



**POROVNÁNÍ VÝPOČTU INDIKATIVNÍ DÁVKY ZE
STANOVENÉ HMOTNOSTNÍ KONCENTRACE URANU
S VÝPOČTEM Z OBJEMOVÝCH AKTIVIT IZOTOPŮ ^{238}U A ^{234}U
S OHLEDEM NA NOVOU RADIOLOGICKOU LEGISLATIVU
PITNÝCH VOD**

Tomáš Bouda

ALS Czech Republic, s.r.o., Laboratoř Česká Lípa



RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER

ÚVOD



Na minulé konferenci „Radiologické metody v hydrosféře 15“ v Uherském Hradišti jsem se zabýval vyhodnocením velkého množství analýz vzorků vod na obsahy jednotlivých přírodních izotopů uranu ^{238}U , ^{235}U a ^{234}U a na poměry objemových aktivit $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ a $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$. Od té doby byly provedeny desítky dalších analýz izotopů uranu, které uveřejněné závěry plně potvrdily:

- Poměr $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ objemových aktivit ^{234}U a ^{238}U je prakticky ve všech vzorcích vod významně vyšší než 1.00; jen u cca 3 – 4 % vzorků je tento poměr nižší než 1.00. Poměr $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ dosahuje zejména v případě nízkých objemových aktivit ^{234}U vysokých hodnot 10 – 25; se zvyšující se objemovou aktivitou ^{234}U tento poměr klesá a limituje k hodnotě 1.50. Jinými slovy, objemová aktivita ^{234}U je v přírodních vodách, zejména v podzemních, významně vyšší než objemová aktivita jeho mateřského nuklidu, ^{238}U .
- Poměr $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ objemových aktivit ^{235}U a ^{238}U se v rámci nejistot stanovení neliší od teoretické hodnoty 0.0461 u všech analyzovaných vzorků, a to i u vzorků s velmi nízkou objemovou aktivitou ^{235}U na úrovni 1 – 110 $\mu\text{Bq/L}$.
- Jen z hmotnostní koncentrace U, která je prakticky rovna součtu hmotnostních koncentrací izotopů ^{238}U a ^{235}U tedy jednoznačně nelze usuzovat na příspěvek „uranu“ k celkové objemové aktivitě alfa. Dosud běžně používaná hodnota celkové hmotnostní aktivity alfa přírodního uranu $U_{\text{NAT}} 25 \text{ Bq/mg}$ je v případě reálných vzorků vod nepoužitelná, v průměru dosahuje tato veličina hodnot 40 – 50 Bq/mg , což je třeba brát do úvahy při korigování zvýšených hodnot celkové objemové aktivity alfa na obsah přírodního uranu.

V rámci této práce se zabýváme touto problematikou s ohledem na novou evropskou i českou legislativu, jež se zabývá radioaktivitou pitných vod.

HMOTNOSTNÍ AKTIVITY ^{238}U , ^{235}U a ^{234}U

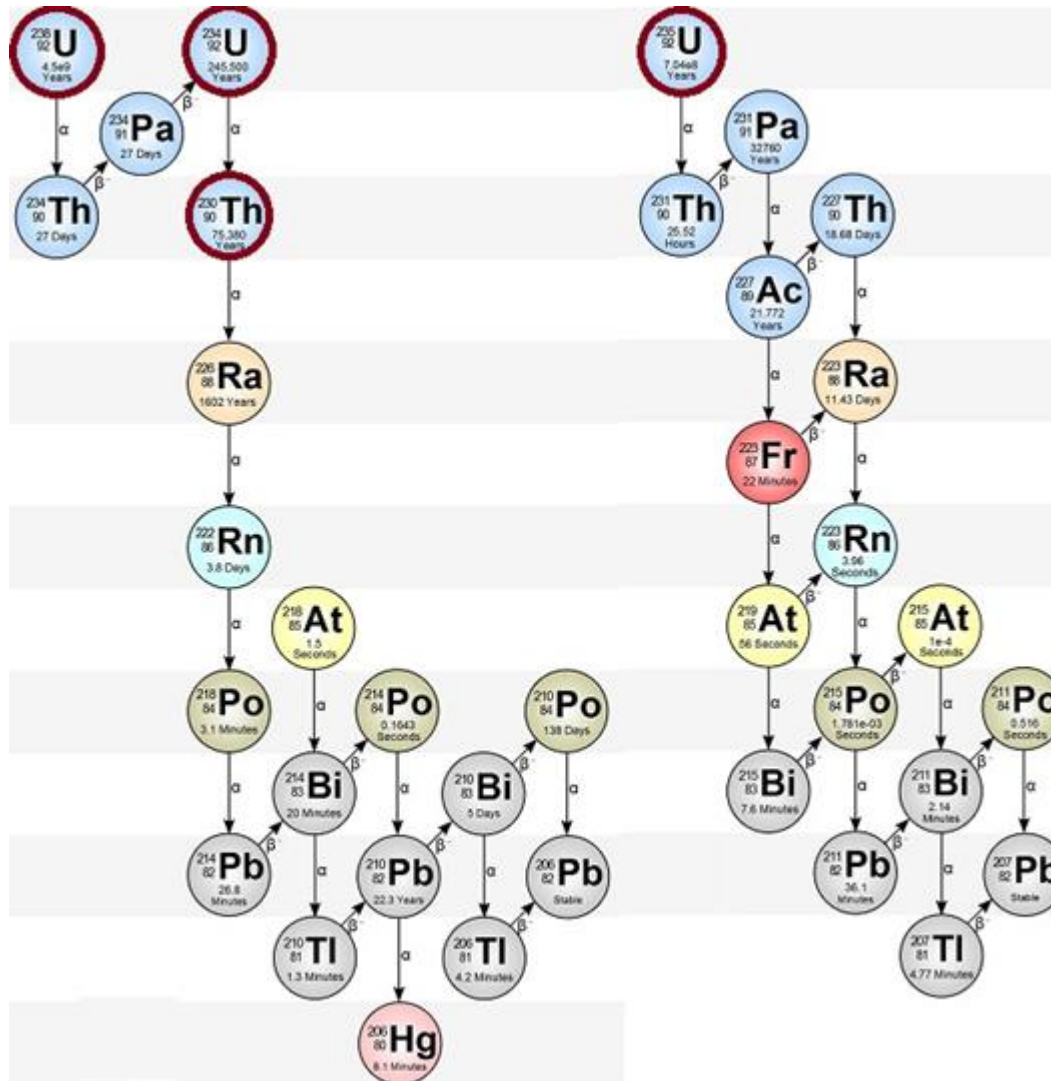


Přehled literárních a vypočítaných dat radionuklidů ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U

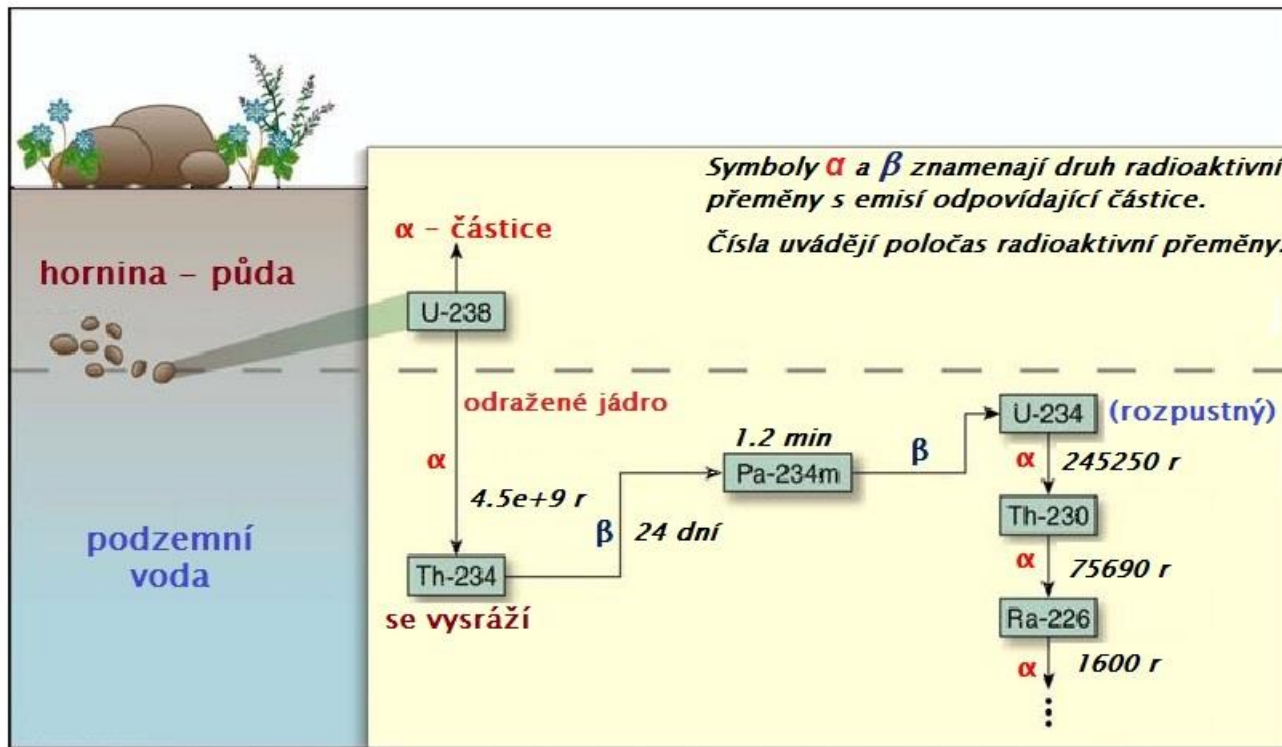
Nuklid (parametr)	$T_{1/2}$ [a]	M [g/mol]	A_m [Bq/ng]	Počet atomů na 10^6 atomů ^{238}U	U_{NAT} [at. %]	U_{NAT} [hm. %]	Bq/mg U_{NAT}
U-238	4.4683E+09	238.05079	1.2436E-05	1000000	99.2741	99.2833	12.347
U-235	7.0400E+08	235.04393	7.9939E-05	7256.8	0.7204	0.7114	0.5687
U-234	245250	234.04095	2.3045E-01	54.89	0.00545	0.00536	12.347
U-NAT					100.000	100.000	25.262
U-238 / U-235	-	-	-	-	137.802*	139.565*	21.71*
U-235 / U-238	-	-	-	-	0.007257*	0.007165*	0.04606*

Poznámka: * - poměr koncentrací uvedených radionuklidů v přírodním uranu U_{NAT} vyjádřených v atomových procentech, v hmotnostních procentech a v jednotkách hmotnostní aktivity (na 1 g přírodního uranu U_{NAT})

ROZPADOVÉ ŘADY ^{238}U a ^{235}U



UVOLŇOVÁNÍ ^{234}U DO VODNÉHO PROSTŘEDÍ



Radioaktivní přeměna U-238 a U-234

Z odborné literatury je již od roku 1955 známo, že aktivní izotopický poměr $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ je ve vodách mnohem vyšší než 1.00. Na výše uvedeném obrázku je znázorněno, jak k tomuto nabožení dochází. V poslední době bylo však dokázáno, že vyšší obsah ^{234}U ve vodách není dán jen přímým atomovým odrazem, ale též tím, že v důsledku atomového odrazu je ^{234}Th přítomno ve změněném valenčním stavu a snadno přechází do roztoku i při „rychlém loužení“.

VÝPOČET INDIKATIVNÍ DÁVKY ID



Podle Směrnice rady 2013/51/EURATOM se indikativní dávka ID vypočte ze stanovených aktivitních koncentrací radionuklidů a z ingesčních koeficientů dávek uvedených v příloze III, v tabulce A Směrnice rady 96/29/EURATOM nebo z novějších hodnot uznaných příslušnými orgány v členském státě, a to na základě příjmu vody za jeden rok (730 L u dospělých osob).

Indikativní dávka (ID) je definována jako roční úvazek efektivní dávky z příjmu všech radionuklidů (přírodních i umělých) přítomných ve vodě s výjimkou radionuklidů ^3H , ^{40}K , ^{222}Rn a krátkodobých produktů jeho přeměny.

$$ID = 0.73 \cdot \sum_i h_{i,ing} \cdot c_i = \sum_i D_i \cdot c_i \quad (1)$$

$h_{i,ing}$ konverzní faktor [$\mu\text{Sv/Bq}$] pro přepočtení příjmu i -tého radionuklidu požitím (ingescí) dospělými jednotlivci z obyvatelstva na úvazek efektivní dávky (jeho hodnoty jsou uvedeny ve Vyhlášce č. 422/2016 Sb., Příloha č. 3, tabulka „Konverzní faktory h_{ing} pro příjem požitím jednotlivcem z obyvatelstva“ resp. v příloze III, v tabulce A, Směrnice rady 96/29/EURATOM)

D_i indikativní dávka [mSv/rok] od i -tého radionuklidu o objemové aktivitě 1 Bq/L

VÝPOČET INDIKATIVNÍ DÁVKY ID



Z hlediska praktického použití jsou zavedeny pro jednotlivé radionuklidy referenční hodnoty r_i , nově označované jako tzv. „odvozené koncentrace radionuklidů“ $C_i(\text{der})$ (vyjadřované v [Bq/L]), které způsobí indikativní dávku rovnou limitní hodnotě 0.10 mSv/rok:

$$r_i = C_i(\text{der}) = \frac{0.10}{0.73 \cdot h_{i,\text{ing}}} = \frac{0.10}{D_i} \quad (2)$$

Vztah (1) pro výpočet indikativní dávky ID v [mSv/rok] lze pak psát i ve formě:

$$ID = 0.1 \cdot \sum_i \frac{c_i}{r_i} = 0.1 \cdot \sum_i \frac{c_i}{C_i(\text{der})} \quad (3)$$

V následující tabulce jsou uvedeny konverzní faktory $h_{i,\text{ing}}$, indikativní dávky D_i a odvozené koncentrace $C_i(\text{der})$ (resp. referenční hodnoty r_i) potřebné pro výpočet indikativní dávky ID pro běžné přirozené radionuklidy, které se mohou vyskytovat v pitné vodě. Tabelované odvozené koncentrace $C_i(\text{der})$ určují míru nebezpečnosti daného radionuklidu z radiologického hlediska. Je nutno uvést, že v případě izotopů U je radiologické riziko mnohem menší než riziko chemické toxicity U (na chemickou toxicitu U nemá nerovnováha mezi ^{238}U a ^{234}U vůbec žádný vliv).

VÝPOČET INDIKATIVNÍ DÁVKY ID



Konverzní faktory $h_{i,ing}$, indikativní dávky D_i a odvozené koncentrace $C_i(der)$ (referenční hodnoty r_i) významných přírodních radionuklidů

Radionuklid	Rozpadová řada / zářič	Poločas radioaktivní přeměny $T_{1/2}$	konverzní faktor $h_{i,ing}$ [$\mu\text{Sv/Bq}$]	Indikativní dávka D_i [$\text{mSv/rok}\cdot\text{L/Bq}$]	Referenční hodnota r_i resp. Odvozená koncentrace $C_i(der)$ [Bq/L] pro 0.10 mSv/rok	
			[5, 11]	[5, 11]	[5, 11]	[4]
^{238}U	$^{238}\text{U} / \alpha$	$4.47 \cdot 10^9$ r	0.045	0.033	3.0	3.0
^{234}U	$^{238}\text{U} / \alpha$	$2.44 \cdot 10^5$ r	0.049	0.036	2.8	2.8
^{235}U	$^{235}\text{U} / \alpha$	$7.04 \cdot 10^8$ r	0.047	0.034	2.9	n/a
^{226}Ra	$^{238}\text{U} / \alpha$	1600 r	0.28	0.20	0.49	0.5
^{228}Ra	$^{232}\text{Th} / \beta$	5.75 r	0.69	0.50	0.20	0.2
^{224}Ra	$^{232}\text{Th} / \alpha$	3.66 d	0.065	0.047	2.1	n/a
^{230}Th	$^{238}\text{U} / \alpha$	77000 r	0.21	0.15	0.65	n/a
^{232}Th	$^{232}\text{Th} / \alpha$	$1.40 \cdot 10^{10}$ r	0.23	0.17	0.60	n/a
^{228}Th	$^{232}\text{Th} / \alpha$	1.91 r	0.072	0.053	1.90	n/a
^{210}Pb	$^{238}\text{U} / \beta$	22.3 r	0.69	0.50	0.20	0.2
^{210}Po	$^{238}\text{U} / \alpha$	138 d	1.2	0.88	0.11	0.1
Parametr	Izotopy U zahrnuté do výpočtu		konverzní faktor $h_{i,ing}$ [$\text{mSv}/\text{mg U}_{\text{NAT}}$]	Indikativní dávka D_i [$\text{mSv/rok}\cdot\text{L}/\text{mg U}_{\text{NAT}}$]	Referenční hodnota r_i resp. Odvozená koncentrace $C_i(der)$ [$\text{mg U}_{\text{NAT}}/\text{L}$] pro 0.10 mSv/rok	
			[5, 11]	[5, 11]	[5, 11]	[4]
U_{NAT}	^{238}U , ^{234}U a ^{235}U		1.19	0.87	0.12	n/a
U_{NAT}	jen ^{238}U a ^{234}U		1.16	0.85	0.12	n/a

VÝPOČET INDIKATIVNÍ DÁVKY ID



Hodnoty odvozených koncentrací $C_i(\text{der})$ jsou uváděny ve Směrnici rady 2013/51 / EURATOM jen na jedno desetinné místo. Přičemž Příloha III této směrnice v odstavci 2 „Výpočet ID“ připouští:

Pokud je splněn následující vzorec (4), mohou členské státy předpokládat, že ID je nižší než hodnota ukazatele 0,10 mSv, a není zapotřebí provádět žádné další šetření:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i(\text{obs})}{C_i(\text{der})} \leq 1 \quad (4)$$

Kde	$C_i(\text{obs})$	=	Zaznamenaná (naměřená) koncentrace radionuklidu i
	$C_i(\text{der})$	=	Odvozená koncentrace radionuklidu i
	n	=	Počet zjištěných radionuklidů.

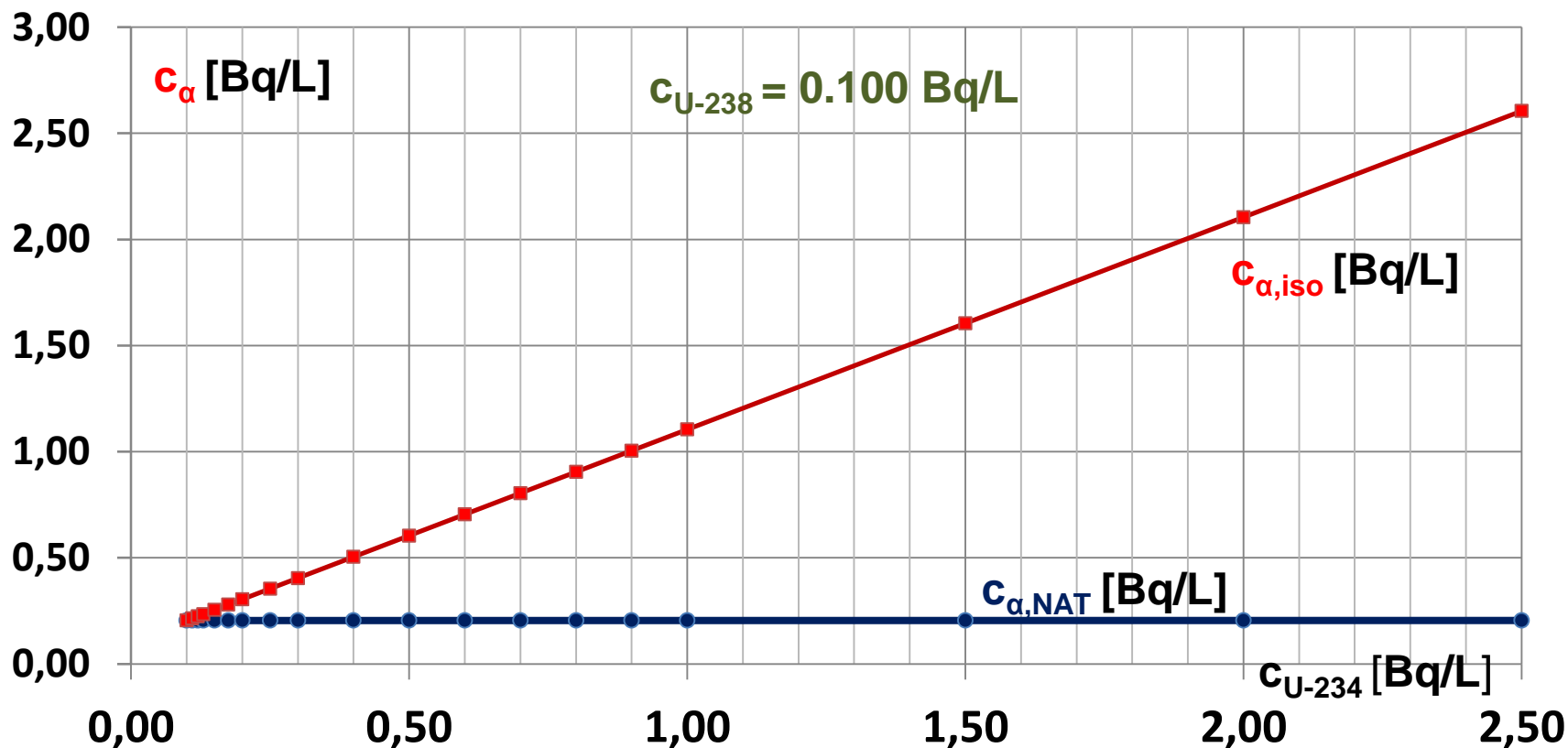
Tento přístup je v souladu se vzorcem (3), nicméně v případě, že se hodnota ID pohybuje v oblasti 0.10 mSv/rok, může výpočet podle rovnice (1) s použitím koeficientů $h_{i,\text{ing}}$ (Vyhláška 422/2016 Sb. či Směrnice rady 96/29/Euratom) poskytnout rozdílný závěr, na což se pak někteří klienti ptají (markantní je rozdíl výpočtů zejména v případě ^{210}Po).

Směrnice či vyhlášky neřeší nejistotu hodnoty ID, která může být v případě výsledků blízko detekčních mezí poměrně vysoká.

POSOUZENÍ PŘÍSPĚVKU URANU K CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITĚ ALFA



Graf závislosti celkové objemové aktivity alfa c_α [Bq/L] počítané z hmotnostní koncentrace uranu, $c_{\alpha,NAT}$, a z objemových aktivit jednotlivých izotopů uranu ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U , $c_{\alpha,iso}$, v závislosti na objemové aktivitě ^{234}U v rozsahu 0.100 – 2.50 Bq/L, při konstantní objemové aktivitě ^{238}U 0.100 Bq/L (poměr aktivit $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ se mění v rozsahu 1.00 – 25.0 a poměr aktivit $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ je roven přírodnímu poměru 0.0461).



POSOUZENÍ PŘÍSPĚVKU URANU K CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITĚ ALFA



^{234}U [Bq/L]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	^{238}U [Bq/L]	U_{NAT} [μg/L]	ID_{NAT} výpočet $z \cdot U_{\text{NAT}}$ [mSv/r]	ID_{iso} výpočet $z \cdot$ $^{238}\text{U}, ^{234}\text{U},$ ^{235}U [mSv/r]	Odchylka $\frac{ID_{\text{iso}}}{ID_{\text{NAT}}}$ [%]	$C_{\alpha, \text{NAT}}$ výpočet $z \cdot U_{\text{NAT}}$ [Bq/L]	$C_{\alpha, \text{iso}}$ výpočet $z \cdot$ $^{238}\text{U}, ^{234}\text{U},$ ^{235}U [Bq/L]	Odchylka $\frac{C_{\alpha, \text{iso}}}{C_{\alpha, \text{NAT}}}$ [%]
0.100	1.00	0.100	8.10	0.0070	0.0070	0%	0.205	0.205	0%
0.110	1.10	0.100	8.10	0.0070	0.0074	5%	0.205	0.215	5%
0.120	1.20	0.100	8.10	0.0070	0.0077	10%	0.205	0.225	10%
0.130	1.30	0.100	8.10	0.0070	0.0081	15%	0.205	0.235	15%
0.150	1.50	0.100	8.10	0.0070	0.0088	25%	0.205	0.255	24%
0.175	1.75	0.100	8.10	0.0070	0.0097	38%	0.205	0.280	37%
0.200	2.00	0.100	8.10	0.0070	0.011	51%	0.205	0.305	49%
0.250	2.50	0.100	8.10	0.0070	0.012	76%	0.205	0.355	73%
0.300	3.00	0.100	8.10	0.0070	0.014	102%	0.205	0.405	98%
0.400	4.00	0.100	8.10	0.0070	0.018	153%	0.205	0.505	147%
0.500	5.00	0.100	8.10	0.0070	0.021	204%	0.205	0.605	195%
0.600	6.00	0.100	8.10	0.0070	0.025	255%	0.205	0.705	244%
0.700	7.00	0.100	8.10	0.0070	0.028	306%	0.205	0.805	293%
0.800	8.00	0.100	8.10	0.0070	0.032	357%	0.205	0.905	342%
0.900	9.00	0.100	8.10	0.0070	0.036	407%	0.205	1.005	391%
1.000	10.0	0.100	8.10	0.0070	0.039	458%	0.205	1.105	440%
1.500	15.0	0.100	8.11	0.0070	0.057	713%	0.205	1.605	684%
2.000	20.0	0.100	8.11	0.0070	0.075	967%	0.205	2.105	928%
2.500	25.0	0.100	8.11	0.0070	0.093	1221%	0.205	2.605	1171%

POSOUZENÍ PŘÍSPĚVKU URANU K CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITĚ ALFA



Údaje z předchozí tabulky a grafu potvrzují skutečnost, že běžně prováděná korekce celkové objemové aktivity alfa jen na základě stanovené hmotnostní koncentrace U (*chemicky, ICP*) je mnohdy nedostatečná a zbytková aktivita alfa po odečtení tohoto „neúplného“ příspěvku uranu je dána nejenom ^{226}Ra a případně dalšími radionuklidy, ale mnohdy spíše nadbytkem aktivity ^{234}U vůči ^{238}U .

V následujících tabulkách jsou pro reálná data z „*Tabulky 2*“ prezentované na minulé konferenci RMH 15 vypočteny hodnoty indikativní dávky ID a celkové objemové aktivity alfa c_{α} , nejprve za předpokladu, že se jedná o přírodní uran U_{NAT} s radioaktivní rovnováhou mezi ^{238}U a ^{234}U (tj. pomíjí se skutečná nerovnováha mezi ^{234}U a ^{238}U a k výpočtu se bere hmotnostní koncentrace U, která je ovlivněna hmotnostní koncentrací ^{234}U jen nepatrně), ID_{NAT} a $c_{\alpha,\text{NAT}}$, a poté se ID a c_{α} počítají ze skutečně stanovených objemových aktivit izotopů ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U , ID_{iso} a $c_{\alpha,\text{iso}}$.

POSOUZENÍ PŘÍSPĚVKU URANU K CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITĚ ALFA



^{234}U [Bq/L]	Počet vzorků	^{234}U průměr [Bq/L]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ průměr	^{238}U z průměrného poměru $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ [Bq/L]	U_{NAT} [μg/L]	ID_{NAT} - výpočet z U_{NAT} [mSv/r]	ID_{iso} - výpočet z ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U [mSv/r]	Odchylka ID_{iso} od ID_{NAT} [%]	$c_{\alpha,\text{NAT}}$ - výpočet z U_{NAT} [Bq/L]	$c_{\alpha,\text{iso}}$ - výpočet z ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U [Bq/L]	Odchylka $c_{\alpha,\text{iso}}$ od $c_{\alpha,\text{NAT}}$ [%]
0.0001 - 0.0030	40	0.0021	3.70	0.0006	0.047	0.000040	0.000096	137%	0.0012	0.0027	132%
0.0030 - 0.0050	42	0.0041	4.53	0.0009	0.073	0.000063	0.000177	180%	0.0018	0.0050	172%
0.0050 - 0.0100	57	0.0076	3.31	0.0023	0.187	0.00016	0.00035	118%	0.0047	0.010	113%
0.0100 - 0.0150	29	0.0123	2.80	0.0044	0.355	0.00031	0.00059	92%	0.0090	0.017	88%
0.0150 - 0.0200	35	0.0176	2.65	0.0066	0.538	0.00047	0.00086	84%	0.014	0.025	81%
0.0200 - 0.0300	34	0.0249	2.50	0.0100	0.806	0.0007	0.0012	76%	0.020	0.035	73%
0.0300 - 0.0500	39	0.0410	2.31	0.0177	1.44	0.0012	0.0021	67%	0.036	0.060	64%
0.0500 - 0.0750	41	0.061	2.00	0.030	2.47	0.0021	0.0032	51%	0.062	0.093	49%
0.0750 - 0.1250	32	0.099	1.97	0.050	4.07	0.0035	0.0053	49%	0.103	0.152	47%
0.125 - 0.250	32	0.176	2.34	0.075	6.08	0.0053	0.0089	69%	0.154	0.255	66%
0.250 - 0.500	29	0.337	1.71	0.197	15.9	0.014	0.019	36%	0.402	0.542	35%
0.500 - 1.50	28	0.910	2.82	0.323	26.2	0.023	0.044	93%	0.661	1.25	89%
1.50 - 10	32	3.80	1.90	1.99	161	0.140	0.204	46%	4.08	5.88	44%
10 - 50	26	27.1	1.67	16.2	1315	1.14	1.53	34%	33.2	44.1	33%
50 - 100	28	78.2	1.62	48.3	3916	3.39	4.46	31%	98.9	129	30%
100 - 200	36	138	1.58	87	7037	6.10	7.91	30%	178	228	28%
201 - 5000	23	596	1.52	392	31774	27.5	34.8	26%	803	1006	25%
0.0001 - 0.125	349	0.0280	2.93	0.010	0.78	0.0007	0.0013	98%	0.0196	0.038	94%
0.125 - 1.50	89	0.460	2.29	0.20	16.3	0.014	0.023	66%	0.411	0.670	63%
1.50 - 5000	145	149	1.67	90	7266	6.30	8.43	34%	184	243	33%
0.0001 - 5000	583	37.3	2.51	15	1200	1.04	1.84	77%	30.3	52.8	74%

POSOUZENÍ PŘÍSPĚVKU URANU K CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITĚ ALFA



^{234}U [Bq/L]	Počet vzorků	^{234}U průměr [Bq/L]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ max.	^{238}U z maximálního poměru $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ [Bq/L]	U_{NAT} [μg/L]	ID_{NAT} - výpočet z U_{NAT} [mSv/r]	ID_{iso} - výpočet z ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U [mSv/r]	Odchylka ID_{iso} od ID_{NAT} [%]	$c_{\alpha,\text{NAT}}$ - výpočet z U_{NAT} [Bq/L]	$c_{\alpha,\text{iso}}$ - výpočet z ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U [Bq/L]	Odchylka $c_{\alpha,\text{iso}}$ od $c_{\alpha,\text{NAT}}$ [%]
0.0001 - 0.0030	40	0.0021	11.6	0.0002	0.015	0.000013	0.000082	538%	0.0004	0.0023	516%
0.0030 - 0.0050	42	0.0041	25.1	0.0002	0.013	0.000011	0.000151	1224%	0.0003	0.0042	1174%
0.0050 - 0.0100	57	0.0076	19.0	0.0004	0.033	0.00003	0.00029	916%	0.0008	0.008	878%
0.0100 - 0.0150	29	0.0123	6.66	0.0018	0.149	0.00013	0.00050	288%	0.0038	0.014	277%
0.0150 - 0.0200	35	0.0176	7.80	0.0023	0.183	0.00016	0.00071	346%	0.0046	0.020	332%
0.0200 - 0.0300	34	0.0249	4.64	0.0054	0.434	0.0004	0.0011	185%	0.011	0.030	178%
0.0300 - 0.0500	39	0.0410	8.74	0.0047	0.38	0.0003	0.0016	394%	0.010	0.046	378%
0.0500 - 0.0750	41	0.061	3.07	0.020	1.61	0.0014	0.0029	106%	0.041	0.082	101%
0.0750 - 0.1250	32	0.099	3.30	0.030	2.43	0.0021	0.0046	117%	0.061	0.130	113%
0.125 - 0.250	32	0.176	6.72	0.026	2.12	0.0018	0.0072	291%	0.054	0.204	279%
0.250 - 0.500	29	0.337	6.97	0.048	3.9	0.003	0.014	304%	0.099	0.387	291%
0.500 - 1.50	28	0.910	8.90	0.102	8.3	0.007	0.036	402%	0.209	1.02	386%
1.50 - 10	32	3.80	5.83	0.651	53	0.046	0.158	246%	1.33	4.48	236%
10 - 50	26	27.1	3.39	8.01	649	0.562	1.25	122%	16.4	35.5	117%
50 - 100	28	78.2	2.73	28.6	2317	2.01	3.78	88%	58.5	108	85%
100 - 200	36	138	2.72	50.6	4101	3.55	6.66	87%	104	190	84%
201 - 5000	23	596	1.78	335	27154	23.5	32.9	40%	686	947	38%
0.0001 - 0.125	349	0.0280	25.1	0.001	0.09	0.0001	0.0010	1224%	0.0023	0.029	1174%
0.125 - 1.50	89	0.460	8.90	0.05	4.2	0.004	0.018	402%	0.106	0.514	386%
1.50 - 5000	145	149	5.83	26	2075	1.80	6.23	246%	52	176	236%
0.0001 - 5000	583	37.3	25.1	1	121	0.10	1.38	1224%	3.0	38.8	1174%

POSOUZENÍ PŘÍSPĚVKU URANU K CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITĚ ALFA



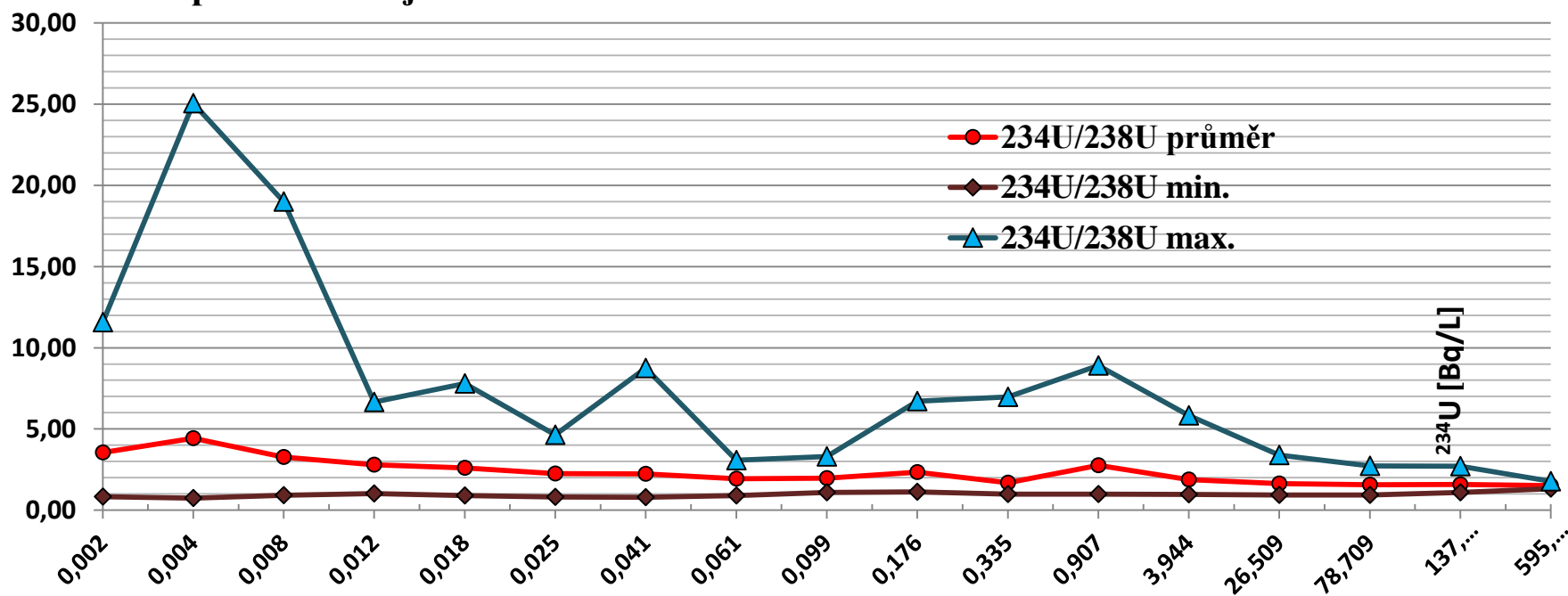
^{234}U [Bq/L]	Počet vzorků	^{234}U průměr [Bq/L]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ min.	^{238}U z minimálního poměru $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ [Bq/L]	U_{NAT} [μg/L]	ID_{NAT} - výpočet z U_{NAT} [mSv/r]	ID_{iso} - výpočet z ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U [mSv/r]	Odchylka ID_{iso} od ID_{NAT} [%]	$c_{\alpha,\text{NAT}}$ - výpočet z U_{NAT} [Bq/L]	$c_{\alpha,\text{iso}}$ - výpočet z ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U [Bq/L]	Odchylka $c_{\alpha,\text{iso}}$ od $c_{\alpha,\text{NAT}}$ [%]
0.0001 - 0.0030	40	0.0021	1.02	0.0021	0.169	0.000147	0.000148	1%	0.0043	0.0043	1%
0.0030 - 0.0050	42	0.0041	1.01	0.0040	0.326	0.000282	0.000284	1%	0.0082	0.0083	1%
0.0050 - 0.0100	57	0.0076	1.01	0.0076	0.615	0.00053	0.00053	0%	0.0155	0.016	0%
0.0100 - 0.0150	29	0.0123	1.02	0.0120	0.973	0.00084	0.00085	1%	0.0246	0.025	1%
0.0150 - 0.0200	35	0.0176	1.08	0.0163	1.323	0.00115	0.00119	4%	0.033	0.035	4%
0.0200 - 0.0300	34	0.0249	1.03	0.0240	1.947	0.0017	0.0017	2%	0.049	0.050	2%
0.0300 - 0.0500	39	0.0410	1.05	0.0390	3.16	0.0027	0.0028	3%	0.080	0.082	3%
0.0500 - 0.0750	41	0.061	1.01	0.060	4.88	0.0042	0.0043	1%	0.123	0.124	1%
0.0750 - 0.1250	32	0.099	1.10	0.090	7.27	0.0063	0.0066	5%	0.184	0.193	5%
0.125 - 0.250	32	0.176	1.13	0.156	12.60	0.0109	0.0117	7%	0.318	0.339	6%
0.250 - 0.500	29	0.337	1.12	0.300	24.3	0.021	0.022	6%	0.613	0.650	6%
0.500 - 1.50	28	0.910	1.07	0.850	68.9	0.060	0.062	4%	1.74	1.80	3%
1.50 - 10	32	3.80	1.07	3.54	287	0.249	0.258	4%	7.25	7.50	3%
10 - 50	26	27.1	1.01	26.9	2182	1.89	1.90	0%	55.1	55.3	0%
50 - 100	28	78.2	1.07	73.3	5939	5.15	5.32	3%	150	155	3%
100 - 200	36	138	1.09	126	10238	8.87	9.27	4%	259	270	4%
201 - 5000	23	596	1.32	453	36695	31.8	36.9	16%	927	1070	15%
0.0001 - 0.125	349	0.0280	1.01	0.028	2.26	0.0020	0.0020	0%	0.057	0.057	0%
0.125 - 1.50	89	0.460	1.07	0.43	34.8	0.030	0.031	4%	0.878	0.908	3%
1.50 - 5000	145	149	1.01	149	12029	10.43	10.46	0%	304	305	0%
0.0001 - 5000	583	37.3	1.01	37	2999	2.60	2.61	0%	75.8	76.0	0%

PŘÍSPĚVEK URANU K CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITĚ ALFA



Pro připomenutí jsou na obrázku dole zobrazeny závislosti průměrného, maximálního a minimálního poměru objemových aktivit $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ v závislosti na průměrné objemové aktivitě ^{234}U (data převzata z naší předchozí práce).

$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ Závislost průměrného, minimálního a maximálního poměru aktivit $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ na průměrné objemové aktivitě ^{234}U ve vodě v daném koncentračním intervalu



PŘÍSPĚVEK URANU K CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITĚ ALFA



V přírodních vodách je obvykle objemová aktivita ^{234}U významně vyšší než objemová aktivita ^{238}U , proto i celková objemová aktivita alfa uranu v přírodních vodách nebývá 25.3 Bq/mg (v Doporučeních SÚJB se používá zaokrouhlená hodnota 25 Bq/mg), ale pro objemovou aktivitu ^{234}U menší než 125 mBq/L to je v průměru 49.0 Bq/mg a pro objemovou aktivitu ^{234}U v intervalu 0.125–1.50 Bq/L to je 41.2 Bq/mg. Toto by se mělo brát do úvahy při hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodách, kdy stávající Doporučení SÚJB při překročení směrné hodnoty objemové aktivity alfa (dle Přílohy č. 27 nové Vyhlášky č. 422/2016 Sb. při překročení vyšetřovací úrovně) předepisují nejprve stanovení uranu (zde se prakticky stanovuje „jen“ ^{238}U) a příspěvek izotopů uranu k celkové objemové aktivitě alfa se odečítá hodnotou $25 \cdot \rho_{\text{U}}$, kde ρ_{U} je hmotnostní koncentrace uranu v mg/L. V mnohých případech je příspěvek izotopů uranu k celkové objemové aktivitě alfa 2 – 3 násobný, je to tedy třeba mít minimálně na paměti, pokud se pomocí běžně používané korekce „ $25 \cdot \rho_{\text{U}}$ “ nepodaří vysvětlit zvýšenou hodnotu celkové objemové aktivity alfa.

POCHYBENÍ, KTERÁ MOHOU NASTAT PŘI VÝPOČTU INDIKATIVNÍ DÁVKY JEN Z VÝSLEDKŮ STANOVENÍ URANU A NE Z VÝSLEDKŮ STANOVENÍ IZOTOPŮ URANU ^{238}U A ^{234}U , PŘI PŘEKROČENÍ VYŠETŘOVACÍ ÚROVNĚ CELKOVÉ OBJEMOVÉ AKTIVITY ALFA

V České republice je stanovení uranu při překročení **vyšetřovací úrovně** (dříve **směrné hodnoty**) pro celkovou objemovou aktivitu alfa c_α dlouhodobě velmi rozšířené a používané. V současné době jsou evropskou i českou legislativou jako základní parametry pro posuzování vhodnosti pitné vody z hlediska radioaktivity stanoveny tritium ^3H , radon ^{222}Rn a **indikativní dávka ID**. V jiných evropských zemích (např. Portugalsko, Polsko, Švédsko) se při překročení vyšetřovací úrovně celkové objemové aktivity alfa přistupuje rovnou ke stanovení radionuklidů ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra a ^{210}Po a k výpočtu ID ze stanovených objemových aktivit, a to při vyšetřovací úrovni c_α jen 0.10 Bq/L. V Česku se dle **Přílohy 27 Vyhlášky č. 422/2016 Sb.** budou postupně stanovovat U, ^{226}Ra , případně ^{228}Ra a další radionuklidy, pokud korigovaná c_α nebude nižší než vyšetřovací úroveň.

Oba dva tyto přístupy mají své klady a zápory.

Evropský přístup znamená mnohdy provádění zbytečných analýz, neboť prakticky by stačila většinou jen analýza izotopů uranu ^{238}U a ^{234}U a případně někdy i ^{226}Ra . Naproti tomu vychází ze skutečnosti, že pouhá analýza samotného U je nedostatečná, právě z důvodu nerovnováhy mezi ^{238}U a ^{234}U . Později bude však možno na základě znalosti obsahů jednotlivých radionuklidů v daném zdroji vody některé nuklid-specifické analýzy vypustit.

Český přístup vychází z mnohaleté praxe a při vyšší hodnotě vyšetřovací úrovně $c_\alpha = 0.20 \text{ Bq/L}$ a při korekci c_α na alfa aktivitu uranu faktorem „ $25 \cdot \rho_U$ “ znamená prakticky v některých případech jen zbytečné provádění analýzy ^{226}Ra , která je v Česku též poměrně rozšířena. Naproti tomu korigované hodnoty c_α mohou být v důsledku „neznámého“ obsahu ^{234}U blízké hodnotě vyšetřovací úrovně c_α nebo ji dokonce překročit.

Je-li hodnota korigované c_α blízká hodnotě vyšetřovací úrovně c_α 0.20 Bq/L, není možné jednoznačně tvrdit bez dalších analýz, že referenční hodnota ID 0.10 mSv/rok není překročena. Např. v případě ^{210}Po by to mohlo znamenat hodnotu ID i 0.18 mSv/rok. Je pak otázkou, jak je tento přístup v souladu se Směrnicí rady 2013/51/EURATOM. Při překročení c_α to znamená zbytečné provádění dalších nuklid-specifických a obvykle dražších analýz.

Z radiologického hlediska mají oba izotopy uranu ^{238}U a ^{234}U poměrně velmi vysokou odvozenou koncentraci $C_i(\text{der})$, a to 3.0 resp. 2,8 Bq/L, nepředstavují tedy velké radiologické riziko, na rozdíl od chemické toxicity U, kterou se zde nezabýváme. Nicméně přispívají významně k hodnotě celkové objemové aktivity alfa, a je tedy praktické spíše provádět analýzy izotopů U, než analýzy dalších méně běžných přírodních radionuklidů. Tuto skutečnost potvrzuje fakt, že hmotnostní aktivita přírodního uranu je až 2x vyšší než hodnota hmotnostní aktivity uranu U_{NAT} používaná k výpočtům korigované celkové objemové aktivity alfa.

Děkuji vám za pozornost!

Tomas.Bouda@ALSglobal.com

+420 602 144 727

