv/fő}$*

M.o.: 1958-1997: 21 kt urán (46 Mt közet)

Környéken:  $10\text{-}100 \mu\text{Sv/év/fő}$

# Atomerőművek normál üzeme



# Átlagos kibocsátások

## 1995–97-es évek adatai (TBq/(GW·év))

	PWR	BWR	HWR	GCR	LWGR	FBR
Megtermelt átlagos energia (GWév)	166,3	50,6	11,6	8,4	9,4	0,5
Kapacitás (GWév)	224,1	72,9	19,8	13,9	15	2,4
Nemesgázok	13	180	250	1200	460	210
<sup>3</sup> H (légnemű)	2,4	0,86	330	3,9	26	49*
<sup>14</sup> C	0,22	0,51	1,6	1,4	1,3*	0,12*
<sup>131</sup> I	0,0002	0,0003	0,00011	0,0004	0,007	0,0002
Korróziós és hasadási termékek aeroszolban	0,0001	0,35	0,00005	0,0002	0,008	0,001
<sup>3</sup> H (folyékony)	19	0,87	340	280	11*	1,7
Egyéb folyékony	0,008	0,011	0,044	0,70	0,006	0,023

# Egyéni dózisek

UNSCEAR-modell: kollektív dóziskonverziós tényezők

1-50 km                      400 fő/km<sup>2</sup>

50-2000 km                20 fő/km<sup>2</sup>

Visszaszámolva 50 km-ig:

PWR, GCR                5  $\mu$ Sv/év

BWR, HWR                10  $\mu$ Sv/év

LWGR                    2  $\mu$ Sv/év

FBR                        0.04  $\mu$ Sv/év

Erősen felülbecsült értékek

# Európa - légnemű

EUROPEAN COMMISSION (2008), *Implied doses to the population of the EU arising from reported discharges from EU nuclear power stations and reprocessing sites in the years 1997 to 2004.*

Radiation Protection No. 153., DG TREN- Directorate H – Nuclear Energy Unit H.4 – Radiation Protection.

**Table 5 Range of doses received by members of representative critical groups living 500 m from operating nuclear power stations ( $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ) as a result of reported atmospheric discharges**

Percentile	1996	1997	1999	2002	2004
50th	$8.6 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$5.5 \cdot 10^{-1}$	$6.1 \cdot 10^{-1}$
75th	$5.6 \cdot 10^{-1}$	$8.0 \cdot 10^{-1}$	$4.5 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{+0}$	$1.4 \cdot 10^{+0}$
90th	$1.8 \cdot 10^{+1}$	$1.8 \cdot 10^{+1}$	$1.4 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$
Max	$1.2 \cdot 10^{+2}$	$1.2 \cdot 10^{+2}$	$1.4 \cdot 10^{+2}$	$7.0 \cdot 10^{+1}$	$4.0 \cdot 10^{+1}$

**Table 6 Range of doses received by members of representative critical groups living 5000 m from operating nuclear power stations ( $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ) as a result of reported atmospheric discharges**

Percentile	1996	1997	1999	2002	2004
50th	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$3.3 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
75th	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$2.5 \cdot 10^{-1}$	$2.4 \cdot 10^{-1}$
90th	$1.2 \cdot 10^{+0}$	$1.0 \cdot 10^{+0}$	$6.9 \cdot 10^{-1}$	$6.7 \cdot 10^{-1}$	$6.3 \cdot 10^{-1}$
max	$7.5 \cdot 10^{+0}$	$5.6 \cdot 10^{+0}$	$6.8 \cdot 10^{+0}$	$3.3 \cdot 10^{+0}$	$2.0 \cdot 10^{+0}$

2004-es légnemű adatok alapján [ $\mu\text{Sv}/\text{év}$ ]:

PC CREAM 98	500 m	5 km
PWR	0,6	0,1
	$1,8 \cdot 10^{-4} - 2,2$	$5 \cdot 10^{-5} - 0,34$
BWR	0,28	0,1
	$3 \cdot 10^{-5} - 1,8$	$1 \cdot 10^{-5} - 0,54$

# Folyékony kibocsátások

<b>Table 7 Estimated adult critical group individual doses for each river (<math>\mu\text{Sv y}^{-1}</math>)</b>				
	<b>1997</b>	<b>1999</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>
Danube	$1.0 \cdot 10^{-1}$	$1.2 \cdot 10^{-1}$	$1.2 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
Elbe	$6.2 \cdot 10^{-4}$	$6.2 \cdot 10^{-4}$	$9.2 \cdot 10^{-4}$	$3.8 \cdot 10^{-4}$
Ems	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$2.9 \cdot 10^{-3}$
Ebro	$3.8 \cdot 10^{-1}$	$2.9 \cdot 10^{-1}$	$1.8 \cdot 10^{-1}$	$3.7 \cdot 10^{-1}$
Gironde	$1.3 \cdot 10^{-1}$	$9.8 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$1.3 \cdot 10^{-1}$
Jucar	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$
Loire	$3.3 \cdot 10^{-1}$	$4.4 \cdot 10^{-1}$	$3.8 \cdot 10^0$	$4.8 \cdot 10^0$
Meuse	$5.3 \cdot 10^{-1}$	$3.3 \cdot 10^{-1}$	$4.9 \cdot 10^{-1}$	$8.1 \cdot 10^{-1}$
Rhine	$3.3 \cdot 10^{-1}$	$3.3 \cdot 10^{-1}$	$1.3 \cdot 10^0$	$1.1 \cdot 10^0$
Rhone	$6.3 \cdot 10^{-1}$	$3.6 \cdot 10^{-1}$	$4.7 \cdot 10^{-1}$	$5.4 \cdot 10^{-1}$
Seine	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$1.0 \cdot 10^{-1}$	$2.7 \cdot 10^{-1}$	$1.9 \cdot 10^{-1}$
Tajo	$4.2 \cdot 10^{-1}$	$2.9 \cdot 10^{-1}$	$2.4 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$
Trawsfynydd*	$2.1 \cdot 10^1$	$1.7 \cdot 10^1$	$6.5 \cdot 10^0$	$6.3 \cdot 10^0$
Weser	$7.4 \cdot 10^{-3}$	$9.7 \cdot 10^{-3}$	$7.0 \cdot 10^{-3}$	$6.1 \cdot 10^{-3}$

\* At this site discharges occur into a lake which has a very low flow rate compared to most rivers and this leads to a significant build-up of radionuclides such as  $^{137}\text{Cs}$  in fish.



# Összes

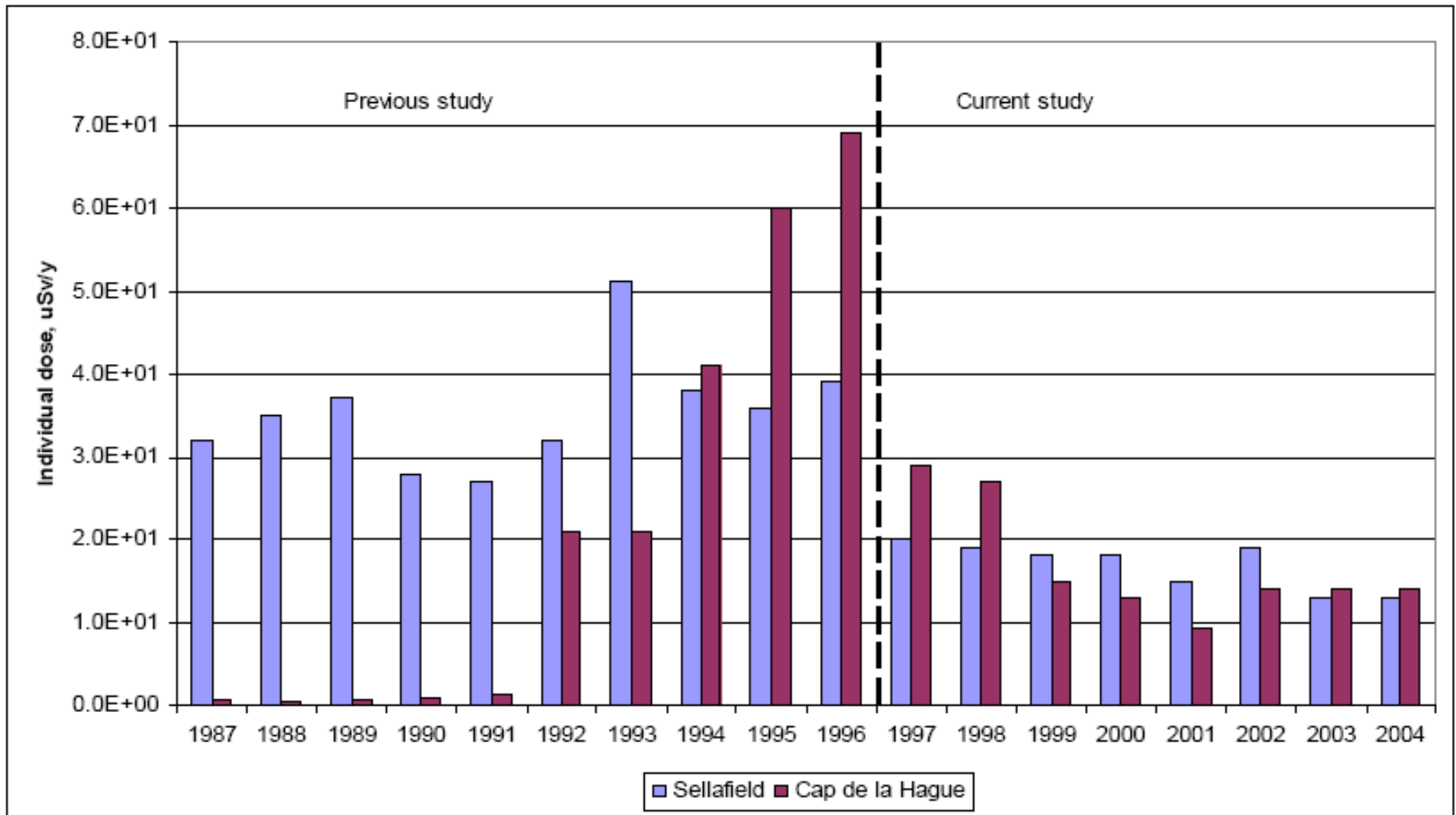
EU 2004:  $0,6 + 0,1$  (Duna)  $\sim 0,7$

Paks 2004-óta  $0,052-0,058$   $\mu\text{Sv}/\text{év}$

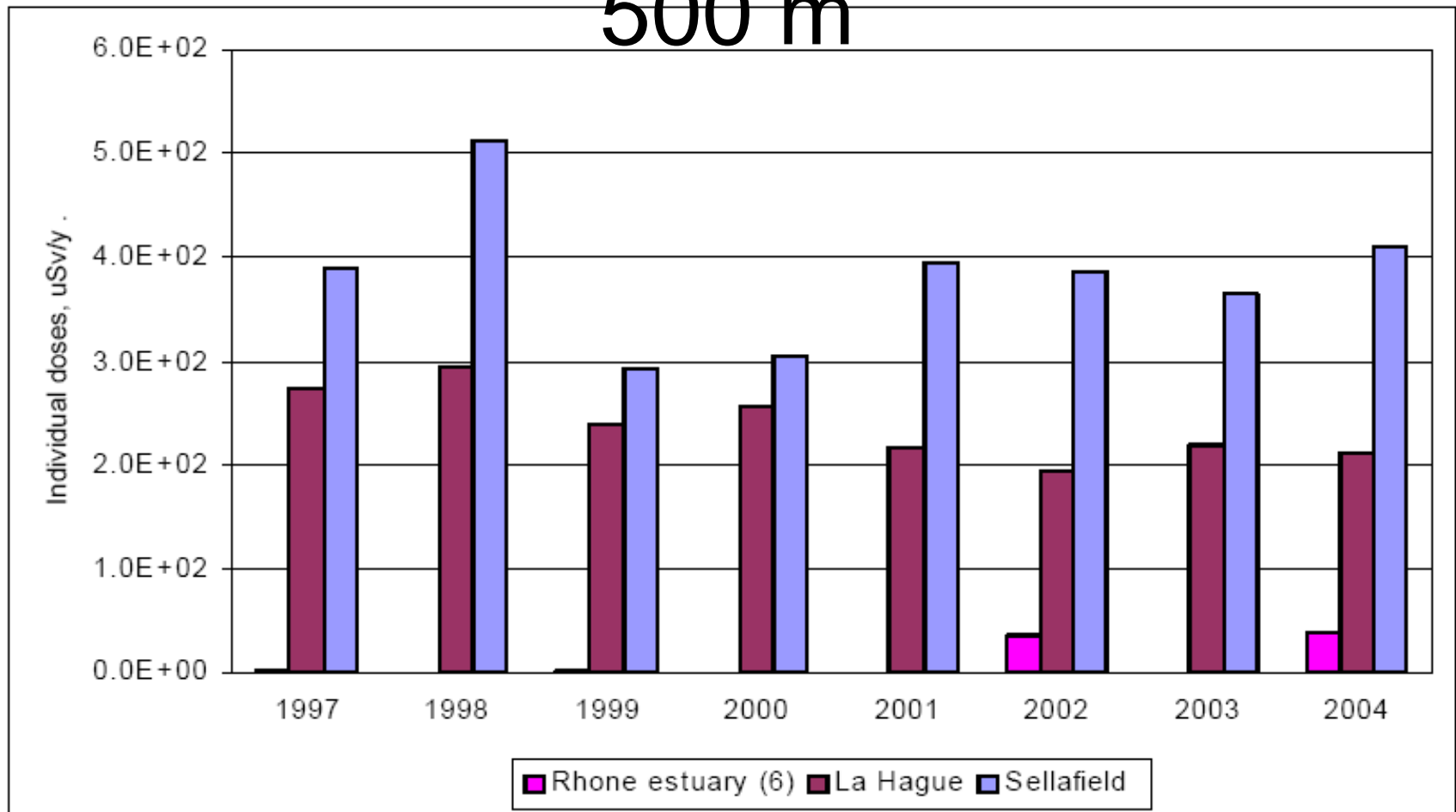
# Reprocesszáló üzemek 1995–1997 ; 160 GWév

Légnemű kibocsátások						
	$^3\text{H}$	$^{14}\text{C}$	$^{85}\text{Kr}$	$^{129}\text{I}$	$^{131}\text{I}$	$^{137}\text{Cs}$
Normált kibocsátás ( $\text{TBq}\cdot(\text{GW}\cdot\text{év})^{-1}$ )	9,6	0,3	6900	0,006	0,00005	0,0001
Folyékony kibocsátások						
	$^3\text{H}$	$^{14}\text{C}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{106}\text{Ru}$	$^{129}\text{I}$	$^{137}\text{Cs}$
Normált kibocsátás ( $\text{TBq}\cdot(\text{GW}\cdot\text{év})^{-1}$ )	255	0,4	0,8	0,5	0,04	0,2

# Reprocesszáló üzemek -légnemű 500 m



# Reprocesszáló üzemek -folyékony 500 m



Átlag: 80-as évek  
1997-2004

200-500  $\mu\text{Sv/fő/év}$   
5-8  $\mu\text{Sv/fő/év}$

# Globális hatások

Izotóp	Kibocsátás (PBq) 1970 - 1997-ig			Átlagos évi lekötött effektív dózis (nSv/fő)
	Reaktorok	Reprocesszálás	Teljes	
$^3\text{H}$	~270	~170	~440	~1
$^{14}\text{C}$	~2	~1	~3	~4
$^{85}\text{Kr}$	-	~3200	~3200	~10
$^{129}\text{I}$	-	~0,015	~0,015	~1
Összesen:				~16

# A lakosságot érő ionizáló sugárzások okozta éves dózisok világszerte

Forrás	Éves egyéni effektív dózis (mSv)	Tipikus terjedeleme	Megjegyzés
Természetes	2,4	1–10	A dózis a magasság és a geológiai környezet függvénye
Orvosi diagnosztika (terápia nélkül)	0,6	0,03–20	Nagyban függ az egészségügyi ellátás színvonalától
Légköri atomfegyver kísérletek globális hatású kibocsátása	0,005	1963-ban: 0,11, azóta csökken	Az egykori tesztek helyén elérheti a néhány mSv-t
Csernobili baleset	Globális hatás: 0,002	1986-ban az északi féltekén: 0,04	~ 300000 likvidátor kapott 150 mSv-t; ~350000 egyén kapott > 10 mSv-t.
Nukleáris üzemanyagciklus	Globális hatás: 0,00002	északi féltekén néhányszorosa	kritikus csoport tagjaira elérheti a 0,02 – 0,04 mSv-t; Egyes volt uránbányák környezetében néhány mSv.
Teljes mesterséges	~0,6	0–20	Elsősorban az orvosi sugárterheléstől, az egykori teszt és baleseti helyszínek közelségétől függ