

RÁDIONUKLIDOVÉ METÓDY aplikovanej geofyziky

RNDr. Andrej MOJZEŠ, PhD.

miestnosť: G-344

tel.: +421 2 60296 362

Rádioaktivita – všade okolo nás a odjakživa

- zdroje rádioaktivity sú podľa pôvodu: prírodné a umelé
- spôsobujú dvojaké ožiarenie človeka: vonkajšie a vnútorné

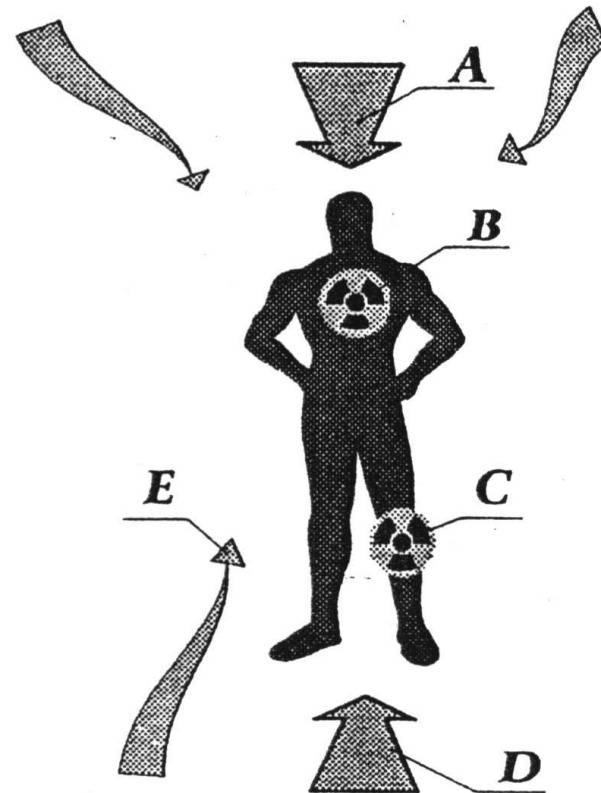
A. kozmické žiarenie

B. vdýchnutý rád. plyn
radón

C. rôzne prvky ako súčasť
organizmu

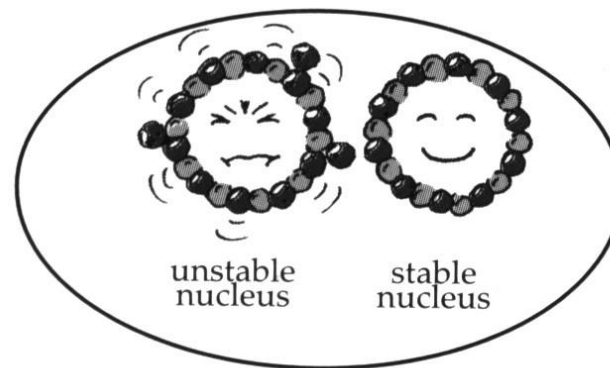
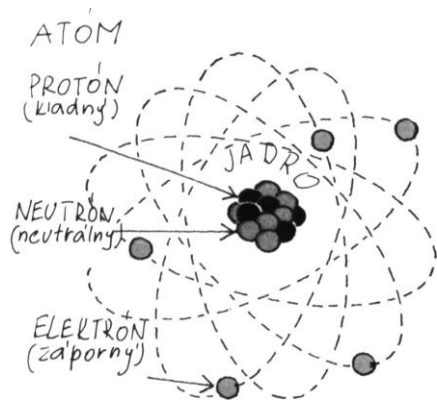
D. žiarenie zo zeme

E. radón uvoľnený z
hornín



Jav rádioaktivity

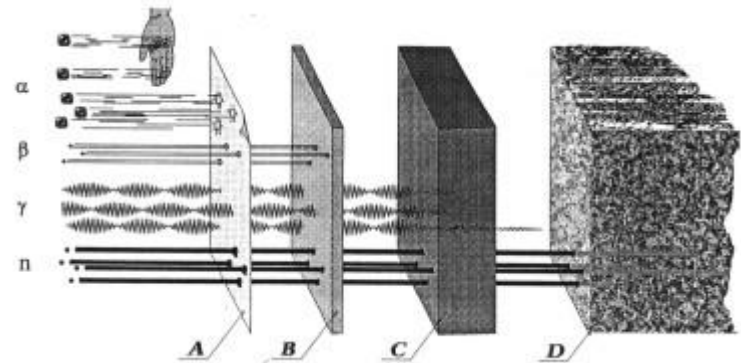
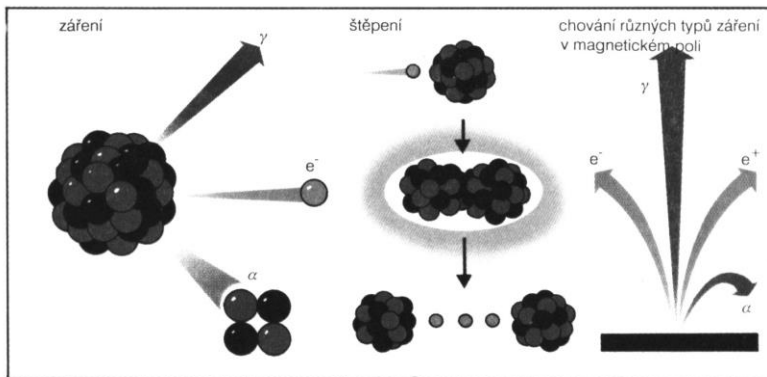
- **rádioaktivita je výhradne závislá iba od štruktúry jadra**
- **RÁDIOAKTIVITA** = schopnosť (vlastnosť) niektorých látok (prvkov) samovoľne vysielat' neviditeľné žiarenie



- **RÁDIOAKTÍVNE LÁTKY (PRVKY)** = majú túto schopnosť
- **RÁDIOAKTÍVNY ROZPAD** = proces uvoľňovania prebytku energie nestabilným atómom
- **RÁDIOAKTÍVNE (JADROVÉ) ŽIARENIE** = tok uvoľnenej prebytočnej energie
- **POLČAS ROZPADU** = čas, za ktorý sa rozpadne polovica množstva jadier

Druhy rádioaktívneho žiarenia

- žiarenie alfa = tok kladne nabitých jadier He
- žiarenie beta = tok záporne (kladne) nabitých elektrónov (pozitrónov)



- žiarenie gama a röntgenové (X-lúče) = elmg. vlny bez náboja
- žiarenie neutrónové = tok neutrónov (bez náboja)

Priamo ionizujúce žiarenia: α , β

Nepriamo ionizujúce žiarenia: γ , X, n

Zdroje prírodnej rádioaktivity

A) prírodná rádioaktivita hornín, hydro- a atmosféry od:

1. primordiálnych rádionuklidov, a to:

a) ^{40}K , ^{48}Ca , ^{87}Rb , ^{96}Zr , ^{147}Sm , ... nemajú r.r.

b) členov rozpad. radov od ^{238}U a ^{235}U

c) členov rozpad. radu od ^{232}Th

2. kozmogénnych rádionuklidov, napr. ^{14}C , ^3H , ...

B) kozmické žiarenie = tok ľahkých nabitých častíc (α ,p):

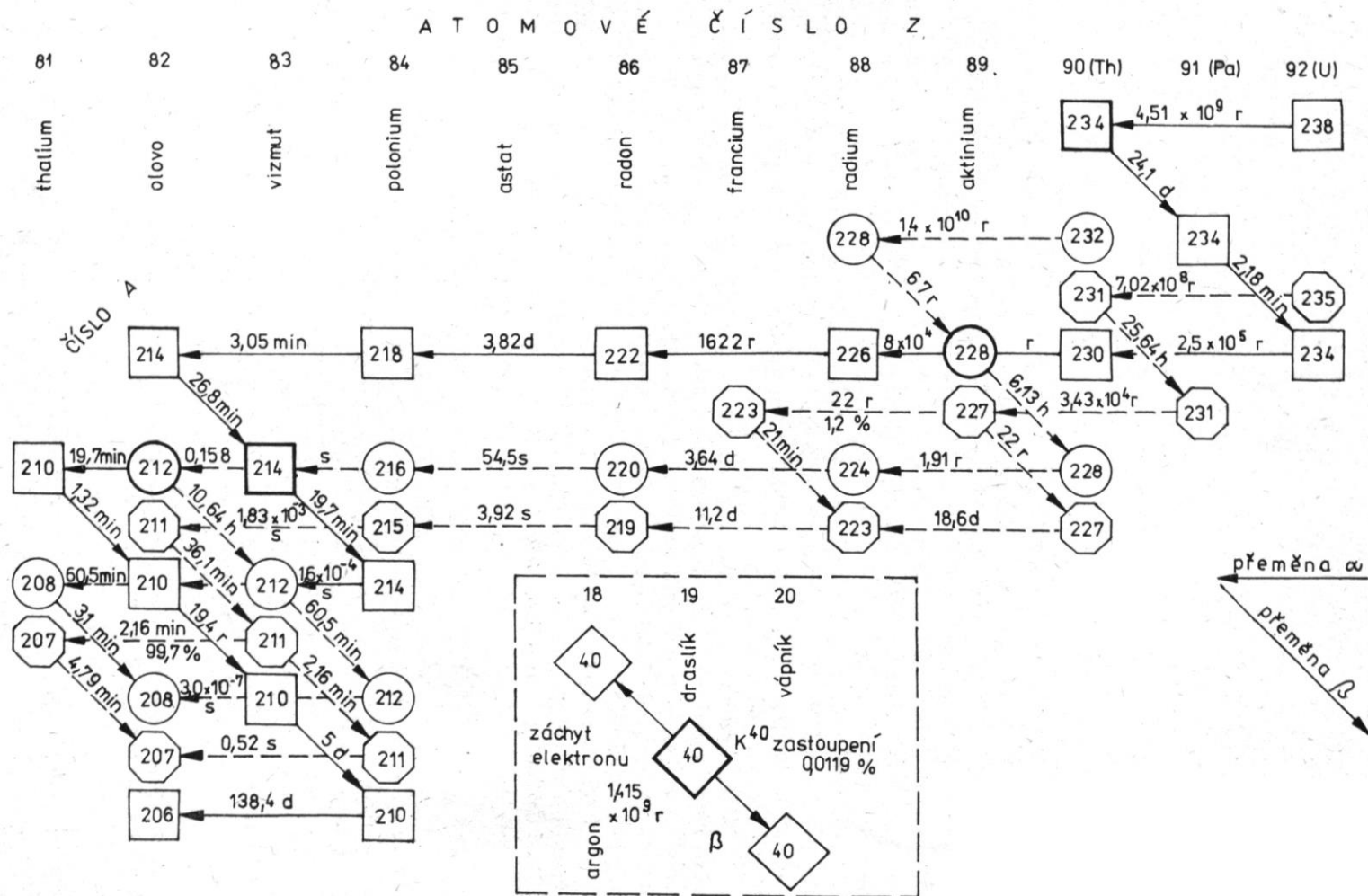
1. primárne kozmické žiarenie:

a) galaktické žiarenie

b) slnečné (solárne) žiarenie

2. sekundárne kozmické žiarenie = interakcia primárneho s atmosfér. zložkami

Prírodné rozpadové rady ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th a rozpad ^{40}K



Zdroje umelej rádioaktivity

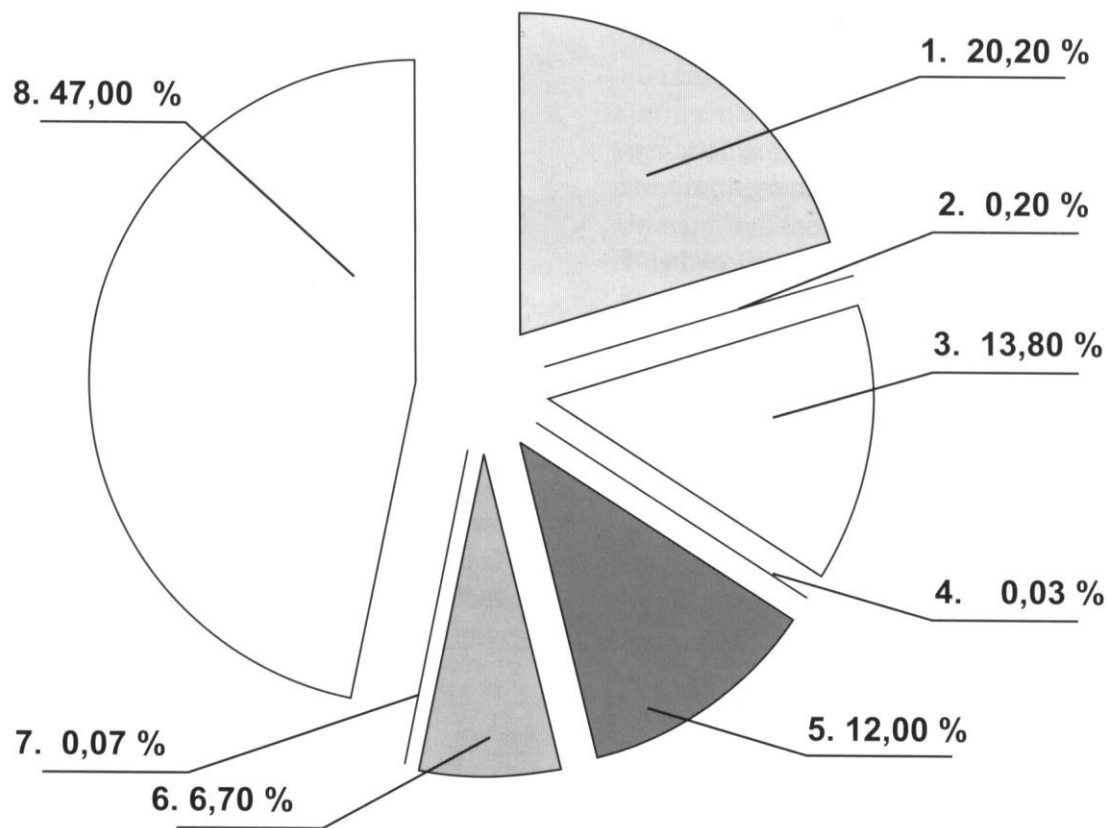
Vznikajú pôsobením neutrónov (n), nabitých častíc (p, α , d) a gama žiarenia na atómy inak stabilných prvkov alebo pri štiepení jadier ťažkých prvkov.

- v súčasnosti je ich známych asi 800
- umelé zdroje žiarenia:
 - α - ^{238}Pu , ^{239}Pu
 - β - ^{14}C , ^{204}Tl
 - γ - ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{60}Co
- oblasti vzniku, resp. použitia: lekár. diagnostika a liečenie, jadrová energetika a palivoenerg. cyklus, banská činnosť, umelé hnojivá, skúšky jadr. zbraní, rôzne použitie v priemysle, poľnohosp. a potravinárstve

Štruktúra radiačnej záťaže obyvateľstva

zdroj ožiarenia	vonkajšie ožiarenie [%]	vnútorné ožiarenie [%]	spolu [%]
kozmicke žiarenie	17	-	17
kozmogénne rádionuklidy	-	1	1
primordiálne rádionuklidy			
⁴⁰K	6	7	13
rozpadový rad ²³⁸U	4	51	55
rozpadový rad ²³²Th	7	7	14
spolu	34	66	100

Štruktúra radiačnej záťaže obyvateľstva



1. ožiarenie v zdravotníckych zariadeniach
2. ožiarenie z iných zdrojov
3. ožiarenie zo Zeme
4. ožiarenie z jadrových elektrární

5. ožiarenie z vesmíru
6. ožiarenie z telesných tkanív
7. ožiarenie na pracovisku
8. ožiarenie z radónu

Jednotky rádioaktivity sústavy SI

veličina	symbol	jednotka	
		názov	značka
aktivita	A	becquerel	Bq
expozícia (ožiarenie)	X	coulomb na kg	C/kg
expozičný príkon	X´	ampér na kg	A/kg
dávka	D	gray	Gy
dávkový príkon	D´	gray za sek.	Gy/s
dávkový ekvivalent	H	sievert	Sv
príkon dávkového ekvivalentu	H´	sievert za sek.	Sv/s

Jednotky rádioaktivity

Aktivita 1 Bq = rozpad. rýchlosť 1 atóm za 1 s

Expozícia (ožiarenie) je daná množstvom ionizácie vo vzduchu

Expozičný príkon = ožiarenie získané za čas ($X' = X/t$)

Dávka = energia, ktorú prijme ožiarená hmota

Dávkový príkon = dávka získaná za čas ($D' = D/t$)

Dávkový ekvivalent = ekvivalent absorbovaného ľubov.

žiarenia vzhľadom na škodlivé účinky na živé tkanivo

Príkon dávkového ekvivalentu = dávk. ekv. za čas ($H' = H/t$)

Vyjadrenie rádioaktivity hornín:

- exp. príkon X' [A/kg] alebo dávk. príkon D' [Gy/s]  SI
- koncentrácia rád. prvkov [% , ppm], 1 ppm = $10^{-4}\%$  ~~SI~~

Meranie rádioaktivity

Rádionuklidové metódy – využívajú premeny jadier atómov, jadrové žiarenie a pôsobenie jadrového žiarenia na hmotu

A. **Metódy merania prírodnej rádioaktivity (radiometrické metódy)** – kvalitatívne a kvantitatívne stanovujú prírodné rádionuklidy v horninách, vodách a vzduchu

B. **Metódy merania vybudených polí jadrového žiarenia (metódy jadrovej geofyziky)** – cez pôsobenie žiarenia na hmotu stanovujú obsahy prvkov a fyzikálne vlastnosti hornín

- podľa druhu žiarenia: metódy α , β , γ a neutrónové
- podľa podmienok merania: metódy laboratórne a terénne (letecké, automobilové, pešie, vrtné, banské a merania na morskom dne)

➤ na meranie sa používajú **radiometrické prístroje**

Rádiometer PSR-02 (Československo)



Gamaspektrometer GS 256 (Československo)



Gamaspektrometer Pico Envirotec PGIS 2 (Kanada)



Integrovaný radiačný informačný systém Pico Envirotec (Kanada)



Letecký integrovaný radiačný informačný systém Pico Envirotec (Kanada)

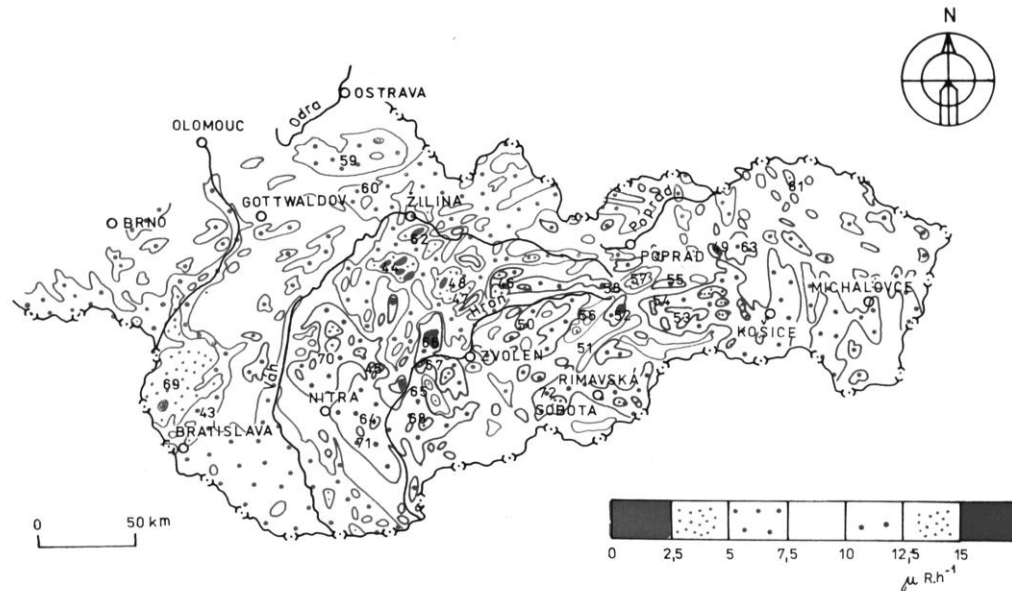


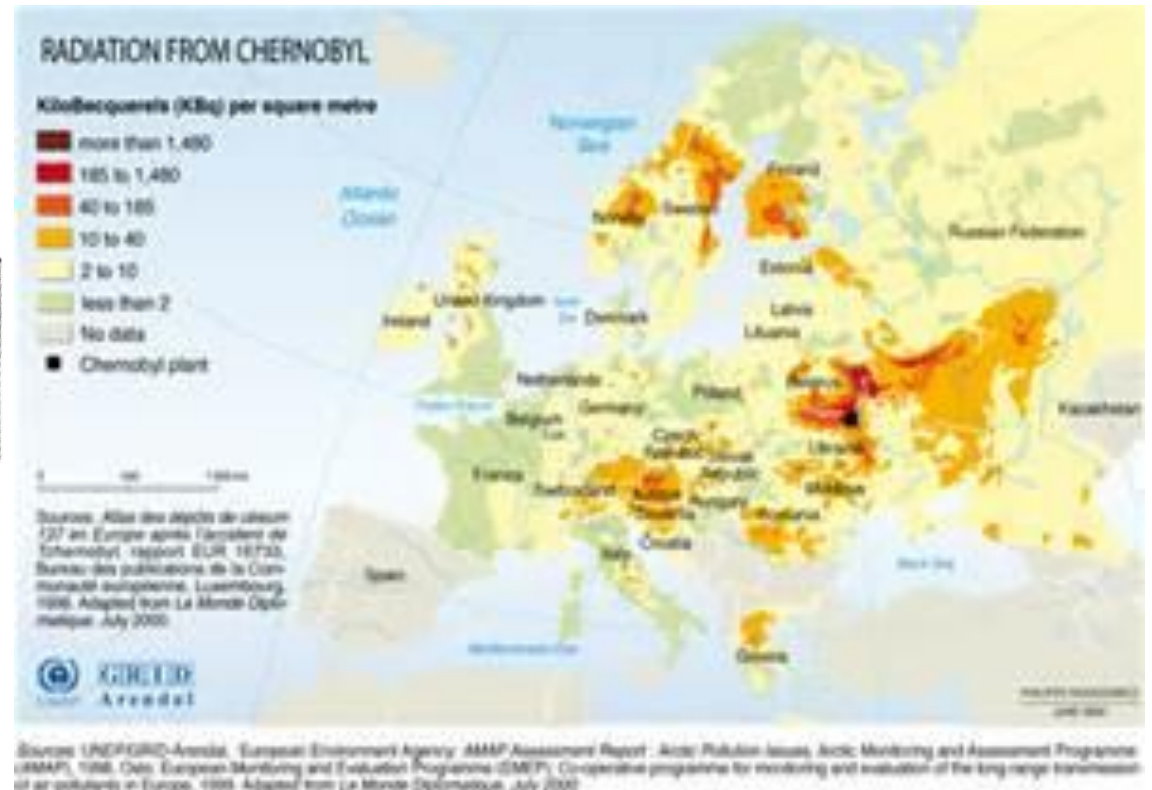
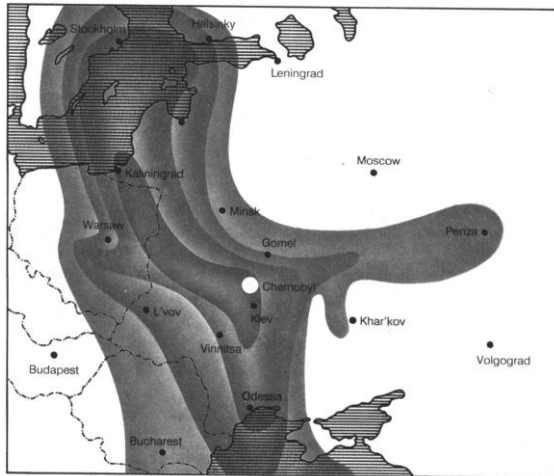
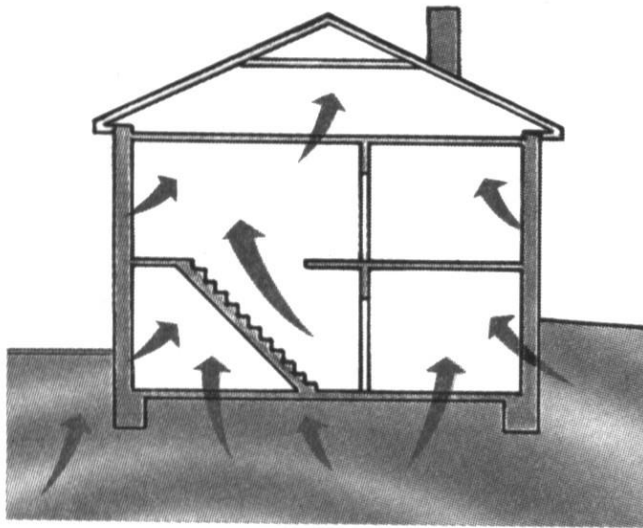
Emanometer = radónový detektor
LUK 3R (Česká republika)



Použitie rádionuklidových metód prieskumu

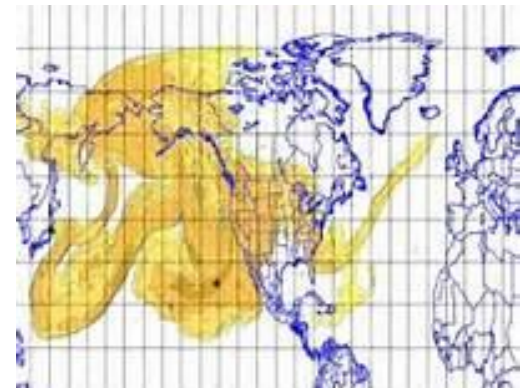
- pri geologickom mapovaní
- pri vyhľadávaní a prieskume ložísk nerastných surovín
- v hydrogeológii a inžinierskej geológii
- v prevádzke baní a úpravní
- pri hodnotení kvality životného prostredia





- ❑ Schématické znázornenie zdrojov radónu v stavbách
- ❑ Šírenie rádioaktívneho znečistenia v ovzduší po havárii reaktoru v Černobyle (1986)

Fukushima Dai-chi 2011



RADIOMETRY

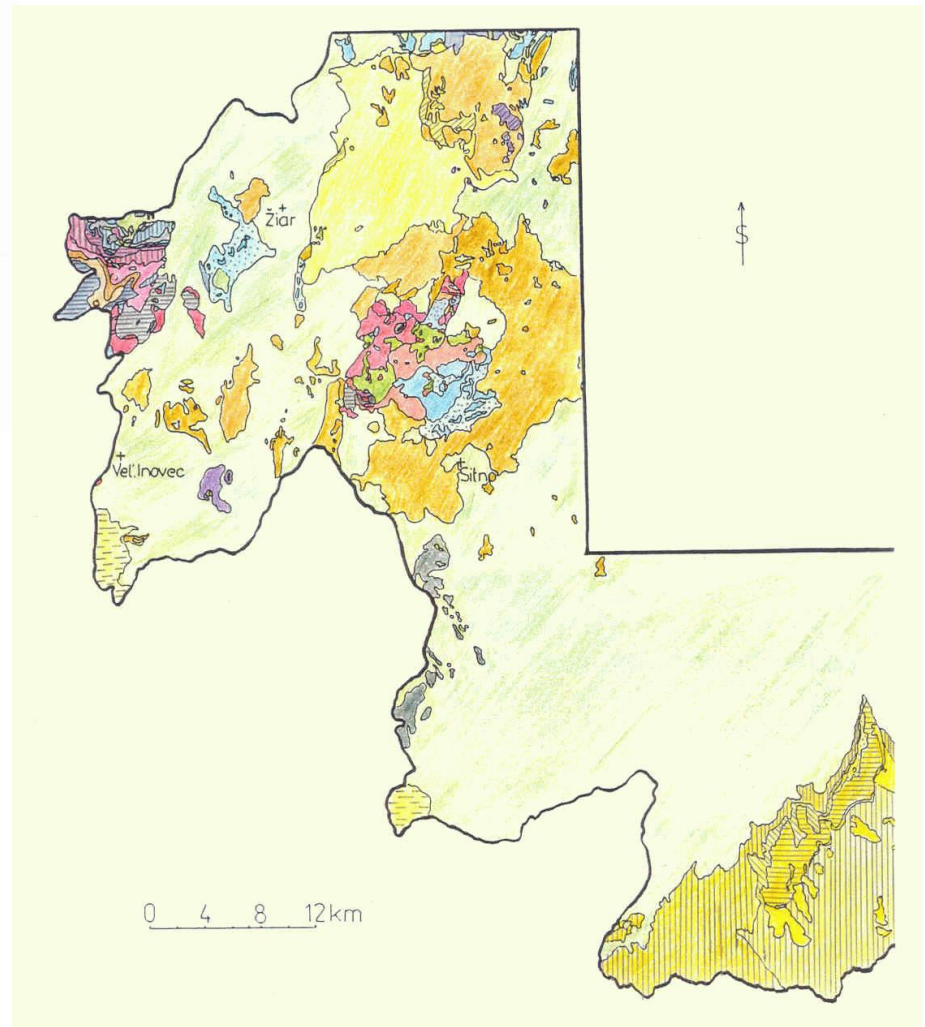
THE STUDY AREA



- planar area : approx. 1900 km²
- survey scale : 1:200 000
- survey density : 1 station per 10 km²
- number of stations : 211

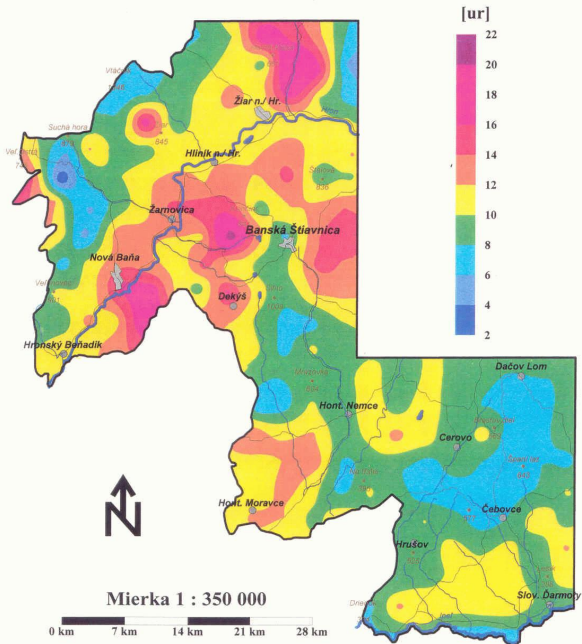
Natural radioactivity of rock in the study area measured in the frame of the project „**Geofactors of Environment – Natural Radioactivity**“ in 1998 resulted in assessment of radiation risk for human

GEOLOGY

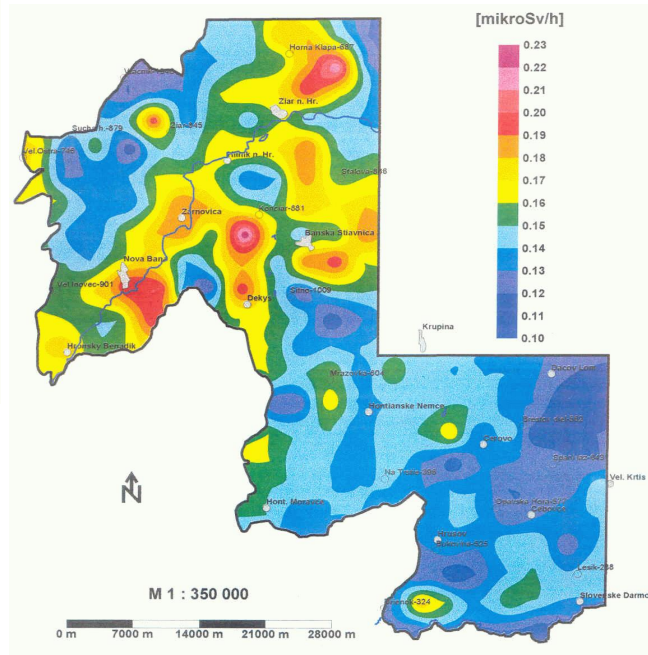


RADIOMETRY

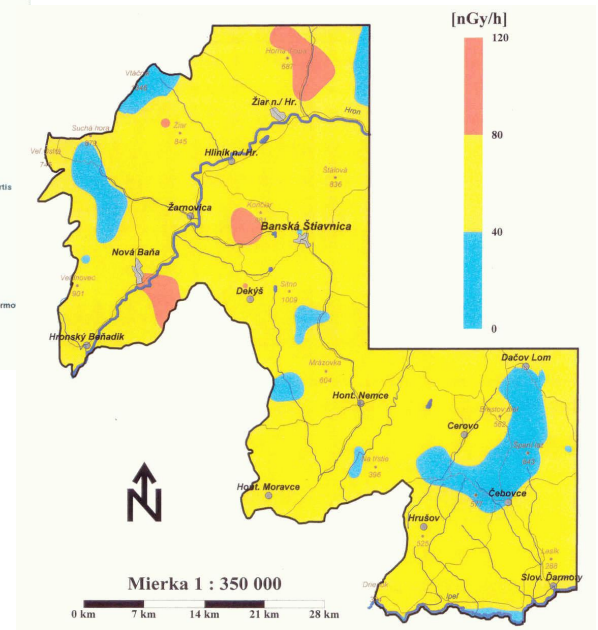
TOTAL GAMMAACTIVITY



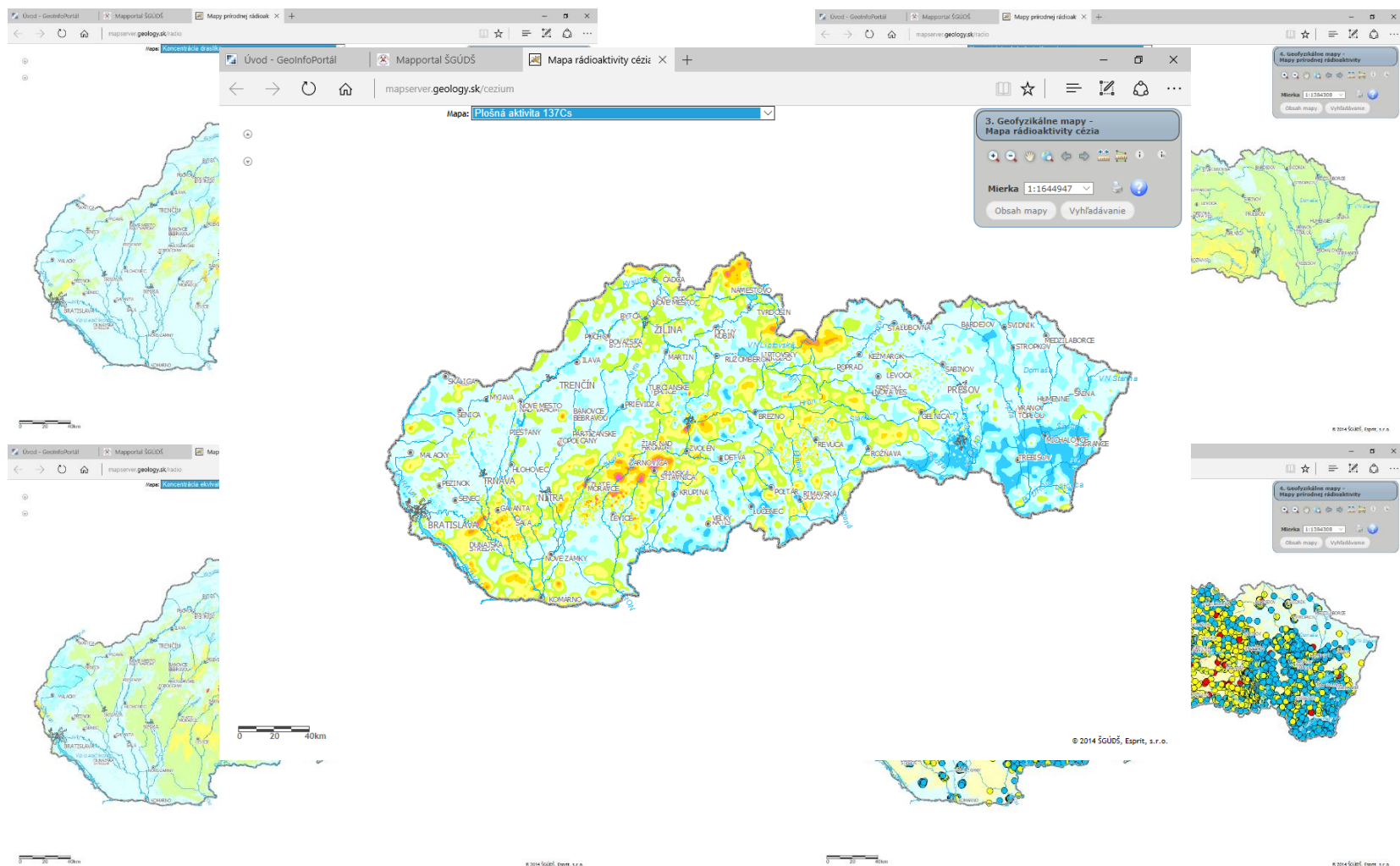
DOSE EQUIVALENT RATE



DOSE RATE



Mapy prírodnej rádioaktivity a plošnej aktivity ^{137}Cs (ŠGÚDŠ, <http://geology.sk>)



Prehľad použitia metód merania prírodnej rádioaktivity v geológii

Metóda	Podmienky	Použitie, fyzikálny parameter, prvok (hranica stanoviteľnosti)
úhrnná aktivita α	laboratórium	Ra v horninách (10^{-12} g/g) a vodách ($1,85 \cdot 10^{-2}$ Bq/l)
emanometria (detekcia α žiarenia)	laboratórium terén – povrch	^{222}Rn (1 Bq/l), ^{220}Rn , mapovanie, eU (ppm), eTh (ppm)
spektrometria α	laboratórium	kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie členov prírodných rozpadových radov, rádioaktívna rovnováha, emanovanie hornín
úhrnná aktivita β	laboratórium	úhrnná aktivita β hornín (ppm eU)
beta - gama	laboratórium	U, Ra, Th (1 – 20 ppm eU)
úhrnná aktivita γ	laboratórium terén – povrch	U+Th+K v horninách (0,1 ppm eU) U+Th+K v horninách (ppm eU), mapovanie, vyhľadávanie rádioaktívnych surovín a K solí, rádiometrické vzorkovanie
spektrometria γ	laboratórium terén – povrch	U (0,9 ppm eU), Ra (0,2 ppm eU), Th (0,4 ppm eTh), K (0,06 %K), geochemia, genéza hornín Ra (0,3 ppm eU), Th (0,6 ppm eTh), K (0,1 %K), prieskum rádioaktívnych surovín, mapovanie, litológia, genéza hornín, nepriame stanovenie niektorých nerádioaktívnych prvkov
meranie veľmi nízkych aktivít	laboratórium	štúdium hornín, datovanie pomocou ^{14}C a ^3H , hydrogeológia
autorádiografia	laboratórium	centrá rádioaktivity v horninách, genéza hornín

Prehľad použitia metód založených na interakcii jadrového žiarenia s prvkami geologického objektu

Metóda	Podmienky	Použitie, fyzikálny parameter, prvok (hranica stanoviteľnosti)
odrazené žiarenie β	laboratórium	Z_{ef} (dif. 0,1 – 0,3), popolnatosť uhlí, obsah Fe v železných rudách
gama-gama hustotná gama-gama selektívna	terén - povrch laboratórium, terén – povrch	ρ (dif. 10^{-2} – 10^{-1} g·cm ⁻³), stavebná a inžinierska geológia celkový obsah ťažkých prvkov
röntgen-fluorescenčná	laboratórium terén – povrch	prvky so $Z > 20$ (až 50 ppm) prvky so $Z > 24$ (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, As, Ag, Sn, Sb, W, Au, Pb a i.) (0,01 – 0,5 %)
jadrová gama rezonancia	laboratórium terén – povrch	Fe, Sn, Zn, Te, W, Pt – za nízkych teplôt, Sn (0,01 %) a Fe (1 %) pri izbovej teplote, štúdium mikrostavby minerálov Fe Sn (0,1 %)
gama-neutrón	laboratórium, terén - povrch	Be (1 ppm)
neutrón-neutrón	laboratórium terén – povrch	B (0,01 %), Cd (0,01 %), Li, Au, Ag, In, Re, Rh, Ir, Ta, Co, U, TR objemová vlhkosť (dif. 0,1 – 10 kg H ₂ O · m ⁻³), inžinierska geológia, B (0,01 % B ₂ O ₃)
neutrón-gama	laboratórium	Ni (0,2 %), Fe (0,5 %), Cr (0,5 – 1 %), S (0,2 – 1 %), Ca (1 – 5 %)
opozdené neutróny	laboratórium	štiepateľné prvky (ppm)
stopy štiepných produktov	laboratórium	U (10^{-6} ppm), Th, B (ppm), Li (10 ppm), mikrodistribúcia štiepných prvkov, geochronológia

Prehľad použitia metód založených na aktivácii prvkov skúmaného geologického objektu

Metóda	Podmienky	Použitie, fyzikálny parameter, prvok (hranica stanoviteľnosti)
neutrónová aktivačná analýza	laboratórium	reaktorová: stredne ťažké a ťažké prvky ($10^{-7} - 10^{-12}$ g) generátorová: stredne ťažké a ťažké prvky ($10^{-2} - 10^{-6}$ g) izotopová: Al (5 %), Mn (0,01 %), V (0,1 %), In (0,01 %), F, Si zosilňovač neutrónového toku: stredne ťažké a ťažké prvky ($10^{-2} - 10^{-7}$ g)
	terén – povrch	izotopová: Cu (0,2 – 0,4 %), F (5 % CaF_2)
gama aktivačná analýza	laboratórium	väčšina prvkov včítane ľahkých ($10^{-7} - 10^{-10}$ g)