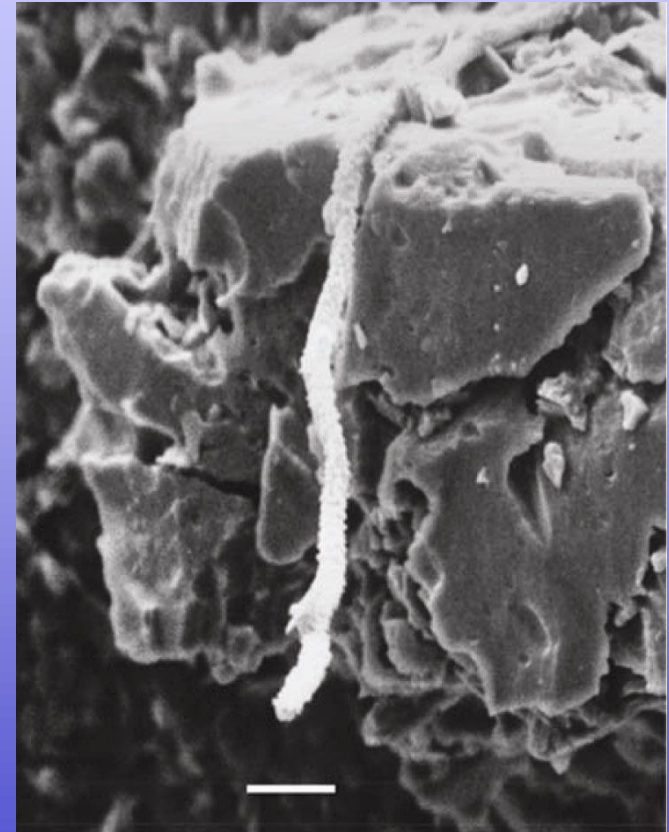
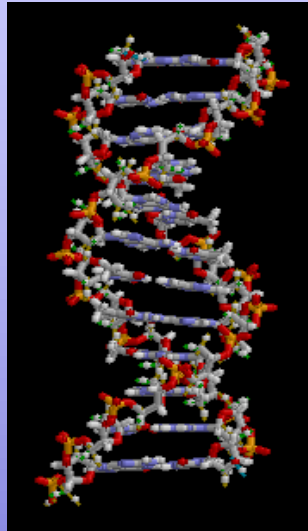


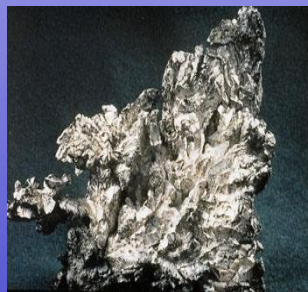


# GEOMYKOLOGIE VII.

(radioaktivita v houbách)



25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.41	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96
43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60
75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)



**RNDr. Jan Borovička, Ph.D.**

Ústav jaderné fyziky AV ČR / Geologický ústav AV ČR



# Radioaktivita v houbách



## Radioaktivita

= proces samovolné přeměny jádra nestabilního izotopu na jádro jiné, přičemž tento proces je doprovázen zářením.  
(Pojem poprvé použila dvojnásobná držitelka Nobelovy ceny Maria Curie-Skłodowska.)



# Typy radioaktivní přeměny

**1/ Alfa** – jádro atomu emituje (vyzáří) alfa částici (tj. jádro helia). Toto záření lze vzhledem k relativně velkým částicím a elektrickému náboji snadno odstínit (stačí např. list papíru), **jedná se však o zdravotně nejrizikovější typ**. Pokud totiž působí přímo na tkáně (např. při vdechnutí na plicní epitel), má nejvyšší destrukční potenciál. Alfa zářiči jsou např. izotopy uranu, thoria a produkty jejich přeměny (radon).

# Typy radioaktivní přeměny

**2/ Beta** – jádro atomu emituje (vyzáří) beta částici (buď záporně nabitý elektron – typ beta minus, nebo kladně nabitý pozitron – typ beta plus). Je pronikavější než záření alfa, odstíní jej např. přibližně 1 mm silná vrstva olova. Beta zářičem je např. po černobylské havárii uniklý izotop stroncia  $^{90}\text{Sr}$ .

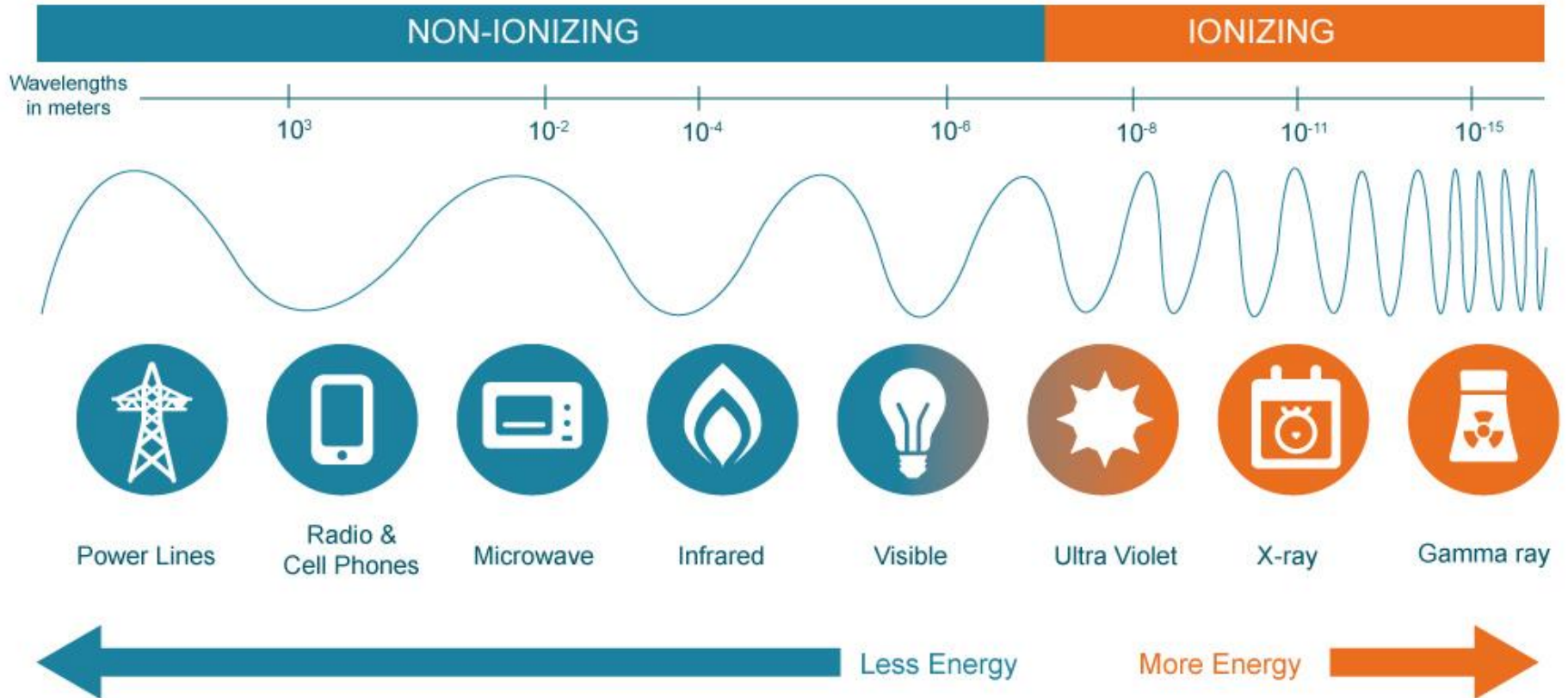
**3/ Záchyt elektronu** – proton v jádře zachytí elektron k jádru nejbližší a přemění se na neutron za vzniku prvku o jedno protonové číslo menší. Tato přeměna je doprovázena charakteristickým rentgenovým (X) a gama zářením. Např. draslík  $^{40}\text{K}$  (společně s beta minus).

# Typy radioaktivní přeměny

**Gama záření** je významným typem ionizujícího záření i radioaktivní přeměny: jde o elektromagnetické vlnění, které na rozdíl od výše zmíněných typů záření alfa a beta nemá elektrický náboj. Obvykle doprovází beta rozpad a elektronový záchyt. Je velmi pronikavé, pro odstínění se používají kovy o vysoké hustotě, např. silné stěny z olova (olověné cihly). Gama záření provází např. přeměnu po Černobylské havárii uniklého izotopu cesia  $^{137}\text{Cs}$ .

Alfa, beta i gama záření lze měřit; **nejsnáze měřitelné je však gama záření, které na rozdíl od alfa a beta záření nemá spojité spektrum.**

# Záření podle vlnové délky



# Fyzikální poločas přeměny (rozpadu)

= doba, za kterou se přemění polovina atomů radioaktivního izotopu z původního množství.

Izotop s  $t_{1/2}=1$  hodina; milion atomů = za jednu hodinu z původního množství atomů zbude 500 000, za dvě hodiny 250 000, za tři hodiny 125 000, za 4 hodiny 62 500 atomů...

Jako doba vymření daného izotopu se bere v praxi čas odpovídající 10 poločasům rozpadu (jedno promile – 0,1% – původní aktivity), v tomto případě by to tedy bylo 10 hodin. Poločasy rozpadů různých izotopů se pohybují ve velmi širokém rozmezí, od nepatrného okamžiku po miliardy let.

Princip nepředvídatelnosti, přeměna je statistický proces.  
Filosofický problém (determinismus).

**Fyzikální poločas** ( $T_f$ ) charakterizuje rychlost radioaktivní přeměny jádra. Pomocí hodnoty  $T_f$  můžeme zhotovit graf jeho rozpadové křivky. **Fyzikální poločas je definován:**  $T_f = \ln(2) / \lambda$ ,  $\lambda$  je přeměnová konstanta.

**Biologický poločas** ( $T_b$ ) je doba, za kterou se vyloučí z organismu polovina množství daného radionuklidu.

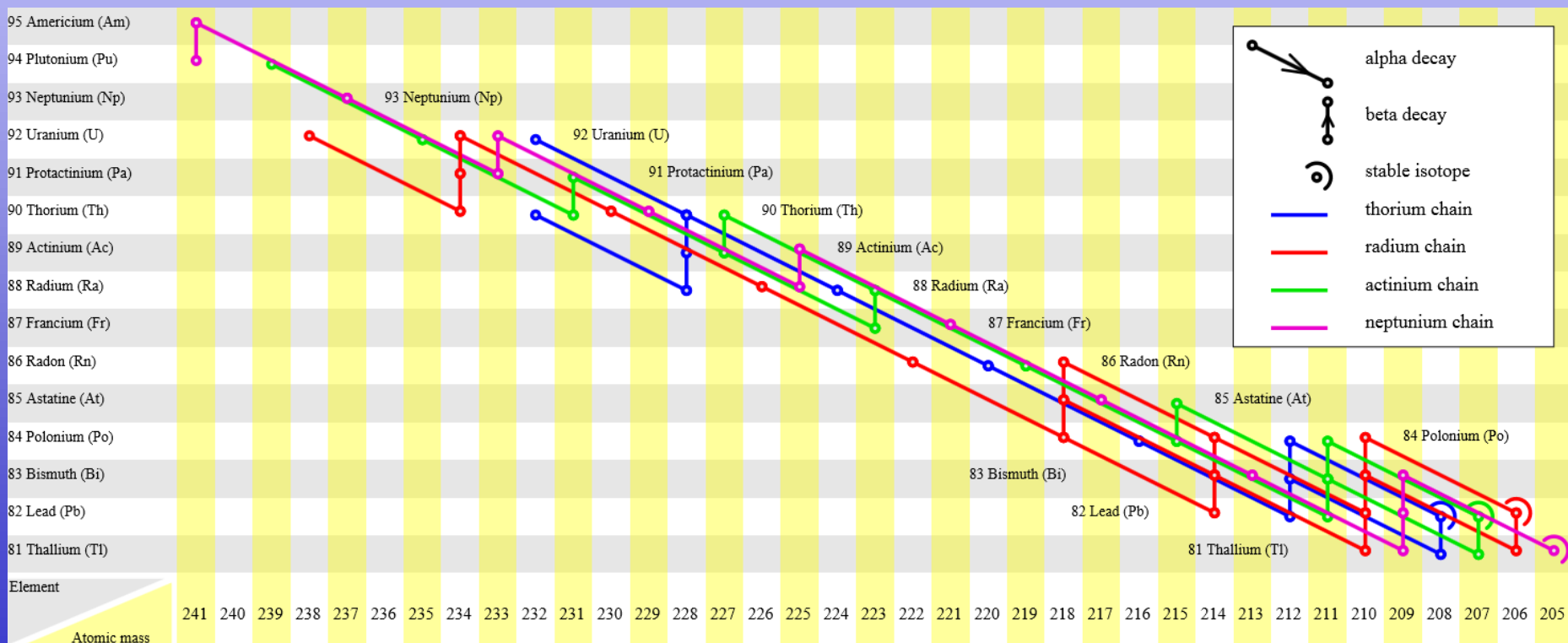
**Efektivní poločas** ( $T_{ef}$ ) definujeme jako čas, během kterého se sníží na polovinu celková aktivita radionuklidu, který byl vpraven do organismu v důsledku kombinace jeho biologického a fyzikálního rozpadového poločasu. V praxi je vždy kratší než poločas fyzikální.

*Efektivní poločas je definován:  $1/T_{ef} = 1/T_f + 1/T_b$*

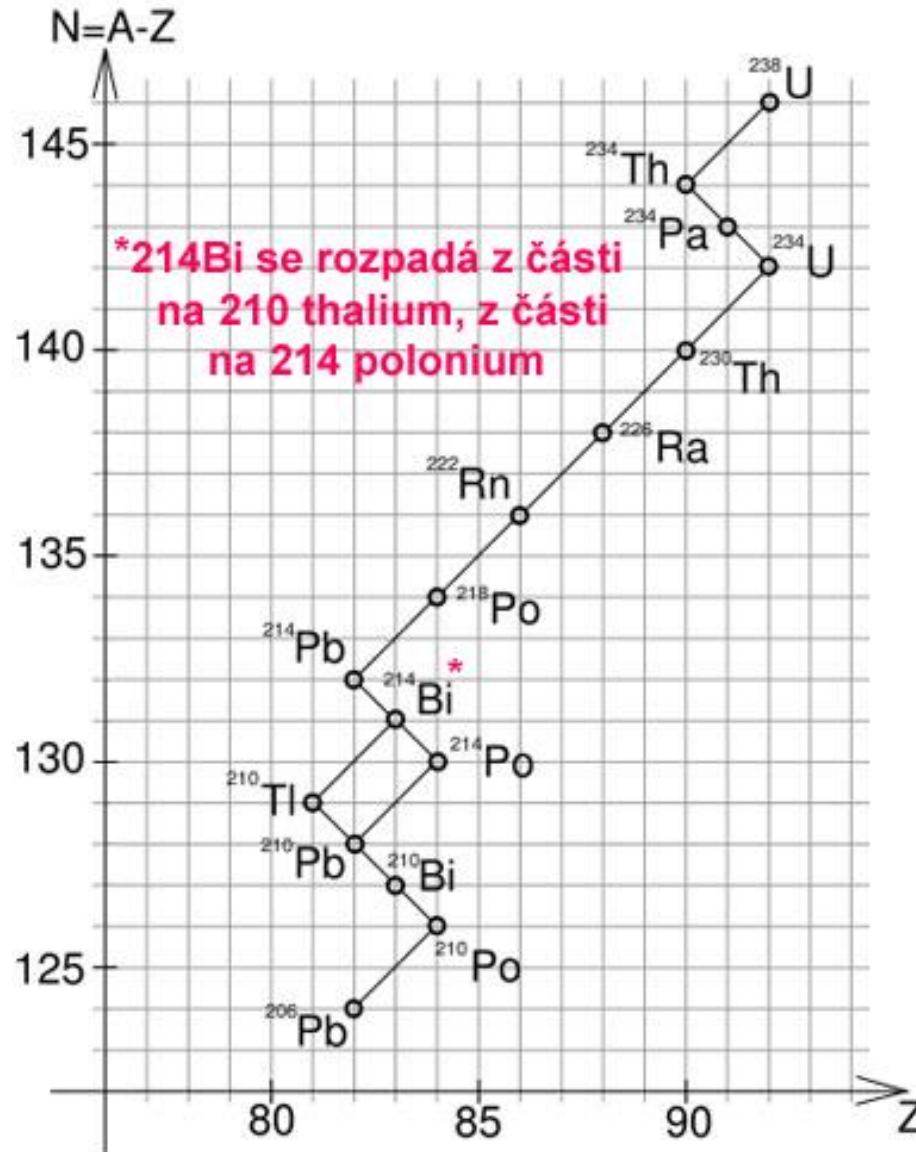


# Přeměnové (rozpadové) řady

V přírodě izotopy uranu a thoria.



# Přeměnová řada $^{238}\text{U}$



# Radioaktivita v houbách

## 1/ Přirozené radionuklidy: z podloží

a) izotopy uranu ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  a  $^{238}\text{U}$ ) a thoria ( $^{232}\text{Th}$ ) a produkty jejich přeměny

Koncentrace U i Th v houbách velmi nízké i v kontaminovaných oblastech (Příbramsko), max. jednotky mg/kg sušiny.

Aktivita U i Th se pohybuje v desítkách, max. prvních stovkách mBq/kg sušiny; aktivita U je vyšší.

Aktivita se vzhledem k obtížnosti měření obvykle nestanovuje, lze ji vypočítat ze stanovené koncentrace obou prvků.

# Aktivita uranu v houbách

Table 4  
Results for uranium determination in mushrooms from Poland

Species	Site code	Recovery (%)	$^{238}\text{U}$ (mBq/kg dw)	$^{234}\text{U}$ (mBq/kg dw)	$^{235}\text{U}$ (mBq/kg dw)	$^{234}\text{U}, ^{238}\text{U}$
<i>Xerocomus badius</i>	23	16 ± 2	70 ± 21	62 ± 13		0.95 ± 0.22
	49	51 ± 5	240 ± 70	240 ± 20	9 ± 5	0.99 ± 0.05
	67	19 ± 4	50 ± 20	60 ± 10		1.15 ± 0.19
	120	41 ± 5	160 ± 50	140 ± 10	6 ± 4	0.86 ± 0.05
	142	34 ± 3	130 ± 30	89 ± 7		0.69 ± 0.06
	161	106 ± 10	15 ± 4	14 ± 2		0.95 ± 0.14
	224	97 ± 10	70 ± 20	66 ± 9		1.00 ± 0.16
	X-X	46 ± 5	22 ± 6	23 ± 3		1.05 ± 0.16
Wash of X-X		69 ± 6	18 ± 4	17 ± 2		0.97 ± 0.12
<i>L. vellereus</i>	49 (two halves)	79 ± 7	120 ± 30	140 ± 20		1.17 ± 0.16
	161	40 ± 3	170 ± 30	170 ± 10	10 ± 5	0.98 ± 0.07
<i>M. procera</i>	23	42 ± 5	270 ± 90	120 ± 20		0.46 ± 0.08
	142	50 ± 5	100 ± 30	62 ± 6		0.65 ± 0.06
<i>A. mellea</i>	224	45 ± 5	100 ± 30	50 ± 7		0.50 ± 0.07

# Aktivita thoria v houbách

Table 3  
Results for thorium isotope activity concentrations in mushroom samples calculated under the assumption, that the recovery of thorium was 100%

Species	Site code	$^{232}\text{Th}$ (mBq/kg dw)	$^{230}\text{Th}$ (mBq/kg dw)	$^{230}\text{Th}:^{232}\text{Th}$
<i>B. edulis</i>	120 + 131	$2.5 \pm 0.4$	$2.5 \pm 0.4$	$1.03 \pm 0.25$
	1 + 5 + 21 + 52 + 68 + 73 + 101 + 108 + 140 + 149 + 164 + 192 + 243 + 273 + 280	$4.0 \pm 0.2$	$3.9 \pm 0.2$	$0.97 \pm 0.07$
	275 + 182 + 186	$4.0 \pm 0.5$	$4.9 \pm 0.6$	$1.21 \pm 0.22$
<i>X. badius</i>	23	$41 \pm 7$	$48 \pm 8$	$1.19 \pm 0.29$
	49	$228 \pm 15$	$616 \pm 24$	$2.70 \pm 0.20$
	67	$5.8 \pm 0.6$	$4.8 \pm 0.6$	$0.83 \pm 0.13$
	120	$8.0 \pm 0.7$	$8.3 \pm 0.7$	$1.04 \pm 0.14$
	142	$1.9 \pm 0.3$	$1.5 \pm 0.2$	$0.78 \pm 0.16$
	161	$3.8 \pm 0.5$	$3.4 \pm 0.4$	$0.91 \pm 0.15$
	224	$31 \pm 3$	$28 \pm 2$	$0.90 \pm 0.11$
	X-X	$3.2 \pm 0.5$	$2.3 \pm 0.4$	$0.74 \pm 0.16$
Wash X-X	$6.0 \pm 0.7$	$8.8 \pm 0.8$	$1.47 \pm 0.21$	
<i>M. procera</i>	23	$33 \pm 5$	$21 \pm 4$	$0.65 \pm 0.15$
	142	$3.1 \pm 0.6$	$3.0 \pm 0.7$	$0.96 \pm 0.30$
<i>L. vellereus</i>	49 (two halves)	$17 \pm 2$	$26 \pm 3$	$1.51 \pm 0.23$
	161	$13 \pm 2$	$14 \pm 2$	$1.08 \pm 0.18$
<i>A. mellea</i>	224	$9.4 \pm 1.1$	$13.6 \pm 1.4$	$1.44 \pm 0.22$

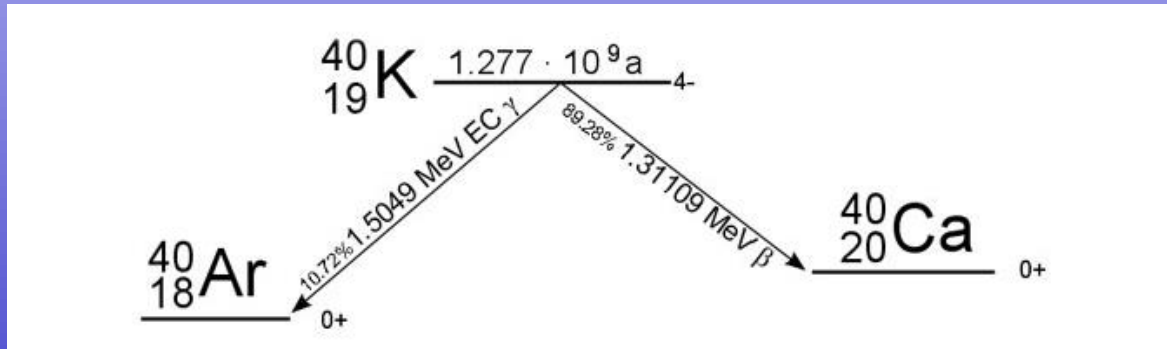
The real activities should be considered at least as high as presented here, but the ratio presented in the last column is not affected by this possible systematic error.

# Radioaktivita v houbách

## 1/ Přirozené radionuklidy

b) Izotop draslíku  $^{40}\text{K}$  (0,012% z celkového K)  
- koncentrace K v houbách v jednotkách hm. % sušiny

Aktivita  $^{40}\text{K}$  v houbách zhruba v rozmezí 500–3000 Bq/kg sušiny.



c) Další radioaktivní izotopy:  $^{210}\text{Pb}$ , rubidia  $^{87}\text{Rb}$ ...

# Aktivita draslíku v houbách

Table 1  
Activity concentrations of  $^{40}\text{K}$  ( $\text{kBq kg}^{-1}$  DM) in mushrooms

Species	Activity	Year	Country	References
10 Species	0.45–3.52	1984–1988	Poland	(Bem, Lasota, Kuśmierek, & Witusik, 1990)
About 100 samples	1–2	1986–1989	Italy	(Borio et al., 1991)
<i>Xerocomus badius</i>	1.29	1987	Austria	(Heinrich, Müller, Oswald, & Gries, 1989)
<i>Boletus edulis</i>	1.04			
<i>Suillus luteus</i>	1.22			
<i>Rozites caperata</i>	0.96			
<i>X. badius</i> + <i>X. subtomentosus</i>	1.52	1989	Poland	(Kubik, Bem, Kuśmierek, Dzieciol, & Michalczuk, 1991)
<i>X. badius</i> ( $n = 278$ )	1.3 (0.8–1.6)	1991	Poland	(Mietelski, Jasińska, Kubica, Kozak, & Macharski, 1994)
22 Species	1.29 (Mean)	1989–1990	Hungary	(Vaszari, Toth, & Tarjan, 1992)
<i>X. badius</i>	0.55–1.27	1992	Ireland	(Rafferty, Dowding, & Dawson, 1999)
<i>B. edulis</i>	0.65			
<i>Suillus variegates</i>	0.82			
<i>Suillus granulatus</i>	1.16			
25 Species including not edible	1.15 (Median)	1989	Japan	(Muramatsu, Yoshida, & Sumiya, 1991)
65 Species including not edible	1.10 (Median)	1990	Japan	(Yoshida, Muramatsu, & Ogawa, 1994)
16 Cultivated species	0.05–1.23	1994	Taiwan	(Wang et al., 1998)

# GEOLOGICKÁ MAPA České republiky

## Legenda:

### Čtvrthory

Čtvrthorní usazené horniny - hlíny, spraše, štěrky, písky  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

### Třetihory

Třetihorní usazené horniny - jíl, písky  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Třetihorní usazené horniny alpsky zvrásněné - pískovce, břidlice  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Třetihorní sopečné (vulkanické) horniny - čediče, žlázy, sopečné vyvřeliny  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

### Druhhory

Druhhorní usazené horniny - pískovce, opuky, jílovce  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Druhhorní usazené horniny alpsky zvrásněné - pískovce, břidlice  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

### Prvohory

Usazené horniny mladších prvohor - permokarbonské pískovce, slepence  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Prvohorní zvrásněné převážně usazené horniny - břidlice, droby, křemenc  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Prvohorní zvrásněná a přeměněná horniny - fylity, svory  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

### Starohory až prvohory

Přeměněné horniny - svorové ruly, pararuly až migmatity  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Sílné přeměněné horniny - ortoruly, granulity a pokročilé migmatity  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Přeměněné horniny - svorové ruly, pararuly až migmatity a vločkami vápna  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Sopečné horniny částečně přeměněné - amfibolity, diabasy, melafyry, porfyr...  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Žuly (hlubinné vyvřelé horniny)  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Hlubinné vyvřelé horniny žulového charakteru - granodiority až diority  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Hlubinné vyvřelé horniny - tmavé horniny žulového charakteru (tmavé granodiority), syenity  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

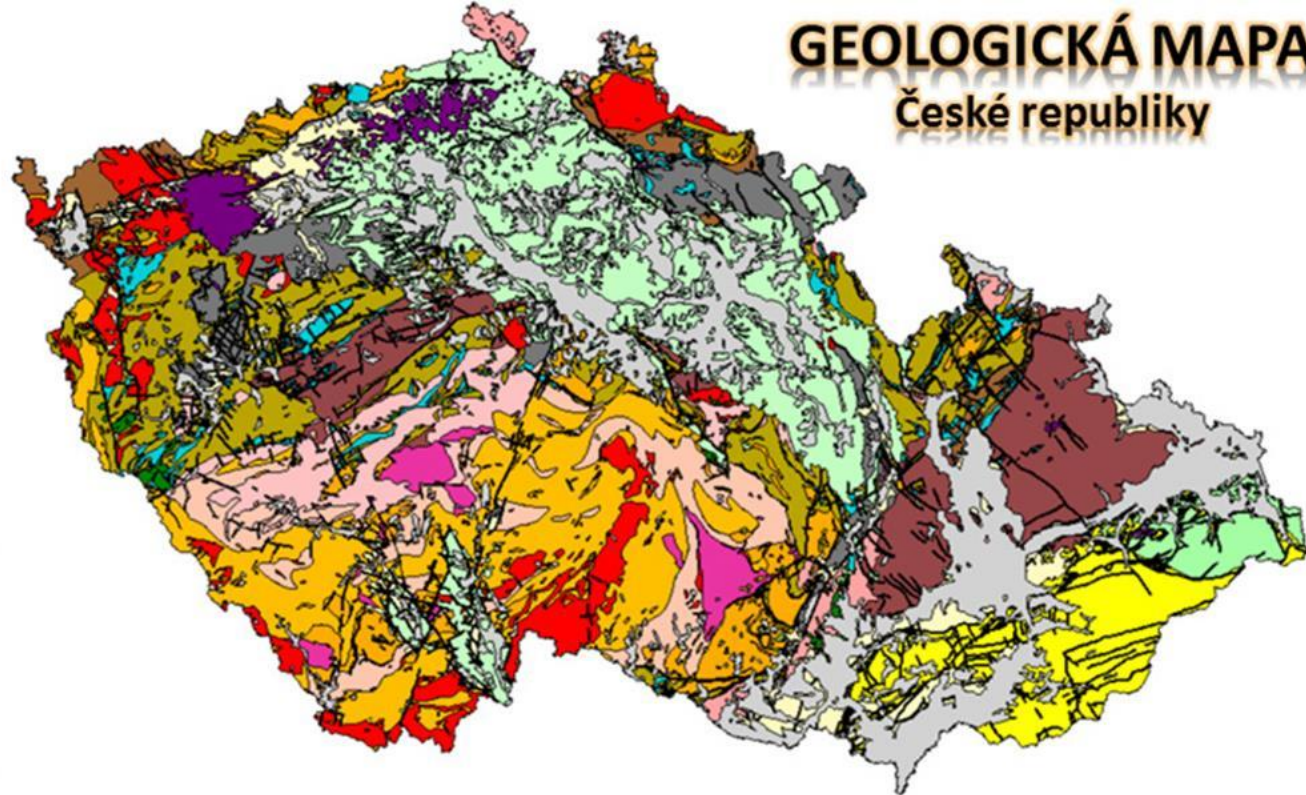
Hlubinné vyvřelé horniny - diority a gabra  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Ultrabazické horniny  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

### Starohory

Starohorní zvrásněné horniny - břidlice, fylity, svory, až pararuly  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)

Starohorní hlubinné vyvřelé horniny žulového charakteru - žuly, granodiority  
[\(Zobrazit tuto jednotku samostatně\)](#)



## Legenda GEOČR500

diority a gabra, assyntské a variské

granitoidy assyntské (žuly, granodiority)

granodiority až diority (tonalitová řada)

jednotvárná série moldanubika (svorové ruly, pararuly až migmatity)

kvartér (hlíny, spraše, písky, štěrky)

mezozoické horniny (pískovce, jílovce)

mezozoické horniny alpsky zvrásněné (pískovce, břidlice)

ortoruly, granulity a velmi pokročilé migmatity v moldanubiku a proterozoiku

paleozoické horniny zvrásněné a metamorfované (fylity, svory)

paleozoické horniny zvrásněné, nemetamorfované (břidlice, droby, křemence, vápence)

permokarbonské horniny (pískovce, slepence, jílovce)

pestrá série moldanubika (svorové ruly, pararuly až migmatity s vločkami vápenců, erlánu, kvarcitu, grafitu a amfibolitu)

proterozoické horniny assyntsky zvrásněné, s různě silným variským přepracováním (břidlice, fylity, svory až pararuly)

terciérní horniny (písky, jíly)

terciérní horniny alpsky zvrásněné (pískovce, břidlice)

tmavé granodiority, syenity (durbachťová řada)

ultrabazity v moldanubiku a proterozoiku

vulkanické horniny terciérní (čediče, fonolity, tufy)

paleozoické (amfibolity, diabasy, melafyry, porfyr)

žuly (granitová řada)

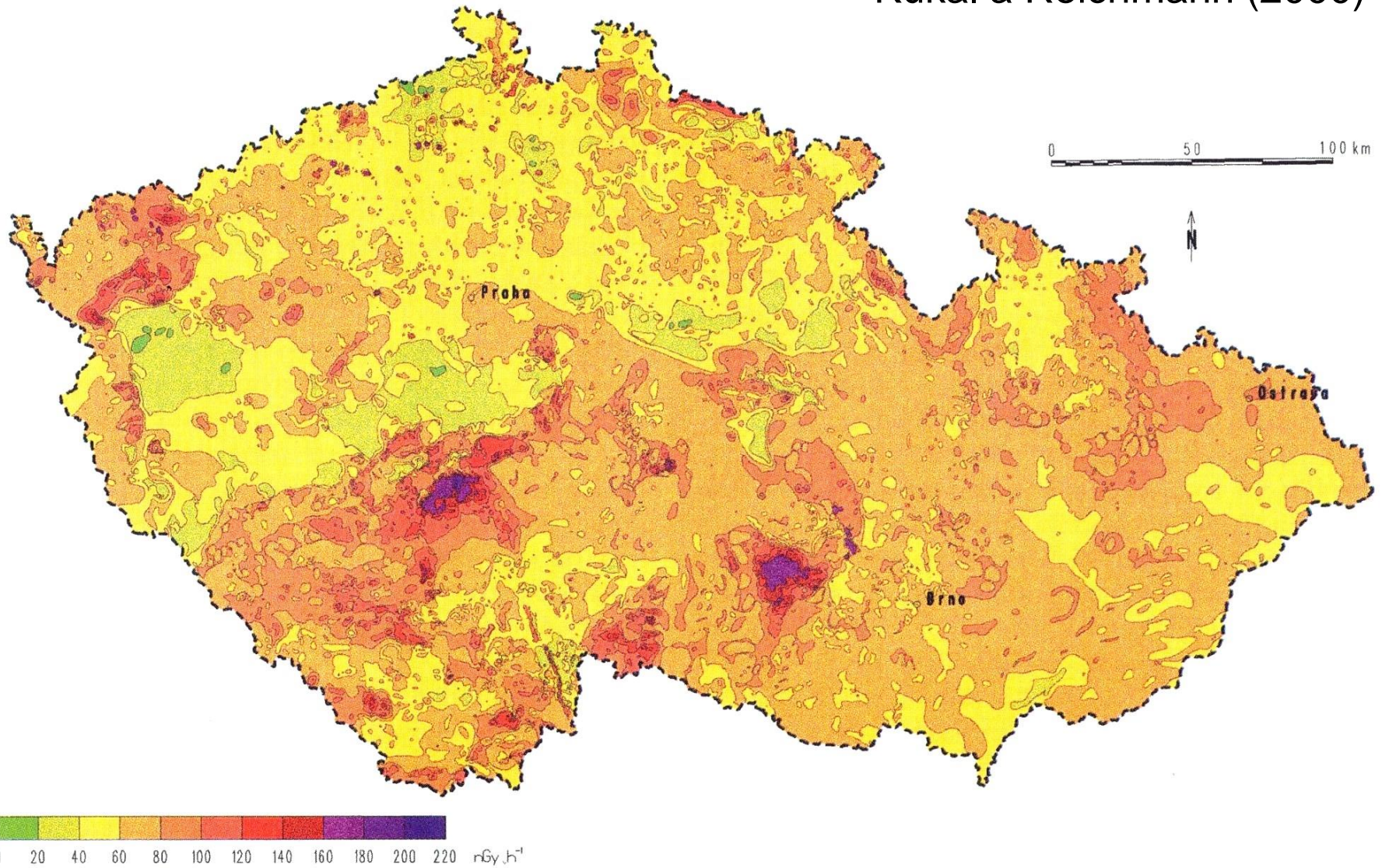
### Linie

— hranice zjištěná

— zlom zjištěný

- - - zlom předpokládaný





85. Radiometrická mapa České republiky. Barevná škála ukazuje dávkový příkon v  $\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ . Z mapy vystupují sytými tmavočervenými a fialovými barvami granitoidové masivy, zejména velkomeziříčský na západní Moravě a část střeodočeského plutonu na Táborsku. Mladé platformní sedimenty Českého masivu i třetihorní sedimenty Západních Karpat mají vesměs nižší radioaktivitu. Vydal Český geologický ústav, autoři M. Manová a M. Matolín.

# Antropogenní radionuklidy

## 2/ Antropogenní radionuklidy: z radioaktivního spadu

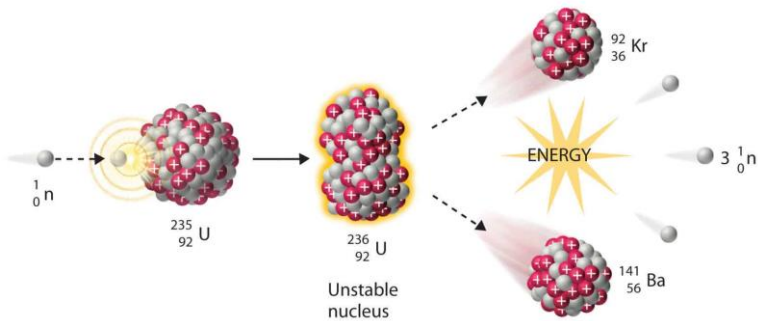
= testování jaderných zbraní, uvolňování radionuklidů, globální spad + jaderné havárie



# Jaderné štěpení

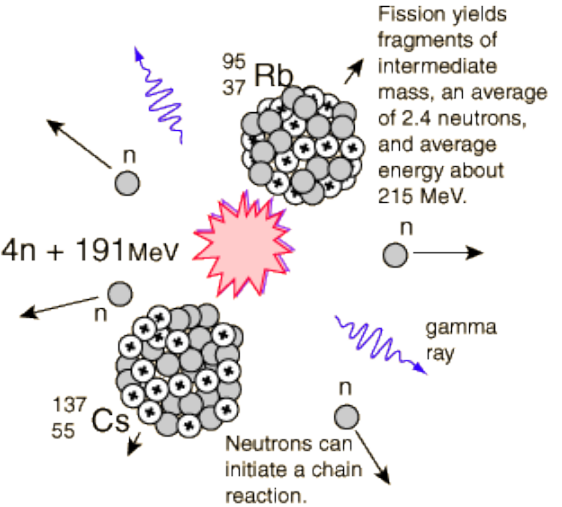
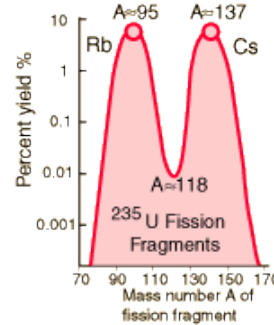
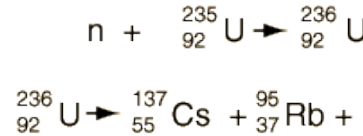
Štěpitelný  $^{235}\text{U}$  je palivem pro většinu jaderných reaktorů. Absorbce tepelných neutronů tímto izotopem může mít dva různé výsledky:

V asi 82 % případů dojde k rozštěpení jádra



a v 18 % případů dojde k vyzáření fotonu gama záření a vzniku  $^{236}\text{U}$

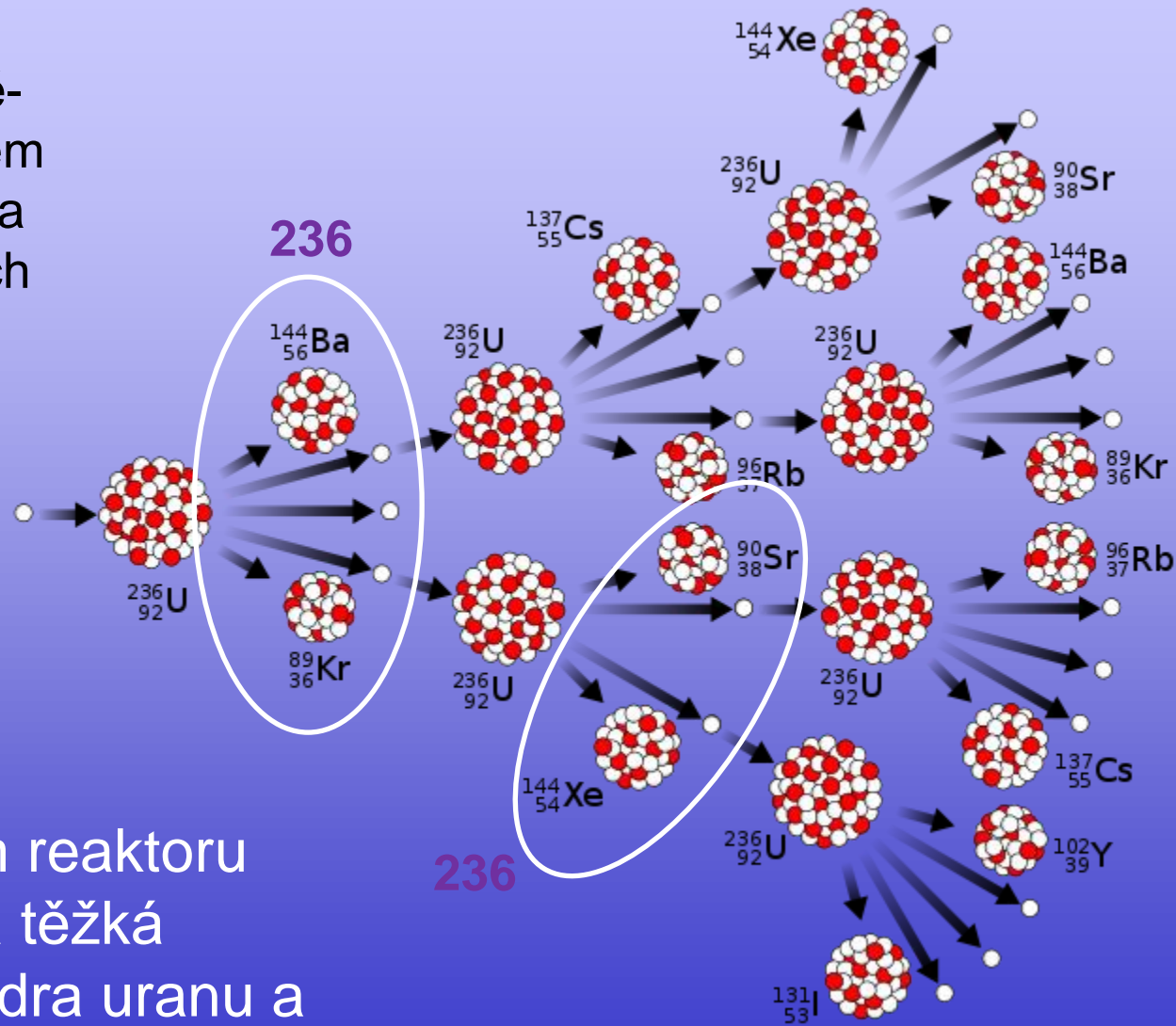
Energy yield calculation for a typical fission of uranium-235



Energy balance:	$\text{}^{235}_{92}\text{U}$	218.8969 GeV rest mass energy	
	$\text{}^{137}_{55}\text{Cs}$	127.5011 GeV	Energy yield
	$\text{}^{95}_{37}\text{Rb}$	88.3859 GeV	= $E = \Delta mc^2$
	$3n$	$3 \times 0.93956 \text{ GeV}$	
Net conversion of mass energy		<u>0.1911 GeV</u>	= 191.1 MeV

# Jaderné štěpení

Štěpná reakce je jaderně-fyzikální proces, při kterém se původní jádro rozdělí a vznikají dvě a více lehčích částic (jádra atomu, neutrony) a uvolní se energie.

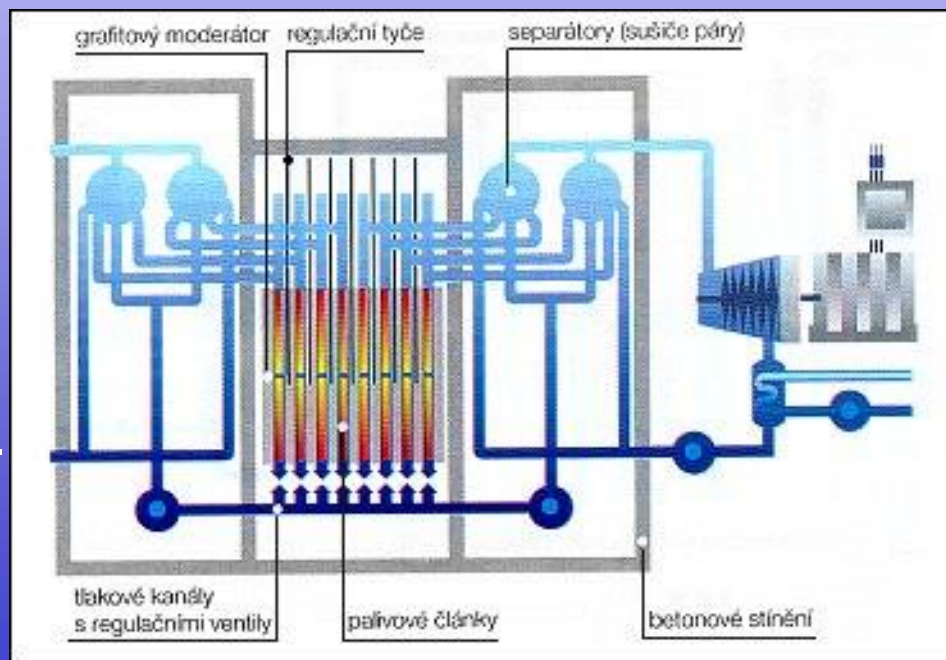


Rozštěpit v jaderném reaktoru je možné jen některá těžká jádra atomů, např. jádra uranu a plutonia.

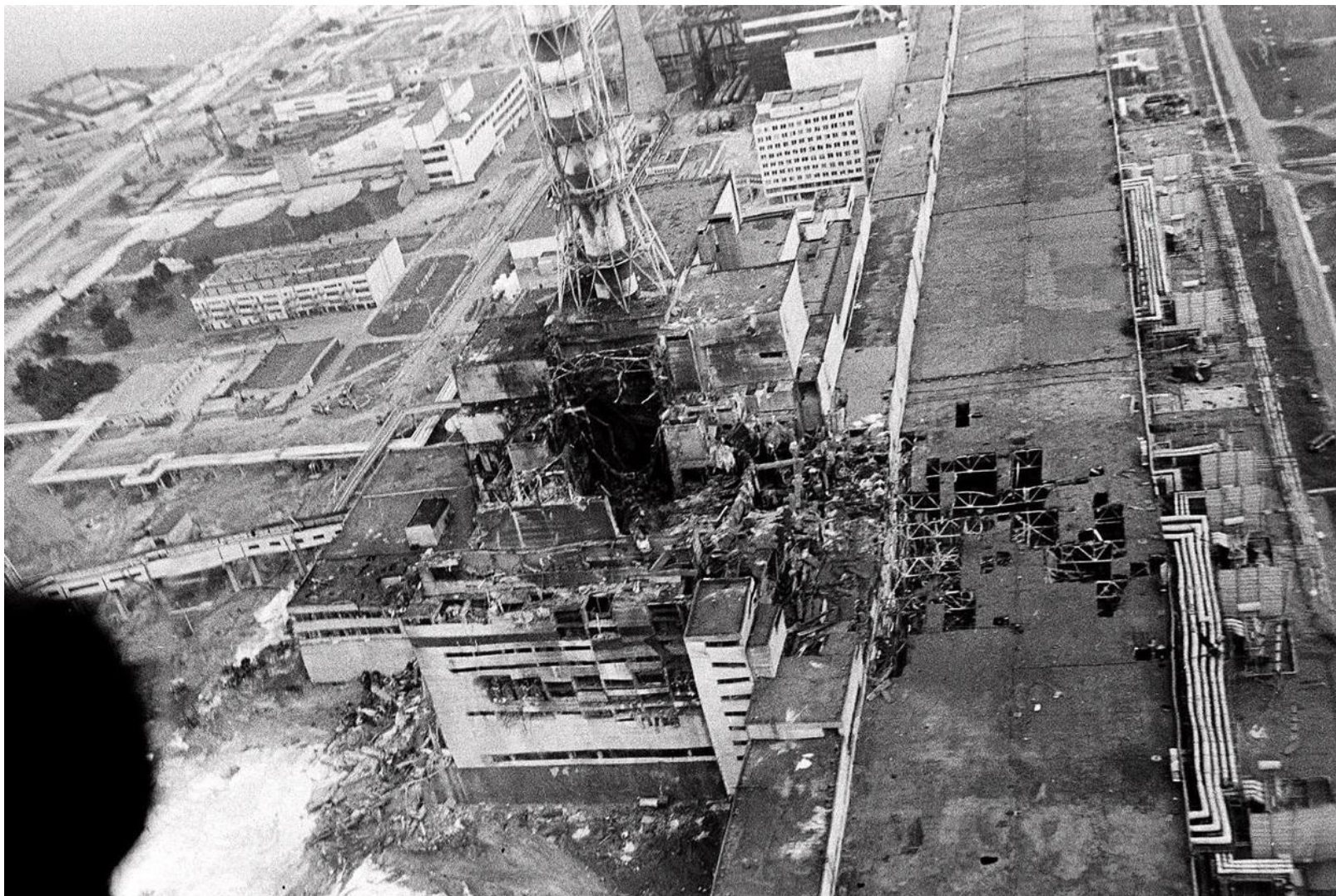
# Reaktor typu RBMK (Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj) označován také jako LWGR, se používá výhradně na území bývalého SSSR.

Tohoto typu byl i reaktor v Černobylu. Další reaktory tohoto typu se již nestaví.

Palivem je přírodní nebo slabě obohacený uran ve formě oxidu uraničitého. Palivové tyče jsou vloženy v kanálech, kudy proudí chladivo (voda). V tlakových kanálech přímo vzniká pára, která po oddělení vlhkosti pohání turbínu. Elektrárna je tedy jednookruhová. Moderátorem (regulace toku neutronů) je grafit, který obklopuje kanály.



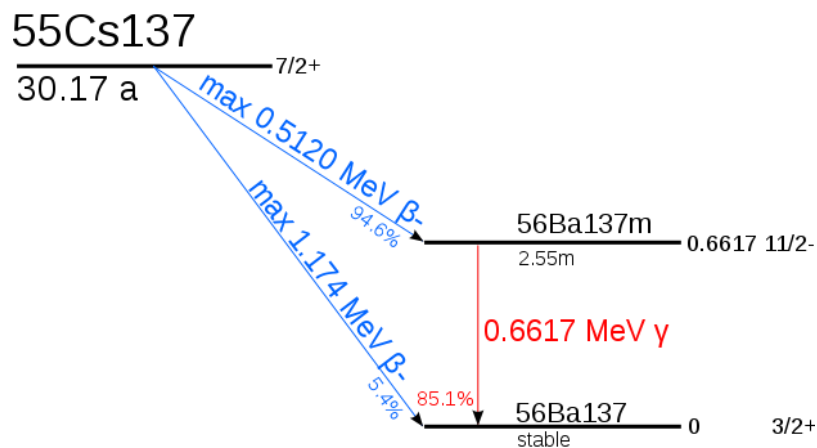
# Černobyl: 26. dubna 1986



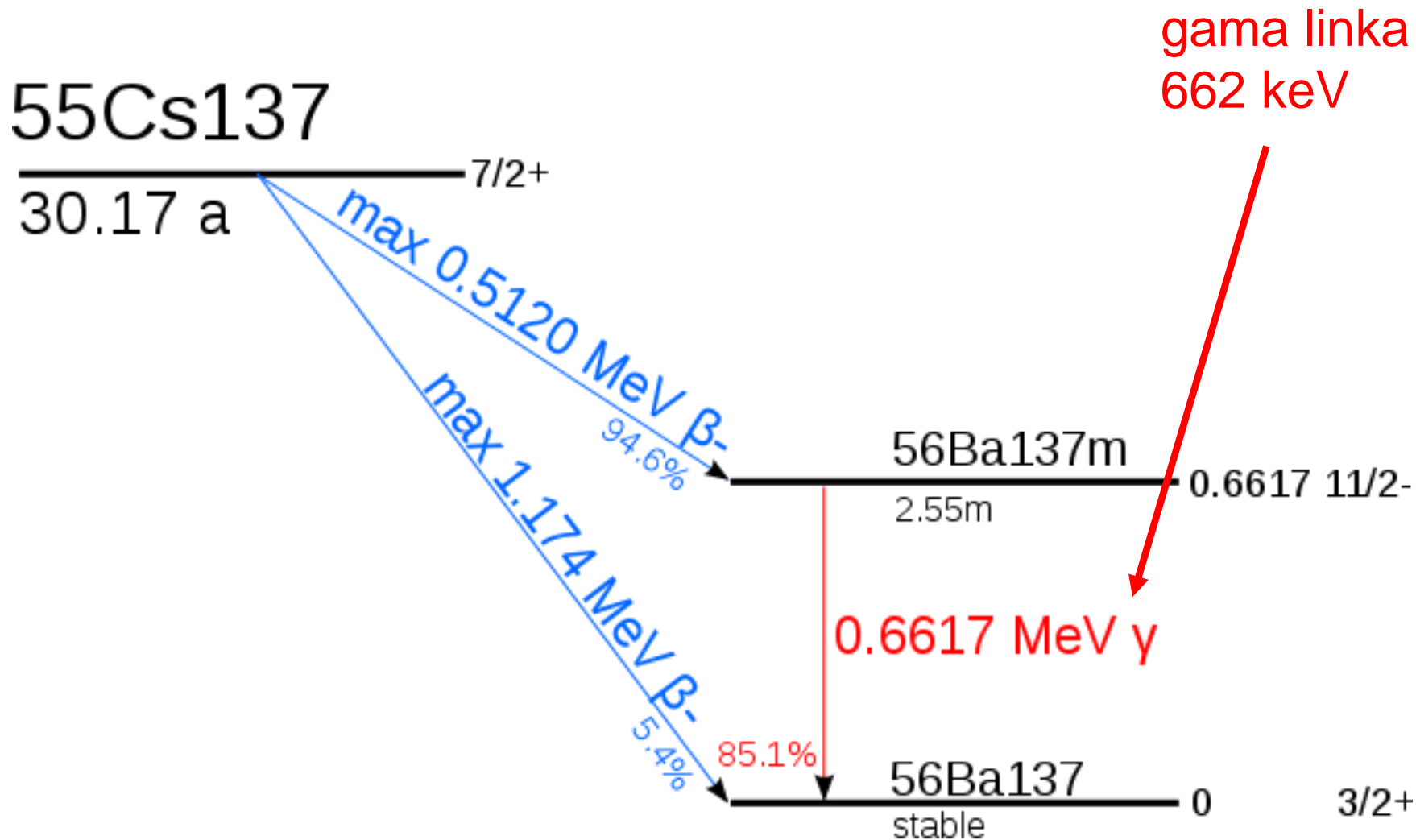
# Antropogenní radionuklidy

- $^{133}\text{Cs}$  – přirozený, stabilní izotop
- v přírodě monoizotopní
- alkalický kov s vlastnostmi jako **K**

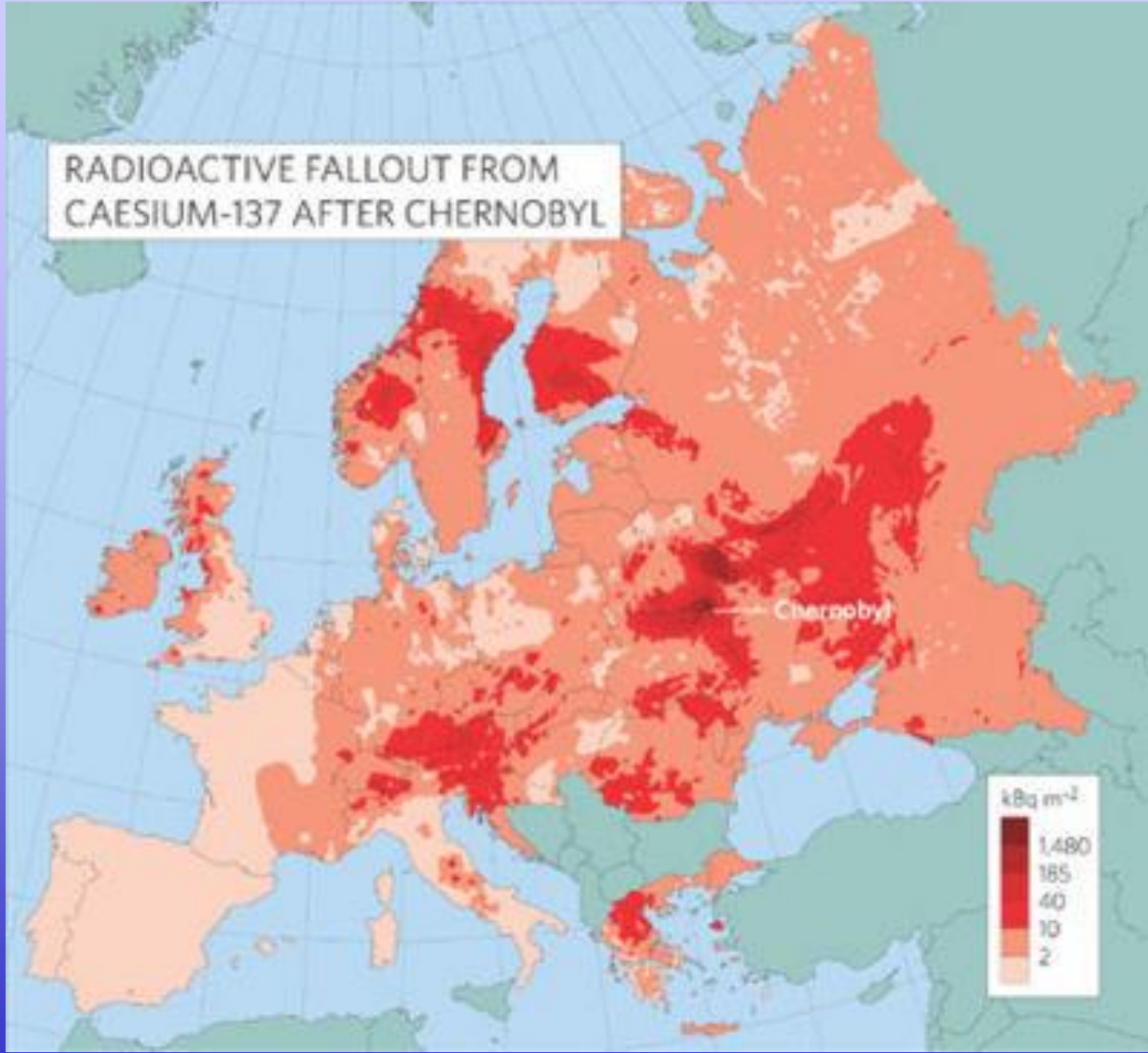
- $^{134}\text{Cs}$  (2,0648 let)
- $^{137}\text{Cs}$  (30,17 let)
- umělé nestabilní izotopy vznikající v jaderných reaktorech při štěpení  $^{235}\text{U}$  (= štěpné produkty)
- uvolněné při testech jaderných zbraní a haváriích reaktorů



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



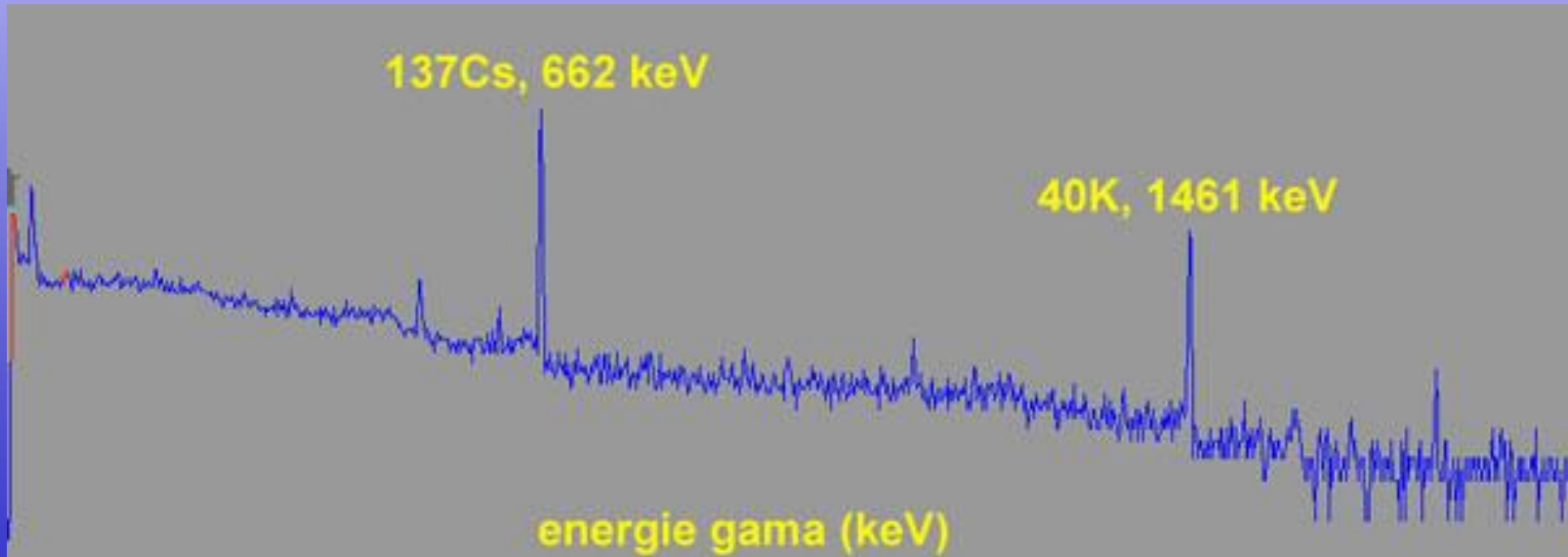




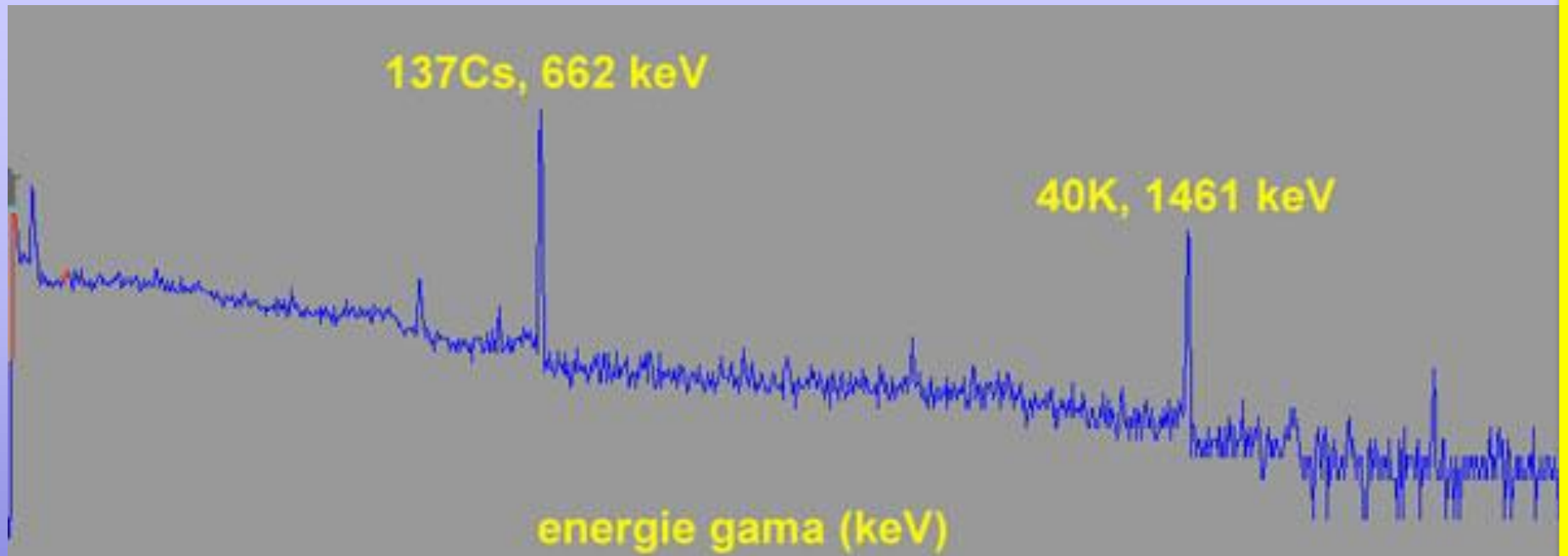
Jen pro ilustraci – nerovnoměrný spad  
[www.reactor4.be](http://www.reactor4.be)

# ...a houby reagovaly akumulací radiocesia

hodnoty koncentrace se vyjadřují v aktivitě (Bq/kg sušiny, 1 Bq = 1 přeměna za sekundu), měří se **gamaspektrometrií** na polovodičových detektorech

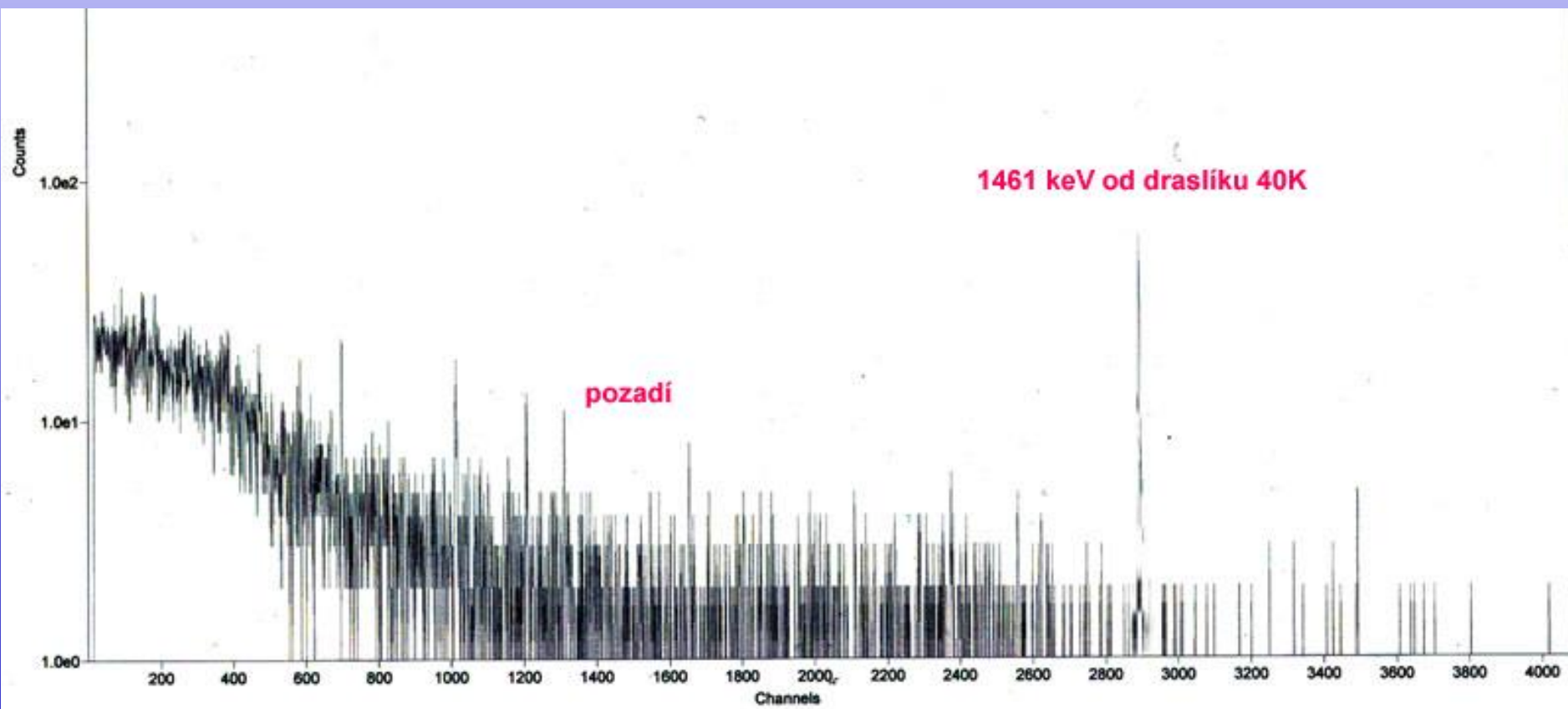


# ...vzorek horniny pro srovnání





... a výsledek je v pořádku



# Radioaktivita hub před Černobylem

Grüter (1964, 1967, 1971): plodnice hub v Německu v období let 1963-1970 s aktivitou  $^{137}\text{Cs}$  až 10 200 Bq/kg v sušině.

Několik dalších prací až do 80. let (Stijve, Moser, Haselwandter).

Ijpeelaar (1980): aktivita  $^{137}\text{Cs}$  až 37 000 Bq/kg v kozáku březovém – *Leccinum scabrum*.

= o schopnosti hub akumulovat radiocesium se vědělo

# Radioaktivita hub před Černobylem

Table 2  
Activity concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{kBq kg}^{-1}$  DM) in mushrooms until 1985<sup>a</sup>

Species	Activity	Year	Country	References
<i>Xerocomus badius</i>	11.3 (maximum)	1966	Germany	(Grüter, 1971)
12 Species	ND–0.28	1981–1983	Austria	(Eckl et al., 1986)
15 Species	0.01–0.75	1984	Austria	(Heinrich et al., 1989)
<i>X. badius</i> (9)	0.24–2.44	1972–1985	Czech Republic	(Řanda, Benada, Singert, & Horyna, 1988)
<i>Xerocomus chrysenteron</i> (6)	0.03–0.97	1970–1985		
<i>Agaricus arvensis</i> (3)	0.1–0.32	1985		
<i>Amanita rubescens</i> (5)	0.01–0.34	1970–1984		
9 Species	0.04–0.47	1984, 1985	Poland	(Bem et al., 1990)

<sup>a</sup> ND, below detection limit; number in bracket, number of samples.

# Spad po Černobylu

Radionuklidy v jaderném spadu: **dlouho žijící radionuklidy**, např.  $^{137}\text{Cs}$  (poločas rozpadu 30,17 let),  $^{90}\text{Sr}$  (poločas 28,8 let) a  $^{134}\text{Cs}$  (poločas 2,062 let).

**Střednědobé radionuklidy**: např.  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  s poločasem 250 dní,  $^{103}\text{Ru}$  s poločasem 39 dní, z **krátkodobých** je nutné zmínit  $^{131}\text{I}$  (poločas 8 dní).

Z hlediska hub je nejvýznamnější **radiocesium** (dlouhý poločas přeměny, významná akumulace).



# Radioaktivita po Černobylu

V bývalém Československu se zamoření radioizotopem  $^{137}\text{Cs}$  po havárii černobylské elektrárny pohybovalo v rozmezí asi 1 000 – 20 000 Bq/m<sup>2</sup>.

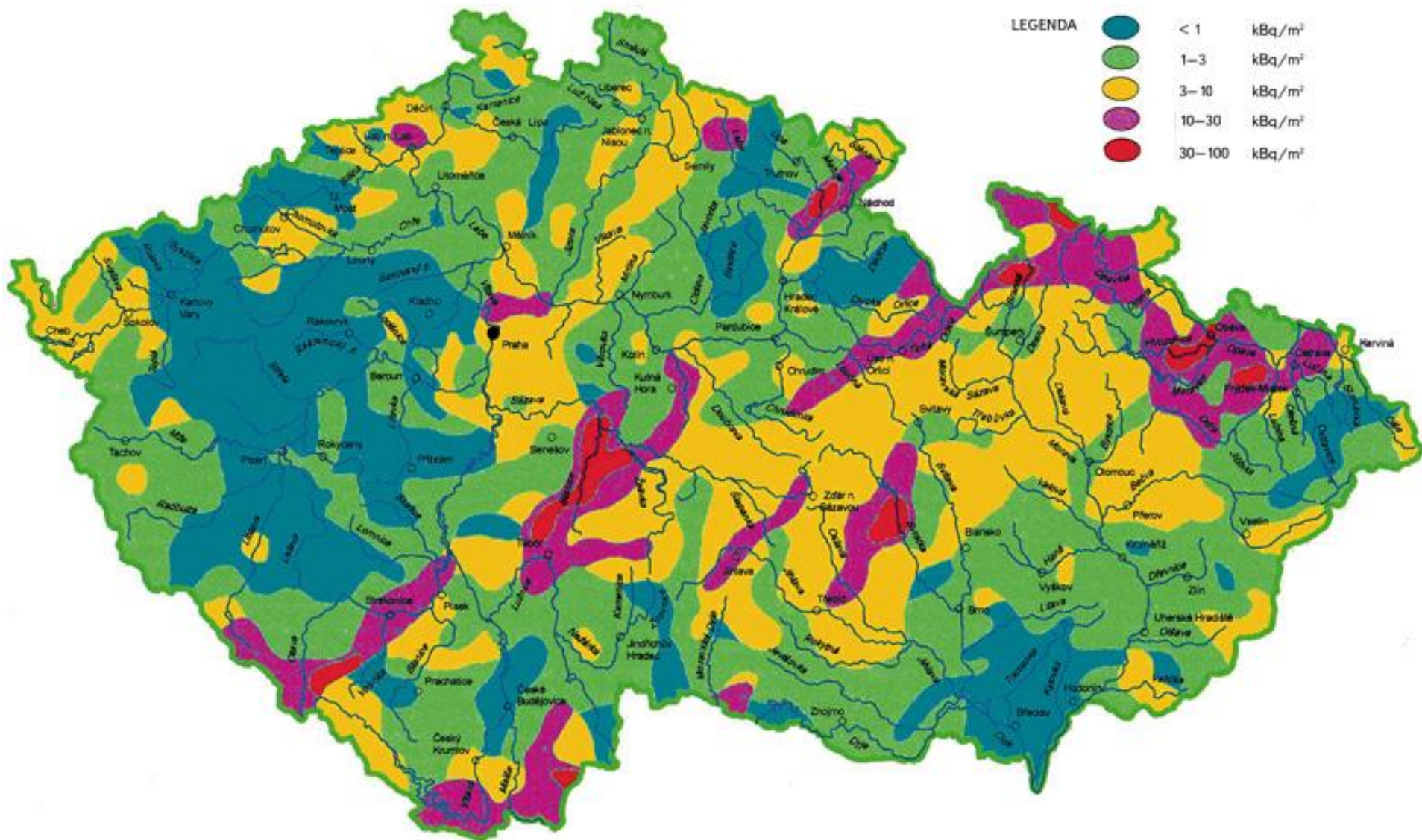
Kumulativní radioaktivní zamoření z jaderných výbuchů v 2. polovině 80. let asi 3 000 Bq/m<sup>2</sup>.

Hodnoty plošné aktivity  $^{137}\text{Cs}$  byly v ČR místně vyšší než 100 000 Bq/m<sup>2</sup>.

Postižené oblasti: severní Morava (Rejvíz), JV část střeadočeského kraje, část Šumavy v okolí Lipna a Kvildy, Broumovský výběžek, některá místa Českomoravské vrchoviny (Řanda et al. 1989).

Málo postižené oblasti: např. úsek Teplice-Cínovec

# Mapa plošné aktivity $^{137}\text{Cs}$ v půdě ( $\text{kBq}/\text{m}^2$ ) po havárii jaderné elektrárny v Černobylu v roce 1986 včetně příspěvku $^{137}\text{Cs}$ z testů jaderných zbraní (Hanslík 1998)



# Radioaktivita hub po Černobylu

Desítky prací z celé Evropy

Obsah radiocesia v houbách je obecně až 100krát vyšší než v zelených rostlinách (Stijve 1994).

**Akumulace:** zejména druhy akumulující Cs, tedy mykorhizní houby (hříby, pavučince, lakovky).

**Exkluze:** saprotrofové jako bedly a pečárky (žampiony) měly/mají nízké koncentrace, jde o druhy neakumulující Cs.

Nejvyšší koncentrace se neobjevily bezprostředně po spadu, ale až po několika letech: **PROČ?!**

# Radiocesium v houbách

Druhová závislost je prioritní, některé druhy (rody) vykazují aktivitu jen v desítkách Bq/kg: *Agaricus*, *Russula*, *Amanita*, *Lepiota*, *Lepista*, *Boletus edulis* aj.

U jiných dosahuje aktivita až 200 000 Bq/kg (*Laccaria*, *Cortinarius*, *Paxillus involutus*, *Lactarius rufus*, *Imleria badia*, *Xerocomellus chrysenteron*, *Leccinum scabrum* aj.).

Koncentrační faktor (*Boletaceae*) pro  $^{137}\text{Cs}$  = 15–60.

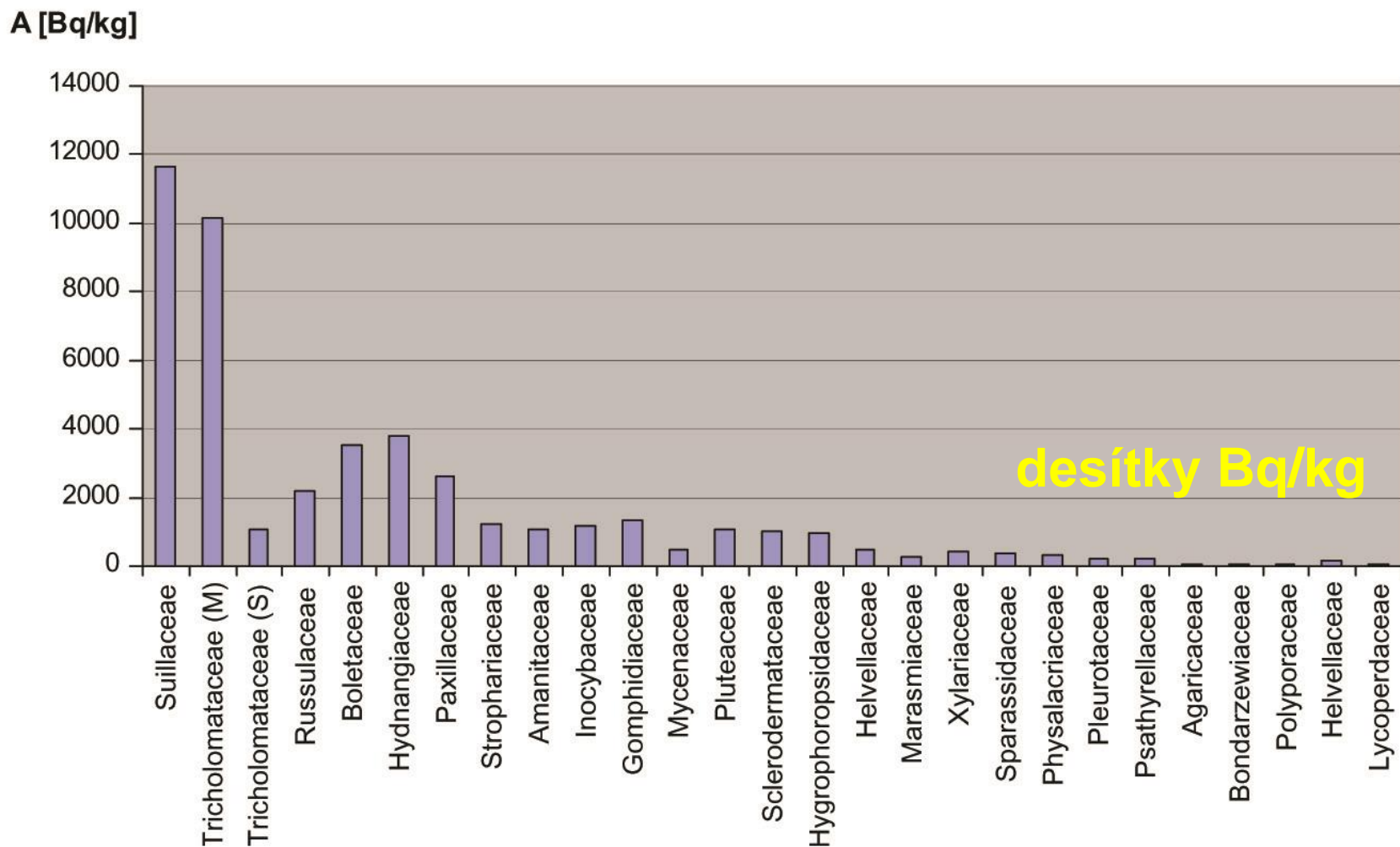
Hodnoty  $F_c$  pro radiocesium jsou tedy jednoznačně vyšší než pro stabilní  $^{133}\text{Cs}$ , kde je  $F_c$  často výrazně nižší než 1. Proč? Zřejmě odlišná biodostupnost obou izotopů v půdě.

# Radioaktivita hub po Černobyľu

Table 3  
Activity concentrations of radiocaesium (kBq kg<sup>-1</sup> DM) in mushrooms following the Chernobyl disaster

Species	Number of samples	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	Year	Country	References
<i>Boletus edulis</i>	9	ND–31.7		1988–1991	Ukraine	(Smith, Taylor, & Sharma, 1993)
<i>B. edulis</i>	6	0.07–1.15		1986	Czech Republic	(Řanda et al., 1988)
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	17	0.3–24.0		1986, 1987		
<i>Leccinum scabrum</i>	5	0.06–33.3		1986, 1987		
<i>X. chrysenteron</i>	–	1.2–25.2		1987–1993	Czech Republic	(Švadlenková, Konečný, & Smutný, 1996)
5 Species	8	0.2–25.2	0.11–10.3	1986	Austria	(Teherani, 1987)
<i>Rozites caperata</i>	1	85.5	25.2	1987	Austria	(Heinrich et al., 1989)
Different	156	0.06–10.3	0.05–2.15	1987, 1988	West Germany	(Rückert, Diehl, & Heilgeist, 1990)
<i>B. edulis</i>	19	1.39		1986	Sweden	(Mascanzoni, 1992)
<i>L. scabrum</i>	9	1.73				
<i>Cantharellus cibarius</i>	151	6.14				
<i>Cantharellus tubaeformis</i>	27	10.1				
<i>B. edulis</i>	9	0.1–0.5	0.02–0.08	1986	Italy	(Battiston, Degetto, Gerbasi, & Sbrignadello, 1989)
<i>Cantharellus lutescens</i>	7	5.0–27.6	1.9–11.6			
<i>Armillariella mellea</i>	4	0.35–1.5	0.11–0.53			
<i>Rozites caperata</i>	3	2.5–18.8	0.23–2.1	1989, 1991	Croatia	(Franić, Senčar, & Bauman, 1992)
<i>Suillus granulatus</i>	10	0.25–1.15	ND–0.015	1990	Japan	(Yoshida et al., 1994)
<i>Armillariella mellea</i>	4	ND–0.14	ND			
<i>B. edulis</i>	3	0.11–0.56		1988–1991	Ontario, Canada	(Smith et al., 1993)

# Radiocesium v houbách



**Fig. 3.** The average  $^{137}\text{Cs}$  activity concentration for samples of given fungal families for samples collected in 2007.

For Tricholomataceae mycorrhizal and non-mycorrhizal (S) species are taken separately.



Pavučinec náramkovitý – *Cortinarius armillatus*



Lošák ryšavý – *Hydnum rufescens*





Lakovka ametystová – *Laccaria amethystina*

Sluka svraskalá – *Cortinarius caperatus*





Hřib žlučník – *Tylopilus felleus*

RADIOCESIUM TRACER OBTAINED FROM MUSHROOMS

Z. Randa

Radiochemical Laboratory of Institute of Mineral  
Raw Materials,  
Kutná Hora, Czechoslovakia

Received 22 December 1987  
Accepted 6 January 1988

Some species of higher fungi growing at localities with increased contamination by fission products from radioactive fallout /about 10-20 kBq  $^{137}\text{Cs}$   $\text{m}^{-2}$  and more/ contain up to 200 kBq of radiocesium -  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{134}\text{Cs}$  per kilogram d.m. Simple isolation of the radiocesium preparation of fruitbodies of such mushroom accumulators of radiocesium is described.

Young chemists, electronics, biologists, astronomers and other amateurs can devote themselves to their hobby, as the home laboratory facilities and equipment are easily available. Nuclear amateurs - radiochemists and others are handicapped, in this respect. Main material for their experiments - radioactive substances - is strictly distributed. Access to the artificially induced radioactivity is absolutely prohibited for amateurs, therefore they must turn their attention to natural radioactivity, to decay

2 kg čerstvých hub

chemická separace Cs

5 mg of CsCl s aktivitou:

10 900 Bq  $^{137}\text{Cs}$

3 300 Bq  $^{134}\text{Cs}$

Hřib hnědý – *Imleria badia*



# Distribuce radiocesiuma v hřibu hnědém v Polsku (1991)

Mietelski et al. (2002)

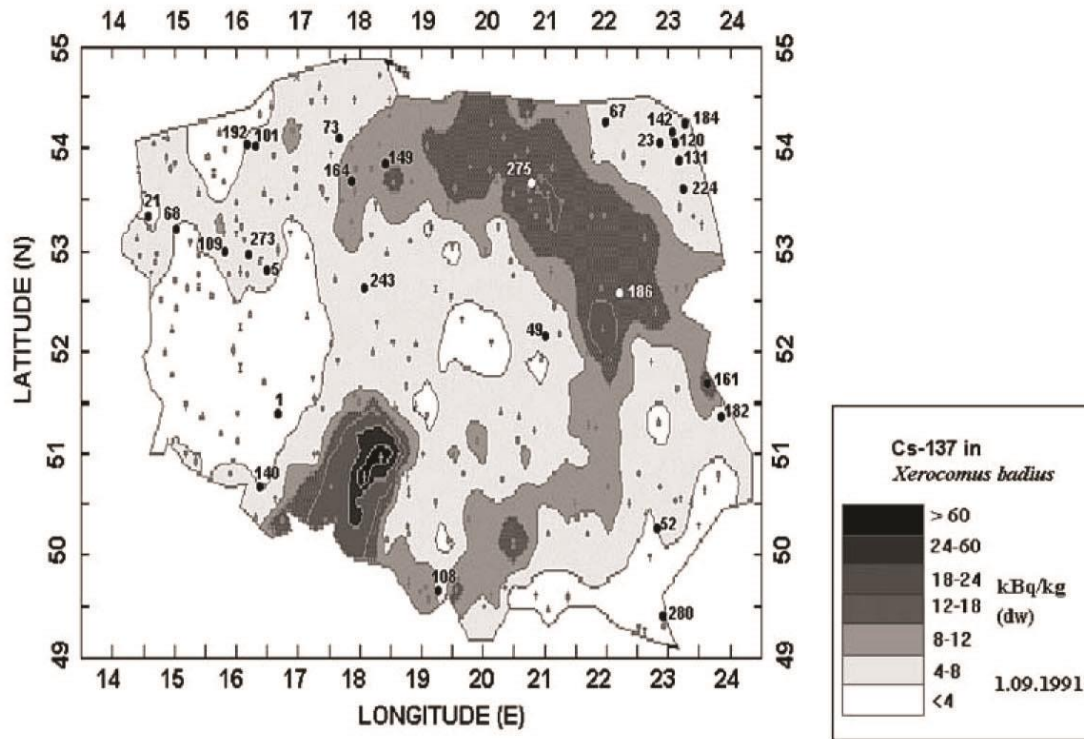


Fig. 2. Approximate map of radiocesium activity concentration in Polish *Xerocomus badius* samples collected in 1991 (Mietelski et al., 1994). The small dots mark 280 sampling sites, some of them are numbered. The numbers are the codes used also in present paper.

# Radioaktivita v houbách

Houby z oblasti Černobylu mají aktivity velmi vysoké, zjištěny hodnoty až 50 MBq/kg sušiny!

Table 8  
Results for plutonium and radiocesium for Ukrainian samples

Mietelski et al. (2002)

Species	Dry mass (g)	$^{137}\text{Cs}$ (MBq/kg dw)	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg dw)	$^{238}\text{Pu}$ (Bq/kg dw)
<i>Xerocomus badius</i>	20.3	$21.4 \pm 1.5$	$2.96 \pm 0.24$	$1.13 \pm 0.09$
<i>Suillus luteus</i>	21.3	$14.4 \pm 1.0$	$3.38 \pm 0.27$	$2.04 \pm 0.16$
<i>Paxillus involutus</i>	20.3	$50.7 \pm 3.6$	$2.78 \pm 0.22$	$1.7 \pm 0.14$
<i>Boletus edulis</i>	13.1	$0.517 \pm 0.036$	<LD	<LD
<i>Cantharellus cibarius</i>	21.7	$2.12 \pm 0.15$	$53.78 \pm 4.30$	$24.1 \pm 1.93$

Dále byly v houbách sledovány aktivity izotopů Pu (opět produkt jaderného štěpení) – obtížně měřitelné, nízké hodnoty, na Ukrajině zvýšené (viz tabulka).

Aktivity  $^{90}\text{Sr}$  jsou nízké, protože houby obecně neakumulují Sr. Tento prvek je značně rizikový (homolog Ca, depozice v kostech).

# Radiocesium v houbách: aplikace

Izotopy  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  unikly z Černobylu v jasně definovaném poměru.

Distribuce izotopického poměru  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  v půdách se měnila s hloubkou, což vyplývalo z přítomnosti „staršího“  $^{137}\text{Cs}$  z jaderných pokusů, přičemž starší  $^{134}\text{Cs}$  už bylo „vychcípáné“.

Nízké hodnoty poměru  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  tedy svědčily pro transport radiocesia z větších hloubek v půdě (např. čirůvky – *Tricholoma* spp.).

Reference: Rühm et al. (1997), Mietelski et al. (2010).



# Škodí radioaktivita hub zdraví?

Typické hodnoty aktivity  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{134}\text{Cs}$  v sušině jedlých hub byly 10 000 Bq/kg, resp. 3 200 Bq/kg. Konzumace 10 kg čerstvých hub ročně zapříčiňuje efektivní dávku 0,2-0,3 mSv, což odpovídá 20-30 % dávky z přirozeného pozadí. V takovýchto případech nelze předpokládat somatické ani genetické změny (Řanda et al. 1988).

Kalač (2001): 10 kg čerstvých hub ročně na osobu zapříčiňuje efektivní dávkový ekvivalent až 0,2 mSv.

Kontaminace může být značně snížena louhováním a vařením sušených nebo zmražených plátků hub.

**Radioaktivita pěstovaných hub je zanedbatelná.**

Milí přátelé,

jeden známý, který už dlouhou dobu pracuje pro Akademii věd ČR jako biochemik a nejčastěji se zabývá výzkumem nezávadnosti potravin, mi řekl, že právě dělali výzkum, jak fukušimská katastrofa ovlivňuje složení hub, které lidi můžou normálně nasbírat v lese.

Výsledky byly tak špatné, že jim úplně zakázali je zveřejnit! Houby jsou totiž známé tím, že v sobě akumulují těžké kovy a jsou schopné pojmout až 100krát vyšší koncentraci než je v okolním prostředí. Navíc dokážou nasát tyhle těžké kovy i z půdy nebo deště! Radioaktivní těžké kovy pronikají přes myceliové vlákno podhoubí do nitra buněk a tam zůstávají.

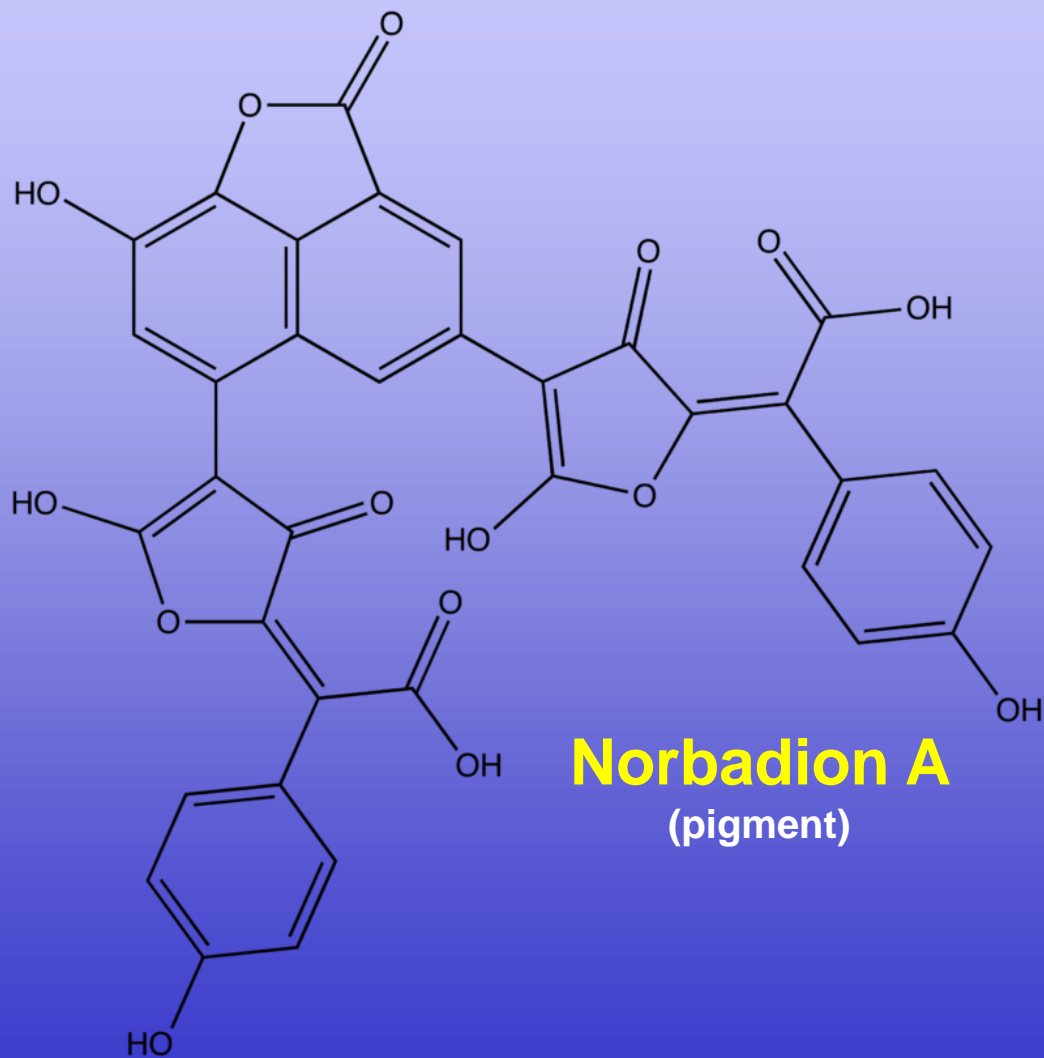
Jde např. o cesium s poločasem rozpadu 30 let (to je doba, než se rozpadne polovina jader atomu), jehož zamoření je intenzivně sledováno už od Černobylské katastrofy! Cesium dokáže snadno putovat tělem člověka a ozařovat jej. Nejvyšší koncentrace radiace bývá naměřena v hříbových houbách (např. praváci nebo křemenáče), protože mají ze všech hub nejvíce pigmentu.

Vědci otestovali první letošní houby a zjistili, že skoro všechny několikanásobně překročily limity kontaminace, které jsou ještě pro člověka bezpečné. Jsou přesvědčeni, že za to může právě havárie ve Fukušimě, protože výsledky z předchozích let byly v pořádku.

Nechápu, proč nás naše vláda neinformovala, že i na území ČR dopadla japonská radiace. Pošlete tento mail všem svým známým, aby se dověděli, jaké nebezpečí jim hrozí. **Pokud letos pošlete děti na tábor, zakažte jim, aby jedly houby** Jde o jejich zdraví!



# Fáma s hřibem hnědým



Tato molekula selektivně komplexuje Cs<sup>+</sup> (a také K<sup>+</sup> a Na<sup>+</sup>).



# Fáma s hřibem hnědým



Má tedy smysl loupat pokožku tohoto hříbu před konzumací, abychom snížili aktivitu  $^{137}\text{Cs}$  v pokrmu?

Připravili jsme směsný vzorek hříbu hnědého (*Imleria badia*) z lokality u Zbraslavic na Kutnohorsku:

	hmotnostní podíl složky v plodnici (%)	sušina (g)	měrná aktivita složky v $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	aktivita složky v 1 kg sušiny plodnice v Bq
třeň	25,6	7,40	788	202
dužnina klobouku	20,8	5,99	1 498	311
pokožka klobouku	8,47	2,44	1 061	90
hymenofor (rourky)	45,1	13,0	1 078	486
	sušina 10 plodnic:	28,83	aktivita 1 kg sušiny:	1 089

Aktivita  $^{137}\text{Cs}$  v jednotlivých složkách směsného vzorku 10 plodnic hříbu hnědého – *Boletus badius*.

Borovička & Kubrová (2012)



# Zářící prasátka...



Černá zvěř konzumuje houbu jelenku (podzemní houba), která akumuluje radiocesium, což vede k relativně vysoké aktivitě masa divočáků. **Sledována je i srnčí a vysoká.**



# Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces

Boštjan Pokorny<sup>a,\*</sup>, Samar Al Sayegh-Petkovšek<sup>a</sup>, Cvetka Ribarič-Lasnik<sup>a</sup>,  
Jaroslav Vrtačnik<sup>b</sup>, Darinka Z. Doganoc<sup>c</sup>, Miha Adamič<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*ERICo Velenje, Ecological Research and Industrial Co-operation, Koroška 58, 3320 Velenje, Slovenia*

<sup>b</sup>*Holding Slovenske elektrarne, Cesta v Mestni log 88a, 1000 Ljubljana, Slovenia*

<sup>c</sup>*Veterinary Faculty, Institute for Foodstuffs Hygiene, Gerbičeva 2, 1000 Ljubljana, Slovenia*

<sup>d</sup>*Biotechnical Faculty, Department for Forestry and Renewable Forest Resources, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenia*

Received 13 February 2003; received in revised form 15 October 2003; accepted 18 October 2003

Science of the Total Environment 324 (2004) 223–234

---

Spory hub v 89% vzorků trusu.

Rody hub: *Lycoperdon*, *Calvatia*, *Hypholoma*, *Coprinus*,  
*Russula*, *Elaphomyces*, *Xerocomus*, *Entoloma*,  
*Amanita*, *Cortinarius*, *Agaricus*, *Inocybe*, *Boletus*,  
*Macrolepiota*, *Suillus* a *Pluteus*.

Podle autorů ovlivňuje konzumace hub koncentrace Hg ve svalovině srnčí zvěře.

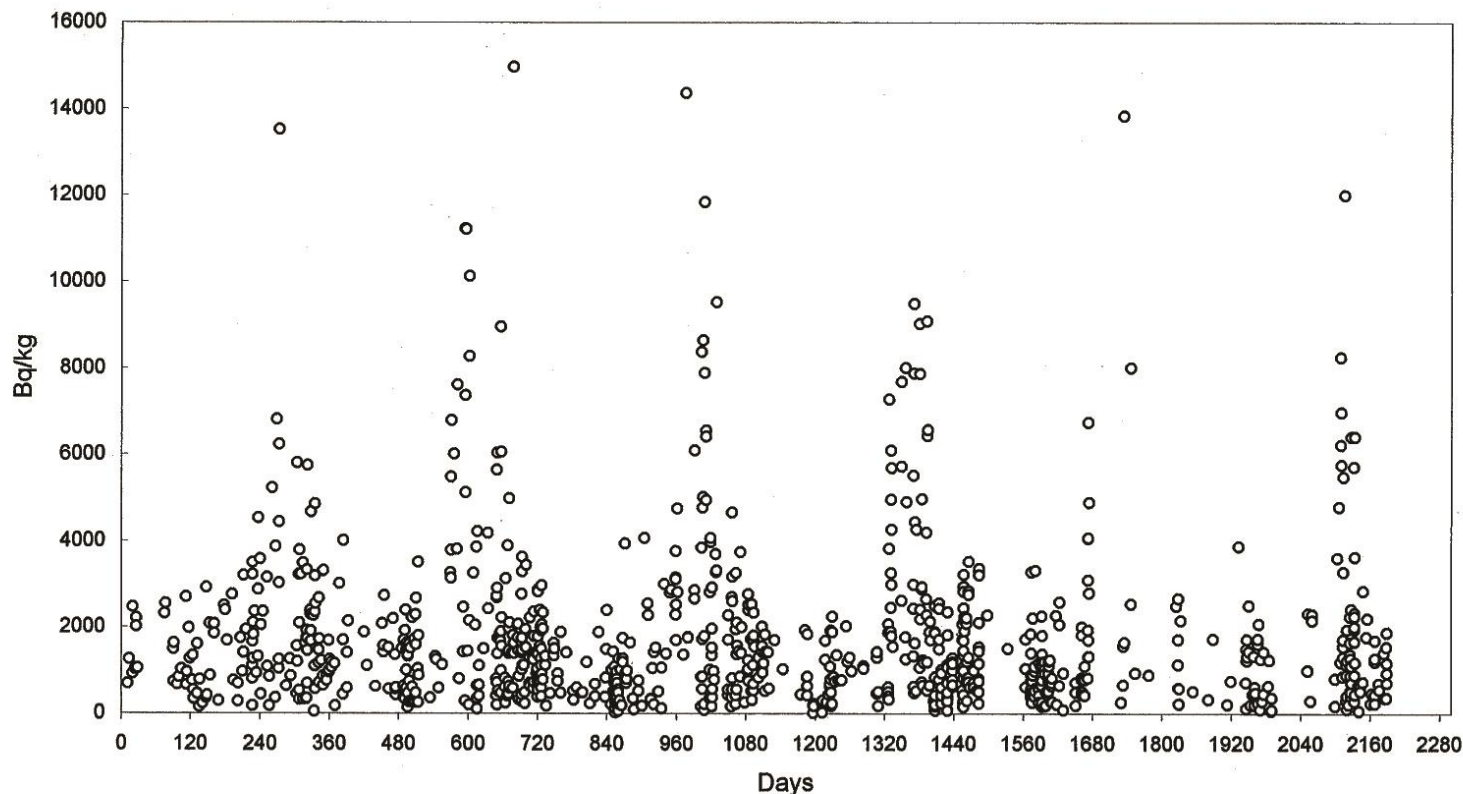


Fig. 1.  $^{137}\text{Cs}$  activity concentrations in roe deer harvested in Harbo during 1989–1994. (Day “0” is January 1, 1989).

Ve sledovaném období sezónní závislost zvýšení aktivity  $^{137}\text{Cs}$  (2,4-4,9×) ve svalovině srnčí zvěře, vždy v létě nebo na podzim, ale každý rok jeden pík (severní Evropa). Dáváno do souvislosti s konzumací hub.



# Divočáci a jelenky

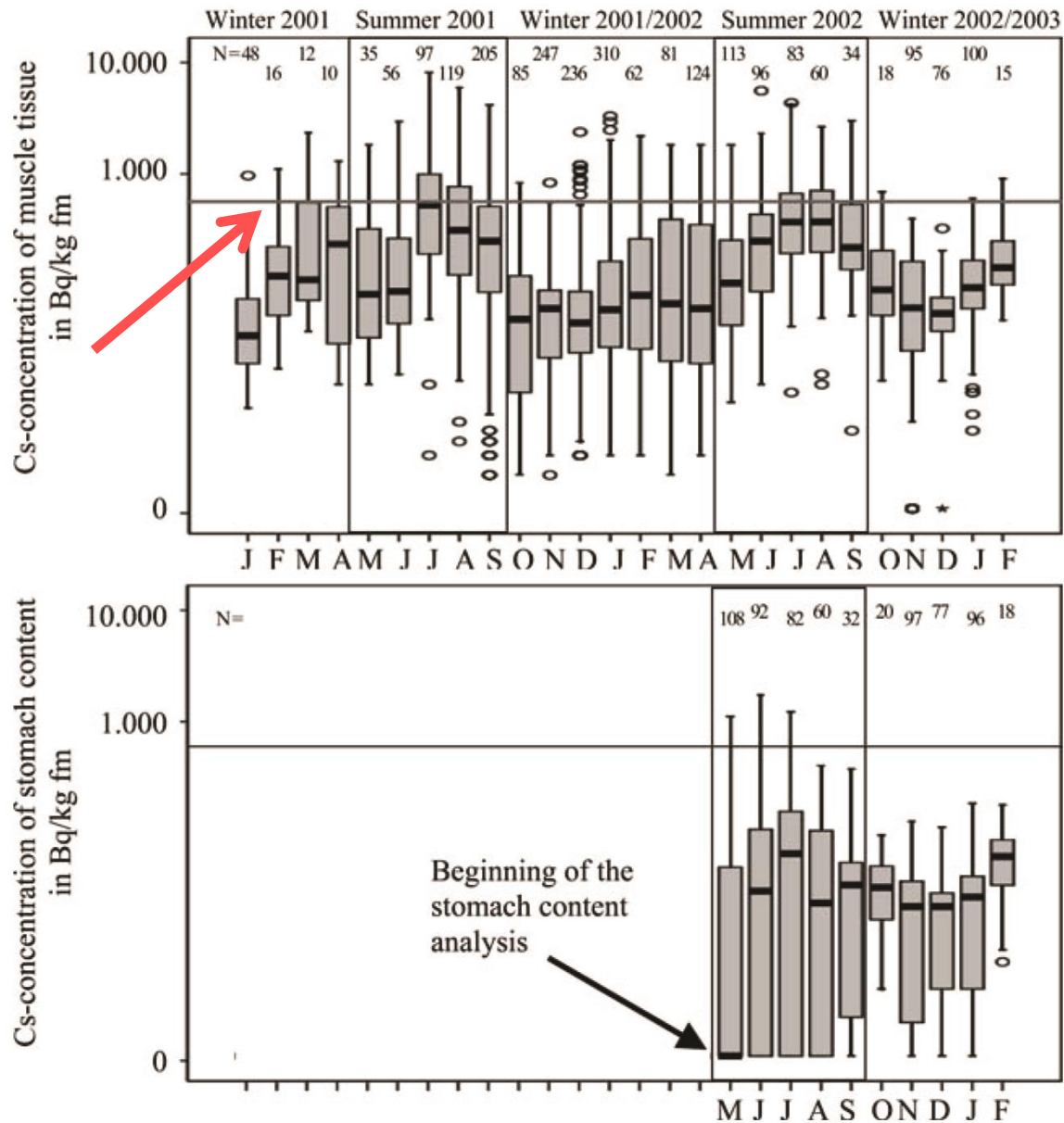




# Hohmann & Huckschlag (2005)

- 1) Kontaminace masa divočáků vykazuje sezónní variaci. Limitní hodnota 600 Bq/kg je v létě překračována z 21–26%, zatímco v zimě jen u 1–9.3% vzorků, což indikuje vyšší konzumaci kontaminované potravy v létě.
- 2) Podzimní pokles aktivity masa zřejmě souvisí s vysokou konzumací bukvic.
- 3) Plodnice jelenek (*Elaphomyces granulatus*) byly nalezeny v proporcčně vyšším množství v žaludcích kusů s vysokou aktivitou radiocesia v mase.
- 4) Na sledovaném území se tyto houby vyskytují v množství asi 1 ks na 20 m<sup>2</sup> (smrčiny) s průměrnou aktivitou 6 030 Bq/kg čerstvé hmotnosti.

**Fig. 2** Monthly distribution of Cs-concentration in fresh meat ( $n=2,433$  top) and fresh stomach contents ( $n=682$  below) of wild boars shot in the western Palatinate Forest. January 2001–February 2003 ( $y$ -axis logarithmic scaled). Legend: Horizontal line 600 Bq/kg threshold. Central line in each grey box = median; upper line in each grey box = 75%; lower line in each grey box = 25%; upper cross-beam = highest value which is less than 1.5 times the box length away from upper grey box line; lower cross-beam = smallest value which is less than 1.5 times the box length away from lower grey box line; circles remaining values larger or smaller than crossbeams. On the  $x$ -axis the given letters indicate the first letter of each month





# STÁTNÍ VETERINÁRNÍ ÚSTAV PRAHA

Sídlištní 136/24, 165 03 Praha 6, tel. 251 031 111

e-mail: sekretariat@svupraha.cz, www.svupraha.cz

Oddělení chemie, 251 031 700, chemie@svupraha.cz



Zkušební laboratoř č. 1176 akreditovaná ČIA, podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

## Protokol o zkoušce č. CH 9919/17

Strana : 1 / 1

Číslo vzorku : 9919/17 Datum doručení : 13.11.2017  
Zakázka : 5247/17 Datum vyřízení : 13.11.2017  
Odesílatel : Správa národního parku Šumava  
Zadavatel : KVS SVS pro Plzeňský kraj  
Objednávka :  
Analýza provedena ve dnech : 13.11.2017 - 13.11.2017

**Č.vzorku: Identifikace vzorku:**  
9919 prase divoké - sval, CZ 05 918 929

### Výsledky vyšetření

Číslo vzorku		9919
Cs-137	Bq/kg	2661,78 ±143,54
Cs-134	Bq/kg	<0,10
suma-Cs	Bq/kg	2661,78

Zjištěné hodnoty Cs-137 a suma-Cs nevyhovují maximálnímu limitu 600Bq/kg dle čl. 14 nařízení EP a Rady (ES) č. 178/2002 v platném znění ve smyslu dopisu Ministerstva zemědělství ČR č.j. 167404/2012-MZE-14322.

### Použité metody

suma-Cs - SOP 70.70 (gamaspektrometrické stanovení)  
Cs-134 - SOP 70.70 (gamaspektrometrické stanovení)  
Cs-137 - SOP 70.70 (gamaspektrometrické stanovení)

