

Stanovenie uránu a tória vo vzorkách z bane na zlato Rozália pri obci Hodruša-Hámre, Slovensko

DUŠAN GALANDA, JOZEF KURUC, JANA STRIŠOVSKÁ,
MARTINA KOVÁČOVÁ a SILVIA DULANSKÁ

Katedra jadrovej chémie Prírodovedeckej fakulty UK, Mlynská dolina, pavilón CH1, 842 15 Bratislava;
galanda@fns.uniba.sk

Determination of uranium and thorium contents in the samples from goldmine Rozália located at Hodruša-Hámre, Slovakia

In the presented paper the procedures for the determination of extremely low concentrations of uranium and thorium in geologically related matrices, using concentrations and separations techniques, are described. These procedures are based on application of extraction sorbents DGA®Resin and UTEVA®Resin. Both methods present separation techniques based on SPE (Solid Phase Extraction). Presented methods were used to increase the selectivity and sensitivity of the detection method. Extraction chromatography was used for pre-concentration and separation of uranium and thorium in samples of rocks, including gold ore and gold concentrate. Both presented methods were realized and verified in accordance with the requirements placed on good laboratory practice. Mass activities of radionuclides of monitored uranium and thorium were determined by the method of alpha spectrometry.

Key words: alpha spectrometry, extraction chromatography, solid phase extraction, thorium, uranium

Úvod

Urán patrí medzi rádionuklidy nachádzajúce sa vo vzorkách životného prostredia a taktiež je častým objektom figurujúcim pri záchytoch rádioaktívnych materiálov. V prírode sa vyskytuje vo forme troch izotopov. Najviac zastúpený, na 99,276 %, je ^{238}U s dobou polpremeny $4,47 \cdot 10^9$ rokov. Druhým izotopom je ^{235}U s percentuálnym zastúpením 0,718 % a dobou polpremeny $7,038 \cdot 10^8$ rokov a posledným je ^{234}U s percentuálnym zastúpením 0,004 % a dobou polpremeny 244 500 rokov.

Urán patrí medzi litofilné prvky a môžeme ho nájsť takmer vo všetkých horninách. V každej tоне horniny sú v priemere približne 4 g uránu. Problémom uránu z hľadiska ťažby je jeho nízka koncentrácia v prírode (Mátel, 2011).

Tórium má mnoho izotopov a všetky sú rádioaktívne, z nich najdlhšiu dobu polpremeny majú ^{232}Th , ^{230}Th , ^{229}Th a ^{228}Th . Všetky zostávajúce rádioaktívne izotopy majú dobu polpremeny kratšiu ako 30 dní a väčšina z nich má dobu polpremeny ešte kratšiu ako 10 min.. Na rozdiel od prírodného uránu, ktorý obsahuje 0,718 % štiepneho ^{235}U , prírodné tórium neobsahuje žiadny štiepny materiál.

Tórium tiež patrí k litofilným prvkom. Je rozpustný v roztokoch zriedenej kyseliny dusičnej, fluorovodíkovej a sírovej, a tiež v koncentrovanej kyseline sírovej. Môže tvoriť podvojnú soli a komplexné zlúčeniny s organickými a anorganickými ligandmi. Základný tóriový minerál je monazit, ktorý obsahuje vysoký obsah tória (Mátel, 2011).

Pri stanovení rádionuklidov je dôležité dbať na výber vhodnej separačnej metódy, zabezpečujúcej oddelenie

sledovaného rádionuklidu od iných kontaminantov, ktoré by mohli spôsobiť rôzne interferencie (Macášek et al., 1996; Starý et al., 1975).

V súčasnosti medzi najpreferovanejšie a najvhodnejšie separačné procedúry zaraďujeme techniky a postupy využívajúce princípy extrakčnej chromatografie, ktorá patrí do rozsiahlej skupiny extrakčných metód v tuhej fáze. Táto metóda je najviac využívaná pri spracovaní rôznych druhov environmentálnych vzoriek. Dôležitým krokom pri extrakcii v tuhej fáze je výber vhodného činidla. Metódy SPE (Solid Phase Extraction) sú rýchle, presné a reprodukovateľné (Mátel et al., 2007).

Cieľom prezentovaného experimentu bolo okrem stanovenia hmotnostných aktivít príslušných sledovaných rádionuklidov aj porovnanie výsledkov dvoch rádiochemických analytických metód, pričom prvou z aplikovaných metód bola zavedená a validovaná, základom ktorej je použitie sorbentu UTEVA®Resin (Maxwell, 2006). Druhá metóda bola experimentálna, využívajúca vlastnosti relatívne nového extrakčného sorbentu DGA®Resin. V prípade oboch sorbentov bola rýchlosť separácie regulovaná použitím podtlakového zariadenia od firmy Eichrom.

Vzorky

Nami analyzované vzorky pochádzali z rôznych častí bane Rozália, ktorá je v súčasnosti jedinou baňou na ťažbu zlata na Slovensku a v strednej Európe. Baňa Rozália je známa už 400 rokov. Ložisko Banská Hodruša

sa nachádza medzi obcou Hodruša-Hámre a mestom Banská Štiavnica.

Je to posledná činná baňa v Štiavnických vrchoch. Prvá písomná zmienka o tejto bani pochádza z roku 1630 ako o štôlni Katarína v Hoelle pri starom tajchu. Skrýva bohaté ložisko zlata a striebra. Žila Rozália má polymetalickú výplň s prevahou medenej rudy – chalkopyritu. Prvá ťažba zlata sa začala v roku 1992. Štiavnický stratovulkán sa vyznačuje diferencovanými vulkanickými produktmi, komplikovanou stavbou, vznikom kaldery, viacetážovým vývojom vulkanických komplexov a vývojom hrastovej štruktúry (Labuda, 1999; Lexa a Tréger, 1999; Šály a Prcúch, 1999).

Pri kontrolných meraniach v rokoch 1982 – 1990 sa v podzemí zistil zvýšený obsah radónu. Keďže radón je produktom uránového a tóriového premenového radu, bolo naším zámerom stanoviť obsah týchto rádionuklidov vo vzorkách pochádzajúcich z tejto bane (Ragan, 2010).

Odber vzoriek zabezpečoval zamestnanec Slovenskej banskej, s. r. o., RNDr. Michal Veselý, ktorý zároveň poskytol aj identifikáciu miesta odberu a druhu vzorky. Vzorky 1 až 7 pochádzali z aktívnej časti bane a vzorky 8 – 10 boli koncentráty spracované flotačnými technikami.

1. Granodiorit, miesto odberu – sledná chodba S-XIV-2 (juh), prekop do nadložia pri meračskom bode č. 21. Práce v tejto časti bane boli ukončené v roku 1990.

2. Andezit, miesto odberu – pri elektrickej rozvodni na XV. obzore, meračský bod č. V 102.

3. Kremito-dioritový porfýr (dacit), mesto odberu – čelba smernej chodby, XVIII. obzor východ, bezprostredne pri jej záušení od prístupovej úpadnice.

4. Rudná žilovina, miesto odberu – XIV. obzor východ, severná vetva, dovrchná chodba nad meračským bodom V 51.

5. Rudná žilovina, miesto odberu – prekop P-XV-V, prekop smerom na sever.

6. Rudná žilovina, miesto odberu – XIV. obzor východ, južná vetva, čelba chodby v komíne.

7. Rudná žilovina, miesto odberu – prekop P-XV-P, v páse prekop do podložia.

Experiment

Primárnymi krokmi pri spracovaní väčšiny vzoriek je ich úprava fyzikálnymi, resp. fyzikálno-chemickými postupmi s cieľom kvantitatívneho prevedenia sledovaných rádionuklidov do roztoku s vhodným chemickým zložením.

Prvými krokmi úpravy vzoriek je ich sušenie pri teplote 105 °C. Vysušené vzorky sa následne homogenizujú. Pri analyzovaných vzorkách, vzhľadom na ich mineralogické zloženie, sme využili ochotu Ústavu laboratórneho výskumu geomateriálov Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, ktorý je vybavený príslušnými homogenizačnými zariadeniami a kde nám mlecími zariadeniami zomleli vzorky na veľkosť častíc 0,1 mm.

V homogenizovaných vzorkách bola následne stanovená presná hmotnosť a vzorky boli spálené pri teplote 600 °C.

Z takto upravených vzoriek bolo odobraté príslušné množstvo potrebné na digeráciu. Samotná digerácia vzoriek bola prevedená mokrou cestou v prostredí koncentrovanej kyseliny dusičnej a peroxidu vodíka v uzavretom autokláve podporovanom mikrovlnným rozkladom v zariadení na mikrovlnný rozklad Milestone (Krakovská et al., 2001). Doba digerácie bola 45 minút.

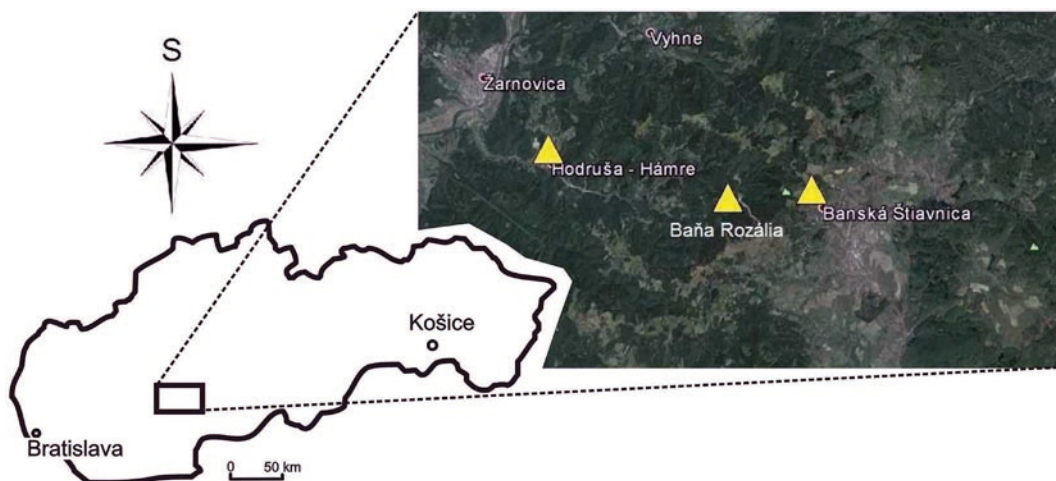
Výluhy vzoriek získané centrifugáciou boli následne upravené a použité na separáciu sledovaných rádionuklidov.

Na stanovenie rádiochemických výťažkov bol použitý stopovací rádionuklid ^{232}U s aktivitou $A = 0,144 \text{ Bq}$.

Postup extrakcie na sorbente DGA®Resin

1. Vzorka bola nariadená z koncentrovanej kyseliny na HNO_3 s koncentráciou 5 M.

2. K vzorke bolo pridaných 10 mg železa a 0,5 g kyseliny askorbovej.



Obr. 1. Poloha bane Rozália medzi obcou Hodruša-Hámre a Banskou Štiavnicou (ortofotomapa © Google Earth, 2013, Eurosense/Geodis Slovakia 2013).

Fig. 1. Position of the Rozália mine between the village of Hodruša-Hámre and the town Banská Štiavnica (orthophotomap © Google Earth, 2013, Eurosense/Geodis Slovakia 2013).

3. Kolóna so sorbentom DGA bola umiestnená v podtlakovom systéme.

4. Sorbent DGA bol kondicionovaný 6 M HNO₃.

5. Na sorbent bola nanosená vzorka.

6. Sorbent bol premytý 5 M HNO₃.

7. Sorbent bol premytý 20 cm³ 0,1 M HNO₃ → U frakcia.

8. Sorbent bol premytý 10 cm³ 6M HCl.

9. Sorbent bol premytý 20 cm³ 0,03 M C₂H₂O₄ v 0,25 M HCl → Th frakcia.

Postup extrakcie na sorbente UTEVA®Resin

1. Vzorka bola nariedená z koncentrovanej kyseliny na HNO₃ s koncentráciou 3 M.

2. Kolóna so sorbentom UTEVA bola umiestnená v podtlakovom systéme.

3. Sorbent bol kondicionovaný 3 M HNO₃.

4. Vzorka bola nanosená na sorbent.

5. Sorbent bol premytý 3 M HNO₃.

6. Sorbent bol premytý 5 cm³ 9 M HCl.

7. Sorbent bol premytý 20 cm³ 0,05 M C₂H₂O₄ v 5 M HCl → Th frakcia.

8. Sorbent bol premytý 10 cm³ 0,01 M HCl → U frakcia.

Všetky frakcie obsahujúce sledované rádionuklidy boli následne odparené pod IČ lampou.

Aktivita rádionuklidov v jednotlivých frakciách bola stanovená alfa spektrometrickými analýzami na metrologicky overených meradlách dvojkomorového spektrometrického systému alfa 576 A s detektormi ORTEC TU-020-450 AS s povrchovou bariérou od výrobcu EG&G ORTEC.

Zdroje na alfa spektrometrickú analýzu boli pripravené z polysulfónových filtrov s priemerom 25 mm filtráciou zrazeniny rádionuklidov pripravenej metódou spoluzrážania NdCl₃ s HF v prostredí 1 M HCl. V prípade frakcií obsahujúcich urán bolo potrebné pridať aj 0,3 cm³ 33 % roztoku TiCl₃, a to na úpravu oxidačného stavu uránu.

Výsledky spektrometrickej analýzy boli následne vyhodnotené kalkulativnými metódami podľa nasledujúcich vzťahov a sú uvedené v tab. 1 a 2:

$$a = \frac{N_{vz}}{t_{vz} \times E \times m \times R} \quad (1),$$

kde N_{vz} – počet impulzov vzorky, t_{vz} – doba merania vzorky (s), E – účinnosť detektora, R – rádiochemický výťažok, m_{vz} – hmotnosť vzorky (kg).

Na výpočet detekčnej účinnosti E sa použil vzťah:

$$E = \frac{N_s}{A_s \times t_s} \quad (2),$$

kde N_s – počet impulzov štandardu, t_s – doba merania štandardu (s), A_s – aktivita štandardu (Bq).

Na výpočet rádiochemického výťažku bol použitý vzťah:

$$R = \frac{N_T}{t_T \times E \times A_T} \times 100 \quad (3),$$

kde N_T – počet impulzov roztoku použitého stopovacieho rádionuklidu, t_T – doba merania stopovacieho rádionuklidu (s), E – detekčná účinnosť, A_T – aktivita stopovacieho rádionuklidu (Bq).

Na výpočet hodnoty odhadu kombinovanej štandardnej neistoty sa použil vzťah:

$$u(a) = a \times \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(E)}{E}\right)^2 + \left(\frac{u(R)}{R}\right)^2} \quad (4).$$

Na výpočet rozšírenej neistoty sa použil vzťah:

$$U(a) = k \times u(a), \text{ pričom } k = 1,96 \quad (5).$$

Výsledky

Tab. 1

DGA®Resin sorbent – hmotnostné aktivity uránu a tória (Bq · kg⁻¹)
DGA®Resin procedure – specific activity of uranium and thorium in Bq · kg⁻¹

Vzorka Sample	R ^a [%]	a ^b (²³⁸ U) ± U ^c [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]	a(²³⁴ U) ± U [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]	a(²³² Th) ± U [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]	a(²³⁰ Th) ± U [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]	a(²²⁸ Th) ± U [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]
Sample I.	45,6	10,1 ± 1,1	9,6 ± 1,0	76,3 ± 6,8	63,4 ± 5,7	82,7 ± 7,3
Sample II.	31,3	1,62 ± 0,34	1,91 ± 0,38	13,4 ± 1,6	10,6 ± 1,3	19,7 ± 2,2
Sample III.	58,6	4,91 ± 0,56	5,04 ± 0,57	13,7 ± 1,5	3,3 ± 1,4	12,1 ± 1,3
Sample IV.	63,7	1,54 ± 0,24	1,56 ± 0,24	6,65 ± 0,66	1,99 ± 0,28	6,80 ± 0,67
Sample V.	58,8	1,67 ± 0,27	1,74 ± 0,27	1,48 ± 0,25	0,75 ± 0,17	1,61 ± 0,26
Sample VI.	58,4	0,94 ± 0,19	1,13 ± 0,21	14,1 ± 1,3	29,0 ± 2,5	15,0 ± 1,4
Sample VII.	51,0	0,29 ± 0,10	0,33 ± 0,11	0,19 ± 0,08	0,21 ± 0,09	0,73 ± 0,17
Concentr. I.	61,0	1,33 ± 0,22	1,42 ± 0,23	0,16 ± 0,07	0,13 ± 0,06	0,40 ± 0,11
Concentr. II.	60,9	0,85 ± 0,17	0,92 ± 0,18	0,06 ± 0,04	0,07 ± 0,05	0,64 ± 0,14
Concentr. III.	0,74	0,58 ± 0,13	0,61 ± 0,13	0,71 ± 0,14	0,59 ± 0,13	0,95 ± 0,26

^a R – rádiochemický výťažok
radiochemical recovery

^b a – hmotnostná aktivita
specific activity

^c U – rozšírená neistota
uncertainty of specific activity

Tab. 2
UTEVA®Resin sorbent – hmotnostné aktivity uránu a tória (Bq · kg⁻¹)
UTEVA®Resin sorbent – specific activity of uranium and thorium in Bq · kg⁻¹

Vzorka Sample	R ^a [%]	a ^b (²³⁸ U) ± U ^c [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]	a(²³⁴ U) ± U [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]	a(²³² Th) ± U [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]	a(²³⁰ Th) ± U [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]	a(²²⁸ Th) ± U [Bq · kg ⁻¹ ± Bq · kg ⁻¹]
Sample I.	53,5	11,1 ± 1,1	11,6 ± 1,1	72,1 ± 6,2	65,3 ± 6,2	70,0 ± 6,0
Sample II.	41,9	1,84 ± 0,34	2,84 ± 0,44	4,69 ± 0,62	3,31 ± 0,49	7,00 ± 0,85
Sample III.	67,6	4,72 ± 0,51	5,42 ± 0,56	11,0 ± 1,0	2,83 ± 0,35	11,1 ± 1,0
Sample IV.	57,7	1,98 ± 0,29	1,85 ± 0,28	7,67 ± 0,77	1,67 ± 0,26	8,23 ± 0,82
Sample V.	45,4	1,18 ± 0,24	1,24 ± 0,24	1,90 ± 0,32	0,93 ± 0,20	2,19 ± 0,34
Sample VI.	65,3	0,82 ± 0,16	0,97 ± 0,18	0,85 ± 0,16	1,10 ± 0,19	0,71 ± 0,15
Sample VII.	61,8	0,28 ± 0,09	0,31 ± 0,10	0,10 ± 0,05	0,12 ± 0,06	0,68 ± 0,15
Concentr. I.	58,0	1,33 ± 0,22	1,69 ± 0,27	0,15 ± 0,07	0,08 ± 0,05	0,52 ± 0,14
Concentr. II.	89,1	0,83 ± 0,14	0,81 ± 0,14	0,05 ± 0,03	0,05 ± 0,03	0,52 ± 0,11
Concentr. III.	57,3	0,63 ± 0,15	0,65 ± 0,16	0,70 ± 0,16	0,52 ± 0,14	1,71 ± 0,27

^a R – rádiochemický výťažok
radiochemical recovery

^b a – hmotnostná aktivita
specific activity

^c U – rozšírená neistota
uncertainty of specific activity

Tab. 3
Výsledky štatistických testov (ADSTAT 1.25)
Statistical test results (ADSTAT 1.25)

Test	teoret. quantil	statistic quantil	Zhodnotenie testov conclusion
Fisher-Snedecor F-test	4,026	1,278	hypotéza akceptovaná predpoklad o zhode súborov potvrdený
Correct F-test	5,819	1,278	hypotéza akceptovaná predpoklad o zhode súborov potvrdený
Jackknife F-test	4,559	0,064	hypotéza akceptovaná predpoklad o zhode súborov potvrdený
t-test	2,262	-0,772	hypotéza akceptovaná predpoklad o zhode súborov potvrdený

Záver

Jedným z rozhodujúcich faktorov klasifikujúcich efektivitu rádiochemickej analýzy je hodnota rádiochemického výťažku. Vzhľadom na fakt, že súčasťou experimentu bolo porovnanie extrakčných vlastností dvoch sorbentov, UTEVA®Resin a DGA®Resin, boli hodnoty rádiochemických výťažkov jednotlivých analýz podrobené štatistickej analýze použitím štatistického softvéru ADSTAT 1.25 (Meloun a Militký, 2006; Militký et al., 1998). Na základe výsledkov porovnania kvantilov získaných aplikáciou niekoľkých porovnávacích testov na súbory tvorené hodnotami rádiochemických výťažkov môžeme vysloviť záver, že použitie obidvoch sorbentov z hľadiska dosiahnutých rádiochemických výťažkov poskytuje zhodné výsledky.

Taktiež na základe prezentovaných výsledkov hodnôt merných aktivít izotopov uránu a tória môžeme vysloviť záver, že priemerný obsah uránu a tória v analyzovaných vzorkách je nižší ako priemerný obsah v horninách a pôdach na území Slovenskej republiky. Na základe tohto záveru môžeme usúdiť, že zvýšený obsah radónu

nameraný v niektorých oblastiach Hodruša-Hámre nemá pôvod v premenových radoch uránu a tória obsiahnutých v ťažených mineráloch.

References

- DGA® Resin, 2007: http://www.eichrom.com/products/info/dga_resin.cfm
- KRAKOVSKÁ, E. & KUSS, H. M., 2001: Rozklady v analytickej chémii. Košice.
- LABUDA, J., 1999: Ryžovanie zlata a začiatky osídlenia banskoštiavnického regiónu. *Miner. Slov.*, 31, 393 – 396.
- LEXA, J. & TRÉGER, M., 1999: Au potenciál štiavnicko-hodrušského rudného obvodu. *Miner. Slov.*, 31, 314 – 315.
- MACÁŠEK, F. et al., 1996: Správa KJCH Prírodovedeckej fakulty UK, Bratislava.
- MÁTEL, L. et al., 2007: Príloha č. 1 k Prírúčke kvality. Metodiky činností, ktoré sú predmetom akreditácie. LARCHA-0100-M Bratislava.
- MÁTEL, L., 2011: Rádioekológia. KARTPRINT, Bratislava.
- MAXWELL, S. L. & CULLIGAN, B. K., 2006: Rapid column extraction method for actinides in soil. Akadémiai Kiadó, co-published with Springer Science+Business Media B.V., Formerly Kluwer Academic Publishers B.V., 270, 3.

- MELOUN, M. & MILITKÝ, J., 2006: Kompendium statistického vypracování dat. Metody a řešené úlohy včetně CD. *Academia Praha*.
- MILITKÝ, J., MELOUN, M. & KUPKA, K., 1998: Teaching of Regression Model Building by ADSTAT Package. *Proceedings of the 5th International Conference on Teaching Statistics*, 879 – 884.
- RAGAN, P., 2010: Zhodnotenie výskytu radónu v rudných baniach na Slovensku. V: XXXIII. Dny radiačnej ochrany. In: V. Štěpán (ed.): *Sbor. abstraktu. Třeboň, Jižní Čechy. České vysoké učení technické v Praze*, s. 124.
- STARÝ, J., KYRŠ, M. & MARHOL, M., 1975: Separáčnı metody v radiochemii. *Academia, Praha*.
- ŠÁLY, J. & PRCÚCH, J., 1999: Štruktúrno-tektonické a mineralogické pomery Au mineralizácie v bani Rozália (Hodruša-Hámre). *Miner. Slov.*, 31, 316 – 315.
- UTEVA®Resin, 2007: http://www.eichrom.com/products/info/uteva_resin.cfm

Rukopis doručený 10. 9. 2013
Revidovaná verzia doručená 16. 10. 2013
Rukopis akceptovaný red. radou 30. 10. 2013

Determination of uranium and thorium contents in the samples from goldmine Rozália located at Hodruša-Hámre, Slovakia

Uranium and thorium belong to radionuclides present in the majority of environmental samples and captures of radioactive materials. The uranium and thorium isotopes and the products of their radioactive decay can be found for example in the underground and surface water, in soils and we can measure their contents in the air, too.

The presented work aimed to evaluate a new faster radiochemical procedure for determination of extremely low concentration of the monitored radionuclides from the complex matrixes.

An applicable separation method is important for the determination of radionuclides. The extraction chromatography belongs to the solid phase extraction (SPE), which is one of the suitable separation techniques, being the most used method for the determination of radionuclides in liquid samples. The choice of the useful extracting reagent represents an important step of the SPE methods. The emitted alpha particles from determined radionuclides are detected by alpha spectrometry.

The mineral samples and the homogenized concentrates of the ore from the biggest goldmine in Central Europe located in Hodruša-Hámre were analysed.

The increased radon content inside the Rozália mine, recently representing the only active mine for gold mining in Slovakia, was found at control measures in 1982 to 1990. Samples 1 – 7 in our investigation were taken from

spaces with active mining and samples 8–10 represented concentrates processed with flotation techniques. The rock samples encompassed concentrates processed with flotation techniques. The rock samples encompassed granodiorite, andesite, quartz-diorite porphyry and ore vein segments.

For the determination of uranium and thorium isotopes two radiochemical procedures were used. First procedure was based on the use of sorbent UTEVA®Resin. It is well-known and widely used procedure for uranium determination. The second procedure was based on using the new extraction material DGA®Resin. Quantitative effectiveness of procedures was calculated through the values of radiochemical yields. We used ^{232}U with activity $A = 0.144 \text{ Bq}$ as the yield tracer.

The values of specific activity, summarized in the tables, show that the activities of uranium and thorium isotopes in minerals from gold mines at Hodruša-Hámre, are in average lower than average specific activity of these radionuclides in Slovak areas. The values of radiochemical yields, obtained from both radiochemical procedures, were analysed, using several statistical comparative tests and, as demonstrated by results, we can declare, that the radiochemical separations by DGA®Resin and UTEVA®Resin provide congruent results in term of the radiochemical yields.

