Dozimetrija in varstvo pred ionizirajočim sevanjem

(večina podatkov, slike: mag. Bogdan Pucelj, IJS)

sevanje:
α, β, γ;
drugi ionizirajoči delci (p, n)
vse vrste nevarne za zdravje ljudi;

<u>Aktivnost (določenega vira sevanja):</u>
št. razpadov radioaktivnega vzorca / s
$\rightarrow$ **Bq** (becquerel = s^{-1})

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(t) = \lambda N(t)$$

$$A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

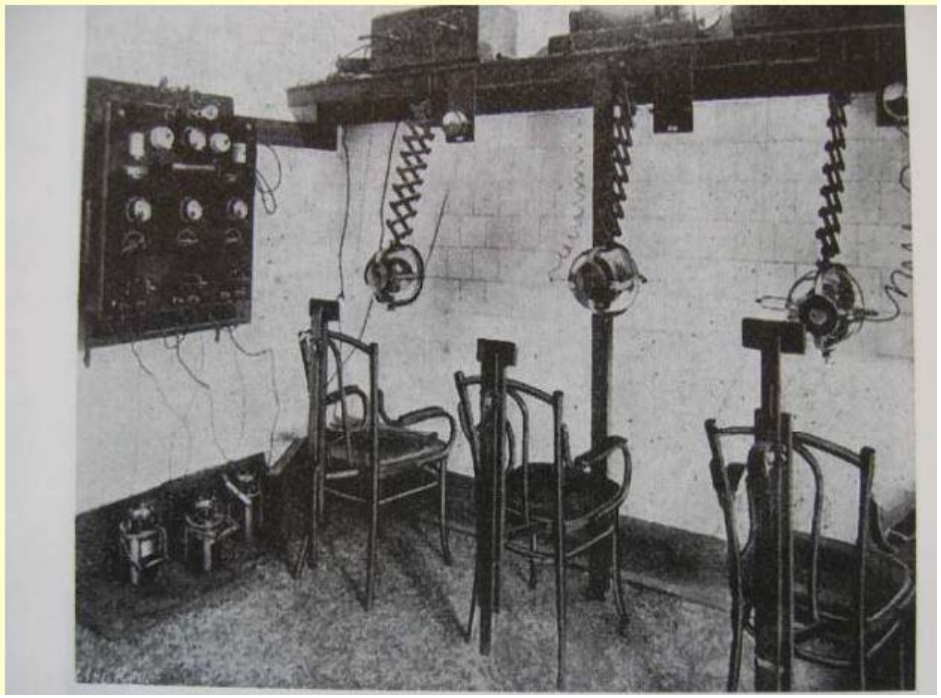
stara enota Ci (curie); začetna aktivnost 1g ^{226}Ra
($T_{1/2}$=1600 let), *A(0)*= $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq

Aktivnosti, ki so tretirane kot izvor, ki „lahko povzroči resne deterministične posledice“ (kaj so deterministične posledice v nadaljevanju):
^{241}Am: $6 \cdot 10^{10}$ Bq; ^{137}Cs: 10^{11} Bq;

Zgodovina:

W.C. Röntgen, rentgenski žarki 1895
(Nobelova nagrada za fiziko 1901)

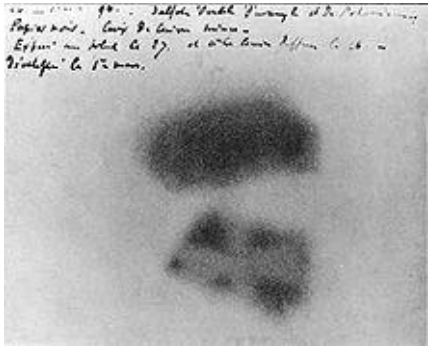
preiskave in terapija z rentgenom, okoli l. 1900



Zgodovina:

H. Becquerel, naravna radioaktivnost 1896

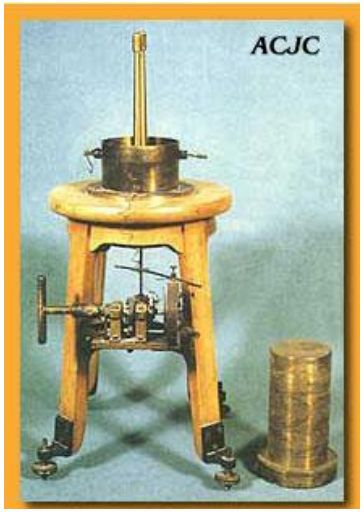
M. Curie Sklodowska, ^{210}Po, ^{226}Ra, 1898



fotografska plošča, ki jo je Becquerel „osvetlil“ z uranovo soljo (fosforescenca)

Nobelova nagrada za fiziko 1903 (skupaj s P. Curie-jem; M. Curie Sklodowska prva ženska z Nobelovo nagrado; 1911 prejela še Nobelovo nagrado za kemijo)

„Radonova“ voda



elektrometer, s katerim sta poskuse izvajala Pierre in Marie Curie

ohlajevalnik vode z Ra in U (ki razpadata v Rn)
„sveža voda vsako jutro“

Zgodovina:

„Radijeva dekleta“, 1917 ->

E. Fermi, O. Hahn, L. Meitner, ….,
razcep jeder, posebej ^{235}U, 1930-ta

prvi umetni reaktor, projekt Manhattan, 1942

Učinki sevanja so predvsem odvisni od energije, ki ga ionizirajoči delci pustijo v snovi

Absorbirana doza (D):

količina energije, ki jo sevanje deponira v snovi na enoto mase;

$D = E / m$;

J/kg = **Gy** (gray)

fizikalna količina,
ne govori o morebitnih
bioloških učinkih sevanja

Pogosto govorimo o hitrosti doze, torej prejeti dozi na enoto časa;

dD/dt, Gy / h

Ekvivalentna doza (H):

upošteva specifiko vrste ionizirajočega sevanja;

$H = \sum_i w_i D_i$

Sv (sievert, = J/kg)

w_i: utežni faktor

vrsta	w_i
β, γ	1
α	20
p	5
n	5-20

tudi tu hitrost doze, Sv / h

Efektivna doza (E):

upošteva občutljivost določenega tkiva;

$E = \sum_i k_i H_i = \sum_i k_i \sum_j w_j D_{j,i}$

$D_{j,i}$: doza, absorbirana v organu i, ter povzročena z ionizirajočim sevanjem j;

biološki učinki sevanja

Sv (sievert)

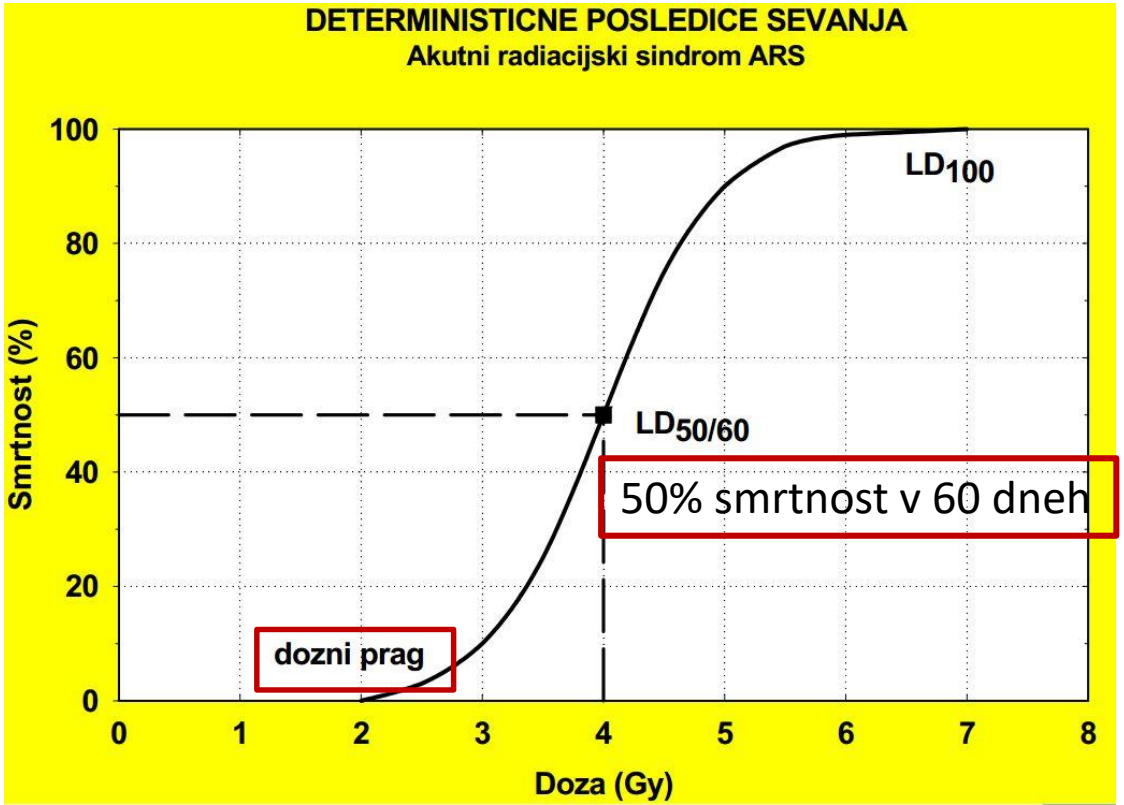
k_i: utežni faktor

organ	k_i
rdeči kostni mozeg, debelo črevo, pljuča, želodec, prsi, preostala tkiva	0,12
gonade	0,08
mehur, požiralnik, jetra, ščitnica	0,04
pokostnica, možgani, žleze slinavke, koža	0,01

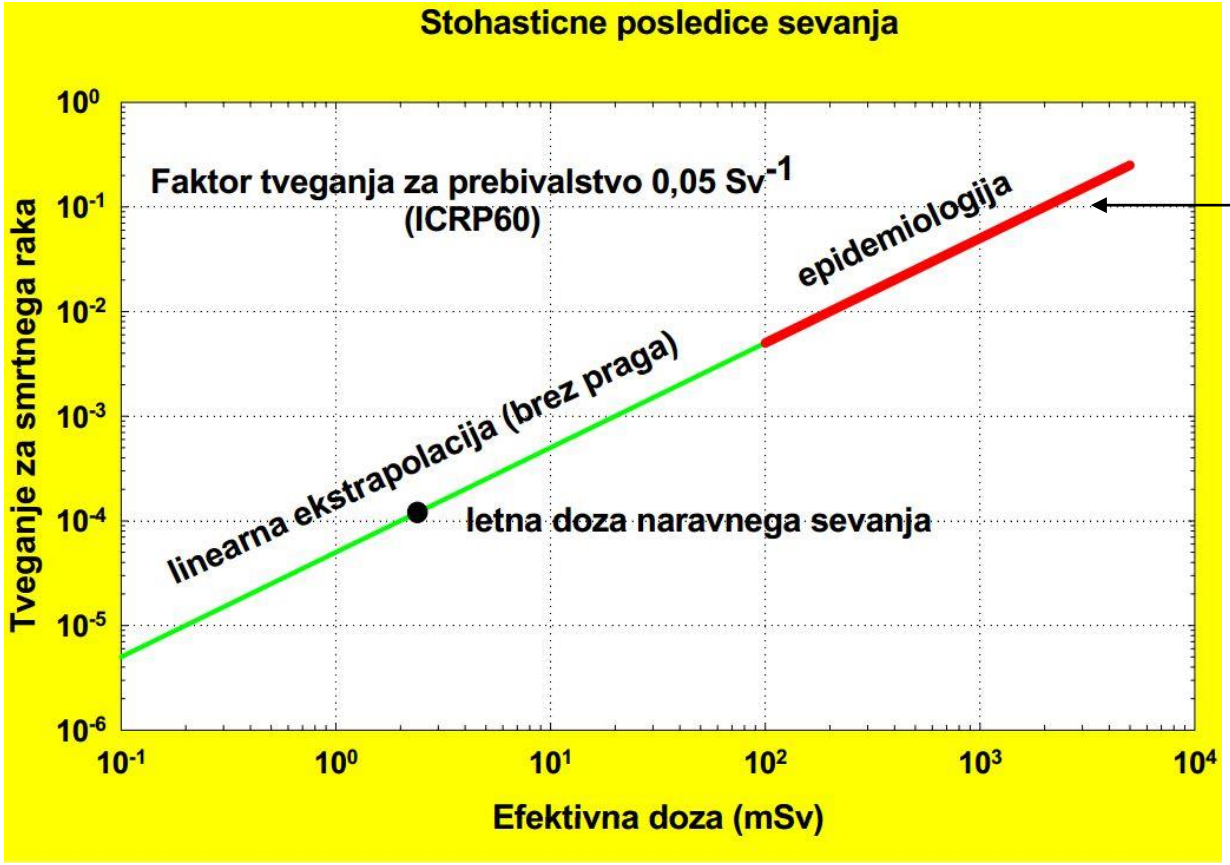
$\sum_i k_i = 1$

Biološke posledice sevanja:

- deterministični učinki *odvisni od abs./ekvival. doze*
  takojšnji, smrtno nevarni;
  smrtnost narašča s prejeto dozo *nad pragom*
- stohastični učinki *odvisni od efektivne doze*
  zakasneli, lahko smrtno nevarni;
  zakasneli pojav bolezni (rak, levkemija), dedne posledice pri potomcih; latentna doba (lahko več let);
  verjetnost narašča s prejeto dozo sevanja



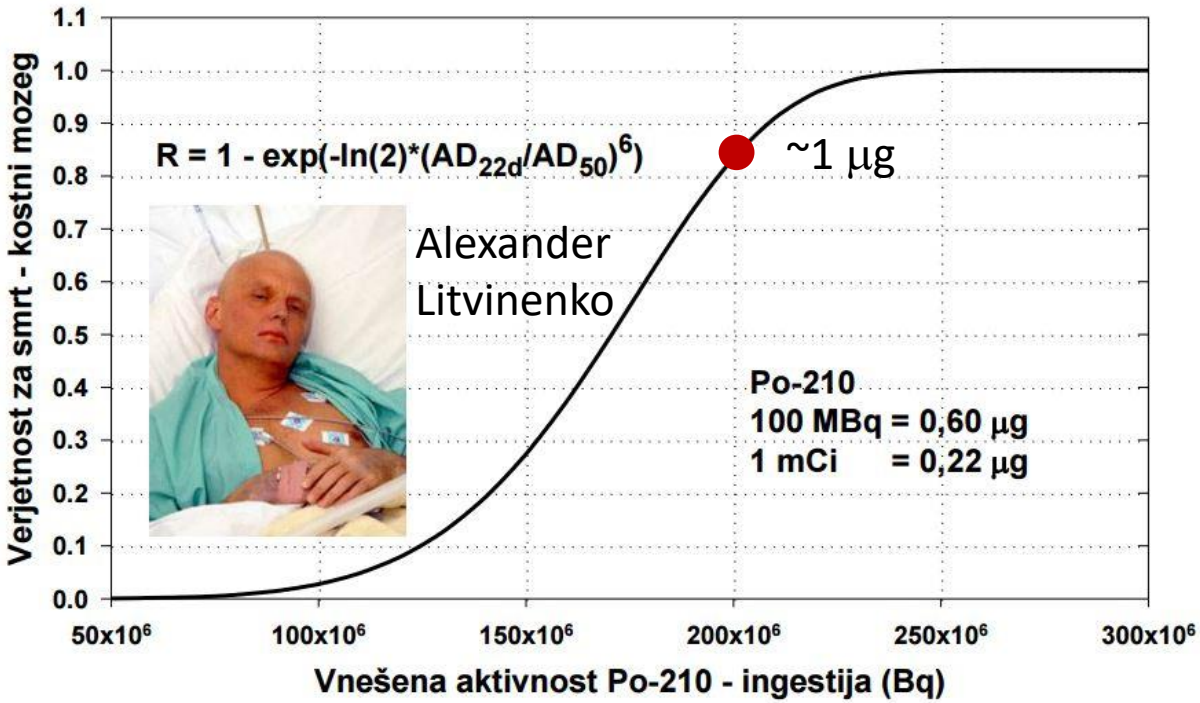
stohastični učinki



preživeli Hirošima

deterministični učinki

^{210}Po: sevalec α;
doseg α (T=5 MeV) v zraku 4 cm;
nevarna ingestija (zaužitje)



$A(0) = N_0/\tau$
$A(0)$~200 MBq
$\tau(^{210}\text{Po})$ = 138 dni
$N_0 \sim 3 \cdot 10^{15}$
$(=N_A\, m/M \Rightarrow m \sim \mu g)$

$$D(t_0) = \frac{E(t_0)}{m} = \frac{N_r(t_0) W_k}{m}$$

$$N_r(t_0) = N_0 - N(t_0) =$$

$$= N_0\left(1 - e^{-t_0/\tau}\right)$$

$$D(t_0) = \frac{N_0\left(1 - e^{-t_0/\tau}\right) W_k}{m} =$$

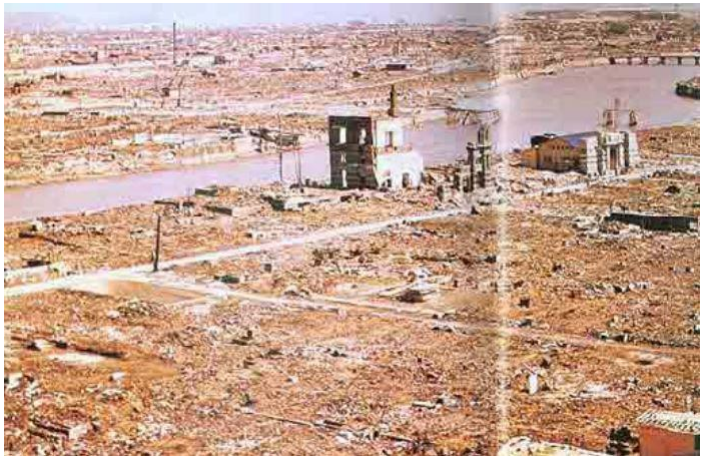
$$= \frac{A(0)\tau\left(1 - e^{-t_0/\tau}\right) W_k}{m}$$

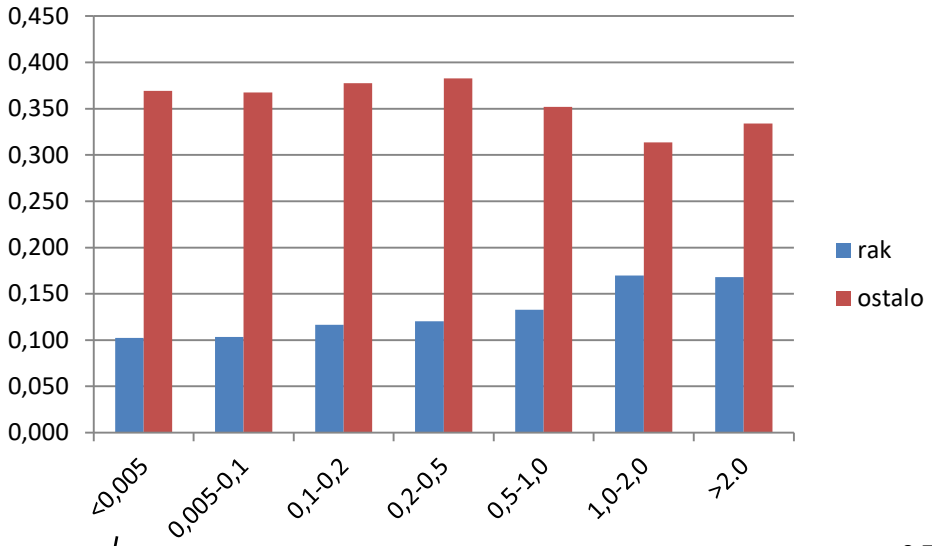
umrl 22 dni po zastrupitvi
$N_r = N_0(1-e^{-t/\tau}) \sim 0{,}15\, N_0$
$W_k^{\alpha} \sim 5$ MeV
$E = N_r\, W_k^{\alpha} \sim 350$ J

kri raznese ^{210}Po po celem telesu
$D \sim 350$ J / 70 kg = 5 Gy
H ~ 20 (α) D = 100 Sv

stohastični učinki

Hirošima 1945;
več izvedenega o stohastičnih učinkih
(preverjanje 86572 preživelih v l. 1950 – 1997)

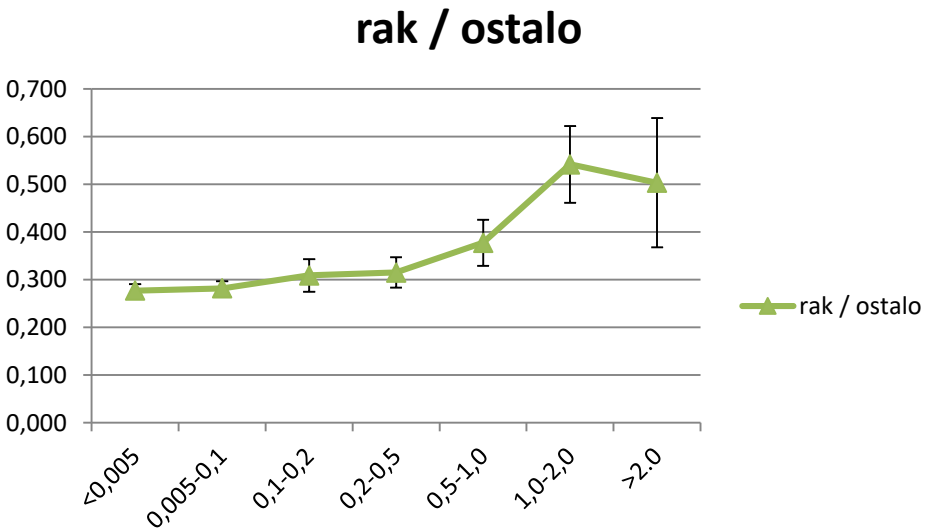




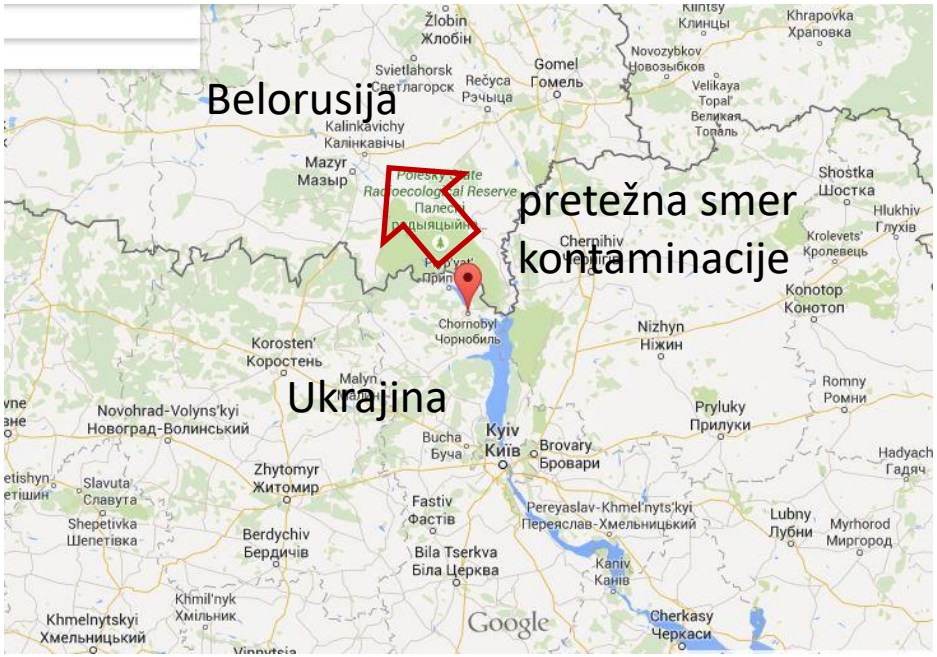
ocenjena ekvivalentna doza [Sv]

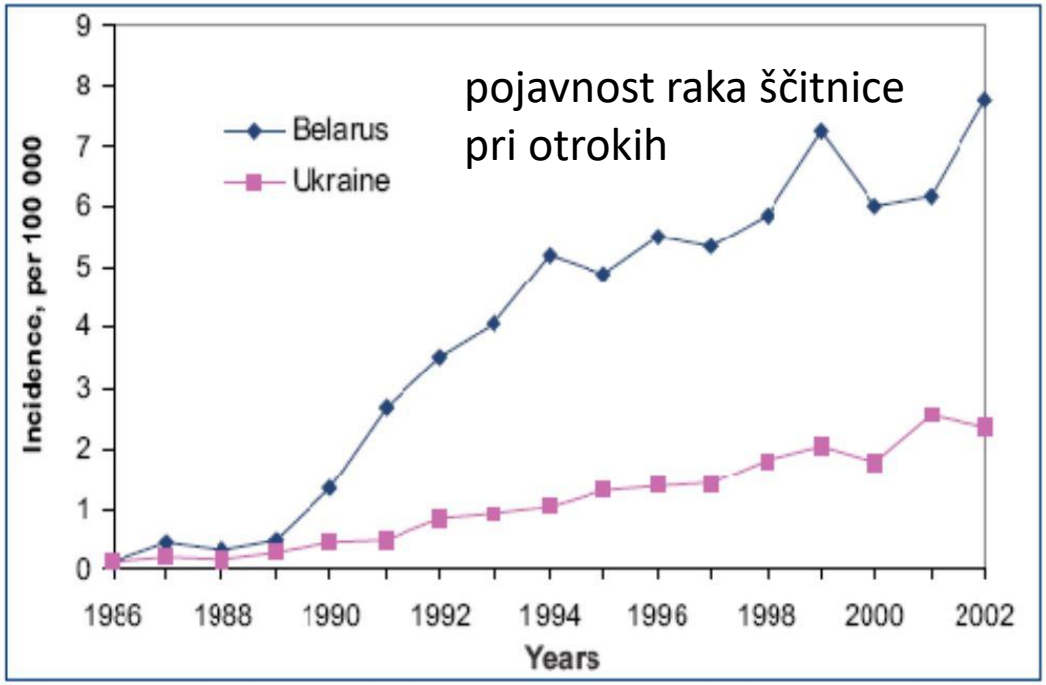
ob času eksplozije > 2,5 km od hipocentra

D.L. Preston et al., Radiat Res2003;160:381-407



stohastični učinki

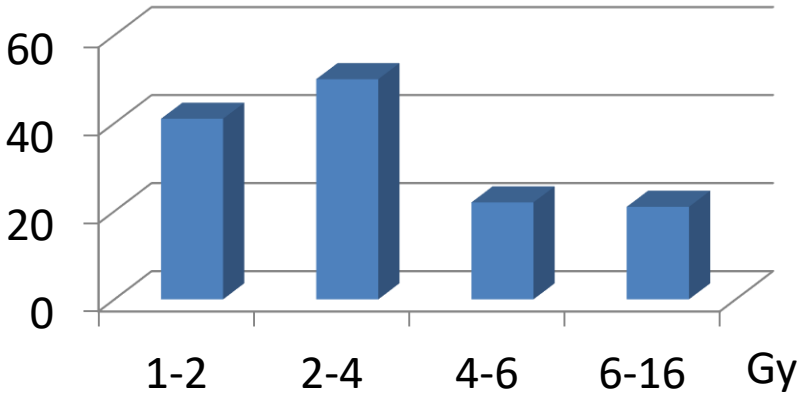




deterministični učinki

Akutni radiacijski sindrom pri 134 delavcih

Doza pri delavcih



Pri varstvu pred ionizirajočimi sevanji ločimo tri kategorije udeležencev:

poklicni delavci z viri sevanja

naprave (RTG, reaktorji,...), radioizotopi (medicina, industrija, ...), naravni viri (rudniki urana, Postojnska jama, kozmični žarki - letalstvo, ...)

pacijenti

terapija (naprave, postopki,...)

prebivalstvo

naravno sevanje, medicinski postopki

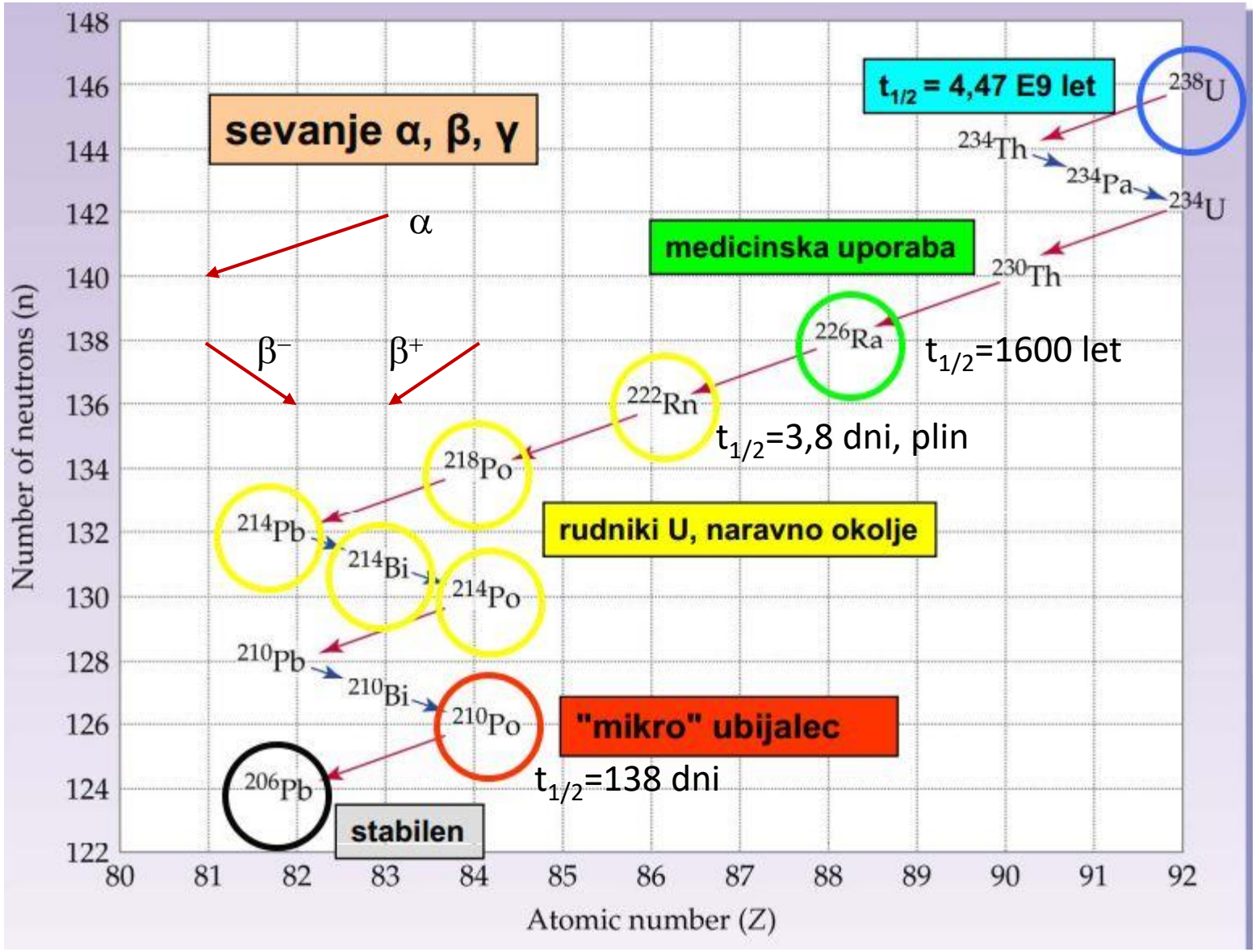
povprečna letna doza 2,4 mSv (okoli 50% tega inhalacija Rn)

RTG roka, noga <10 μSv

CT abdomen 7,3 mSv

polet Evropa – ZDA ~40 μSv

sevanje v naravi, uranska veriga



zakonske omejitve:

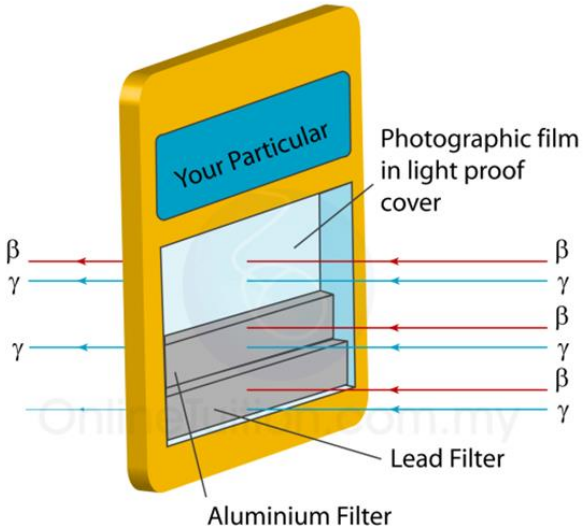
količina	profesionalci	prebivalstvo
efektivna doza (omejitev stohast. učinkov)	20 mSv/leto	1 mSv/leto
ekvivalentna doza (omejitev determ. učinkov) očesne leče koža roke, podlahti, stopala, gležnji	 150 mSv/leto 500 mSv/leto 500 mSv/leto	 15 mSv/leto 50 mSv/leto -

brez naravnega sevanja in medicine

profesionalci: osebni dozimetri (naprave za merjenje abs. doze)

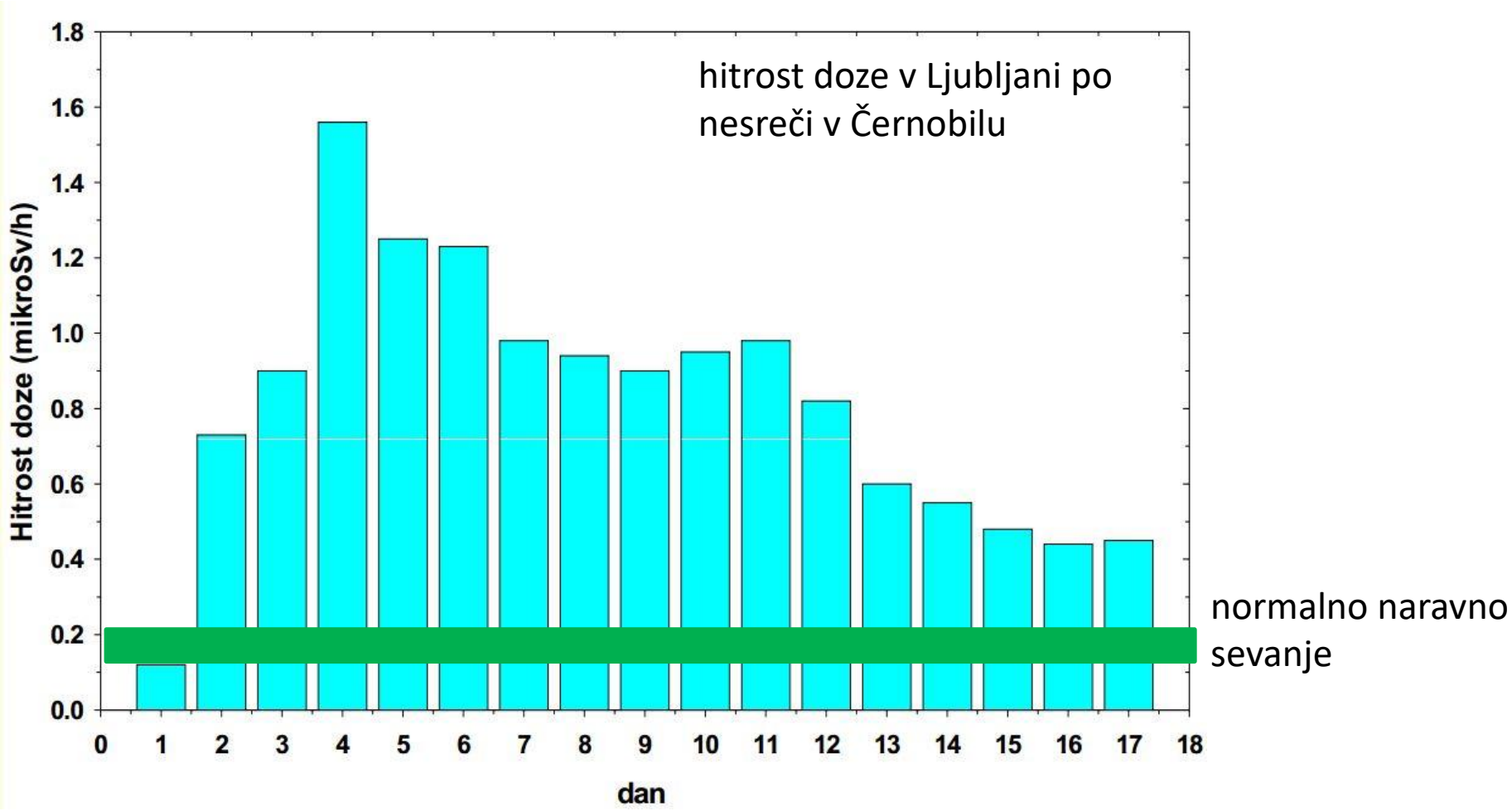
najpogosteje uporabljani osebni dozimetri:

filmski: filmska emulzija občutljiva na ionizirajoče sevanje
v ovoju, ki ščiti pred svetlobo
lahko več različnih (različno občutljivih) emulzij



termoluminiscentni dozimetri (TLD): kristali, ki prejemajo energ. od ioniz. sevanja,
ter jo oddajo pri segrevanju;
γ oddajo energijo e^- v kristalu, ti se ujamejo na nivojih nečistoč, ob segrevanju preidejo v valenčni pas in pri tem oddajo svetlobo
CaF_2 (γ) in LiF (γ + n, slednji preko $^6Li\ n \rightarrow {}^3H\ \alpha$)

Še nekaj primerov:



za primerjavo: jedrska nesreča v Fukušimi marca 2011 v Sloveniji ni povzročila zaznane radioaktivnosti nad nivojem naravnega ozadja, razen ob padavinah (povečana doza zaradi potomcev Rn);
v Ibaraki (prefektura, kjer je KEK) je ob padavinah hitrost doze dosegala 2,5 μSv/h