

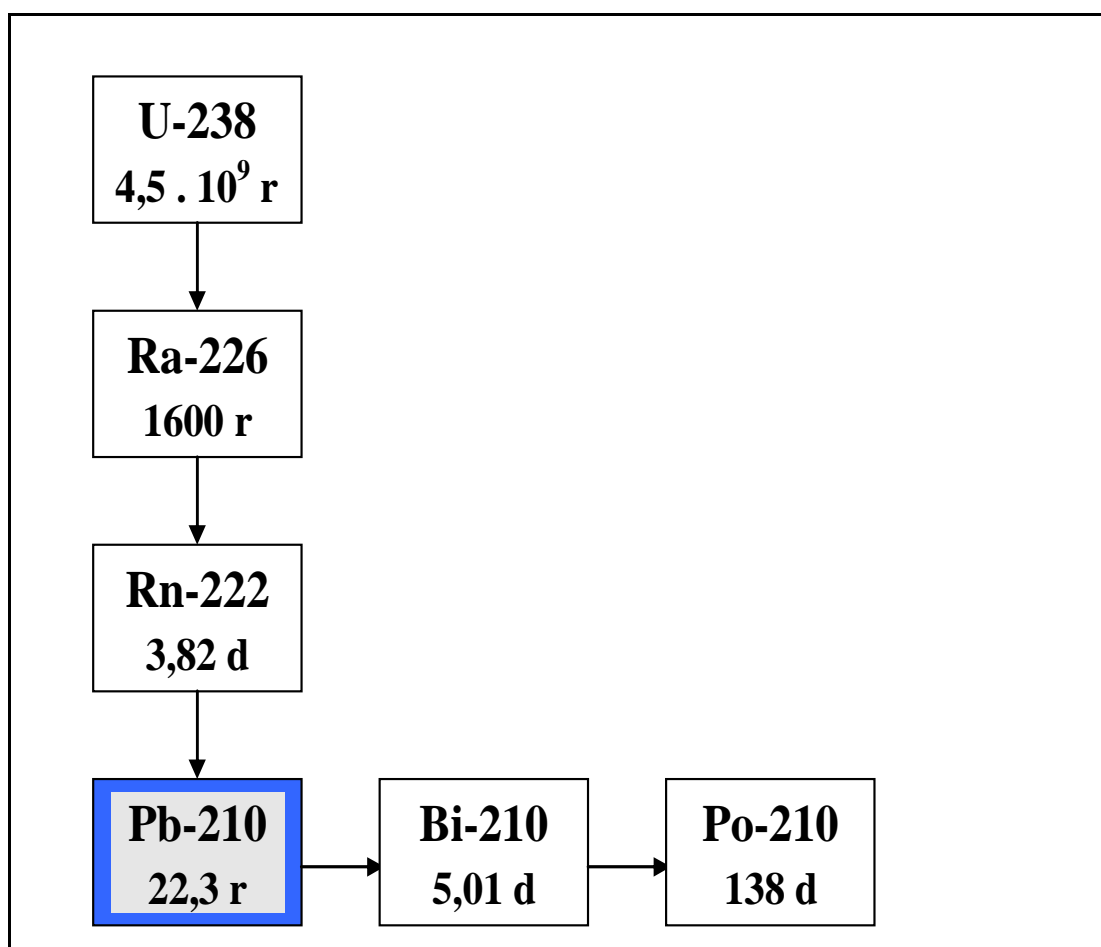
K MOŽNOSTEM STANOVENÍ OLOVA 210

Jaroslav Vlček

Státní ústav radiační ochrany, Bartoškova 1450/28, 140 00 Praha 4

Radionuklid ^{210}Pb v přírodě vzniká postupnou přeměnou ^{238}U (obr. 1) a dále se mění přes ^{210}Bi a ^{210}Po na stabilní ^{206}Pb . Do podzemní vody se dostává jednak vyluhováním z hornin, jednak přeměnou ^{222}Rn rozpuštěného ve vodě. Do povrchových vod se dostává depozicí z ovzduší, kde vzniká přeměnou radonu uvolněného ze zemského povrchu.

Obr. 1: Zjednodušené schéma uranové přeměnové řady



Z hlediska radiotoxicity patří ^{210}Pb k nejvýznamnějším přírodním radionuklidům, jak vyplývá z tabulky 1. Zde je uveden odhad ročního úvazku efektivní dávky z příjmu pitné vody s jednotkovou objemovou aktivitou radionuklidu. Závažnější z tohoto hlediska jsou jenom radionuklidy ^{210}Po a ^{228}Ra .

Mezní hodnoty obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě stanoví v ČR vyhláška č. 307/2002 Sb, ve znění pozdějších předpisů (tabulka 2). Mezní hodnota objemové aktivity ^{210}Pb ve vodě dodávané pro veřejné zásobování pitnou vodou činí 0,7 Bq/l s tím, že při hodnocení radioaktivity vody se uplatňuje součtové pravidlo – součet podílů objemových aktivit radionuklidů a jim příslušných v tabulce uvedených mezních hodnot nesmí převýšit 1.

Pro takové situace se obvykle bere požadavek na nejmenší detekovatelnou objemovou aktivitu radionuklidu na úrovni jedné desetiny mezní hodnoty. V případě ^{210}Pb a veřejného zásobování pitnou vodou je to tedy 0,07 Bq/l.

Tabulka 1: Radiotoxicita přírodních radionuklidů ($\mu\text{Sv}/\text{rok}$ na Bq/l)

radio-nuklid	věková skupina (roky)						
	do 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17	průměr
Pb-210	2100	1600	970	840	840	300	490
Po-210	6500	3900	1900	1100	700	530	1400
Rn-222							3,0
Ra-224	680	290	150	110	88	29	61
Ra-226	1200	420	270	350	660	120	210
Ra-228	7500	2500	1500	1700	2300	300	800
Th-228	930	160	97	66	41	32	57
Th-230	1000	180	140	110	97	92	110
Th-232	1200	200	150	130	110	100	130
U-234	93	57	39	33	33	22	27
U-238	85	53	35	30	29	20	25

Tabulka 2: Mezní hodnoty obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě (Bq/l)

radio nuklid	balená kojenecká voda	pitná voda pro veřejné zásobování	balená přírodní minerální voda
Pb210	0,2	0,7	1,4
Po210	0,1	0,4	0,8
Rn222	100	300	600
Ra224	0,7	6	12
Ra226	0,4	1,5	3
Ra228	0,1	0,5	1
Th228	0,5	6	12
Th230	0,4	3	6
Th232	0,4	3	6
U234	5	12	24
U238	5	12	24

Informace o výskytu ^{210}Pb ve vodě dodávané pro veřejné zásobování pitnou vodou v ČR jsou omezené – jeho stanovení se provádí jenom ojediněle. V tabulce 3 je uveden odhad průměrného obsahu ^{210}Pb a dalších přírodních radionuklidů v pitné vodě a související efektivní dávky z jejich příjmu s pitnou vodou. Odhady vycházejí ze zpracování výsledků měření radioaktivity pitné vody v ČR za období 1998 až 2005.

Tabulka 3: Odhad obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě v ČR

radionuklid	průměrná objemová aktivita (Bq/l)	průměrná efektivní dávka ($\mu\text{Sv/rok}$)
Pb210	< 0,008	< 4,0
Po210	0,0013	1,9
Rn222	13,7	41,1
Ra226	0,0070	1,5
Ra228	0,0070	5,6
U234	0,019	0,5
U238	0,013	0,3

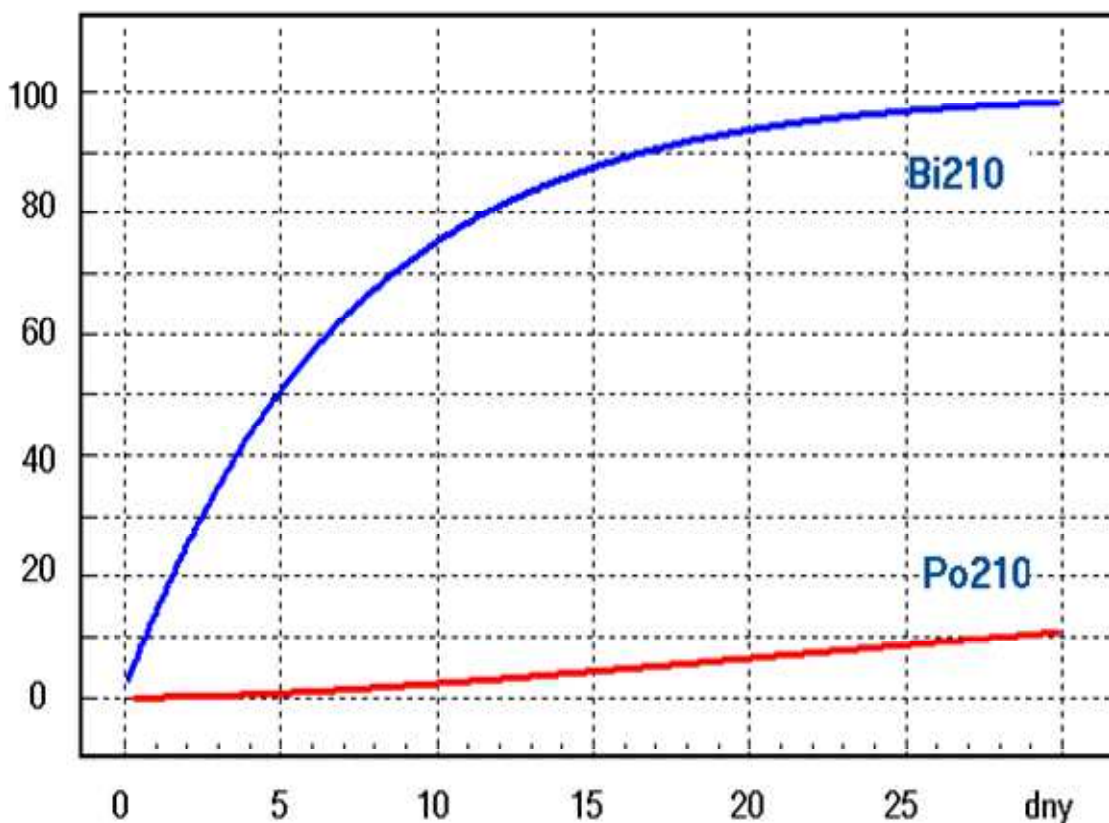
Možnosti stanovení olova 210 vycházejí z dozimetrických parametrů radionuklidu a produktů jeho přeměny (tabulka 4). Pro měření je v zásadě možno použít záření beta nebo gama z přeměny ^{210}Pb , záření beta z přeměny ^{210}Bi v nerovnovážném stavu nebo za podmínek radioaktivní rovnováhy ve vzorku a případně záření alfa z přeměny ^{210}Po v nerovnovážném stavu. Poslední z uvedených možností je komplikována pomalým nárůstem aktivity ^{210}Po vznikajícího z přeměny ^{210}Pb přes ^{210}Bi (obrázek 2).

Tabulka 4: Dozimetrická charakteristika radionuklidů

radio-nuklid	poločas (dny)	emise alfa		emise beta*		emise gama a X	
		energie (keV)	výtěžek (%)	energie (keV)	výtěžek (%)	energie (keV)	výtěžek (%)
Pb210	8150			4,2	84	10,8	9,1
				16,2	16	12,9	10,1
						46,5	4,25
Bi210	5,01			389	100		
Po210	138	5300	100				

*v případě emise záření beta je uvedena střední energie částic

Obr. 2: Nárůst aktivity ^{210}Bi a ^{210}Po z přeměny ^{210}Pb



Možnosti stanovení olova 210 přímým měřením záření gama z přeměny radionuklidu jsou uvedeny v tabulce 5. Údaje byly získány pro tři typy detektorů HPGe s relativní detekční účinností 20 až 30 procent. Předpokládá se koncentrace vzorku do tenké vrstvy, poloha preparátu na čele detektoru, doba měření vzorku 100 000 s a doba měření pozadí 300 000 s. Mezi detekce se zde rozumí nejmenší detekovatelná aktivita ^{210}Pb počítaná pro $\alpha = \beta = 0,05$ a potřebným objemem objem vzorku vody, který je třeba zpracovat pro dosažení nejmenší detekovatelné objemové aktivity 0,07 Bq/l.

Tabulka 5: Možnosti spektrometrie záření gama s vysokým rozlišením

detektor HPGe	pozadí (imp/1000 s)	účinnost (imp/s.Bq)	mez detekce (Bq)	potřebný objem (l)
standard	1,4	0,00044	5,5	80
Re(Ge)	9,6	0,00810	0,53	7,5
ULB Re(Ge)	< 0,5	0,00740	0,22	3,1

Možnosti stanovení olova 210 kapalinovou scintilační spektrometrií jsou odhadnuty v tabulce 6. Podmínky měření A předpokládají separaci olova 210 ze vzorku a okamžité zahájení měření. Podmínky měření B předpokládají separaci ^{210}Pb (případně spolu s ^{210}Bi) ze vzorku a měření po ustavení radioaktivní rovnováhy mezi ^{210}Pb a ^{210}Bi . V obou případech se předpokládá doba měření vzorku 10 000 s a doba měření pozadí 20 000 s. Význam meze detekce a potřebného objemu je stejný jako v případě tabulky 5.

Tabulka 6: Možnosti kapalinové scintilační spektrometrie

podmínky měření	pozadí (imp/s)	účinnost (imp/s.Bq)	mez detekce (Bq)	potřebný objem (l)
A	0,3	0,20	0,11	1,6
B	0,2	0,75	0,024	0,34

Možnosti stanovení olova 210 měřením záření beta okénkovým proporcionalním detektorem jsou odhadnuty v tabulce 7. Podmínky měření A předpokládají separaci olova 210 ze vzorku a měření po 5 dnech. Podmínky měření B předpokládají separaci ^{210}Pb (případně spolu s ^{210}Bi) ze vzorku a měření po ustavení radioaktivní rovnováhy mezi ^{210}Pb a ^{210}Bi . V obou případech se předpokládá doba měření vzorku 10 000 s a doba měření pozadí 20 000 s. Význam meze detekce a potřebného objemu je stejný jako v případě tabulky 5.

Tabulka 7: Možnosti měření okénkovým proporcionalním detektorem

podmínky měření	pozadí (imp/s)	účinnost (imp/s.Bq)	mez detekce (Bq)	potřebný objem (l)
A	0,05	0,20	0,045	0,65
B	0,05	0,40	0,023	0,32

Porovnání možností uvažovaných metod je uvedeno v tabulce 8. Pro dosažení potřebné nejmenší detekovatelné objemové aktivity (0,07 Bq/l) je méně vhodná spektrometrie záření gama s vysokým rozlišením. Použití kapalných scintilátorů a okénkového proporcionalního detektoru za výše popsaných podmínek dává srovnatelné možnosti.

Tabulka 8: Porovnání uvažovaných metod

postup stanovení	mez detekce (Bq)	potřebný objem (l)
spektrometrie gama	0,22 až 5,5	3 až 80
kapalné scintilátory	0,024 až 0,11	0,3 až 1,6
proporcionalní detektor	0,023 až 0,045	0,3 až 0,6