



**OBJEMOVÉ AKTIVITY RADIONUKLIDŮ  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  
 $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$  a  $^{232}\text{Th}$  a IZOTOPICKÉ POMĚRY  
 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  a  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  VE VODÁCH**

**Tomáš Bouda**

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



RIGHT SOLUTIONS | RIGHT PARTNER

V rámci rutinního radiochemických rozborů vod, zejména pitných, jsme v posledních 5 letech analyzovali více než 700 vzorků též na obsahy izotopů uranu,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  a  $^{234}\text{U}$ , a většinou též současně na obsahy dlouhodobých izotopů thoria,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{230}\text{Th}$ , technikou ICP/SFMS v naší sesterské laboratoři ALS ve Švédsku.

Vyhodnocením tohoto rozsáhlého souboru dat jsme získali zajímavé údaje a zákonitosti, které jsou v tomto článku diskutovány a které mohou pomoci při vyhodnocování a interpretaci měření obsahu přírodních radionuklidů v pitných vodách.

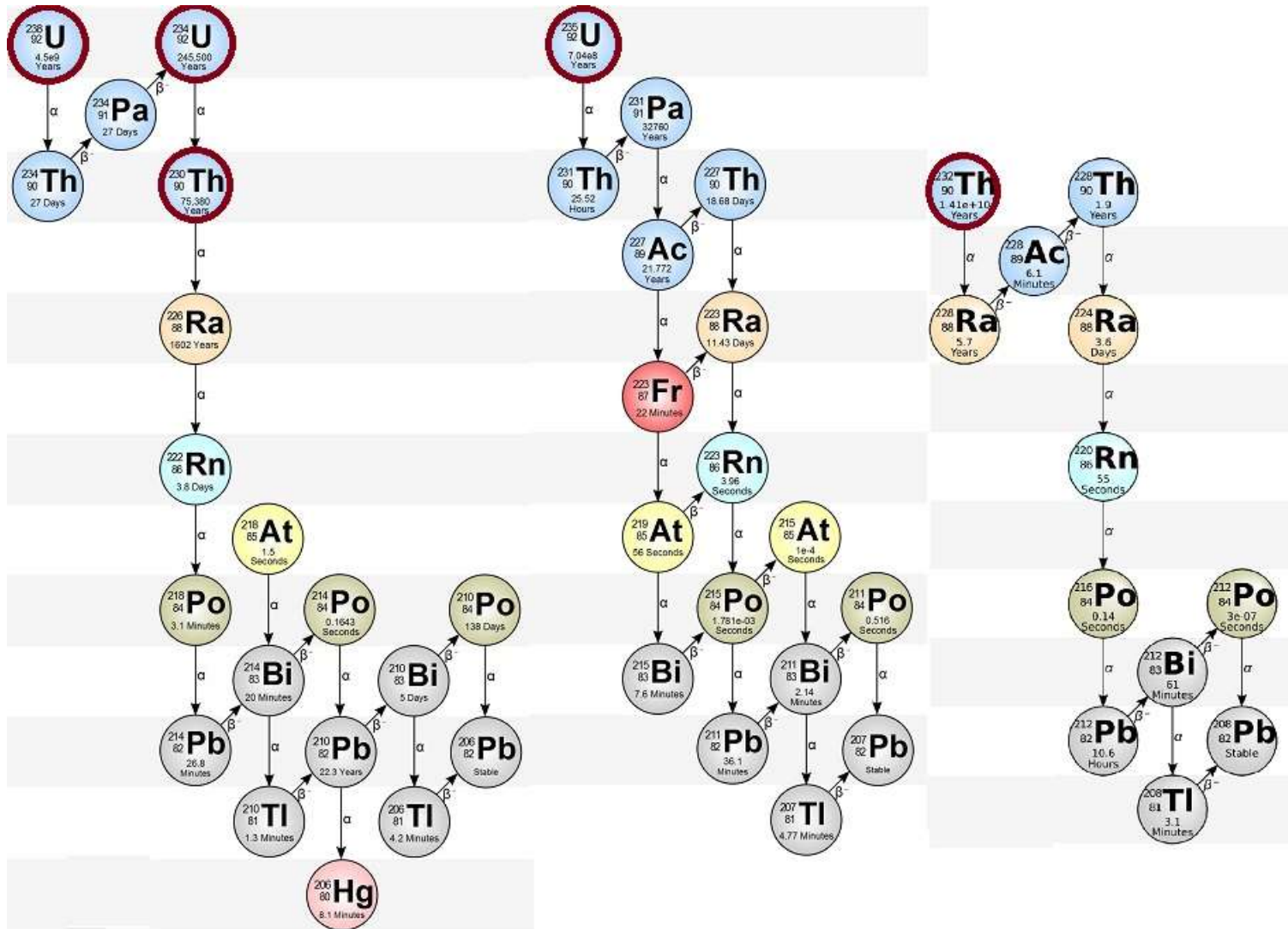
# HMOTNOSTNÍ AKTIVITY $^{238}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ a $^{230}\text{Th}$



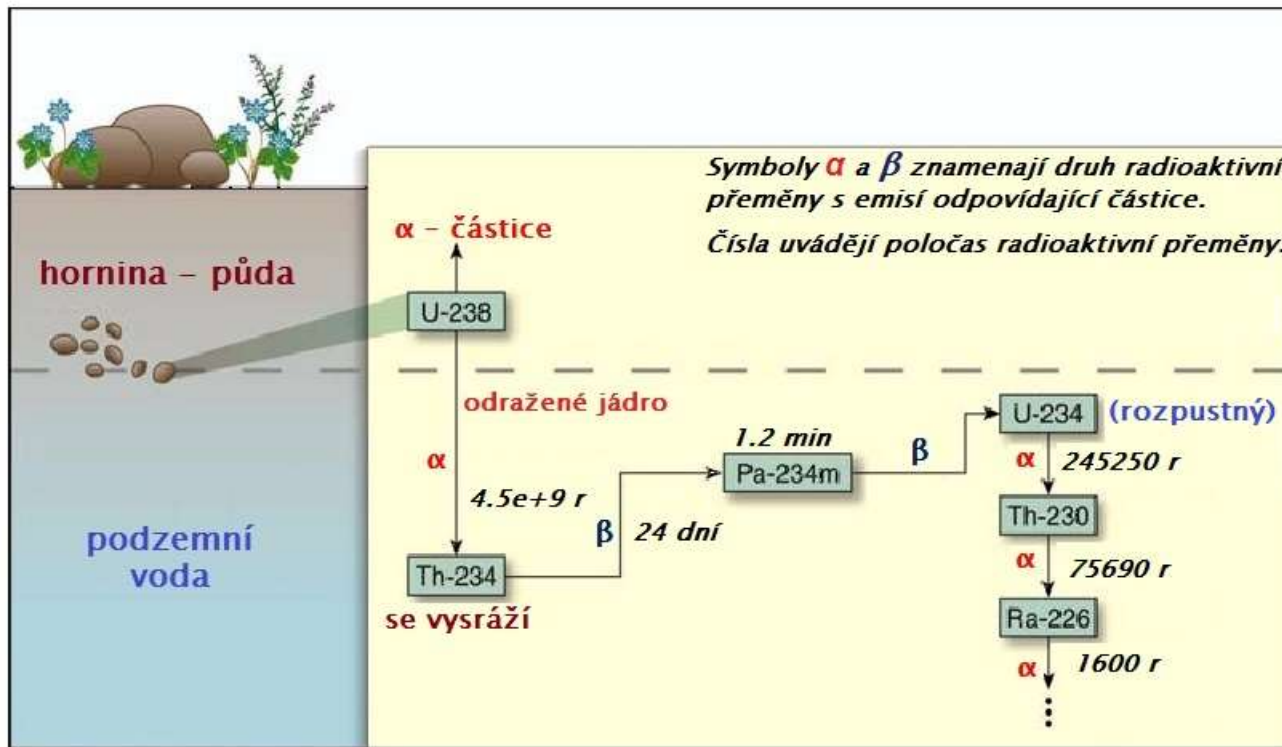
**Tabulka 1: Přehled literárních a vypočítaných dat radionuklidů  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{230}\text{Th}$**

Nuklid (parametr)	T1/2 [a]	M [g/mol]	$a_m$ [Bq/ng]	Počet atomů na $10^6$ atomů $^{238}\text{U}$	$U_{\text{NAT}}$ [at. %]	$U_{\text{NAT}}$ [hm. %]	Bq/g $U_{\text{NAT}}$
U-238	4.46830E+09	238.050788	1.24357E-05	1000000	99.2741	99.2833	12347
U-235	7.04000E+08	235.043930	7.99392E-05	7256.8	0.7204	0.7114	568.7
U-234	245250	234.040952	2.30452E-01	54.89	0.00545	0.00536	12347
U-NAT					100.000	100.000	25262
U-238 / U-235	-	-	-	-	137.802*	139.565*	21.71*
U-235 / U-238	-	-	-	-	0.007257*	0.007165*	0.04606*
Th-230	75690	230.033134	7.59718E-01	16.94		0.00163	12347
Th-232	1.40000E+10	232.038056	4.07187E-06	-	-	-	-

# ROZPADOVÉ ŘADY $^{238}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$ , a $^{232}\text{Th}$



# UVOLŇOVÁNÍ $^{234}\text{U}$ 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  $^{234}\text{U}$  ve vodách není dán jen přímým atomovým odrazem, ale též tím, že v důsledku atomového odrazu je  $^{234}\text{Th}$  přítomno ve změněném valenčním stavu a snadno přechází do roztoku i při „rychlém loužení“.

# NAMĚŘENÁ DATA PRO IZOTOPICKÝ POMĚR $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$



**Tabulka 2: Objemové aktivity  $^{234}\text{U}$  a poměr aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  ve vzorcích vod s izotopickým aktivitním poměrem  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1.000$**

$^{234}\text{U}$ [Bq/L]	Počet vzorků	$^{234}\text{U}$ průměr [Bq/L]	$^{234}\text{U}$ min. [Bq/L]	$^{234}\text{U}$ max. [Bq/L]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ průměr	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ min.	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ max.
0.001 - 0.003	40	0.0021	0.0001	0.0030	3.70	1.02	11.6
0.003 - 0.005	42	0.0041	0.0032	0.0048	4.53	1.01	25.1
0.005 - 0.010	57	0.0076	0.0051	0.0099	3.31	1.01	19.0
0.010 - 0.015	29	0.0123	0.0101	0.0143	2.80	1.02	6.66
0.015 - 0.020	35	0.0176	0.0152	0.0200	2.65	1.08	7.80
0.020 - 0.030	34	0.0249	0.0202	0.0299	2.50	1.03	4.64
0.030 - 0.050	39	0.0410	0.0304	0.0495	2.31	1.05	8.74
0.050 - 0.075	41	0.061	0.051	0.074	2.00	1.01	3.07
0.075 - 0.125	32	0.099	0.076	0.124	1.97	1.10	3.30
0.125 - 0.250	32	0.176	0.129	0.246	2.34	1.13	6.72
0.250 - 0.500	29	0.337	0.258	0.486	1.71	1.12	6.97
0.500 - 1.50	28	0.910	0.507	1.412	2.82	1.07	8.90
1.50 - 10	32	3.80	1.55	8.98	1.90	1.07	5.83
10 - 50	26	27.1	10.3	49.4	1.67	1.01	3.39
50 - 100	28	78.2	50.7	99.7	1.62	1.07	2.73
100 - 200	36	138	100	193	1.58	1.09	2.72
201 - 5000	23	596	223	3777	1.52	1.32	1.78
<b>0.001 - 0.125</b>	<b>349</b>	<b>0.0280</b>	<b>0.00015</b>	<b>0.124</b>	<b>2.93</b>	<b>1.01</b>	<b>25.1</b>
<b>0.125 - 1.50</b>	<b>89</b>	<b>0.460</b>	<b>0.129</b>	<b>1.41</b>	<b>2.29</b>	<b>1.07</b>	<b>8.90</b>
<b>1.50 - 5000</b>	<b>145</b>	<b>149</b>	<b>1.55</b>	<b>3777</b>	<b>1.67</b>	<b>1.01</b>	<b>5.83</b>
<b>0.001 - 5000</b>	<b>583</b>	<b>37.3</b>	<b>0.00015</b>	<b>3777</b>	<b>2.51</b>	<b>1.01</b>	<b>25.1</b>

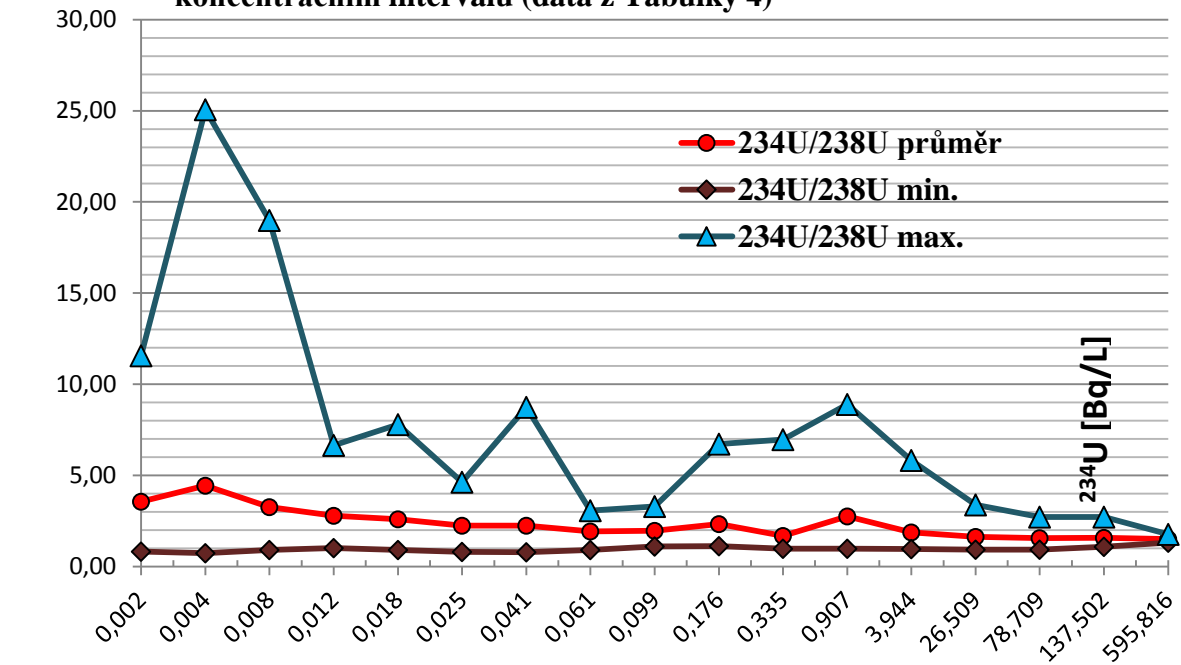


# NAMĚŘENÁ DATA PRO IZOTOPICKÝ POMĚR $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$



Jak vyplývá z **Tabulky 2**, byla u převážné většiny vzorků (583 z 605) objemová aktivita  $^{234}\text{U}$  významně vyšší než objemová aktivita jeho mateřského nuklidu  $^{238}\text{U}$ . U tohoto souboru dat byl průměrný poměr aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  roven 2.5, přičemž čím nižší je objemová aktivita  $^{234}\text{U}$ , tím vyšší je hodnota tohoto poměru. Nejvyšších hodnot 10 - 25 dosahuje tento poměr pro objemové aktivity  $^{234}\text{U}$  nižší než 10 mBq/L. Pro více než ½ vzorků je objemová aktivita  $^{234}\text{U}$  nižší než 125 mBq/L a průměrná hodnota poměru aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  je rovna 2.93. Naproti tomu se vzrůstající objemovou aktivitou  $^{234}\text{U}$  limituje hodnota poměru aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  k 1.5. Toto vše je velmi dobře patrné i z **Obrázku 1** vlevo.

**Obrázek 1:** Závislost průměrného, minimálního a maximálního poměru aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  na průměrné objemové aktivitě  $^{234}\text{U}$  ve vodě v daném koncentračním intervalu (data z Tabulky 4)



# NAMĚŘENÁ DATA PRO IZOTOPICKÝ POMĚR $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$



**Tabulka 3: Objemové aktivity  $^{234}\text{U}$  a poměr aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  ve vzorcích vod s izotopickým aktivitním poměrem  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} < 1.000$**

$^{234}\text{U}$ [Bq/L]	Počet vzorků	$^{234}\text{U}$ průměr [Bq/L]	$^{234}\text{U}$ min. [Bq/L]	$^{234}\text{U}$ max. [Bq/L]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ průměr	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ min.	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ max.
0.001 - 0.003	2	0.0023	0.0021	0.0025	0.83	0.83	0.84
0.003 - 0.005	1	0.0048	0.0048	0.0048	0.74	0.74	0.74
0.005 - 0.010	1	0.0092	0.0092	0.0092	0.92	0.92	0.92
0.010 - 0.015	0						
0.015 - 0.020	1	0.0184	0.0184	0.0184	0.91	0.91	0.91
0.020 - 0.030	6	0.0233	0.0207	0.0276	0.88	0.81	0.95
0.030 - 0.050	2	0.0401	0.0368	0.0433	0.87	0.79	0.95
0.050 - 0.075	3	0.055	0.051	0.060	0.96	0.91	0.98
0.075 - 0. 250	0						
0.250 - 0.500	1	0.279	0.279	0.279	0.99	0.99	0.99
0.500 - 1.50	1	0.799	0.799	0.799	0.99	0.99	0.99
1.50 - 10	1	8.68	8.68	8.68	0.98	0.98	0.98
10 - 50	1	11.0	11.0	11.0	0.94	0.94	0.94
50 - 100	2	86.4	86.4	86.4	0.94	0.93	0.96
100 - 5000	0						
<b>0.001 - 0.125</b>	<b>16</b>	<b>0.0264</b>	<b>0.00207</b>	<b>0.0599</b>	<b>0.882</b>	<b>0.741</b>	<b>0.980</b>
<b>0.125 - 1.50</b>	<b>2</b>	<b>0.539</b>	<b>0.279</b>	<b>0.799</b>	<b>0.993</b>	<b>0.991</b>	<b>0.994</b>
<b>1.50 - 5000</b>	<b>4</b>	<b>48.1</b>	<b>8.68</b>	<b>86.4</b>	<b>0.952</b>	<b>0.929</b>	<b>0.977</b>
<b>0.001 -5000</b>	<b>22</b>	<b>8.81</b>	<b>0.00207</b>	<b>86.4</b>	<b>0.905</b>	<b>0.741</b>	<b>0.994</b>



# NAMĚŘENÁ DATA PRO IZOTOPICKÝ POMĚR $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$



Z celkového počtu 605 analyzovaných vzorků vod byla jen u 22 vzorků naměřena hodnota poměru aktivit izotopů  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  menší než 1.00. Všechny výsledky tohoto typu jsou uvedeny v Tabulce 3. Naměřené hodnoty těchto rozborů byly samozřejmě ověřeny a potvrzeny. Nejnižší stanovená hodnota poměru  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  byla 0.74.

Tyto speciální případy nízkých poměrů je možno vysvětlit tím, že došlo ke změně hydrogeologických poměrů. Pokud je dlouhodobě z nějaké horninové formace prioritně loužen  $^{234}\text{U}$ , je v samotné formaci poměr  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  nižší než 1.00. A pak dojde buď k tomu, že v důsledku změny chemismu vodné fáze se uran louží intenzivněji, a v tomto případě je aktivitní poměr  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  ve vodě nižší než 1.00, a nebo byla většina uranu již vyextrahována a začíná se ve větší míře loužit mateřský nuklid  $^{238}\text{U}$ , a tedy aktivitní poměr  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  se postupně snižuje a dosáhne časem hodnoty menší než 1.000. Toto potvrzují údaje v Tabulce 3, nicméně jsou tyto případy poměrně vzácné, jen cca 3 – 4 % ze všech provedených rozborů.

V případě uranového ložiska ve Stráži pod Ralskem, kde byl uran loužen v podzemí pomocí zředěného roztoku kyseliny sírové, byl aktivitní poměr izotopů  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  dlouhodobě na úrovni  $1.50 \pm 0.20$ , a to i v konečném produktu, v uranovém koncentrátu. Očekávali jsme, že se v některých partiích začne časem tento poměr snižovat a zákonitě dosáhne hodnoty nižší než 1.00. Je pozoruhodné, že i v současné době je ve velké většině vzorků tento poměr vyšší než 1.00, ale objevily se již první případy, kdy je tento aktivitní poměr menší než 1.00. To odpovídá výše uvedenému. V samotné rudě se poměr aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  snižuje a časem dosáhne hodnoty menší než 1.00, a to se v konečné fáze projeví i na výsledcích rozboru vod z této oblasti.

# NAMĚŘENÁ DATA PRO IZOTOPICKÝ POMĚR $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$



**Tabulka 4: Celkový přehled objemových aktivit  $^{234}\text{U}$  a poměru aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  ve vzorcích vod**

$^{234}\text{U}$ [Bq/L]	Počet vzorků	$^{234}\text{U}$ průměr [Bq/L]	$^{234}\text{U}$ min. [Bq/L]	$^{234}\text{U}$ max. [Bq/L]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ průměr	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ min.	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ max.
0.001 - 0.003	42	0.0021	0.0001	0.0030	3.56	0.83	11.6
0.003 - 0.005	43	0.0041	0.0032	0.0048	4.44	0.74	25.1
0.005 - 0.010	58	0.0077	0.0051	0.0099	3.27	0.92	19.0
0.010 - 0.015	29	0.0123	0.0101	0.0143	2.80	1.02	6.66
0.015 - 0.020	36	0.0176	0.0152	0.0200	2.60	0.91	7.80
0.020 - 0.030	40	0.0246	0.0202	0.0299	2.25	0.81	4.64
0.030 - 0.050	41	0.0410	0.0304	0.0495	2.24	0.79	8.74
0.050 - 0.075	44	0.061	0.051	0.074	1.93	0.91	3.07
0.075 - 0.125	32	0.099	0.076	0.124	1.97	1.10	3.30
0.125 - 0.250	32	0.176	0.129	0.246	2.34	1.13	6.72
0.250 - 0.500	30	0.335	0.258	0.486	1.69	0.99	6.97
0.500 - 1.50	29	0.907	0.507	1.412	2.76	0.99	8.90
1.50 - 10	33	3.94	1.55	8.98	1.88	0.98	5.83
10 - 50	27	26.5	10.3	49.4	1.64	0.94	3.39
50 - 100	30	78.7	50.7	99.7	1.57	0.93	2.73
100 - 200	36	138	100	193	1.58	1.09	2.72
201 - 5000	23	596	223	3777	1.52	1.32	1.78
<b>0.001 - 0.125</b>	<b>365</b>	<b>0.0280</b>	<b>0.00015</b>	<b>0.124</b>	<b>2.84</b>	<b>0.74</b>	<b>25.1</b>
<b>0.125 - 1.50</b>	<b>91</b>	<b>0.461</b>	<b>0.129</b>	<b>1.412</b>	<b>2.26</b>	<b>0.99</b>	<b>8.90</b>
<b>1.50 - 5000</b>	<b>149</b>	<b>147</b>	<b>1.55</b>	<b>3777</b>	<b>1.65</b>	<b>0.93</b>	<b>5.83</b>
<b>0.001 - 5000</b>	<b>605</b>	<b>36.2</b>	<b>0.00015</b>	<b>3777</b>	<b>2.46</b>	<b>0.74</b>	<b>25.1</b>

## Závěry

Z naměřených dat jednoznačně vyplývá, že ve vodách je obvykle objemová aktivita  $^{234}\text{U}$  významně vyšší než objemová aktivita  $^{238}\text{U}$ , proto i celková objemová alfa aktivita uranu v přírodních vodách nebývá 25.3 Bq/mg, jak vyplývá z Tabulky 1, ale pro objemovou aktivitu  $^{234}\text{U}$  menší než 125 mBq/L to je v průměru 49.0 Bq/mg a pro objemovou aktivitu  $^{234}\text{U}$  v intervalu 0.125–1.50 Bq/L to je 41.2 Bq/mg. Toto by se mělo vzít do úvahy při hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodách, kdy metodiky SÚJB při překročení směrné hodnoty objemové alfa aktivity předepisují nejprve stanovení U chemickou metodou (zde se prakticky stanovuje  $^{238}\text{U}$ ) a příspěvek izotopů uranu k celkové objemové alfa aktivitě se odečítá hodnotou  $25 \cdot \rho_{\text{U}}$ , kde  $\rho_{\text{U}}$  je hmotnostní koncentrace uranu v mg/L.

V mnohých případek je příspěvek izotopů uranu k celkové objemové aktivitě alfa 2–3 násobný, je to tedy třeba mít minimálně na paměti, pokud se pomocí běžně korekce „ $25 \cdot \rho_{\text{U}}$ “ nepodaří vysvětlit zvýšenou hodnotu celkové objemové alfa aktivity.

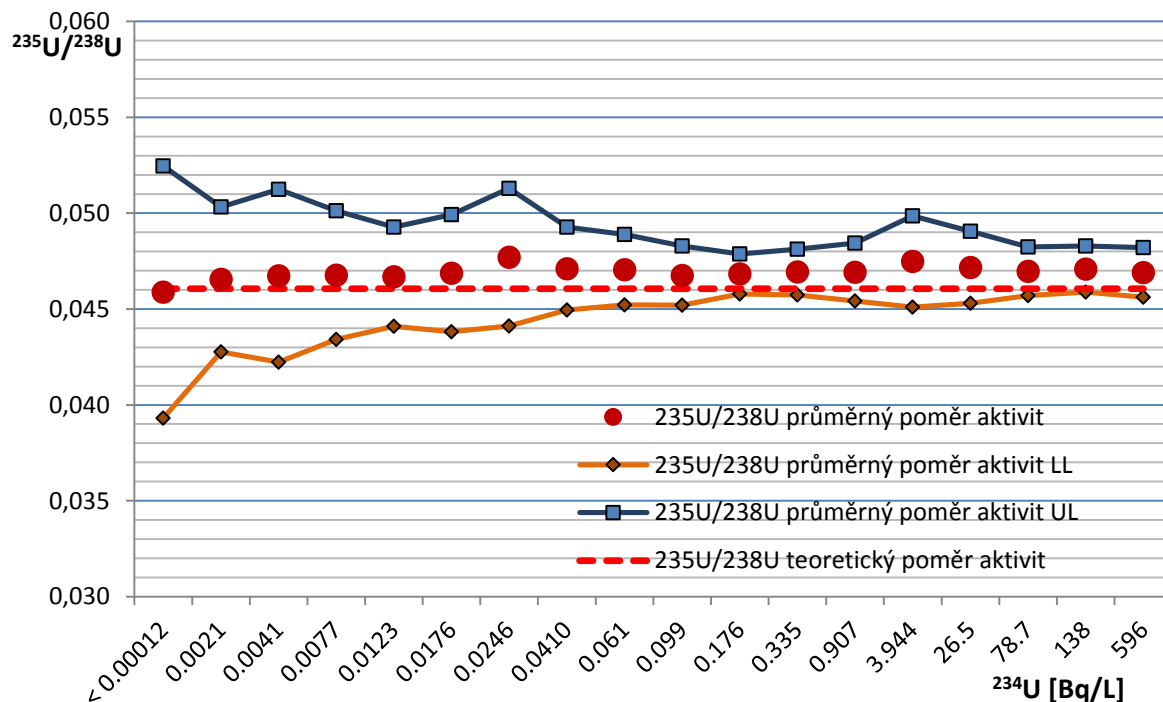
# NAMĚŘENÁ DATA PRO IZOTOPICKÝ POMĚR $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$



Graficky jsou na **Obrázku 2** znázorněny poměry aktivit  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  včetně intervalu spolehlivosti (LL a UL, hladina významnosti 5 %) a včetně teoretického poměru aktivit  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  (0.0461).

Odpovídající data jsou uvedena v **Tabulce 5 ve Sborníku**. Celkem jde o 605 vzorků, vyhodnocena byla i data, u kterých je objemová aktivita  $^{234}\text{U}$  nižší než 1.2 mBq/L.

**Obrázek 2:** Závislost naměřeného poměru aktivit  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  na objemové aktivitě  $^{234}\text{U}$  (LL a UL je interval spolehlivosti tohoto poměru; červená přerušovaná čára odpovídá teoretickému poměru aktivit  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ )



V žádném z 638 analyzovaných vzorků nebyla nalezena statisticky významně vyšší či nižší hodnota aktivního (ale i hmotnostního) poměru izotopů  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  než je teoretická hodnota uvedená v Tabulce 1 (0.04606 resp. 0.007165). A to i u vzorků, u nichž byla průměrná aktivita  $^{234}\text{U}$  nižší než 1.2 mBq/L a u nichž se objemové aktivity  $^{235}\text{U}$  pohybovaly v intervalu 1 – 112  $\mu\text{Bq/L}$ .

# NAMĚŘENÁ DATA PRO OBJEMOVÉ AKTIVITY $^{230}\text{Th}$



Tabulka 6 uvádí naměřená data objemové aktivity  $^{230}\text{Th}$  a izotopického poměru aktivit  $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$  ve vzorcích vod analyzovaných v období 2010–2014, celkově 636 analyzovaných vzorků.

V soulase s chemickými vlastnostmi Th je ve většině analyzovaných vzorků vod objemová aktivita  $^{230}\text{Th}$  nižší než **4mBq/L** (tj. 508 vzorků)

Vyšší hodnoty objemové aktivity  $^{230}\text{Th}$  byly nalezeny jen ve vzorcích z podzemního loužení U, kdy poměr  $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$  je významně ovlivňován kontinuální separací U na anexech, zatímco  $^{230}\text{Th}$  zůstává v roztoku.

$^{230}\text{Th}$ [Bq/L]	Počet vzorků	$^{230}\text{Th}$ průměr [Bq/L]	$^{238}\text{U}$ průměr [Bq/L]	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ průměrný poměr aktivit
< (0.008–1.6)	54	n/a	16	n/a
<0.004	454	n/a	0.090	n/a
0.004 – 0.040	19	0.012	0.083	3.21
0.040 – 40	37	9.64	2.7	0.84
40 – 400	48	206	160	2.05
400 – 800	24	551	147	7.17

# NAMĚŘENÁ DATA PRO OBJEMOVÉ AKTIVITY $^{232}\text{Th}$



Tabulka 7 uvádí naměřená data objemové aktivity  $^{232}\text{Th}$  a izotopického poměru aktivit  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  ve vzorcích vod analyzovaných v období 2010–2014, celkově 674 analyzovaných vzorků (u některých bylo požadováno jen stanovení  $^{232}\text{Th}$ ).

V souhlase s chemickými vlastnostmi Th je ve většině analyzovaných vzorků vod objemová aktivita  $^{230}\text{Th}$  mnohem nižší než 1 mBq/L (tj. 507 vzorků)

Vyšší hodnoty objemové aktivity  $^{232}\text{Th}$  byly nalezeny jen ve vzorcích z podzemního loužení U, kdy poměr  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  je významně ovlivňován kontinuální separací U na anexech, zatímco  $^{232}\text{Th}$  zůstává v roztoku.

$^{232}\text{Th}$ [Bq/L]	Počet vzorků	$^{232}\text{Th}$ průměr [Bq/L]	$^{238}\text{U}$ průměr [Bq/L]	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ průměrný poměr aktivit
< 0.000010	190	n/a	0.721	n/a
0.00001-0.00005	184	0.000024	0.258	0.0090
0.00005-0.00010	46	0.000071	4.92	0.059
0.0001-0.0005	62	0.00023	5.87	0.347
0.0005-0.0010	25	0.00072	0.371	0.815
0.0010-0.0050	50	0.00195	0.926	1.19
0.0050-0.1000	24	0.0252	12.7	0.775
0.100-31	93	10.3	145	0.141

Stanovení dlouhodobých izotopů U a Th, tj.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{230}\text{Th}$  lze s výhodou provádět technikou ICP/SFMS. Detekční limity jsou na úrovni 1 – 4 mBq/L pro  $^{234}\text{U}$  a  $^{230}\text{Th}$  a pro  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  a  $^{232}\text{Th}$  dokonce na úrovni jednotek  $\mu\text{Bq/L}$ .

Poměr aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  je prakticky ve všech vzorcích vod významně vyšší než 1.000, jen u cca 3 – 4 % vzorků je tento aktivitní poměr nižší než 1.000. V případě nízkých objemových aktivit  $^{234}\text{U}$  dosahuje poměr hodnot 10 až 25, se zvyšující se objemovou aktivitou  $^{234}\text{U}$  tento poměr klesá a limituje k hodnotě 1.30 – 1.50.



Používaná hodnota celkové objemové aktivity alfa přírodního uranu  $U_{\text{NAT}}$  25 Bq/mg je v případě reálných vzorků vod **prakticky 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. Pokud je korigovaná zbytková objemová aktivita alfa významně vyšší, je vhodnější provést nejprve přímé stanovení objemových aktivit  $^{234}\text{U}$  a  $^{238}\text{U}$ , než pátrat po dalších přítomných radionuklidech emitujících záření alfa. Přítomnost izotopů uranu je totiž vzhledem k chemickým vlastnostem U nejpravděpodobnější.

Jen ve 3 – 4 % případů je izotopický poměr aktivit  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  nižší než 1.00, je uvedeno vysvětlení, jak k tomu v reálných podmínkách může docházet.

Poměr aktivit  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  se v rámci nejistot stanovení neliší od teoretické hodnoty **0.04606** u všech námi analyzovaných vzorků, a to i u vzorků s velmi nízkou **objemovou aktivitou  $^{235}\text{U}$  na úrovni 1 – 110  $\mu\text{Bq/L}$ .**

Objemové aktivity izotopů thoria  $^{230}\text{Th}$  a  $^{232}\text{Th}$  jsou ve vodách nepodrobených chemickému vlivu velmi nízké, nižší než **4 mBq/L resp. 1 mBq/L.**

Ve vzorcích ze zpracování uranových rud podzemním loužením kyselinou sírovou se naopak nacházejí poměrně **vysoké objemové aktivity  $^{230}\text{Th}$  a  $^{232}\text{Th}$ , což je dáno tím, že se z roztoků izotopy uranu separují na anexech a izotopy thoria zůstávají v roztocích, které cirkulují mezi podzemím a stanicí na separaci uranu, časem jejich objemová aktivita vzrůstá.**

Radiologické rozbory mají před sebou velkou budoucnost, vezmeme-li do úvahy rostoucí počet různých jaderných zařízení ve světě, zvyšující se objem nejrůznějších odpadů a snahu chránit životní prostředí i zdraví člověka.



**Veškeré dotazy na rutinní radiologické rozbory (nabídky, objemy vzorků atd.) směřujte na:**

**[Customer.Support@ALSglobal.com](mailto:Customer.Support@ALSglobal.com)**

**Technické problémy týkající se radiologie směřujte na: [Tomas.Bouda@ALSglobal.com](mailto:Tomas.Bouda@ALSglobal.com)**

**+420 602 144 727 / +420 487 828 500**

