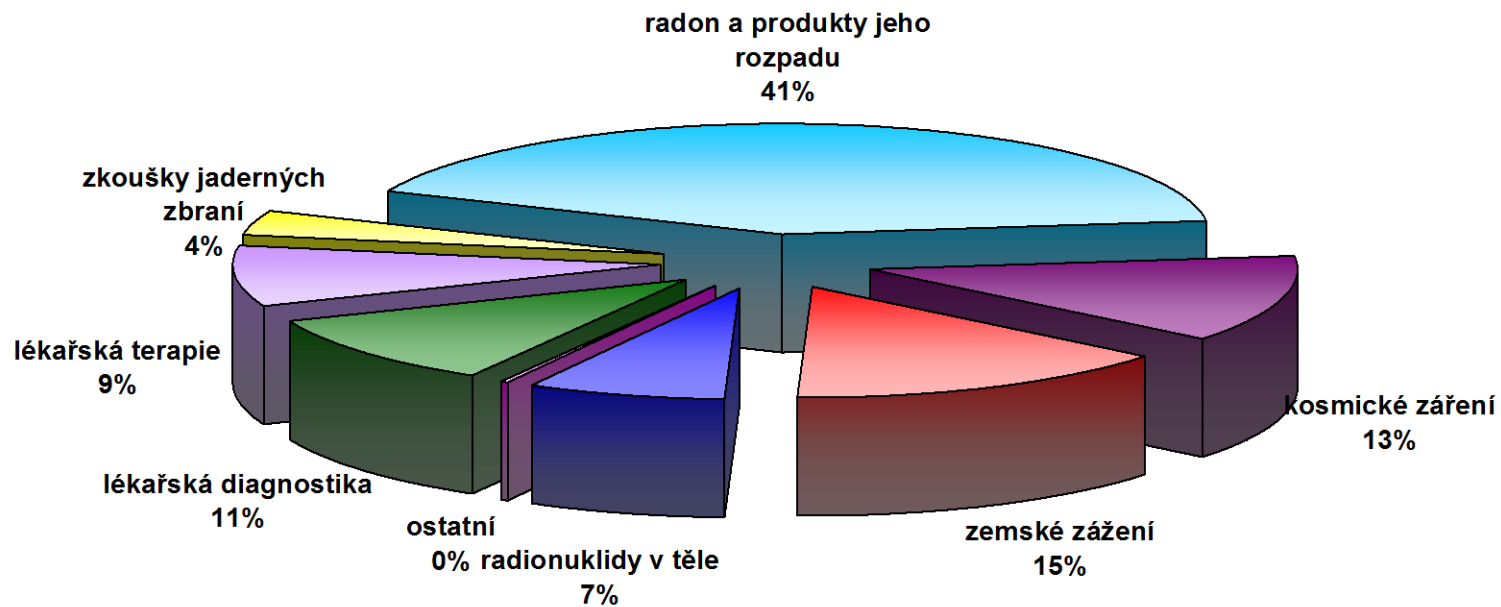


**Fytoremediace V.**

**Petr Soudek**

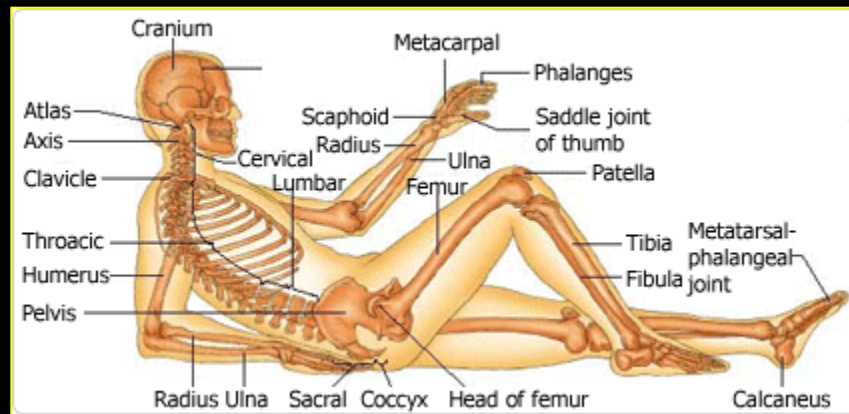
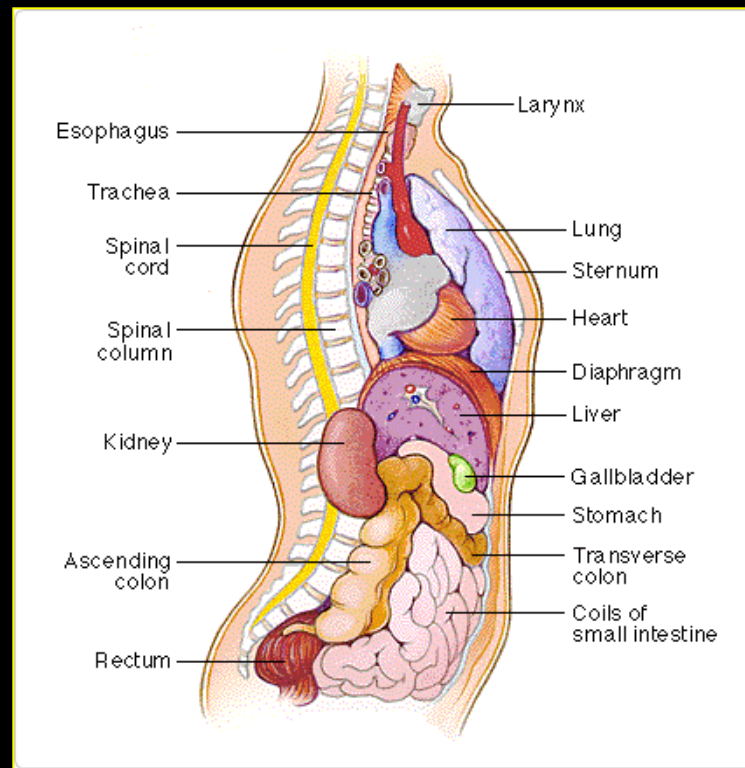
Laboratoř rostlinných biotechnologií  
Společná laboratoř ÚEB AV ČR, v.v.i. A VÚRV, v.v.i.  
Akademie věd České Republiky

# ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ



# VLIV RADIONUKLIDŮ NA ČLOVĚKA

<b>Štítná žláza</b>	$^{131}\text{I}$	beta + gama
<b>Kůže</b>	$^{35}\text{S}$	beta
<b>Plíce</b>	$^{222}\text{Ra}$ $^{233}\text{U}$ $^{239}\text{Pu}$ $^{85}\text{Kr}$	alfa alfa alfa beta + gama
<b>Slezina</b>	$^{210}\text{Po}$	
<b>Ledviny</b>	$^{106}\text{Ru}$	beta + gama
<b>Játra</b>	$^{60}\text{Co}$	beta + gama
<b>Svaly</b>	$^{42}\text{K}$ $^{137}\text{Cs}$	beta + gama beta + gama
<b>Vaječníky</b>	$^{131}\text{I}$ $^{60}\text{Co}$ $^{85}\text{Kr}$ $^{106}\text{Ru}$ $^{65}\text{Zn}$ $^{140}\text{Ba}$ $^{137}\text{Cs}$ $^{239}\text{Pu}$	beta + gama beta + gama gama gama gama gama gama alfa
<b>Kosti</b>	$^{226}\text{Ra}$ $^{65}\text{Zn}$ $^{90}\text{Sr}$ $^{90}\text{Y}$ $^{147}\text{Pm}$ $^{140}\text{Ba}$ $^{234}\text{Th}$ $^{32}\text{P}$ $^{14}\text{C}$	alfa beta + gama beta beta beta beta + gama beta beta beta



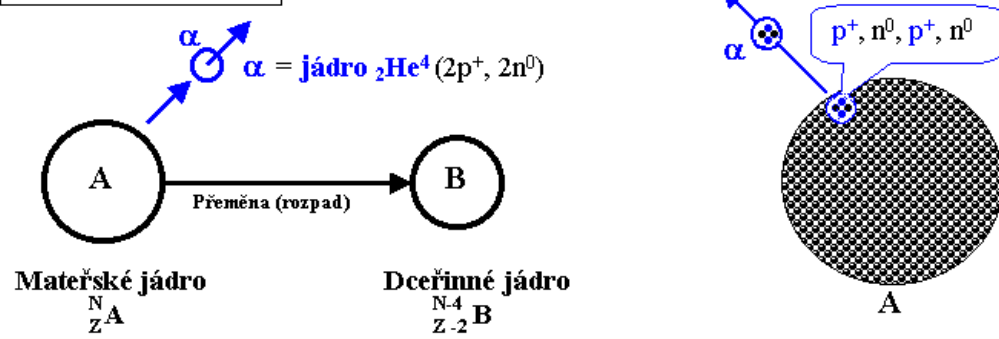
# NEMOCI Z OZÁŘENÍ



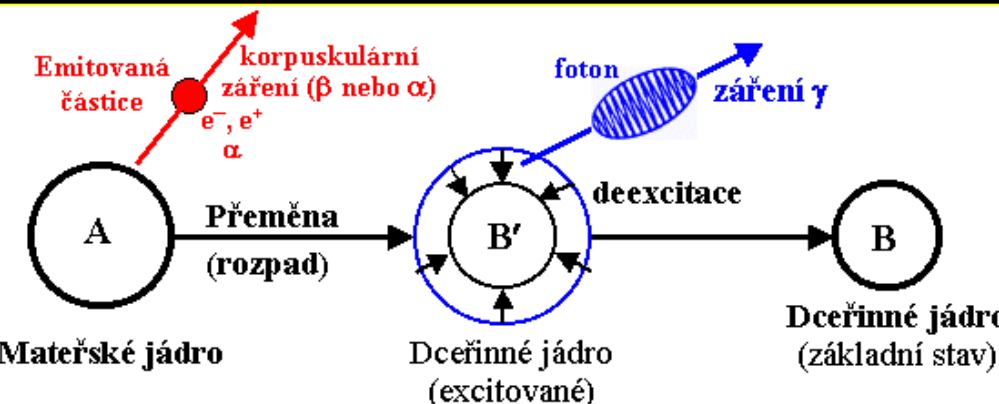
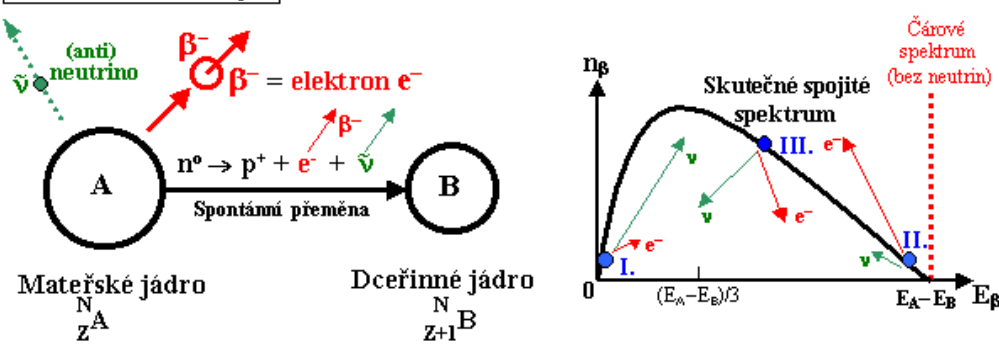
Ozáření u postižených způsobuje obvykle ztrátu ochlupení, pocení, ztrátu chuti, vředy, vzestup tělesné teploty, selhávání krevního oběhu, ledvinové selhávání, radiační popálení kůže (zčernání kůže) a poškození zraku. Nejcitlivější jsou na záření buňky kostní dřeně, buňky střeva, buňky zárodečných žláz a buňky kožní. Naopak odolné proti záření jsou buňky nervové, svalové, kostní a pojivové.

# RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ

## Radioaktivita $\alpha$

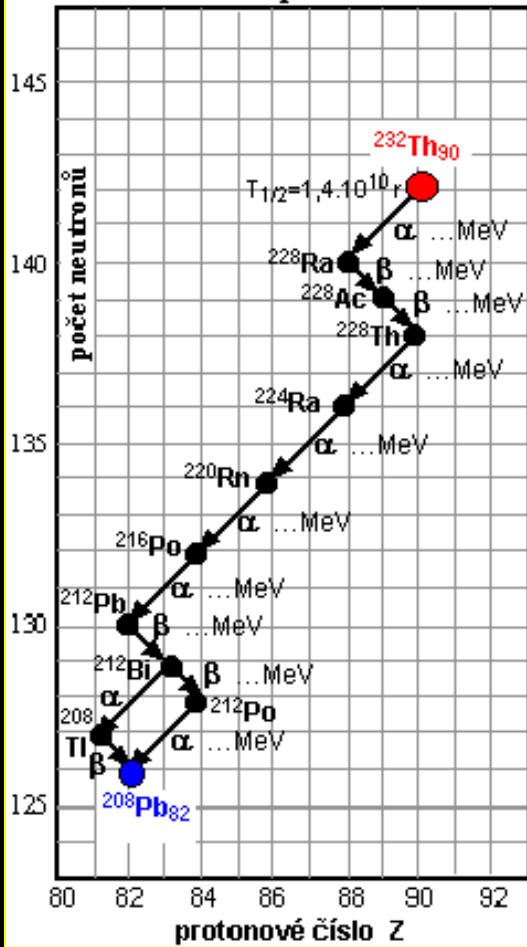


## Radioaktivita $\beta^-$

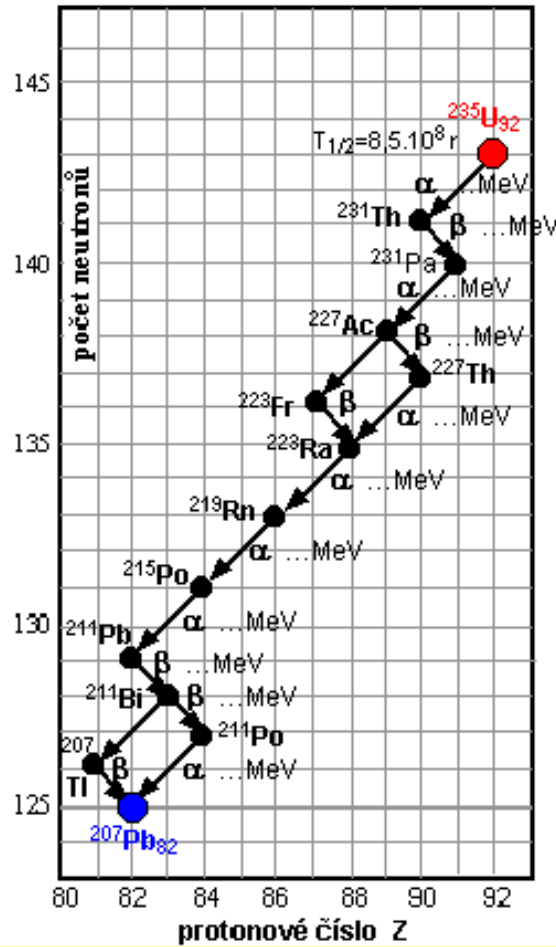


# ROZPADOVÉ ŘADY

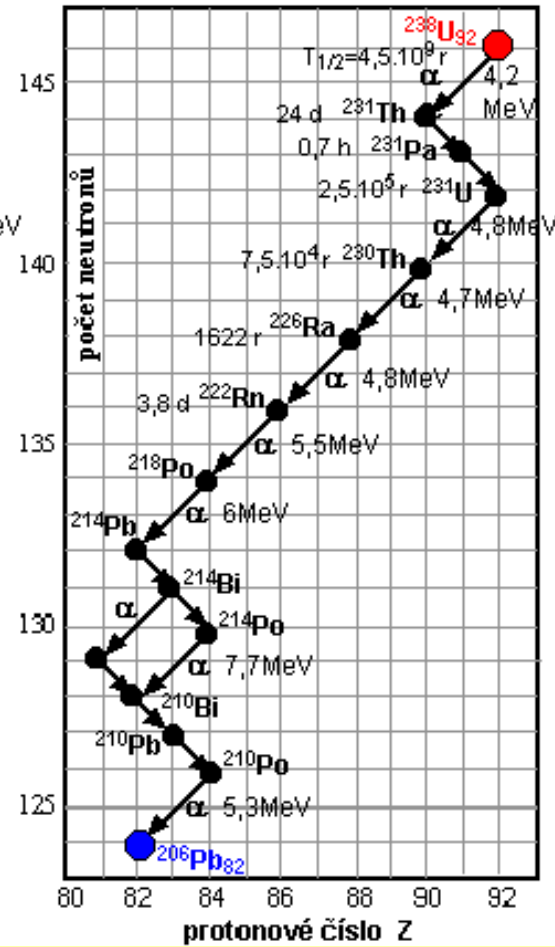
## Thoriová rozpadová řada



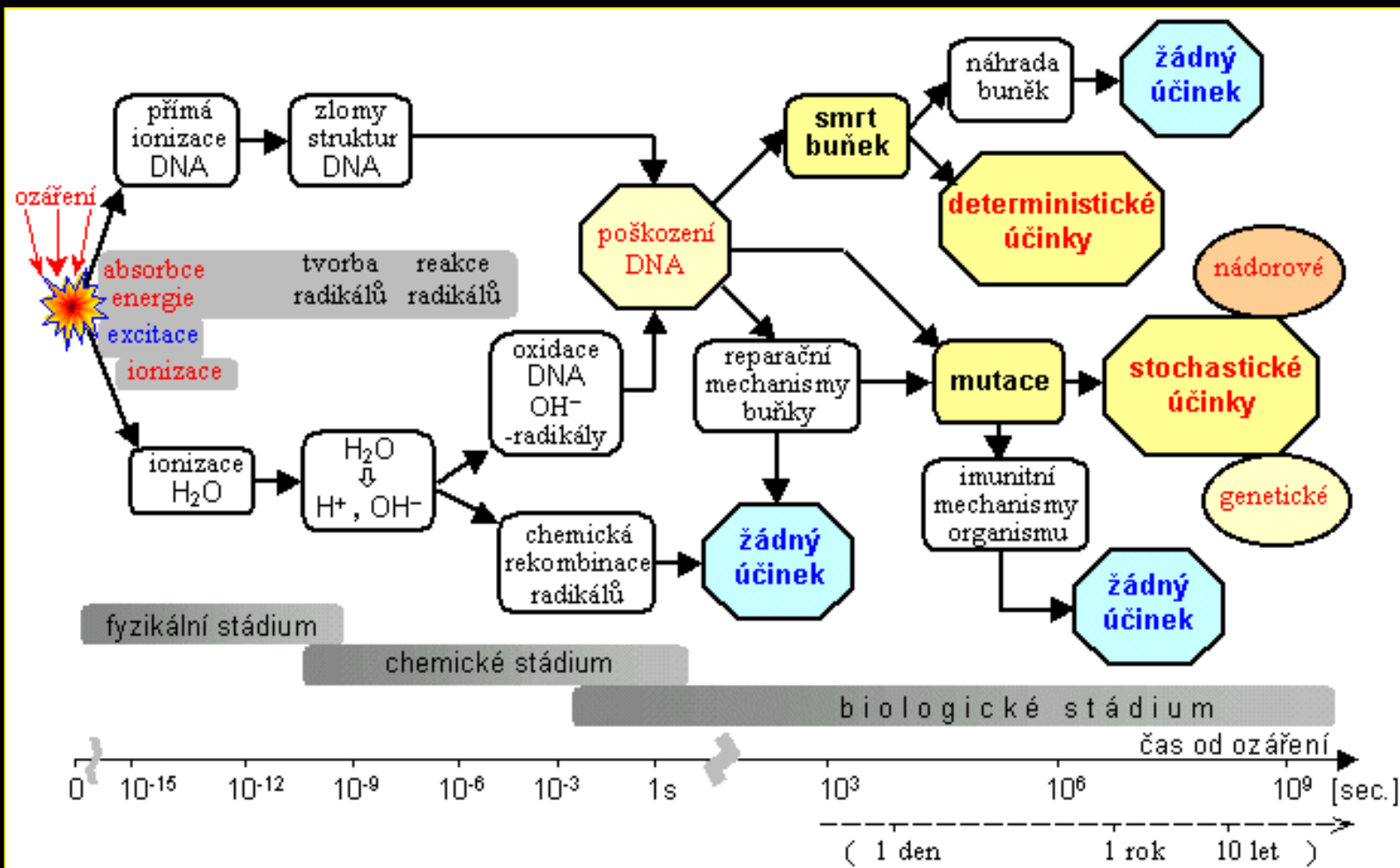
## Uranová řada $^{235}\text{U}$



## Uranová řada $^{238}\text{U}$



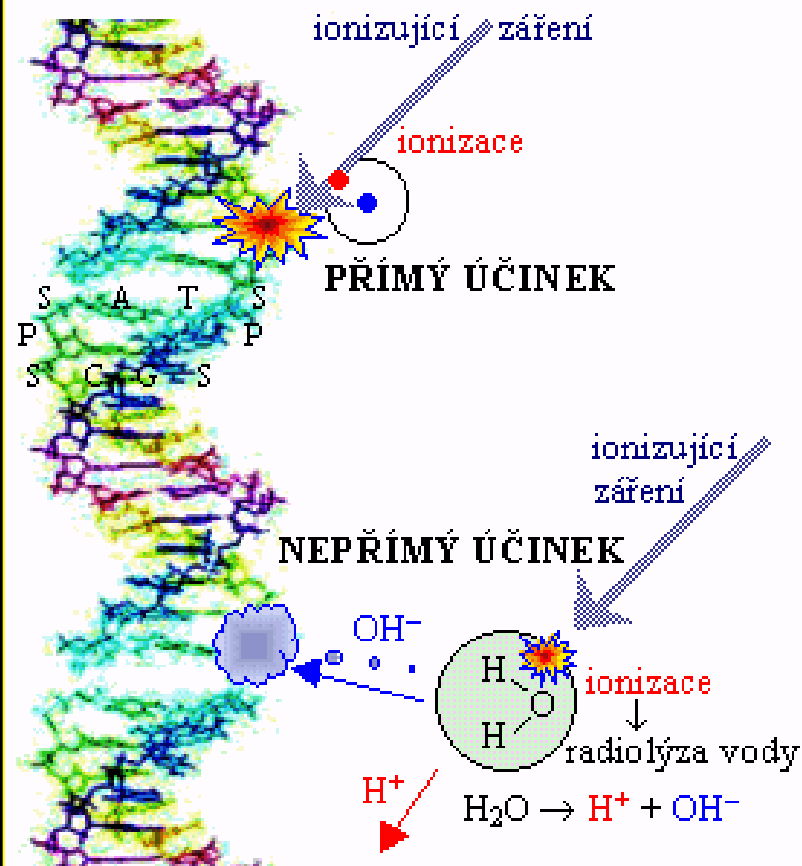
# ÚČINKY ZÁŘENÍ





# ÚČINKY ZÁŘENÍ

## Molekula DNA



## Stochastické účinky

Pokud dávka záření není velká, s naprostou většinou poškození biologicky aktivních látek se organismus úspěšně vyrovná svými reparačními mechanismy. I při malých dávkách \*) však existuje určitá pravděpodobnost, že některá poškození se opravit nepodaří (resp. při opravě dojde k "chybě"), mutované buňky se dále dělí a vzniknou pozdní trvalé následky genetického nebo nádorového charakteru. Jelikož takové následky jsou zcela náhodné, individuální a nepředvídatelné, nazývají se **účinky stochastické**. Mají pravděpodobnostní charakter - u jedinců z ozářeného souboru osob se poškození či onemocnění vyskytují **náhodně** s určitou pravděpodobností, která roste s dávkou.

## Deterministické účinky

Při vysokých dávkách záření je počet poškozených molekul biologicky aktivních látek již natolik vysoký, že organismus není schopen je zcela opravit – **část buněk hyne**, vzniká **nemoc z ozáření**. Poškození tkáně je zde přímo úměrné obdržené dávce záření, není již náhodné, je naopak **předvídatelné** – hovoříme o **účincích deterministických**



# DĚLENÍ DLE SUJB

## Radionuklidy

### Jaderný materiál

uran, thorium, plutonium

### Zdroje ionizujícího záření

$^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  atd.



# URAN



Radioactive Properties of Key Uranium Isotopes and Associated Radionuclides

Isotope	Half-Life	Natural Abundance (%)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
					Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
U-232	72 yr	0	22	$\alpha$	5.3	0.017	0.0022
U-233	160,000 yr	0	0.0098	$\alpha$	4.8	0.0061	0.0013
U-234	240,000 yr	0.0055	0.0063	$\alpha$	4.8	0.013	0.0017
U-235	700 million yr	0.72	0.0000022	$\alpha$	4.4	0.049	0.16
Th-231	26 hr		540,000	$\beta$	-	0.17	0.026
U-236	23 million yr	0	0.000065	$\alpha$	4.5	0.011	0.0016
U-238	4.5 billion yr	>99	0.00000034	$\alpha$	4.2	0.010	0.0014
Th-234	24 days		23,000	$\beta$	-	0.060	0.0093
Pa-234m	1.2 min		690 million	$\beta$	-	0.82	0.012

- tři hlavní izotopy ( $^{238}\text{U}$  – 99,27 %;  $^{235}\text{U}$  – 0,72 %;  $^{234}\text{U}$  – 0,0055%
- zářič alfa částic
- malá množství uranu se nacházejí všude
- používán jako barvivo skla, při tónování fotografií
- v současnosti jaderné palivo, produkce plutonia, jaderné zbraně, střely s obohaceným uranem
- v přírodě výskyt jako oxidy, fluoridy, uhličitany, křemičitany, vadičnany a fosfáty
- mobilita silně závislá na chemické formě, obecně velmi mobilní

# URAN

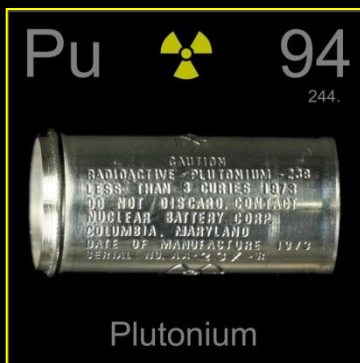


# URAN

- biokoncentruje se v některých suchozemských a vodních organismech
- *Helianthus annuus* – potencialní hyperakumulátor uranu (dosud není potvrzeno)
- do lidského organismu pitím, jídlem a dýcháním
- představuje zdravotní riziko pouze při požití
- venkovní expozice není obecně problém
- po požití je velká část vyloučena během několika dní
- malá část přechází do krevního řečiště (0,2 - 5 %) a je ukládána v kostech (22 %) a ledvinách (12 %)
- karcinom kostí jako výsledek ozařování produkty rozpadu uranu
- u laboratorních zvířat pozorován problém s reprodukci a vývojové problémy mladých zvířat, u člověka není známo



# PLUTONIUM



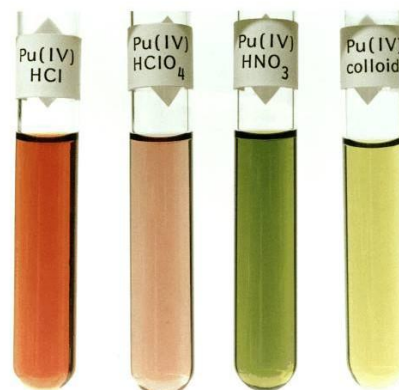
Radioactive Properties of Key Plutonium Isotopes

Isotope	Half-Life (yr)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
<b>Pu-238</b>	88	17	$\alpha$	5.5	0.011	0.0018
<b>Pu-239</b>	24,000	0.063	$\alpha$	5.1	0.0067	<
<b>Pu-240</b>	6,500	0.23	$\alpha$	5.2	0.011	0.0017
<b>Pu-241</b>	14	100	$\beta$	<	0.0052	<
<b>Pu-242</b>	380,000	0.0040	$\alpha$	4.9	0.0087	0.0014

- je biokoncentrováno ve vodních organismech
- významná část vdechnutého plutonia je distribuována z plic přes krev do dalších orgánů
- malé množství je přijímáno požitím (0,05 %), trochu absorbováno přes kůži při kontaktu
- zdravotní riziko pouze při požití - uložení v játrech a kostech na dlouhou dobu
- pokusy na zvířatech ukázaly snížení délky života, nemoci dýchacího ústrojí, rakovinu
- cílovými orgány byly lymfatické uzliny, játra a kosti



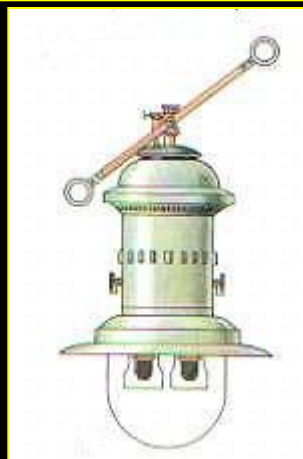
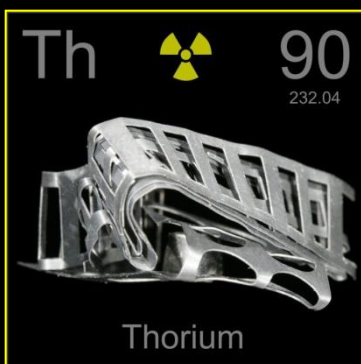
# PLUTONIUM



- většinou alfa zářiče (kromě  $^{241}\text{Pu}$  – beta zářič)
- poprvé připraven ve velkém množství Američany v průběhu Manhattan projektu
- vyrobeno při štěpné reakci  $^{235}\text{U}$  zachycením neutronu v  $^{238}\text{U}$
- $^{238}\text{Pu}$  užíváno v radiotermálních článkách vesmírných sond

- 80 % vyrobeného amerického plutonia součástí jaderných zbraňových systémů
- do životního prostředí v průběhu atmosférických testů jaderných zbraní
- havárie výroby plutonia odpovědné za lokální kontaminace
- výskyt hlavně jako oxid
- velmi málo rozpustné, ukládá se v sedimentech

# THORIUM

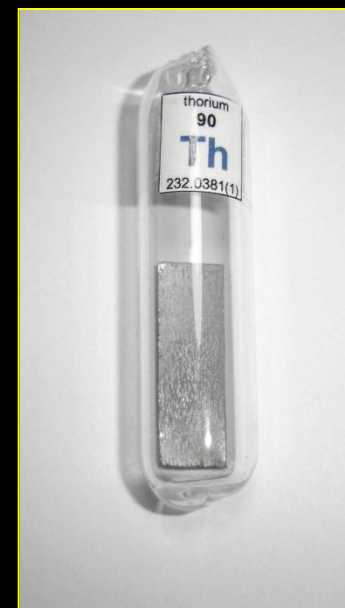


Isotope	Half-Life	Natural Abundance (%)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
					Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
Th-232	14 billion yr	>99	0.00000011	$\alpha$	4.0	0.012	0.0013
Th-230	77,000 yr	<<1	0.020	$\alpha$	4.7	0.015	0.0016
Th-229	7,300 yr	<<1	0.22	$\alpha$	4.9	0.12	0.096
Ra-225	15 days		40,000	$\beta$	-	0.11	0.014
Ac-225	10 days		59,000	$\alpha$	5.8	0.022	0.018
Fr-221	4.8 min		180 million	$\alpha$	6.3	0.010	0.031
At-217	0.032 sec		1.6 trillion	$\alpha$	7.1	<	<
Bi-213	46 min		20 million	$\alpha, \beta$	0.13	0.44	0.13
Po-213 (98%)	0.0000042 sec		13,000 trillion	$\alpha$	8.4	-	-
Tl-209 (2%)	2.2 min		410 million	$\beta$	-	0.69	2.0
Pb-209	3.3 hr		4.7 million	$\beta$	-	0.20	-

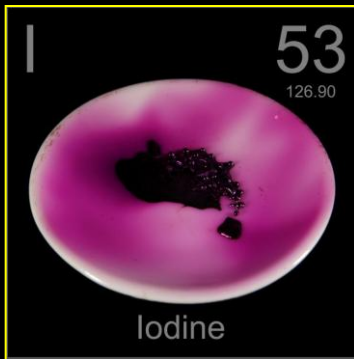
- příjem thoria jídlm, pitím a vdechováním, přijímáno do krve více inhalací než příjmem žaludkem
- pouze malé množství přechází do krevního řečiště (0,02 – 0,05 %)
- 70 % z krve deponováno v kostech, 4 % v játrech, 16 % zbytek organismu, zbytek přímo vyloučen
- zdravotní riziko pouze při příjmu do těla - rakovina kostí, tumor jater, porucha krvevotvorby, karcinomy plic, pankreatu a buněk krvevotvorby



# THORIUM

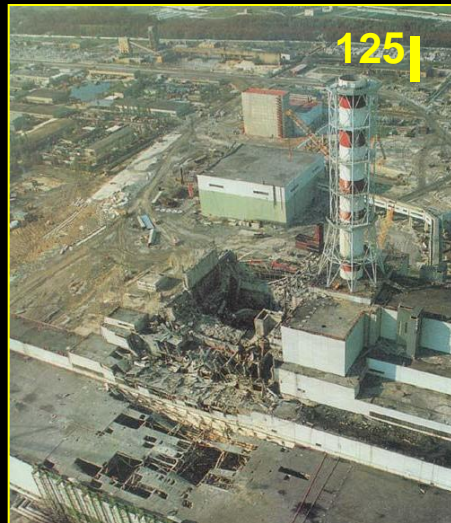


- hlavní izotop je  $^{232}\text{Th}$ , zdroj alfa záření
- koncentrace v monazitových píscích je 3 – 10 % oxidu thoričitého
- použití v žárovém tělísku používaném v Auerových plynových lampách (bavlněná punčoška napuštěná směsí 99%  $\text{ThO}_2$  a 1%  $\text{CeO}_2$ )
- legování hořčíku, povrchová ochrana wolframového drátu, přídavek do skla v přesných objektivách, přídavek do keramiky zvyšující tepelnou odolnost
- také jako palivo v jaderných reaktorech
- přirozeně se vyskytuje jako oxid, fosforečnan a křemičitan
- není hlavním kontaminantem spodních vod
- koncentrace v rostlinách okolo 0,42 % koncentrace v půdě
- nejsou data o biokoncentraci v potravním řetězci



Radioactive Properties of Key Iodine Isotopes						
Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
I-129	16 million yr	0.00018	$\beta$	-	0.064	0.025
I-131	8.0 days	130,000	$\beta$	-	0.19	0.38

- $^{129}\text{I}$  produkt jaderného štěpení  $^{235}\text{U}$  aj. (1 %)
- nízkoenergetický beta zářič (minimum gama)
- nemá komerční využití, nuklid  $^{131}\text{I}$  v lékařství včetně monitorování tyroxinu ve štítné žláze
- výskyt v přírodě díky testům jaderných zbraní, v okolí zpracoven jaderného paliva
- velmi mobilní radionuklid, snadno se dostává do podzemních vod
- příjem lidským organismem jídlem, pitím a dýcháním
- přechází do krevního řečiště z žaludku i plic
- 30 % uloženo ve štítné žláze, 20 % je rychle vyloučeno
- zdravotní riziko - rakovina štítné žlázy
- příjem ovocem a zeleninou a inhalací



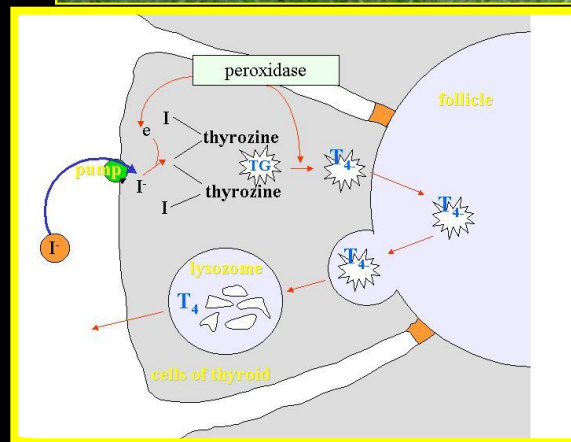
jaderná havária



potravininy



člověk



### Hlavní typy rakoviny štítné žlázy

- papilární
- **folikulární**
- medulární
- anaplastická nebo nediferencovaná

# DISTRIBUCE $^{125}\text{I}$ V SLUNEČNICI



nosičový  $^{125}\text{I}$



beznosičový  $^{125}\text{I}$

# <sup>137</sup>Cs

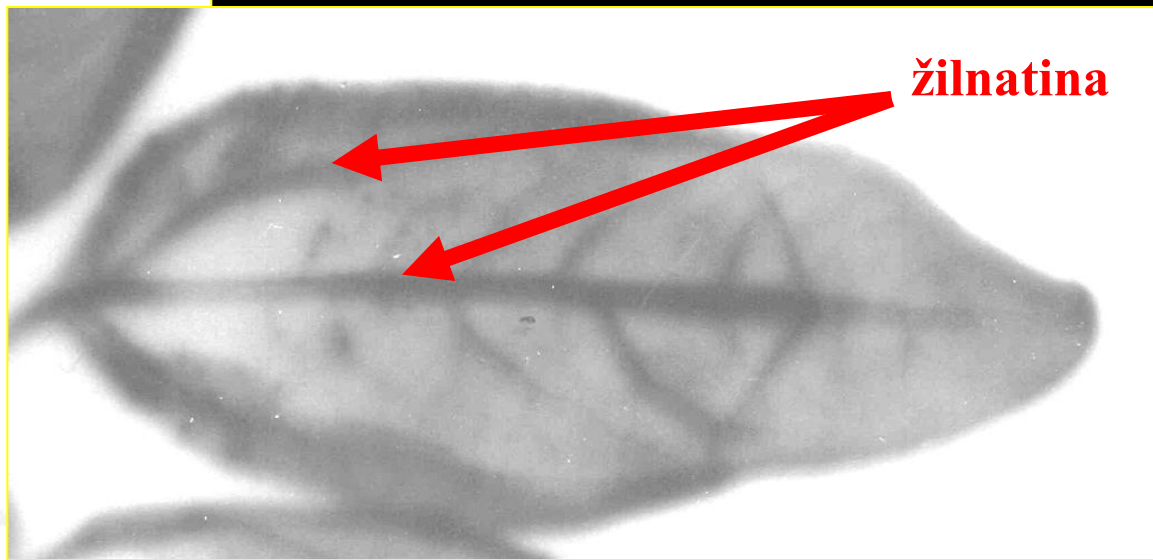


## Radioactive Properties of Key Cesium Isotopes and an Associated Radionuclide

Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
Cs-134	2.1 yr	1,300	$\beta$	-	0.16	1.6
Cs-135	2.3 million yr	0.0012	$\beta$	-	0.067	-
Cs-137	30 yr	88	$\beta$	-	0.19	-
Ba-137m (95%)	2.6 min	540 million	IT	-	0.065	0.60

- <sup>137</sup>Cs beta zářič
- produkt štěpení <sup>235</sup>U
- <sup>137</sup>Cs vzniká v 6 %
- jeho produkt rozpadové řady <sup>137m</sup>Ba gama zářič ( $\lambda = 2,6$  min)
- využití v brachyterapii různých typů karcinomu (ozařování v velké blízkosti)
- v přírodě rozšířen díky atmosférickým testům jaderných zbraní
- málo mobilní v půdě
- do lidského těla se dostává jídlem, pitím a dýcháním
- hlavní příjem žaludkem, v podstatě vše absorbováno do krevního řečiště
- koncentruje se ve svalech
- chová se podobně jako draslík a je stejně jako on rychle vylučováno
- je externím i interním zdravotním rizikem - indukuje karcinomy

# LOKALIZACE $^{137}\text{Cs}$



**žilnatina**



<sup>90</sup>Sr

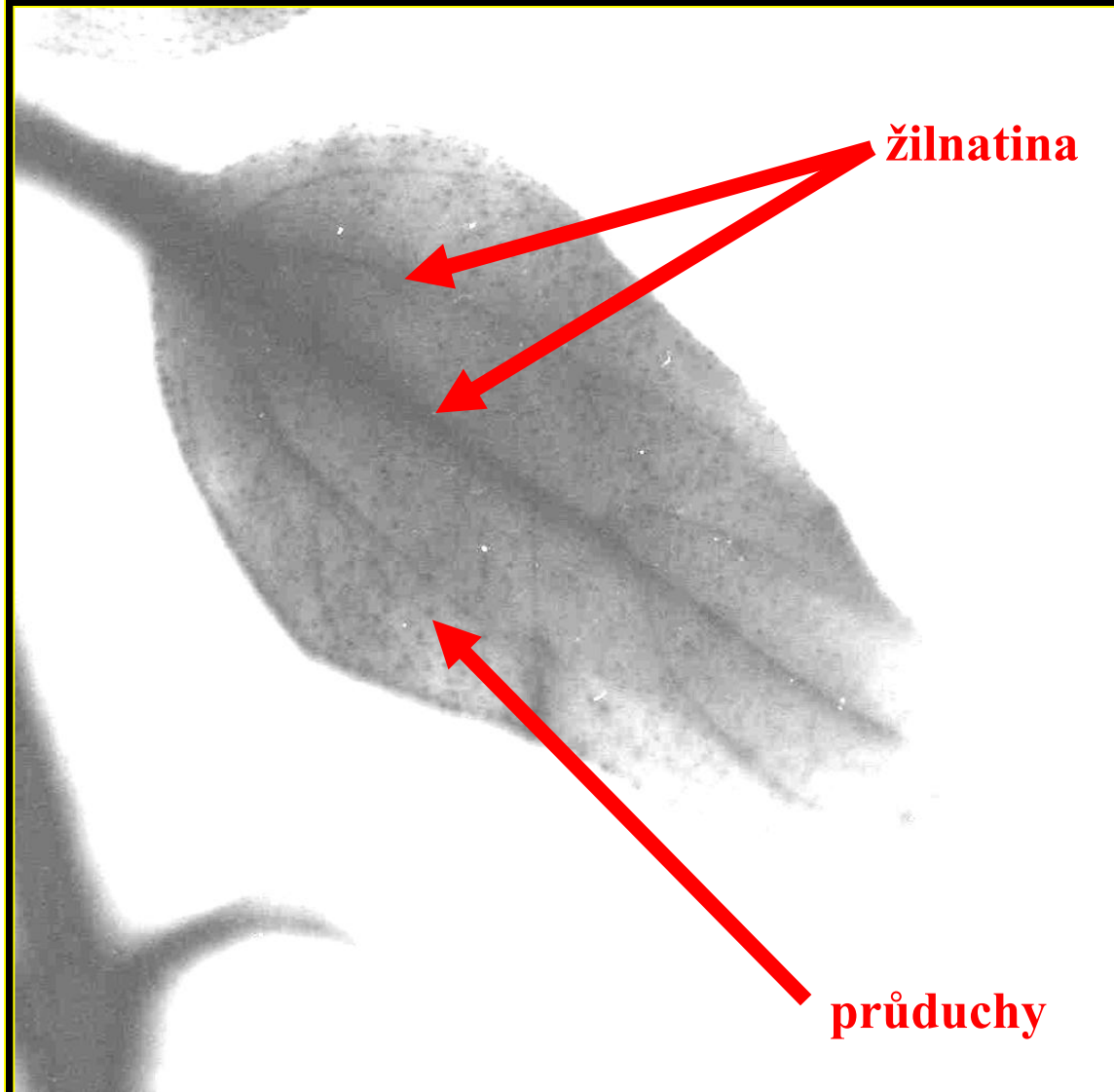


Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
Sr-90	29 yr	140	$\beta$	-	0.20	-
Y-90	64 hr	550,000	$\beta$	-	0.94	<

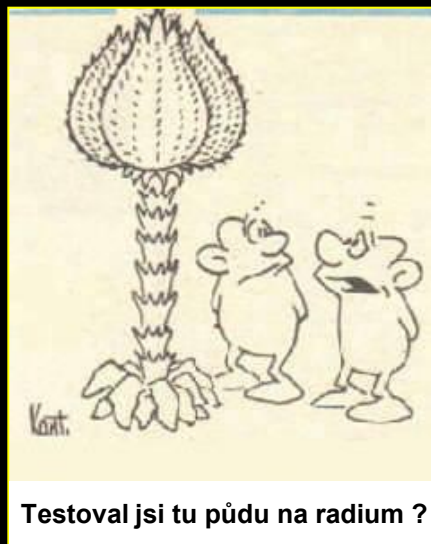
- <sup>90</sup>Sr beta zářič
- produkt štěpení <sup>235</sup>U
- <sup>90</sup>Sr vzniká v 6 %
- rozpadový produkt <sup>90</sup>Y vysoce energetický beta zářič ( $\lambda = 64$  hodin)
- izotopický zdroj energie v radiotermálních generátorech elektřiny
- do životního prostředí uvolněno při nukleárních atmosférických testech
- relativně mobilní, schopno pronikat do podzemních vod
- do lidského organismu se dostává jídlem, pitím a dýcháním
- hlavní příjem žaludkem, 30 – 40 % do krevního řečiště
- množství absorbovaného stroncia se snižuje s věkem (až 60 % u kojenců)
- podobnost s vápníkem, ukládání v kostech
- zdravotní riziko pouze při vstupu do organismu
- rakovina kostní dřeně, rakovina kostí



# LOKALIZACE $^{90}\text{Sr}$



# $^{226}\text{Ra}$



## Radioactive Properties of Key Radium Isotopes and Associated Radionuclides

Isotope	Half-Life	Natural Abundance (%)	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
					Alpha ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\gamma$ )
<b>Ra-226</b>	1,600 yr	>99	1.0	$\alpha$	4.8	0.0036	0.0067
<i>Rn-222</i>	3.8 days		160,000	$\alpha$	5.5	<	<
<i>Po-218</i>	3.1 min		290 million	$\alpha$	6.0	<	<
<i>Pb-214</i>	27 min		33 million	$\beta$	-	0.29	0.25
<i>Bi-214</i>	20 min		45 million	$\beta$	-	0.66	1.5
<i>Po-214</i>	0.00016 sec		330 trillion	$\alpha$	7.7	<	<
<i>Pb-210</i>	22 yr		77	$\beta$	-	0.038	0.0048
<i>Bi-210</i>	5.0 days		130,000	$\beta$	-	0.39	-
<i>Po-210</i>	140 days		4,500	$\alpha$	5.3	<	<
<b>Ra-228</b>	5.8 yr	<<1	280	$\beta$	-	0.017	<
<i>Ac-228</i>	6.1 hr		2.3 million	$\beta$	-	0.48	0.97
<i>Th-228</i>	1.9 yr		830	$\alpha$	5.4	0.021	0.0033
<i>Ra-224</i>	3.7 days		160,000	$\alpha$	5.7	0.0022	0.010
<i>Rn-220</i>	56 sec		930 million	$\alpha$	6.3	<	<
<i>Po-216</i>	0.15 sec		350 billion	$\alpha$	6.8	<	<
<i>Pb-212</i>	11 hr		1.4 million	$\beta$	-	0.18	0.15
<i>Bi-212</i>	61 min		15 million	$\alpha, \beta$	2.2	0.47	0.19
<i>Po-212</i> (64%)	0.00000031 sec		180,000 trillion	$\alpha$	8.8	-	-
<i>Tl-208</i> (36%)	3.1 min		300 million	$\beta$	-	0.60	3.4

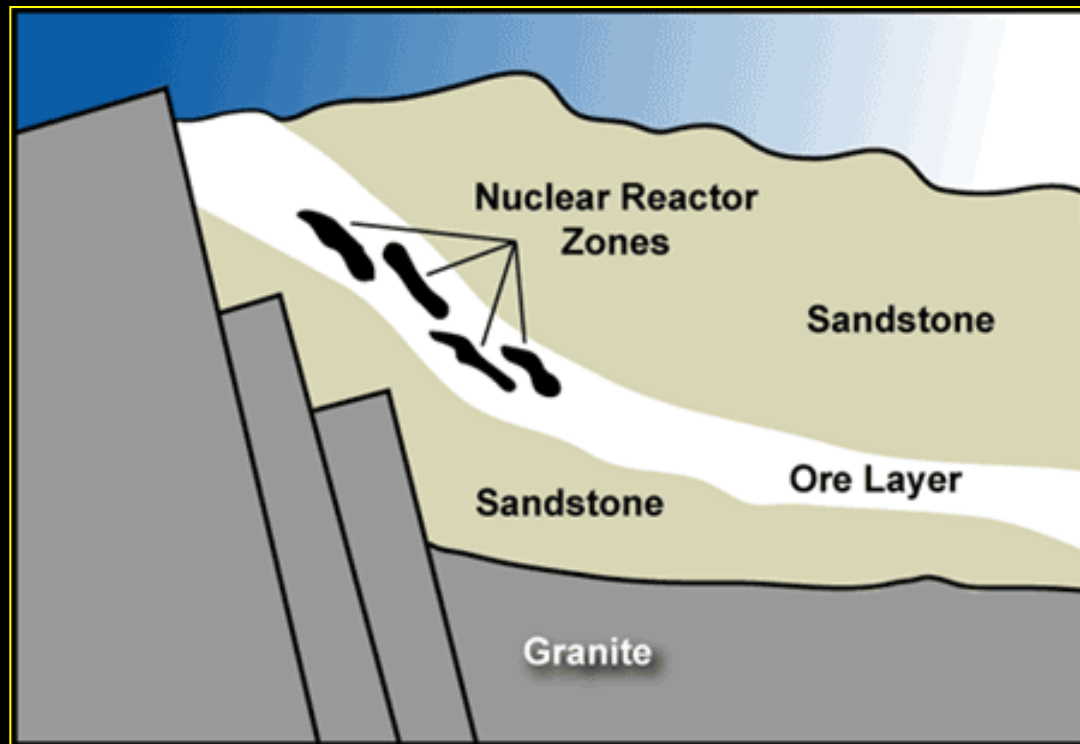
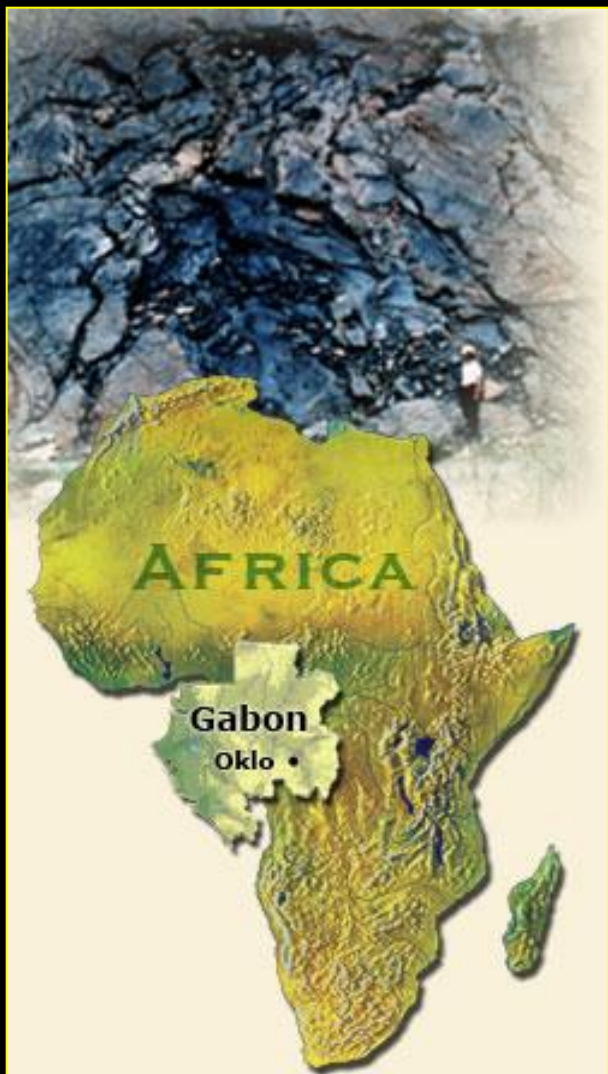
# <sup>226</sup>Ra

- rozpadový produkt <sup>238</sup>U a předchůdce <sup>222</sup>Rn
- původce celé řady krátkodobých nuklidů emitujících α, β a γ záření
- přítomno ve všech minerálech uranu a thoria
- chemické vlastnosti podobné Ba
- hlavní kontaminant při zpracování uranové rudy
- v minulosti využíván jako luminiscenční barva na hodinkách a jinde
- používáno v brachyterapii různých karcinomů
- koncentrace v rostlinách obvykle 3 % koncentrace v půdě
- Brazílské ořechy (*Bertholletia excelsa*) jsou schopny akumulovat mnohem vyšší koncentrace
- příjem rádia jídlem, pitím a dýcháním
- okolo 80 % přijatého radia rychle vyloučeno z těla, zbytek do krevního řečiště
- vdechnuté radium se zdržuje v plicích několik měsíců a postupně vstupuje do krve
- metabolicky radium podobné vápníku
- ukládá se v zubech a kostech
- zdravotní riziko externí i interní (silné gama záření)
- indukce kostních sarkomů
- nebezpečí inhalace spojeno především s <sup>222</sup>Rn a jeho produkty rozpadu

# JADERNÉ HAVÁRIE VE SVĚTĚ



# PŘÍRODNÍ JADERNÝ REAKTOR



The uranium isotopes found at Oklo strongly resemble those in the spent nuclear fuel generated by today's nuclear power plants.





# URANOVÁ MAPA ČR



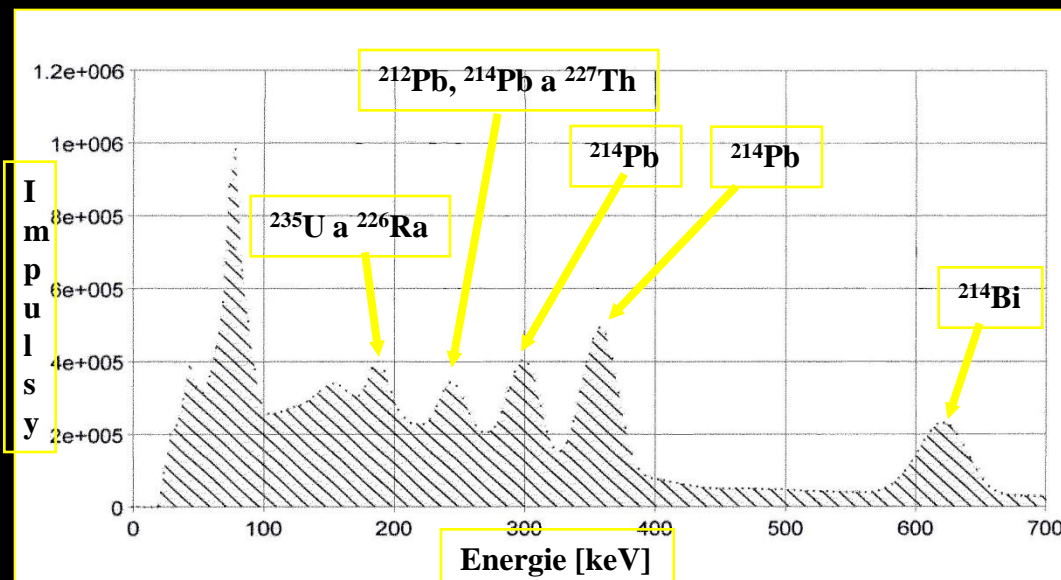
# ÚPRAVNA URANOVÉ RUDY V MYDLOVARECH



- úpravna byla v provozu v letech 1962 -1991.
- bylo zpracováno okolo 16 745 835 tun uranové rudy s nízkým obsahem uranu (0.184 %)
- uranová ruda byla zpracovávána dvěma technologiemi:
  - okolo 12 779 200 tun kyselým loužením
  - okolo 3 989 800 tun alkalickou extrakcí
- odkaliště jsou rozprostřena na území okolo 2.3298 km<sup>2</sup>.



# URANOVÁ HLUŠINA



- pH = 8,06, velikost částic od 45 do 75  $\mu\text{m}$ .
- malé množství  $\text{SiO}_2$ , ale převážně velmi složité silikáty Na, Ca, Mn, Mg, Al, a Fe; také metalické oxidy.
- aktivita 22,63 Bq  $^{226}\text{Ra}$  /g DW



# STRÁŽ

Těžba probíhala v letech 1967 až 1996. Od roku 1996 je uran exploatován jako vedlejší produkt sanace ložiska Stráž. Na ložisku bylo odvrtno 2 210 průzkumných a 7 684 těžebních vrtů. Založeno 35 vyluhovacích polí na ploše 700 ha. Plocha dobývacího prostoru je 24,1 km<sup>2</sup>. Do roku 1996 vytěženo celkem 15 562 t uranu. Hloubka dobývání byla 220 m pod povrchem.

Typ vod	Množství	Hlavní a vedlejší kontaminanty
technologické roztoky ISL	2 377 400 m <sup>3</sup> .rok <sup>-1</sup>	pH = 0 - 1,0 U = 0,2 - 15,0 mg.l <sup>-1</sup> <sup>226</sup> Ra = 2,0 - 4,0 Bq.l <sup>-1</sup> RL = 15 000 - 60 000 mg.l <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Fe, Al, Mn, Zn, Ni, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

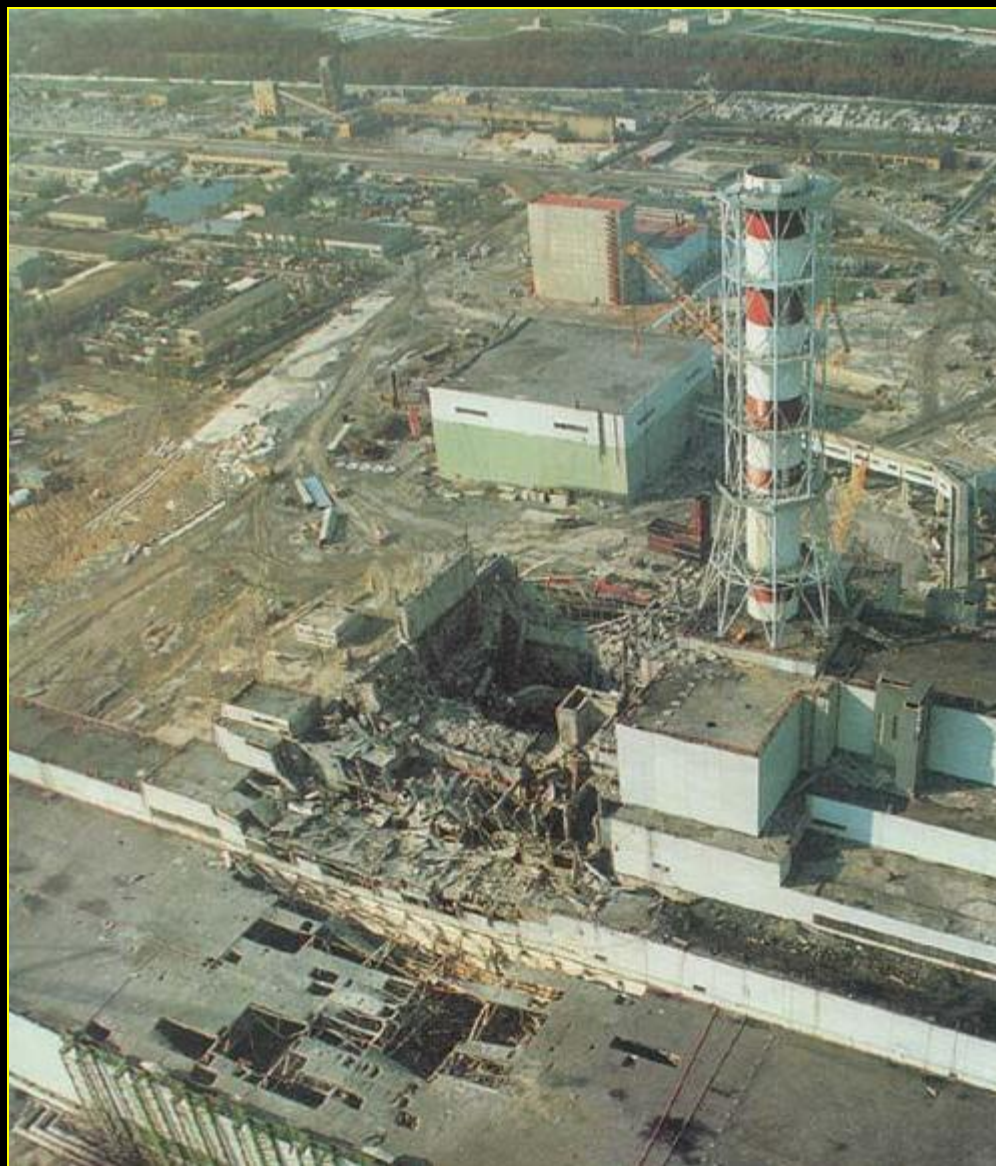
Podzemní vody cca 186 mil. m<sup>3</sup> v cenomanském a 80 mil. m<sup>3</sup> v turonském horizontu jsou kontaminovány po chemické těžbě uranu. Do podzemí bylo během těžby vtlačeno 4 100 kt H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (z toho 80 % zreagovalo s horninou a 800 kt je zde ve formě volné H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dále 312 kt HNO<sub>3</sub>, 112 kt NH<sub>3</sub>, 26 kt HF a 1,5 kt HCl. Sanace je řešena řízeným čerpáním a čištěním vod na stanici likvidace kyselých roztoků a neutralizační dekontaminační stanici.



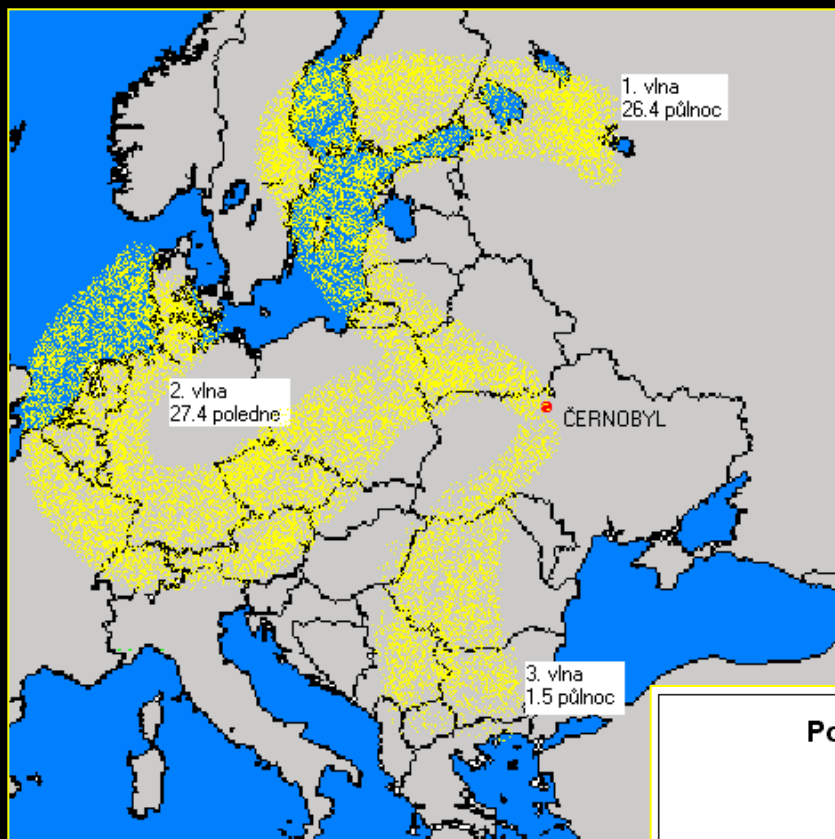


# ČERNOBYL

26. dubna 1986

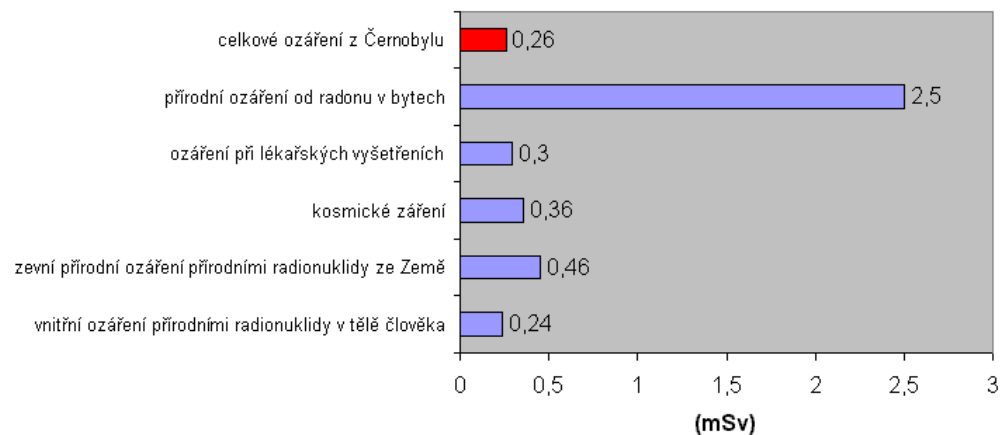


# ČERNOBYL



Odhaduje se, že až 25 milionů Curie uniklo do ovzduší zvláště v podobě radioaktivních izotopů jódu a cesia a nakonec skončilo v potravinách, zvláště v mléku, masu a zelenině.

Podíl ozáření průměrného obyvatele ČR v roce 1986



# DALŠÍ JADERNÉ PRŮŠVIHY BÝVALÉ SSSR

**Semipalatinsk** – leží ve východním Kazachstánu. Sloužil jako hlavní **jaderná střelnice** Sovětského svazu. Odhaduje se, že zde v letech 1945-1989 bylo provedeno **475** nadzemních i podzemních jaderných explozí. Studie OSN připravená v rámci UNDP odhaduje, že zasaženo bylo více než **1 200 000 lidí**.

**Tomsk-7** – leží na západní Sibiři. Probíhá zde přepracování vyhořelého jaderného paliva a separace plutonia. Poslední velká nehoda se zde odehrála v roce 1993, kdy **exploze** zničila část továrny a **rozmetala** do okolí radioaktivní **uran a plutonium**. Kontaminováno bylo **200 km<sup>2</sup>**. Radioaktivní odpady z továren v komplexu Tomsk-7 jsou vypouštěny v blízkosti osídlených oblastí. Rusko zde uvažuje o vybudování další továrny, která by zvýšila kapacity na přepracování vyhořelého paliva výhledově dováženého z jiných evropských zemí.

**Majak** – leží na jihovýchodním Urale. Je hlavní továrnou na výrobu plutonia a jaderných zbraní. Řada nehod i bezohledné znečišťování životního prostředí vedly k vážnému ozáření asi **270 000 obyvatel**. Majak je považován za jednu z nejnebezpečnějších a nejšpinavějších jaderných továren na světě. V budoucnu má sehrát důležitou roli při ukládání a přepracování jaderných odpadů, které se Rusko chystá dovážet na své území ze zahraničí.

# Jaslovské Bohunice

**22. února 1977**

Jde o havárii klasifikovanou podle MAAE 4 stupněm INES. Členové obsluhy bez přerušení provozu reaktoru měnili palivové články a ve spěchu do reaktoru spustili i článek ucpaný těsnícím silikagelem. Chladicí plyn jím proto nemohl proudit a palivový článek se začal tavit. Protavila se i stěna kanálku, ve kterém byl článek zasunut, a nastal únik radioaktivní vody. Její nedostatek způsobil, že se začaly tavit další palivové články. Nakonec se jich roztavila asi čtvrtina





# Three Mile Island, USA

**28. března 1979**

Předpokládá se, že bylo do atmosféry vypuštěno cca 2,5 miliónu curie radioaktivního plynu.





# Tokai-mura, Japan

30. září 1999

Podle oficiální zprávy se spustila řetězová reakce při přesunu tekuté kyseliny dusičné s 19 % obohaceným uranem do precipitačního kontejneru. Nedodržení pracovních postupů zapříčinilo, že byli dva dělníci ozáření dávkou cca 8 Sv, tedy potenciálně smrtící dávkou, třetí dělník byl ozářen také těžce a dalších 21 osob lehce





# RADIOFYTOREMEDIACE

Praktické aplikace

# RADIONUKLIDY

Průměrné pozadí je okolo 0.05 Bq/g DW

Desetkrát vyšší aktivity než pozadí

	Specifická aktivita [Ci/g]	Množství radionuklidu
$^{60}\text{Co}$	$1.131 \times 10^{+03}$	11.9 fg
$^{90}\text{Sr}$	$1.364 \times 10^{+02}$	99.1 fg
$^{125}\text{I}$	$1.737 \times 10^{+04}$	0.8 fg
$^{137}\text{Cs}$	$8.698 \times 10^{+01}$	0.2 pg
$^{226}\text{Ra}$	$9.887 \times 10^{-01}$	13.7 pg
$^{238}\text{U}$	$3.362 \times 10^{-07}$	40.2 $\mu\text{g}$



# VÝCHOZÍ PODMÍNKY

Fytoremediace

X

Radiofytořremediace

- množství kovu v g/kg půdy
- toxické pro rostliny
- jiné kontaminanty
- problém s pH

- množství RN v  $10^{-6}$  g/kg půdy
- toxické pro rostliny ?
- jiné kontaminanty
- problém s pH



# POTŘEBNÉ ROSTLINY

## Fytoremediace

- vysoká akumulární kapacita
- relativní rezistence vůči kovům
- vysoký nárůst biomasy
- **“PASIVNÍ” příjem dostačující**



## Radiofytořremediace

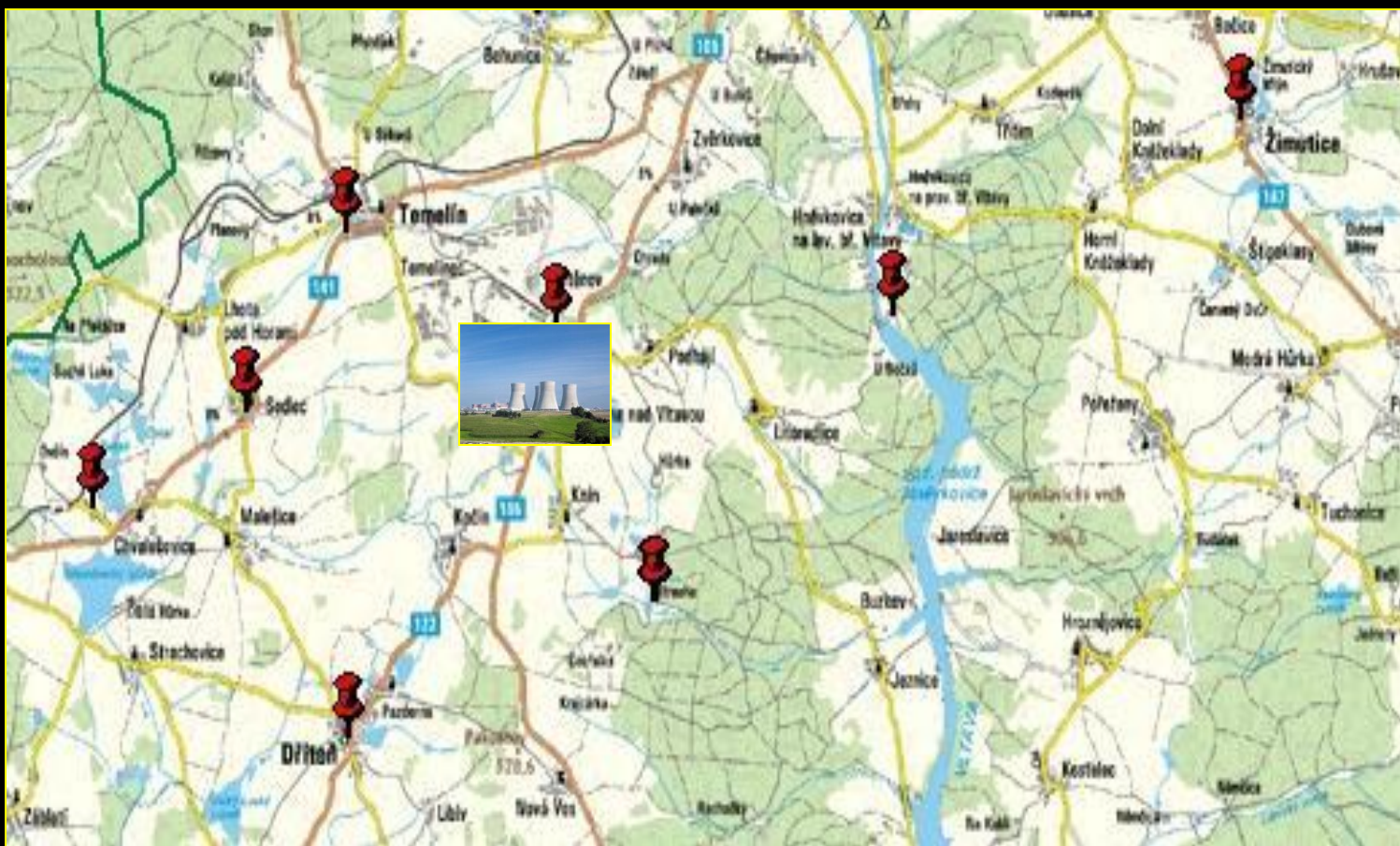
- vysoká akumulární kapacita není potřebná
- rezistence vůči kovům ??
- vysoký nárůst biomasy ??
- **“AKTIVNÍ” příjem nezbytný !!**

# JADERNÁ ELEKTRÁRNA TEMELÍN





# VYBRANÁ TESTOVACÍ MÍSTA

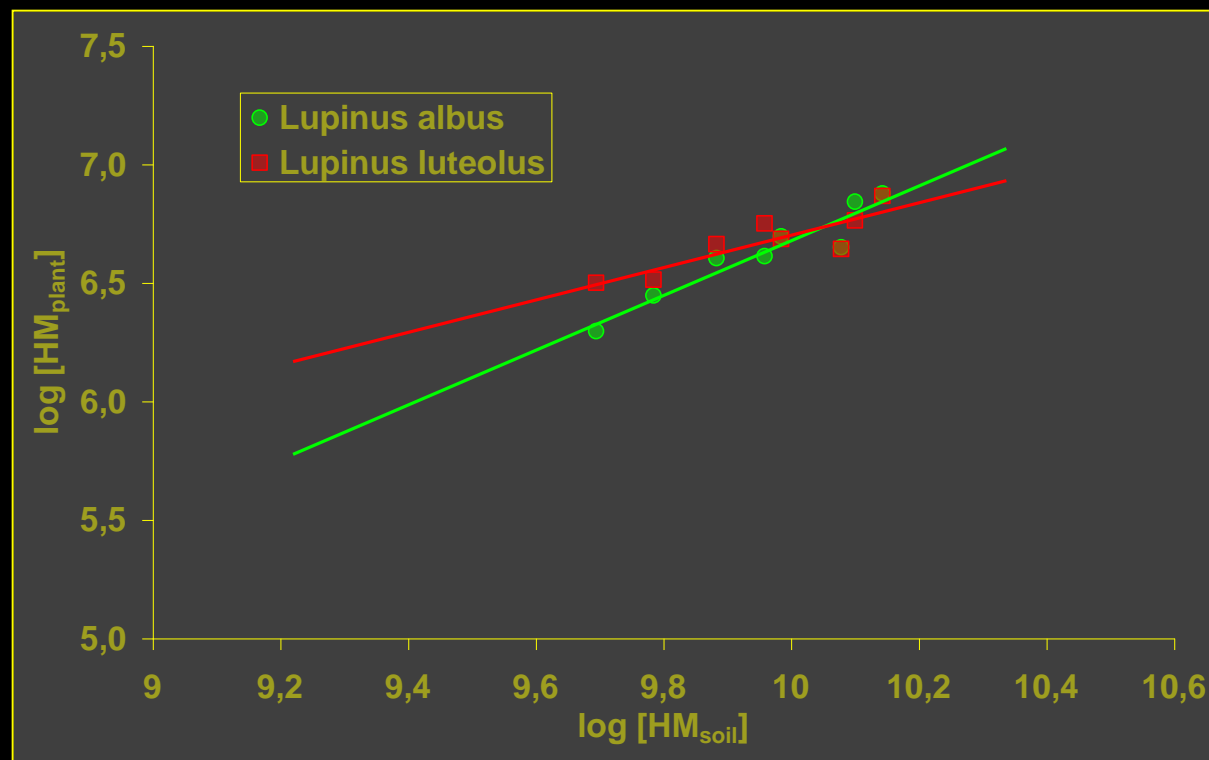


# VYBRANÁ TESTOVACÍ MÍSTA - VÝSLEDKY



Testované lokality	2001	2002	2003	2004
Záluží	88	42	44	86
Sedlec	93	77	74	97
Chvaletice	77	89	52	91
Dříteň	79	98	79	57
Býšov	81	93	46	64
Hněvkovice	96	nd	89	56
Temelín	47	71	84	113

# TRANSFER $^{226}\text{Ra}$ PŮDA - ROSTLINA



Log-log lineární závislost je popsána následujícími vzorci:

$$\log[^{226}\text{Ra}]_{\text{Lupinus albus}} = -4,8736 + 1,155 \log[^{226}\text{Ra}]_{\text{půda}}$$
$$R^2 = 0,9065$$

$$\log[^{226}\text{Ra}]_{\text{Lupinus luteolus}} = -0,1351 + 0,6835 * \log[^{226}\text{Ra}]_{\text{půda}}$$
$$R^2 = 0,7546$$

# DOBA TRVÁNÍ FYTOEXTRAKCE

## Modelové podmínky:

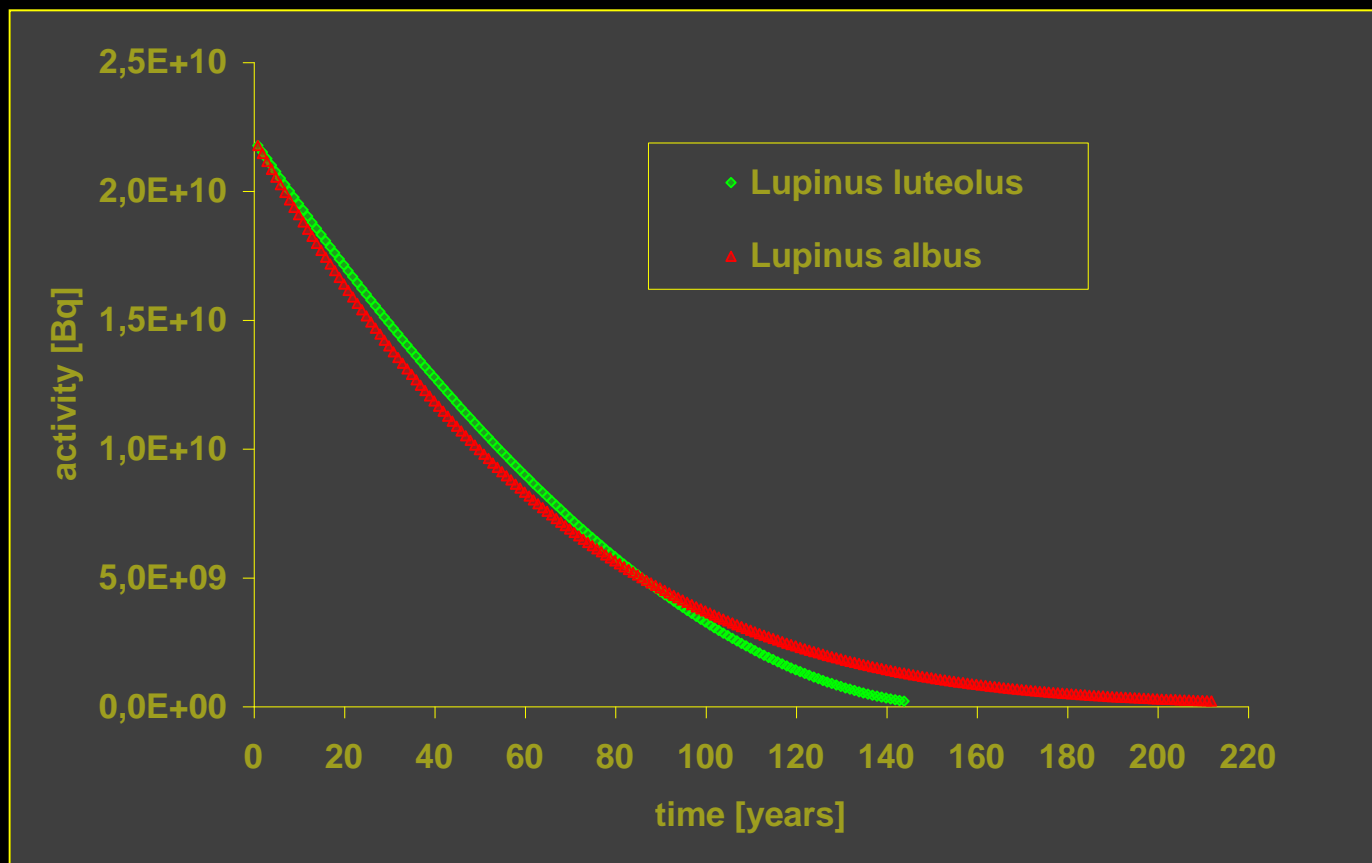
aktivita půdy v Mydlovary =  $21.75 \text{ Bq } ^{226}\text{Ra/g DW}$

množství kontaminované půdy = 1000 tun

roční produkce *Lupinus* sp. = 10 tun

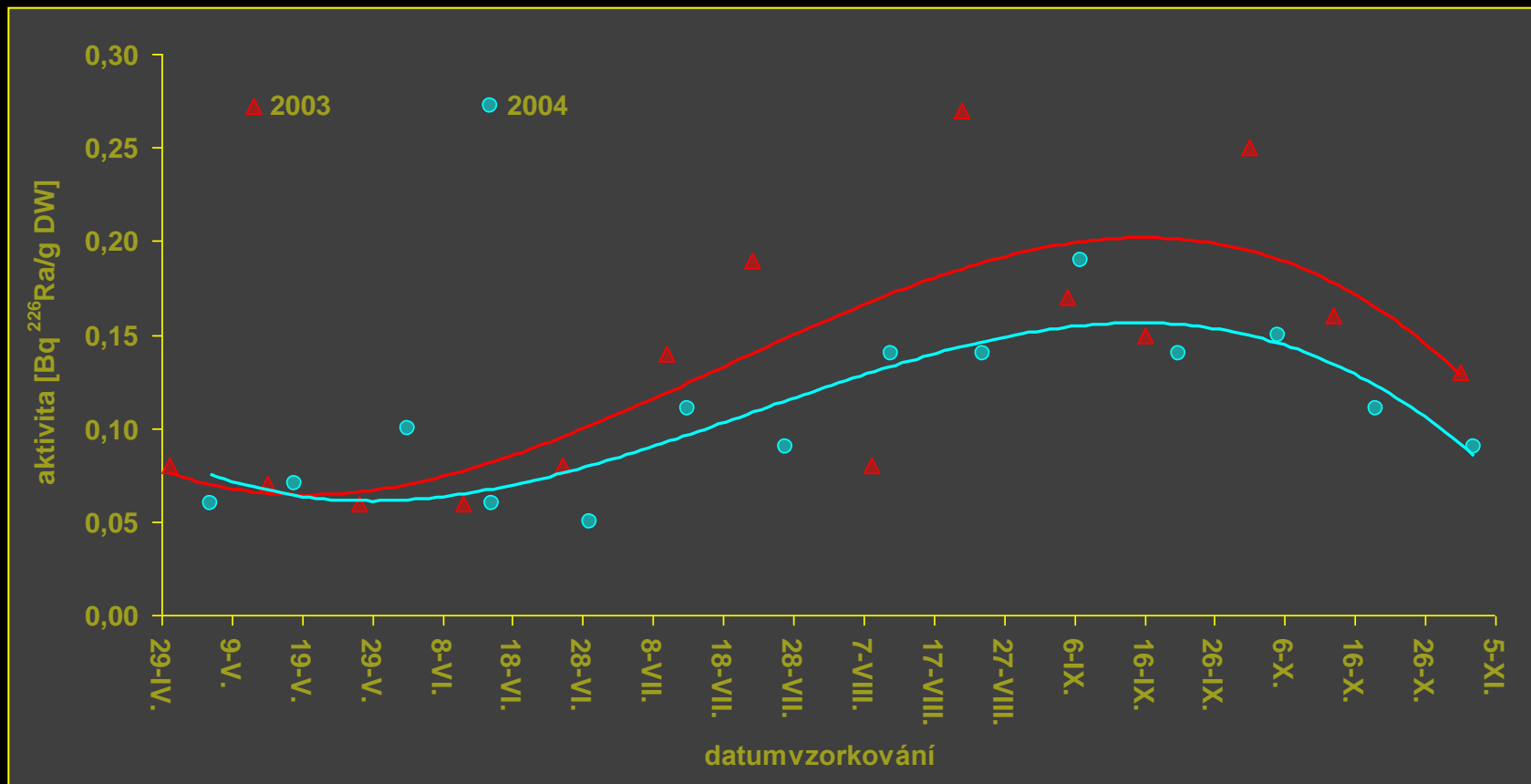
plocha obsahuje  $21.8 \text{ GBq } ^{226}\text{Ra}$

cílová hladina pro vyčištění je  $0.2 \text{ Bq } ^{226}\text{Ra /g DW}$



# TRANSFER RADIONUKLIDŮ

*Alnus glutinosa* - listy



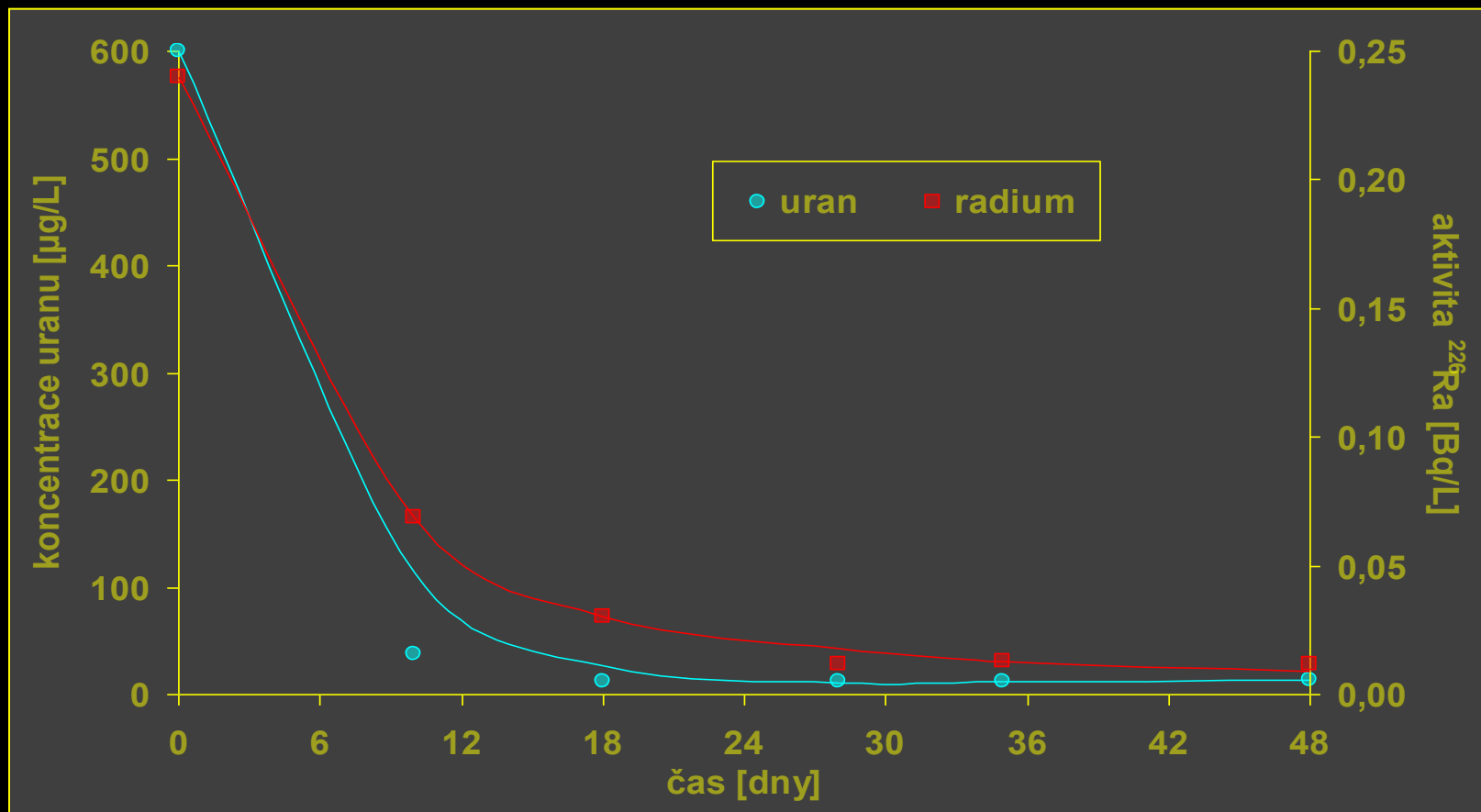


# MALOPLOŠNÝ UMĚLÝ MOKŘAD





# AKUMULACE URANU A $^{226}\text{Ra}$



# AKUMULACE URANU V ROSTLINÁCH

Celkem 765 mg U v odpadní vodě

		biomasa [kg]	koncentrace [mg/kg]	množství U [mg]
<i>Phragmites australis</i>	nadzemní část	0.36	1.1	0.396
	kořeny + rhizomy	1.33	4.1	5.453
<i>Typha latifolia</i>	nadzemní část	0.24	0.6	0.144
	kořeny + rhizomy	0.54	9.0	4.860
celkem		2.47		10.853

Celkem 694 mg U usazeninách (98.5 %)

# LOKALIZACE URANU V KŘENI



# LOKALIZACE URANU V KŘENI

