

**ZDROJE IONIZUJÍCÍHO  
ZÁŘENÍ VE VZTAHU  
K OHROŽENÍ ŽIVÉHO  
ORGANISMU**

# Zdroje ionizujícího záření

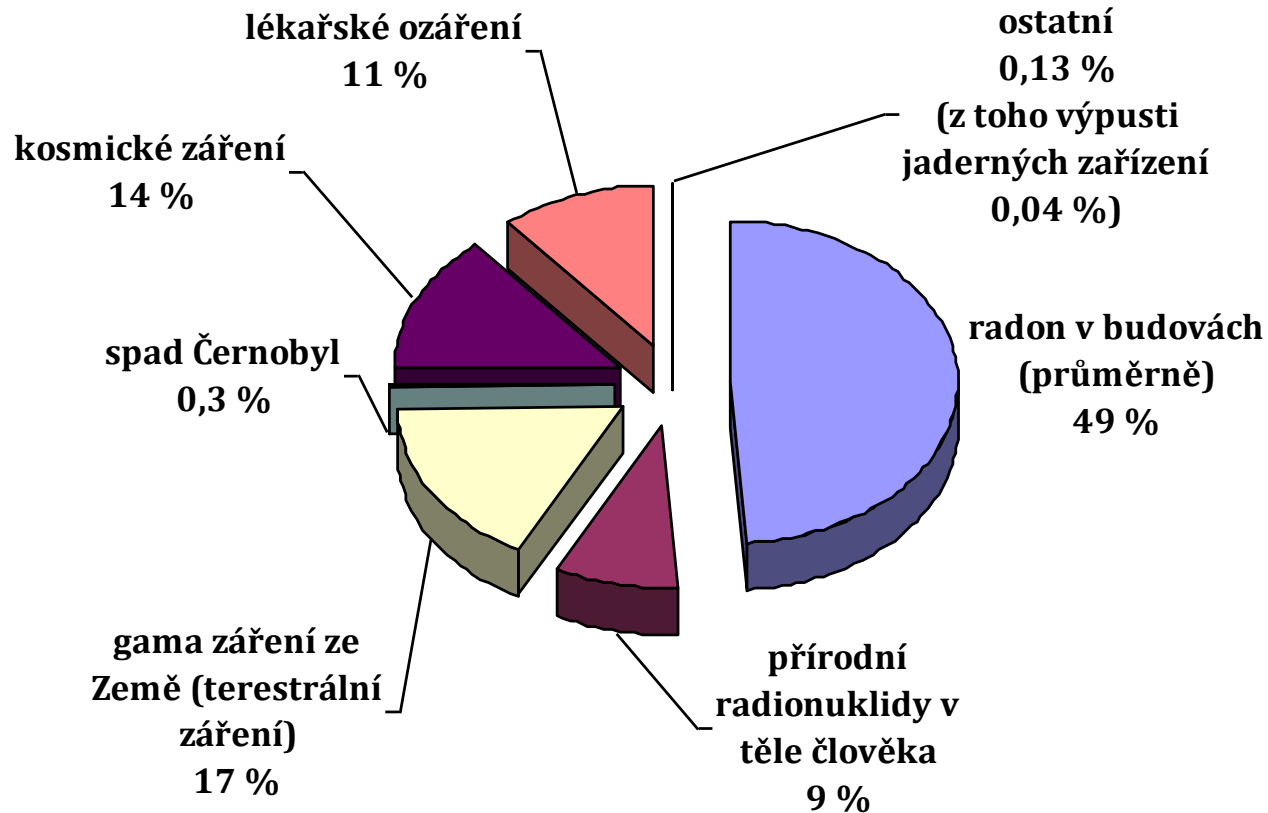
- **přírodní zdroje:**

státy EU → průměrná efektivní dávka  
z přírodních zdrojů 2,2 mSv;

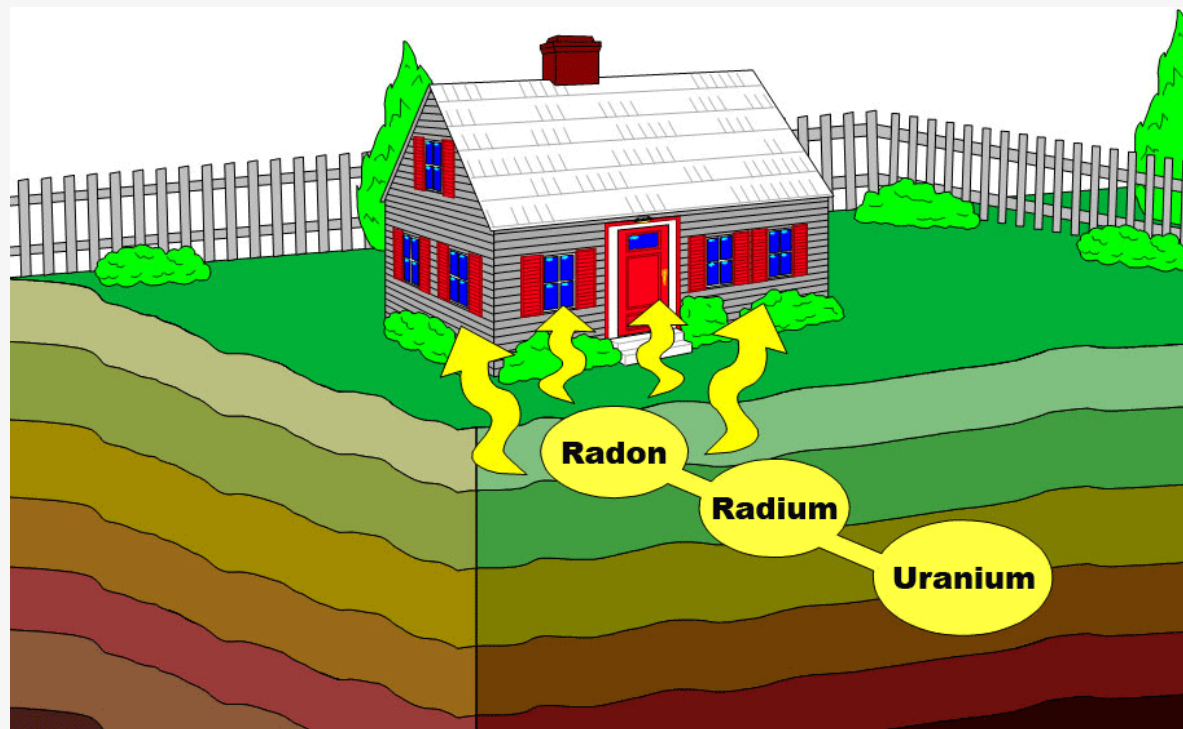
ČR → průměrná efektivní dávka  
z přírodních zdrojů 3,4 mSv za rok;

- **umělé zdroje.**

# Přehled zdrojů ozáření a rozdělení dávek obyvatelstvu



# PŘÍRODNÍ ZDROJE ZÁŘENÍ



# Přírodní zdroje záření

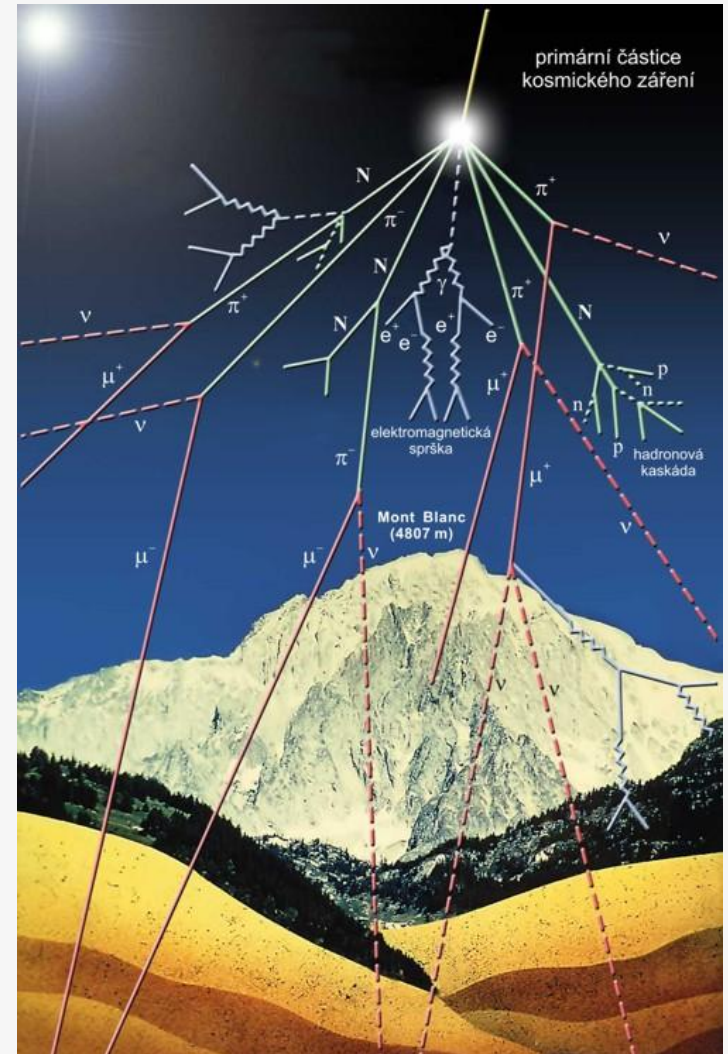
- **kosmické záření** dopadající na Zemi z vesmíru, které ozařuje člověka zejména externě v závislosti na nadmořské výšce a poloze na Zemi;
- **přírodní radionuklidy**, které se vyskytují v našem životním prostředí.

# Kosmické záření

- vliv na celou populaci, zvláště významně se podílí na ozáření osob v letadlech a kosmických lodích;
- tvořeno převážně atomovými jádry prvků od protonů až po železo, těžší prvky se objevují ve stopovém množství;
- intenzita je závislá na nadmořské výšce a také na zeměpisné šířce (v rozmezí  $30^\circ$  -  $60^\circ$  jižní a severní šířky je intenzita záření asi o 10 % vyšší než na rovníku a magnetických pólech).

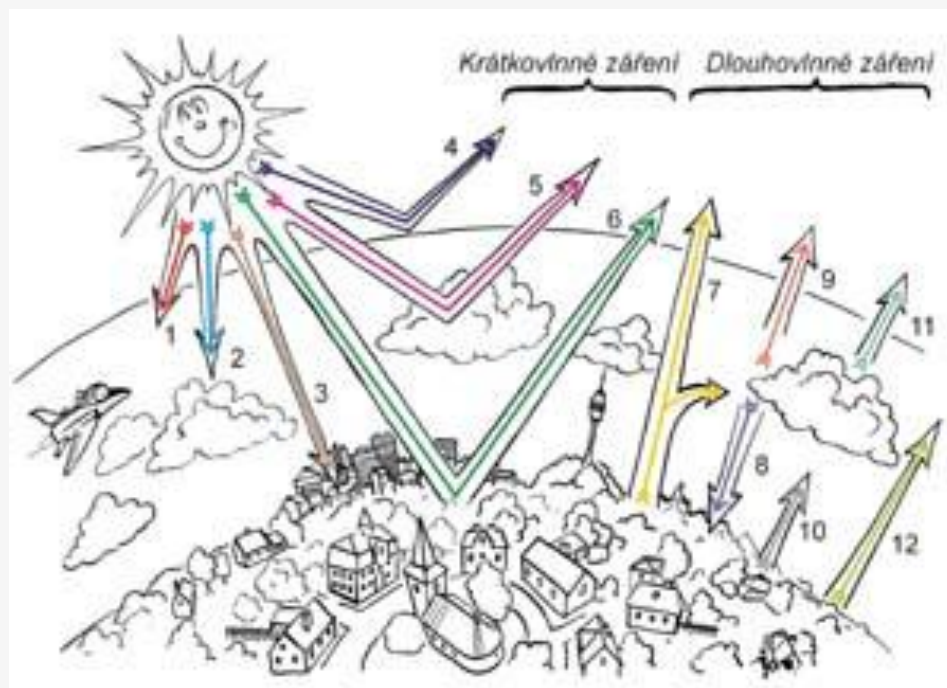
# Galaktické kosmické záření

- pochází z hlubokých oblastí vesmíru;
- je tvořeno:
  - protony (85 %);
  - jádru helia (11 %);
  - elektrony (3 %).
  - těžšími jádru prakticky všech prvků periodické soustavy (1 %);



# Sluneční kosmické záření

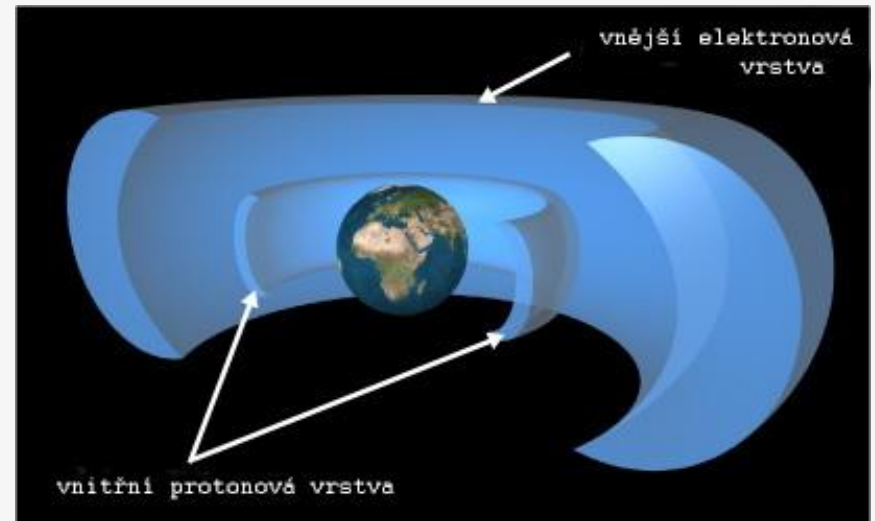
- pochází především ze slunečních erupcí;
- tvořeno z 99 % protony, těžší nabitě částice představují méně než 0,1 % celkové fluence.





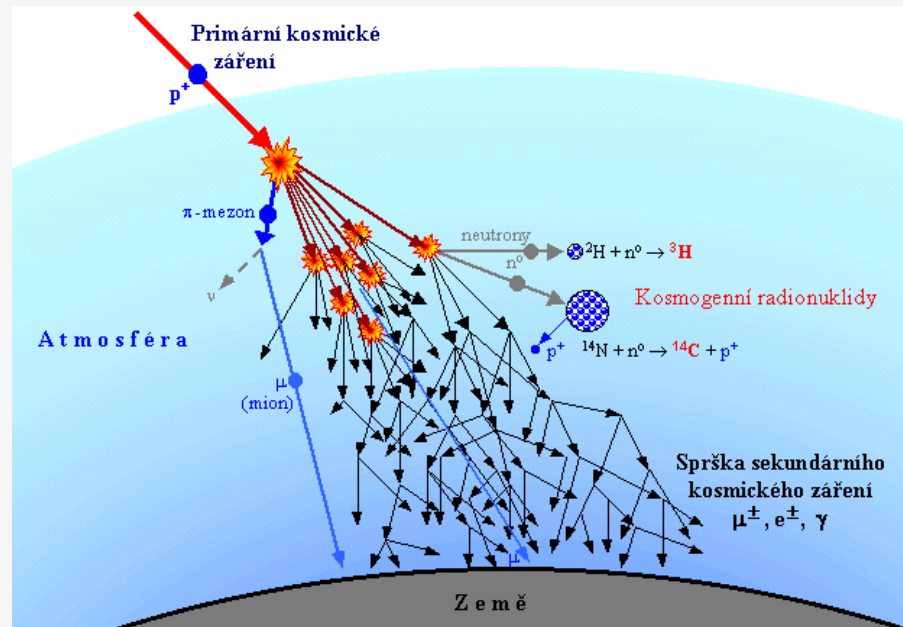
# Radiační (van Allenovy) pásy

- tvořeny protony a elektrony zachycenými magnetickým polem Země v určitých vzdálenostech od jejího povrchu;
- vnější pás → ozáření v souvislosti s meziplanetárními lety;
- vnitřní radiační pás → ozáření v souvislosti s lety družic okolo Země.



# Sekundární složka kosmického záření

- částice vznikající interakcemi zejména primárních fotonů, které pronikají až k zemskému povrchu;
- těžší jádra pronikají jen do vnějších vrstev.



# Přírodní radionuklidy

- kosmogenní radionuklidy;
- terestrální záření (radionuklidy);
  - primordiální radionuklidy;
  - radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů tvořících přeměnové řady.

# Podíl jednotlivých složek přírodního záření z hlediska externího a interního ozáření člověka

složka ozáření		průměrná světová populace	oblasti s extrémními hodnotami
		roční efektivní dávka (mSv)	
externí ozáření	kosmické záření	0,38	2,0
	terestrální	0,46	4,3
interní ozáření (bez radonu)	kosmogenní radionuklidy	0,01	0,01
	teresterální radionuklidy	0,23	0,6
radon	inhalace	1,2	>10,0
	ingesce (podzemní voda)	0,005	0,1
thoron		0,07	0,01
Celkem		2,4	

# Kosmogenní radionuklidy

- vznikají průběžně v jaderných reakcích při interakci kosmického záření se stabilními prvky zejména ve vnějším obalu Země;
- vzhledem k radiační zátěži obyvatelstva jsou důležité zejména  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$  a  $^{22}\text{Na}$ ;
- nejčastějším způsobem průniku radionuklidů do lidského organismu je ingesce látek kontaminovaných těmito radionuklidy.

# Kosmogenní radionuklidy

prvek	izotop	poločas rozpadu	druh rozpadu
vodík	$^3\text{H}$	12,33 let	100 % beta
beryllium	$^7\text{Be}$	53,29 dní	100 % elektronový záchyt
	$^{10}\text{Be}$	$1,51 \cdot 10^6$ let	100 % beta
uhlík	$^{14}\text{C}$	5730 let	100 % beta
sodík	$^{22}\text{Na}$	2,602 roku	100 % elektronový záchyt
hliník	$^{26}\text{Al}$	$7,4 \cdot 10^5$ let	100 % elektronový záchyt
křemík	$^{32}\text{Si}$	172 let	100 % beta
fosfor	$^{32}\text{P}$	14,26 dní	100 % beta
	$^{33}\text{P}$	25,34 dní	100 % beta
síra	$^{35}\text{S}$	87,51 dní	100 % beta
chlor	$^{36}\text{Cl}$	$3,01 \cdot 10^5$ let	98,1 % beta, 1,9 % el. záchyt
argon	$^{37}\text{Ar}$	35,04 dní	100 % elektronový záchyt
	$^{39}\text{Ar}$	269 let	100 % beta
krypton	$^{81}\text{Kr}$	$2,29 \cdot 10^5$ let	100 % elektronový záchyt

# Kosmogenní radionuklidy

- uhlík  $^{14}\text{C}$  → produkován ve vyšších vrstvách atmosféry reakcí  $^{14}\text{N}(\text{n},\text{p})^{14}\text{C}$ , ta je zahájena pomalými neutrony kosmického záření;
- tritium  $^3\text{H}$  → vzniká reakcemi neutronů kosmického záření s jádry dusíku a kyslíku; dostává se do potravního řetězce společně s vodou a zčásti se zabudovává do organických materiálů, včetně lidských tkání;
- berylium  $^7\text{Be}$  → vzniká v atmosféře interakcemi kosmického záření s jádry dusíku a kyslíku, hlavní cestou do organismu je ingesce listové zeleniny.

# $^{14}\text{C}$ v organismu

<b>orgán/tkáň</b>	<b>množství uhlíku (<math>\text{g.kg}^{-1}</math>)</b>	<b>aktivita <math>^{14}\text{C}</math> (<math>\text{Bq.kg}^{-1}</math>)</b>	<b>roční absorbovaná dávka (<math>\mu\text{Gy}</math>)</b>
pohlavní orgány	89	20	5
plíce	100	23	5,7
kostní dřeň	410	93	24
kostní tkáň	---	---	22
štítná žláza	105	24	5,9
ostatní tkáně	230	52	13



# $^3\text{H}$ v organismu

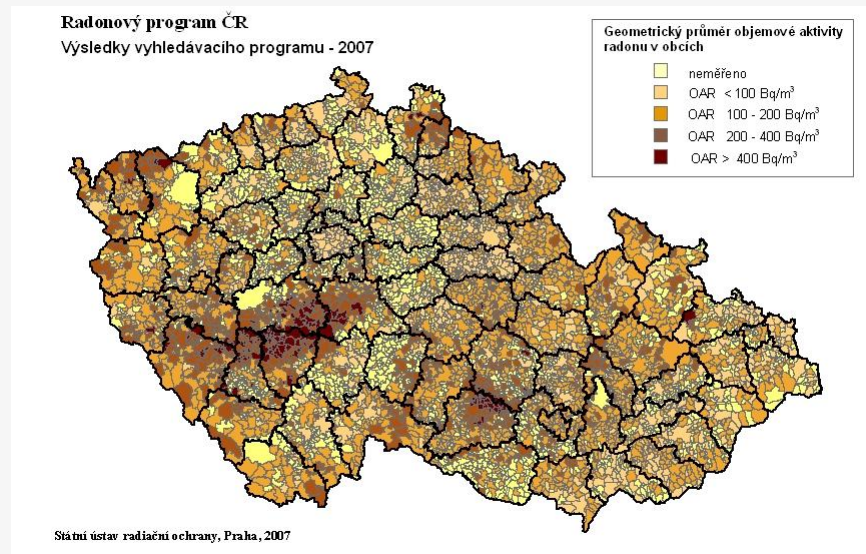
<b>orgán/tkáň</b>	<b>množství vodíku (<math>\text{g.kg}^{-1}</math>)</b>	<b>aktivita <math>^3\text{H}</math> (<math>\text{Bq.kg}^{-1}</math>)</b>	<b>roční absorbovaná dávka (<math>\mu\text{Gy}</math>)</b>
pohlavní orgány	100	0,4	0,01
plíce	99	0,4	0,01
kostní dřeň	100	0,4	0,01
kostní tkáň	---	---	0,01
štítná žláza	100	0,4	0,01
ostatní tkáně	105	0,4	0,01

# Roční příjem kosmogenních radionuklidů

radionuklid	příjem (Bq)	roční efektivní dávka ( $\mu\text{Sv}$ )
$^7\text{Be}$	1000	0,03
$^{14}\text{C}$	20 000	12
$^3\text{H}$	500	0,01
$^{22}\text{Na}$	50	0,15

# Terestrální záření

- radiační zátěž není konstantní;
- rozdíly jsou způsobeny převážně geologickými procesy, které měly za následek nerovnoměrné rozdělení radionuklidů v zemské kůře.

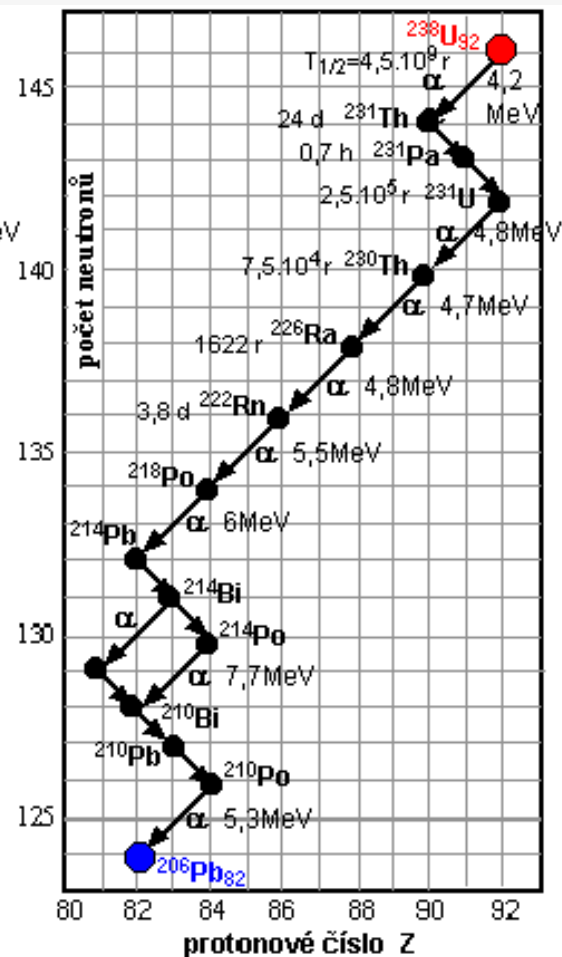
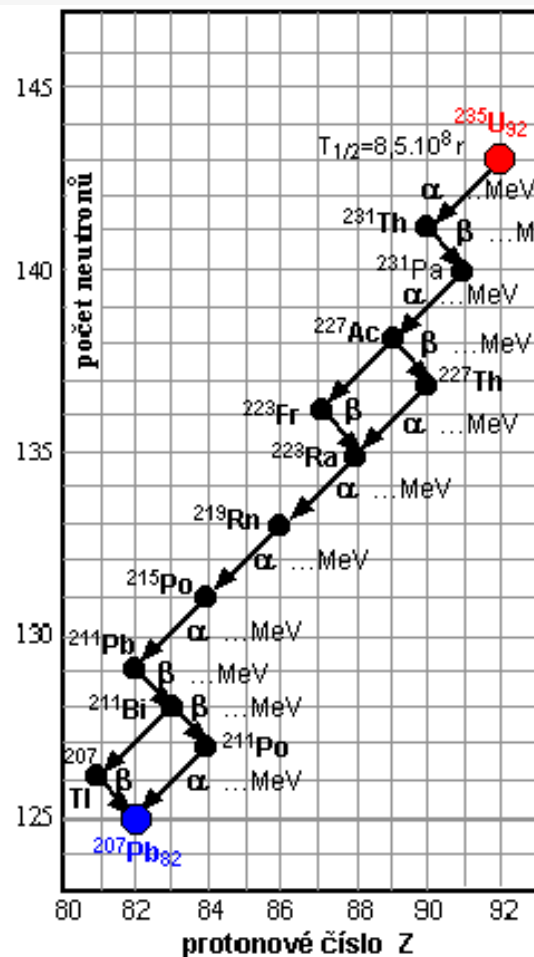
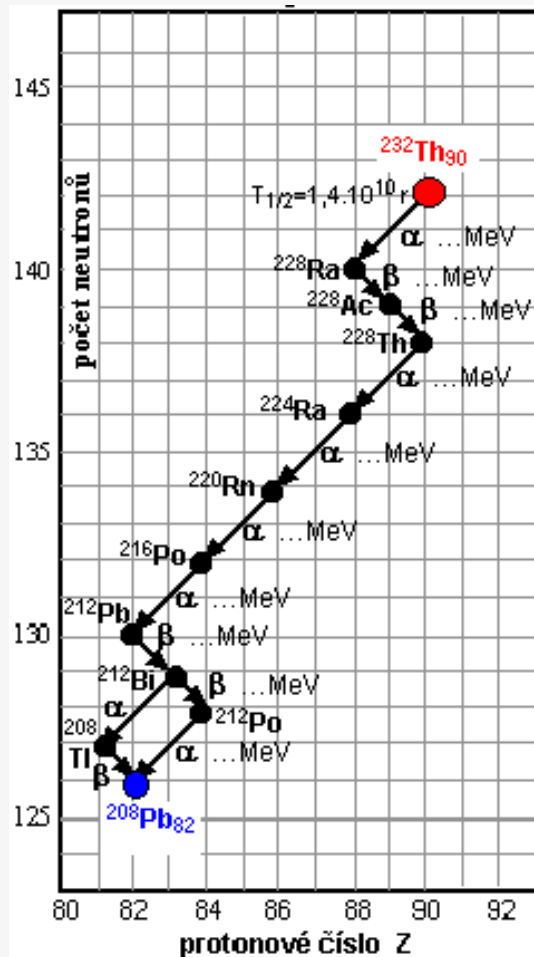


# Primordiální radionuklidy

- radionuklidy pozemského původu, které vznikly v raných stádiích vesmíru, díky dlouhému poločasu přeměny se dosud vyskytují na Zemi ve významném množství ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,...);
- řada dalších původně přítomných radionuklidů kvůli kratšímu poločasu rozpadu již vymřela nebo jsou prakticky nedetekovatelné.

# Radionuklidy vznikající v přeměnových řadách

- **uran-radiová** → vychází od  $^{238}\text{U}$  a končí  $^{206}\text{Pb}$ ;
- **thoriová** → vychází od  $^{232}\text{Th}$  a končí  $^{208}\text{Pb}$ ;
- **aktiniová** → vychází od  $^{235}\text{U}$  a končí  $^{207}\text{Pb}$ ;
- **neptuniová** → vychází od  $^{241}\text{Pu}$  a končí  $^{209}\text{Bi}$ , v přírodě se již nevyskytuje.



- Zevní ozáření gama člověka  $\rightarrow$   $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$  v horninách a půdách povrchové vrstvy Země, příspěvek závisí na geologickém prostředí;
- vnitřní ozáření  $\rightarrow$  radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) a thoron ( $^{220}\text{Ra}$ ) a jejich produkty přeměny,  $^{40}\text{K}$ ;
- s výjimkou inhalace radonu a jeho dceřiných produktů, které způsobují nejvyšší dávky obyvatelstvu, je obecně větší příjem radionuklidů ingescí než inhalací.

# Průměrný roční příjem přírodních radionuklidů ingescí a inhalací

radionuklid	roční příjem (Bq)		roční efektivní dávka ( $\mu\text{Sv}$ )	
	ingesce	inhalace	ingesce	inhalace
$^{238}\text{U}$	5,7	0,007	0,22	0,056
$^{234}\text{U}$	5,7	0,007	0,24	0,066
$^{230}\text{Th}$	3,0	0,0036	0,53	0,050
$^{226}\text{Ra}$	22,0	0,0036	5,3	0,013
$^{210}\text{Pb}$	36,0	3,6	22,0	4,0
$^{210}\text{Po}$	63,0	0,36	66,0	1,2
$^{232}\text{Th}$	1,7	0,007	0,30	0,18
$^{228}\text{Ra}$	15,0	0,007	9,0	0,019
$^{228}\text{Th}$	3,0	0,007	0,09	0,28
$^{235}\text{U}$	0,2	0,0004	0,009	0,003



# Radionuklidy deponované ve tkáních

- určité množství radionuklidů, které lidský organismus přijme, se v něm může deponovat;
- množství deponovaného radionuklidu závisí především na velikosti jeho příjmu a chování radionuklidu v lidském organismu.

<b>radionuklid</b>	$^{238/234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb/Po}$	$^{232}\text{Th}$	$^{228/224}\text{Ra}$
<b>dávka (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>	6	6	7	80	4	18

# Zdroje přírodních radionuklidů

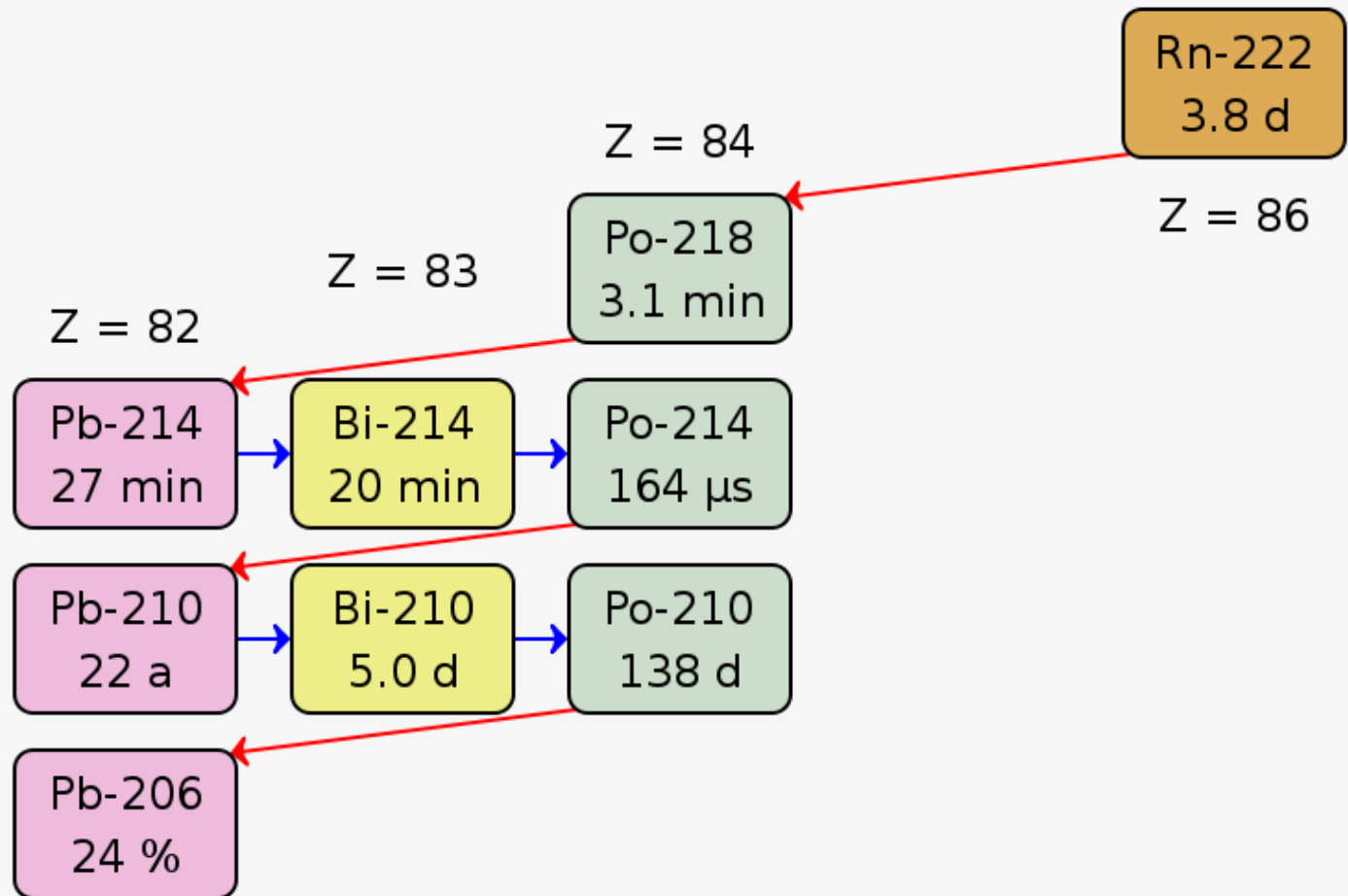
- primárním zdrojem jsou horniny, specifické úrovně aktivit jednotlivých hornin záleží na původu dané horniny nebo na hornině, ze které vznikla sledovaná půda;
- hmotnostní aktivity významných radionuklidů  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$  v různých horninách se liší až o několik řádů;
- horniny i půdy jsou jednak zdrojem externího záření gama, jednak z nich uvolňované radionuklidy migrují do vody, ovzduší a potravinových řetězců;
- samostatným problémem je radioaktivita stavebních materiálů, které jsou často vyráběny z hornin nebo druhotných surovin.

# Radon

## a jeho rozpadové produkty

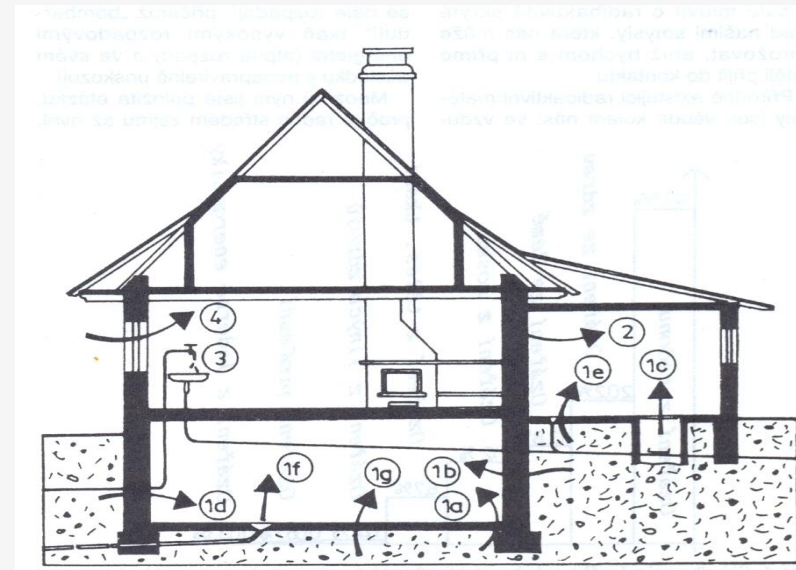
- samotný radon není pro člověka příliš nebezpečný, protože po vdechnutí je opět vydechnut ven;
- významné z hlediska ozáření jsou **jeho dceřiné produkty** → kovy, které se v atmosféře usazují na povrchu prachových částic, společně s nimi jsou pak vdechovány a podle velikosti se mohou deponovat v různých částech na výstelce dýchacích cest nebo plic;
- vzhledem k vysoké toxicitě  $\alpha$  částic jsou izotopy polonia, které se rozpadají tímto způsobem.

# Dceřiné produkty radonu



# Radon

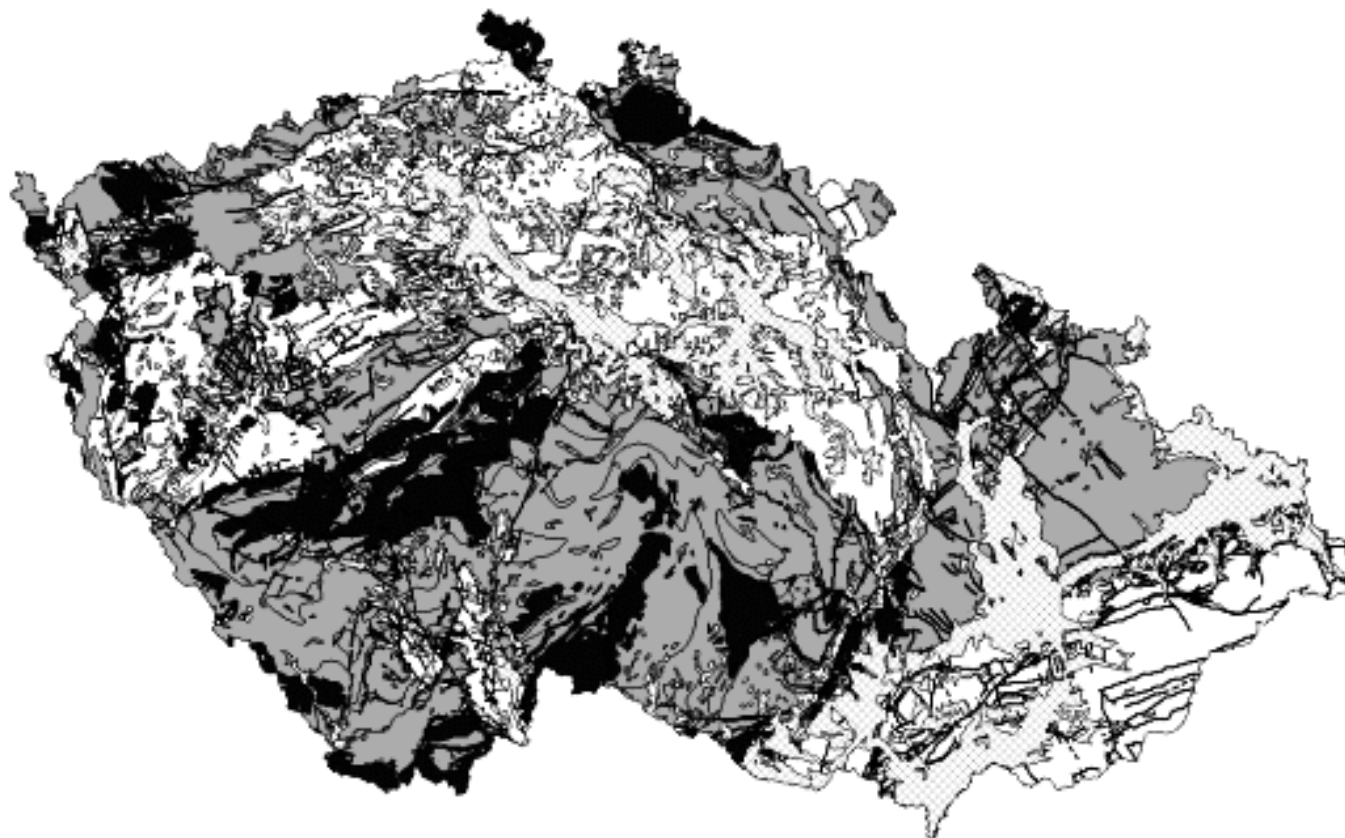
- ve volné atmosféře je ředěn vzdušnými proudy  
→ koncentrace je velice nízká;
- v uzavřeném prostředí může docházet k jeho akumulaci  
→ koncentrace může dosáhnout vysokých hodnot;
- významnými zdroji radonu v budovách jsou zejména:
  - geologické podloží;
  - stavební materiál;
  - voda dodávaná do objektu;
  - venkovní vzduch dodávaný ventilací;
  - zemní plyn.



# Radon v České republice

- ČR patří k zemím s nejvyšší průměrnou koncentrací radonu na světě;
- výskyt radonu v budovách je nerovnoměrný;
- průměrná hodnota koncentrace objemové aktivity radonu 140 Bq/m<sup>3</sup>;
- příčinou je zejména vyšší výskyt uranu a radia;
- dále pak špatná plynotěsná izolace budov od země a stále menší větrání budov vyvolané energetickými úsporami.

# Geologická prognózní mapa radonového rizika



Převažující kategorie radonového rizika z geologického podloží

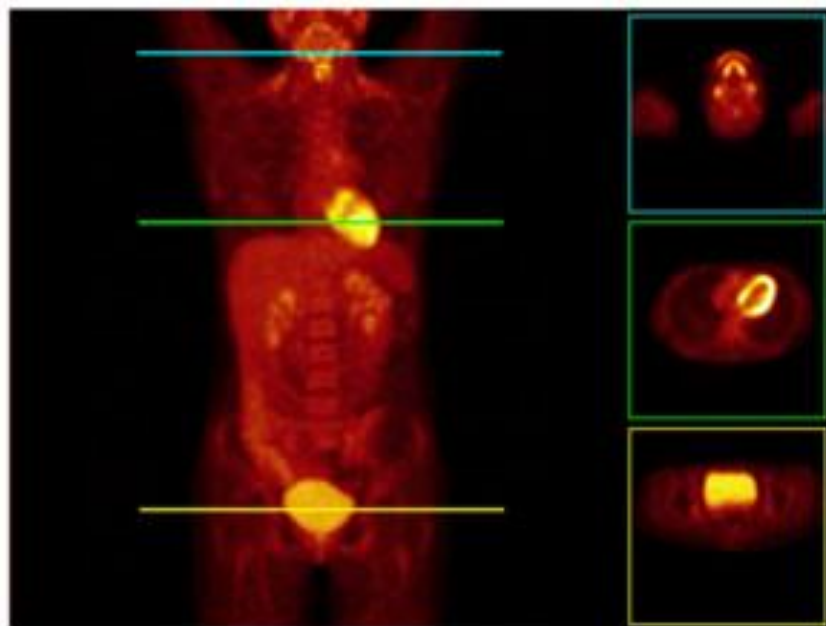


# Přírodní radioaktivita uvolněná do životního prostředí

- při některých průmyslových činnostech se do prostředí uvolňují látky s vyššími aktivitami přírodních radionuklidů;
- tyto činnosti mohou být závažné z hlediska expozice pracovníků, z hlediska expozice obyvatelstva je potřeba sledovat problematiku hospodaření s odpady;
- jedná se o radionuklidy uran-radiové a thoriové přeměnové řady, a to zejména izotopy radia a olova  $^{210}\text{Pb}$ .



# UMĚLÉ ZDROJE ZÁŘENÍ



# Zdroje ionizujícího záření využívané ve zdravotnictví

- ozáření lidí vyšetřovaných nebo léčených pomocí zdrojů ionizujícího záření je nejvyšším ozářením obyvatel mimo přírodní zdroje;
- dávky z lékařské expozice se u jednotlivých obyvatel významně liší, od hodnot nulových po hodnoty tisícinásobně převyšující dávky z normálního přírodního pozadí.

# Zdroje ionizujícího záření používané na radioterapeutických odděleních



# Zevní ozáření

- provádí se zejména na přístrojích, které produkují fotonové záření o vysoké energii:
  - urychlovače částic → lineární urychlovače, cyklické urychlovače (betatron, cyklotron);
  - radionuklidové zdroje → kobaltové a cesiové ozařovače;
- k radionuklidovým zdrojům řadíme také Leksellův gama nůž.



# Brachyterapie

- metoda, při které jsou radioaktivní zářiče zaváděny do orgánů;
- nepoužívanějším byl izotop  $^{226}\text{Ra}$ ;
- později se začaly uplatňovat umělé radioizotopy ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{198}\text{Au}$ ,  $^{125}\text{I}$ );
- radioizotopy se nejprve zaváděly přímo ručně, v 80. letech se začal používat automatický afterloading.



# Zdroje ionizujícího záření používané na radiologických odděleních



# Vyšetřovací techniky

- mezi vyšetřovací techniky využívající rentgenových paprsků, které jsou generovány rentgenkou patří skiografie, skiaskopie, výpočetní tomografie a intervenční metody pod rentgenovými přístroji;
- při zvyšování kvality léčby zůstává rentgenové záření účinným nástrojem lékařů, rozšiřuje se škála i množství indikací k vyšetření pacientů → narůst takzvané kolektivní dávky.





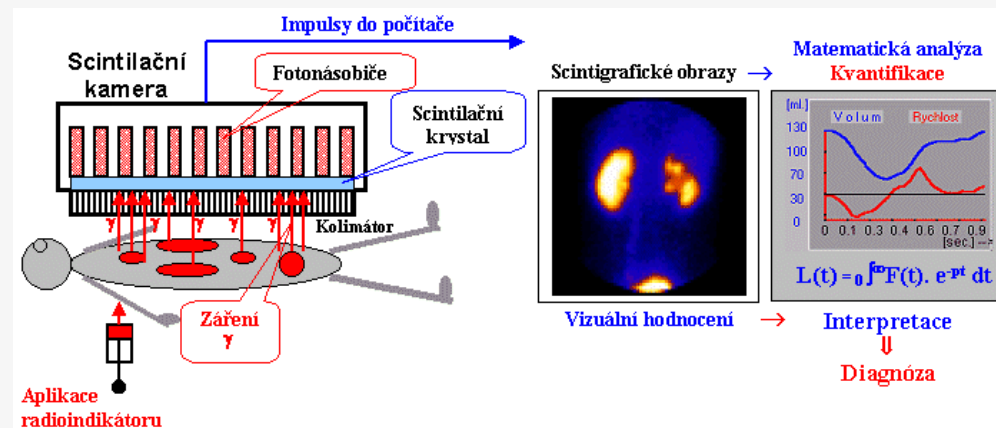
diagnostický výkon		typická hodnota efektivní dávky (msv)	přibližná doba pro stejně ozáření z přírodních zdrojů
konvenční rentgenová vyšetření	končetiny a klouby	< 0,01	< 1,5 dne
	plíce (1 PA snímek)	0,02	3 dny
	lebka	0,07	11 dní
	mamografie (screening)	0,1	15 dnů
	kyčle	0,3	7 týdnů
	pánev, hrudní páteř	0,7	4 měsíce
	břicho	1,0	6 měsíců
	bederní páteř	1,3	7 měsíců
	polykací akt	1,5	8 měsíců
	vylučovací urografie	2,5	14 měsíců
	vyšetření žaludku	3	16 měsíců
CT vyšetření	irigoskopie	7	3,2 roku
	CT hlavy	2,3	1 rok
	CT hrudníku	8	3,6 roku
	CT břicha nebo pánve	10	4,5 roku

# Zdroje ionizujícího záření používané na odděleních nukleární medicíny



# Charakteristika používaných radionuklidů

- pouze umělé radionuklidy;
- fyzikální poločas přeměny v rozmezí od několika hodin až několika desítek dnů;
- emise záření beta a gama (případně charakteristického rentgenového záření);
- energie záření gama (případně charakteristického rentgenového záření v rozmezí od 30 do 511 keV.



# Zdroje radionuklidů

- radionuklidové generátory → konstruovány na principu přeměny mateřského radionuklidu s dlouhým fyzikálním poločasem přeměny na krátkodobý dceřiný radionuklid, jehož se využívá ke značení radiofarmak ( $^{99m}\text{Tc}$ );
- cyklotron ( $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{111}\text{In}$  a  $^{201}\text{Tl}$ ) pro SPECT a krátkodobé radionuklidy  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$  a zejména  $^{18}\text{F}$  pro pozitronové zobrazovací systémy;
- jaderný reaktor ( $^{32}\text{P}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ).



<b>radionuklid a radiofarmakum</b>	<b>vyšetření</b>	<b>efektivní dávka (mSv)</b>
$^{99m}\text{Tc}$ -fosfáty	scintigrafie skeletu	3,5
$^{99m}\text{Tc}$ -MAA	scintigrafie plic perfuzní	2,28
$^{131}\text{I}$ -hippuran	nefrografie prostá	0,07
$^{99m}\text{TcO}_4$	scintigrafie štítné žlázy	1,56
$^{99m}\text{Tc}$ -MAG3	scintigrafie ledvin dynamická	1,6
$^{99m}\text{Tc}$ -DMSA	scintigrafie ledvin statická	1,73
$^{99m}\text{TcO}_4$	scintigrafie mozku statická	7,5
$^{99m}\text{Tc}$ -HMPAO	scintigrafie mozku perfuzní	7,4
$^{99m}\text{Tc}$ -DTPA	scintigrafie ledvin dynamická	1,5
$^{99m}\text{Tc}$ -chlorid	scintigrafie myokardu perfuzní	19,8
$^{99m}\text{Tc}$ -MIBI	scintigrafie myokardu perfuzní	6,5
$^{99m}\text{Tc}$ -koloid	scintigrafie jater a sleziny statická	1,2
$^{99m}\text{Tc}$ -erytrocyty	ventrikulografie	5,25
$^{99m}\text{Tc}$ -tetrofosmin	scintigrafie myokardu perfuzní	4,29
$^{67}\text{Ga}$ -citrát	scintigrafie celkové vyšetření	16,3
$^{99m}\text{Tc}$ -diethyl IDA	scintigrafie jater a žlučových cest	3,4
$^{99m}\text{Tc}$ -HIG	scintigrafie zánětů	3,76

# **Radionuklidy pocházející z testování jaderných zbraní**



# Zkoušky jaderných zbraní

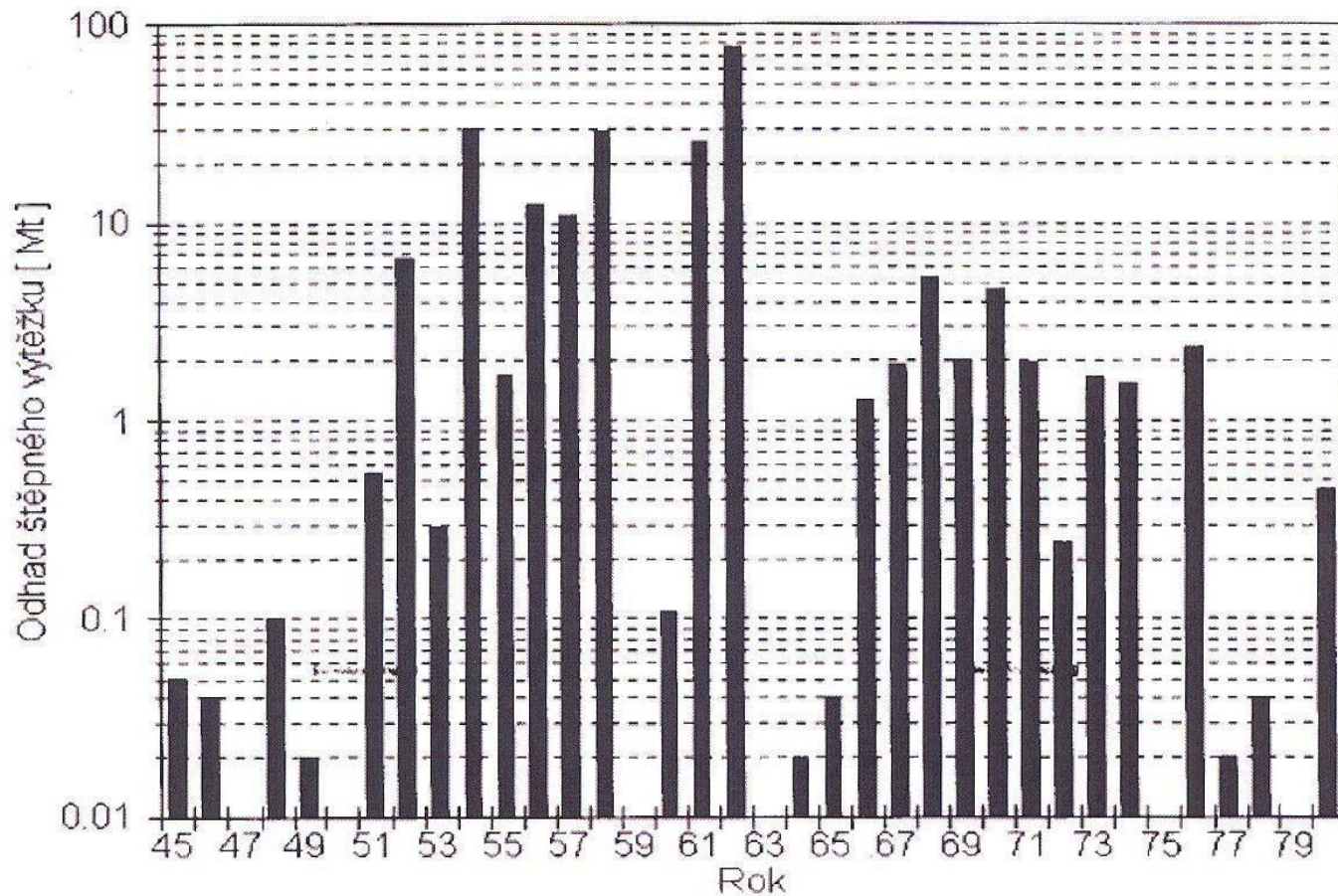
- probíhaly v letech 1945 až 1980 → do životního prostředí se uvolnil největší podíl z celkového množství všech antropogenních radionuklidů;
- spektrum radionuklidů, které vznikají, je poměrně široké → zahrnuje především samotné štěpné produkty jaderné reakce, zbytky nevybuchlé nálože a radionuklidy vzniklé z prvků prostředí aktivací neutrony;
- v současné době jsou z hlediska přítomnosti v životním prostředí a tudíž z hlediska ozáření osob nejdůležitější radionuklidy s dlouhým poločasem přeměny →  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{14}\text{C}$ .



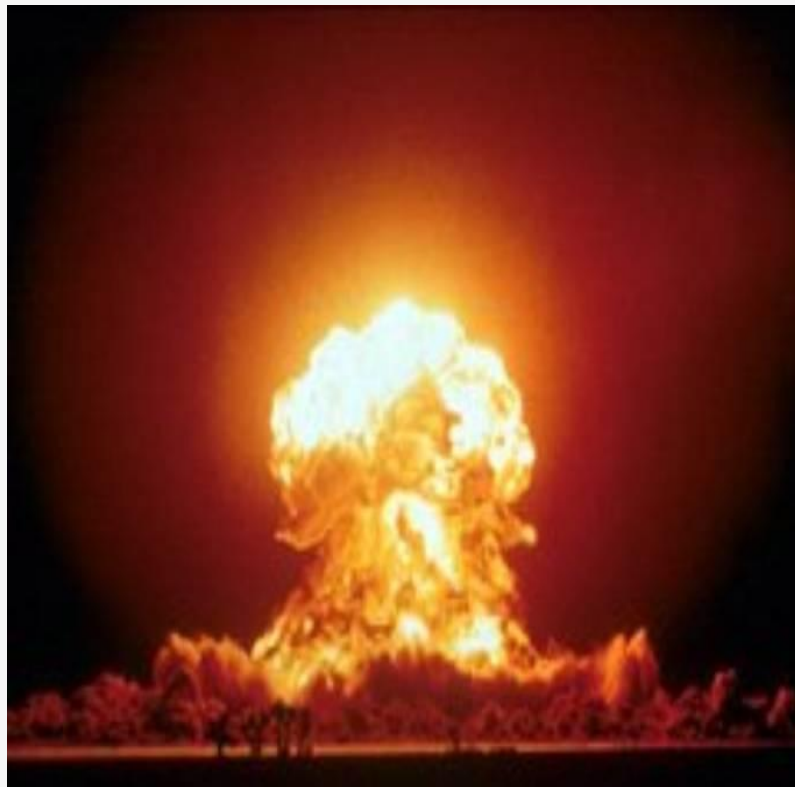
**Radionuklidy vzniklé a globálně rozptýlené  
při atmosférickém testování jaderných zbraní**

<b>radionuklid</b>	<b>poločas rozpadu</b>	<b>množství (PBq)</b>
$^3\text{H}$	12,33 roku	186000
$^{14}\text{C}$	5730 let	213
$^{54}\text{Mn}$	312,3 dne	3980
$^{55}\text{Fe}$	2,73 roku	1530
$^{89}\text{Sr}$	50,53 dne	117000
$^{90}\text{Sr}$	28,78 roku	622
$^{91}\text{Y}$	58,51 dne	120000
$^{95}\text{Zr}$	64,02 dne	148000
$^{103}\text{Ru}$	39,26 dne	247000
$^{106}\text{Ru}$	373,6 dne	12200
$^{125}\text{Sb}$	2,76 roku	741
$^{131}\text{I}$	8,02 dne	675000
$^{140}\text{Ba}$	12,75 dne	759000
$^{141}\text{Ce}$	32,50 dne	263000
$^{144}\text{Ce}$	384,9 dne	30700
$^{137}\text{Cs}$	30,07 roku	948
$^{239}\text{Pu}$	24110 let	6,52
$^{240}\text{Pu}$	6563 let	4,35
$^{241}\text{Pu}$	14,35 roku	142

# Přehled výtěžků z jaderných zkoušek v atmosféře



- Testováním byla více zasažena severní polokoule → způsobeno vyšším počtem testů a povahou vzdušných proudů (pasáty), díky kterým nedošlo k včasnému promíchání atmosféry.



<b>Průměrné roční efektivní dávky na severní polokouli</b>				
<b>Časové období</b>	<b>Průměrné roční efektivní dávky (μSv)</b>			
	<b>externí ozáření</b>	<b>ingesce</b>	<b>inhalace</b>	<b>celkem</b>
1945-1999	382	531	164	1076
2000-2099	124	141	---	264
2100-2199	12	51	---	63
2200-∞	1,4	2180	---	2181

<b>Průměrné roční efektivní dávky na jižní polokouli</b>				
<b>Časové období</b>	<b>Průměrné roční efektivní dávky (μSv)</b>			
	<b>externí ozáření</b>	<b>ingesce</b>	<b>inhalace</b>	<b>celkem</b>
1945-1999	115	178	35	328
2000-2099	31	126	---	157
2100-2199	3,1	50	---	53
2200-∞	0,3	2180	---	2180

# Zhodnocení UNSCEAR

- výbuchy jaderných zbraní způsobily kolektivní dávku asi 30 miliónů manSv;
- z toho 26 miliónů manSv se připisuje dlouhodobého vlivu uhlíku  $^{14}\text{C}$ ;
- průměrné souhrnné ozáření je způsobeno:
  - 75 % → ingesce;
  - 20 % → zevní ozáření;
  - 5 % → inhalace.

# Radionuklidy pocházející z havárie jaderné elektrárny v Černobylu



# Radionuklidy uniklé po havárii

- radioaktivní vzácné plyny, (izotopy xenonu a kryptonu);
- izotopy jódu;
- těkavé prvky a sloučeniny (telur a cesium);
- radioizotopy málo těkavých prvků (cer, zirkonium, baryum a stroncium);
- s rozprášeným palivem unikly do ovzduší i aktinoidy a také izotopy plutonia a americia.

<b>radionuklid</b>	<b>poločas přeměny (roky)</b>	<b>aktivita (tBq)</b>
<sup>85</sup> Kr	10,760	33 000
<sup>89</sup> Sr	0,140	80 000
<sup>90</sup> Sr	28,800	8 000
<sup>99</sup> Mo	0,010	210 000
<sup>95</sup> Zr	0,180	140 00–196 000
<sup>103</sup> Ru	0,110	120 000–170 000
<sup>106</sup> Ru	1,020	30 000
<sup>131</sup> I	0,020	1 760 000
<sup>133</sup> I	0,002	910 000
<sup>132</sup> Te	0,010	1 000 000
<sup>133</sup> Xe	0,010	6 500 000
<sup>134</sup> Cs	2,060	44 000–50 000
<sup>137</sup> Cs	30,070	74 000–85 000
<sup>140</sup> Ba	0,040	170 000
<sup>141</sup> Ce	0,090	120 000–200 000
<sup>144</sup> Ce	0,780	90 000–140 000
<sup>239</sup> Np	0,001	1 700 000
<sup>238</sup> Pu	88	30–35
<sup>239</sup> Pu	24 100	30–33
<sup>240</sup> Pu	6 567	42–53
<sup>241</sup> Pu	14,350	5 900–6 300
<sup>242</sup> Cm	0,450	900–11 000



- Největší dosud zaznamenaný krátkodobý únik radioaktivních materiálů z jednoho zdroje do atmosféry;
- krátkodobou a dlouhodobou radiační situaci v postižených oblastech ovlivnily zejména:
  - jód (hlavně  $^{131}\text{I}$ );
  - cesium ( $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$ );
  - stroncium (hlavně  $^{90}\text{Sr}$ );
  - plutonium ( $^{230}\text{Pu}$  a  $^{240}\text{Pu}$ );
- kromě toho se také do atmosféry dostaly vysoce aktivní fragmenty paliva (horké částice).

# Česká republika

- v ovzduší identifikováno až 20 různých radionuklidů;
- nejvýznamnější kontaminanty:
  - jód  $^{131}\text{I}$ ;
  - telur  $^{132}\text{Te}$ ;
  - izotopy cesia  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ;
  - ruthenium  $^{103}\text{Ru}$ .
- typické expozice významných radionuklidů se pohybovaly v řádu jednotek až desítek Bq/m<sup>3</sup>;
- od července 1986 bylo již více než 90 % dávek tvořeno  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$ .

# Zhodnocení UNSCEAR

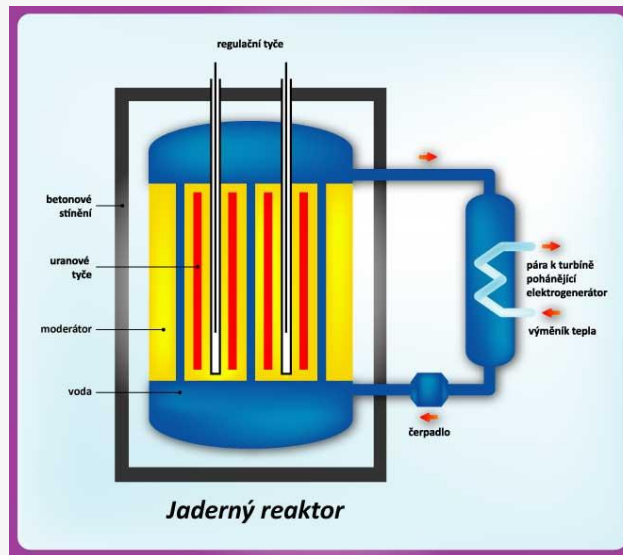
- globální kolektivní dávka je odhadována na 0,6 mil. manSv;
- průměrné souhrnné ozáření je způsobeno:
  - 60 % → zevní ozáření;
  - 40 % → ingesce;
- na kolektivní dávce se podílí:
  - 70 % →  $^{137}\text{Cs}$  ;
  - 20 % →  $^{134}\text{Cs}$ ;
  - 6 % →  $^{131}\text{I}$ ;
  - 4 % → krátkodobé radionuklidy.

# Průmyslové zdroje ionizujícího záření



# Jaderný reaktor

- při výrobě energie jaderným reaktorem vznikají radionuklidy:
  - štěpením v palivu → **štěpné produkty**;
  - aktivací neutrony v palivu samém, v pokrytí paliva, v konstrukčním materiálu i v chladivu primárního okruhu → **aktivační produkty**.



Do ovzduší vypouštěny:

- štěpné produkty ve formě vzácných plynů (izotopy kryptonu a xenonu);
- některé aktivační produkty ve formě vzácných plynů ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{16}\text{N}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{76}\text{As}$ );
- tritium;
- radioizotopy jódu v plynných formách a ve formě aerosolu;
- v aerosolových formách štěpné a aktivační produkty;
- transurany.

Do hydrosféry vypouštěno:

- zejména tritium;
- aktivační a případně i štěpné produkty.



# Ostatní průmyslové zdroje

- zdroj záření může být buď trvale instalován nebo se pouze odebírají vzorky, které se nukleárními metodami studují a analyzují na speciálních pracovištích;
- metody mohou být založeny na různém principu:
  - indikace změn v pohlcování záření (například defektoskopy, hlásiče požáru, tloušťkoměry, hladinoměry);
  - vytvořené elektricky nabitě částice vyvolávají elektrickou vodivost vzduchu, čímž se dá např. odvést nežádoucí elektrický náboj nahromaděný třením na polymerních tkaninách nebo fóliích → možnost zamezení výbojům statické elektřiny v prostorách, kde hrozí výbuch.



