



# SPRAVODAJ

Slovenskej spektroskopickkej spoločnosti  
člena Zväzu slovenských vedecko-technických spoločností



ISSN 1338-0656

Ročník 27, Číslo 2, 2020

## Generálni sponzori Slovenskej spektroskopickkej spoločnosti



### Na úvod

Milé kolegyně, milí kolegovia,  
v druhom čísle už 27. ročníka Spravodaja SSS nájdete o.i. aj dva články: prvý o stanovení dlhožijúcich štiepných produktov uránu s využitím metód hmotnostnej spektrometrie, druhý o disperznej extrakcii tuhú fázou využívajúcou nanočastice kovov na separáciu a prekoncentráciu ultrastopových prvkov pred ich spektrometrickou kvantifikáciou.

Dňa 14. decembra 2020 boli vyhlásené výsledky 12. kola Súťaže vedeckých prác mladých spektroskopikov za roky 2019 a 2020. Do Súťaže mohla byť poslaná práca alebo súbor prác autora, ktorý v príslušnom roku nepresiahol vek 35 rokov. Akceptované boli len experimentálne články v daných rokoch publikované alebo prijaté redakčnou radou niektorého impaktovaného vedeckého časopisu. Okrem uznania a spoločenského ocenenia bola Súťaž aj finančne dotovaná z

prostriedkov SSS. Oceneným autorom bolo navyše udelené aj jednoročné členstvo v SSS. Do užšieho výberu 12. kola Súťaže postúpili traja ocenení autori (bližšie informácie vid' na str. 28):

1. cena:

**Michaela Matulová**

2. cena:

**Bence Farkas**

3. cena:

**Zuzana Goneková**

V mene Predsedníctva Hlavného výboru SSS srdečne blahoželám oceneným autorom k umiestneniu a všetkým potenciálnych záujemcov pozývam na účasť v ďalšom – už 13. kole Súťaže vedeckých prác mladých spektroskopikov za roky 2021 a 2022.

*Peter Matúš*

# FTIR A RAMANOVY SPEKTROMETRY A MIKROSKOPY



DLOUHÁ ŽIVOTNOST | VÝKONNOST | ŠIROKÁ NABÍDKA PŘÍSLUŠENSTVÍ | JEDNODUCHÁ OBSLUHA

## Nové přístroje z portfolia:

### INVENIO

#### Perfektní volba pro rutinní i pokročilé výzkumné aplikace

- Moderní FTIR spektrometr pro farmacii, průmysl i výzkum
- Možnost přesné konfigurace s ohledem na využití
- Možnost automatizovaného multispektrálního měření (FIR, MIR, NIR, VIS)

### LUMOS II

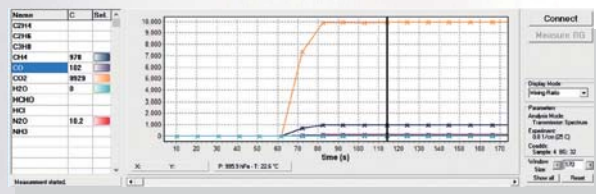
#### Revoluce v infračervené mikroskopii

- Extrémně rychlý chemický imaging (900 spekter/s)
- Unikátní prostorové rozlišení až 1,25  $\mu\text{m}$
- Citlivé detektory bez nutnosti chlazení kapalným dusíkem
- Plně automatizované měření

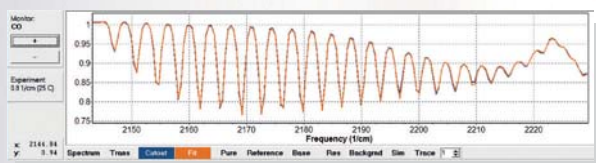
### OMEGA 5

#### Automatizovaný FTIR analyzátor plynů

- Rychlé kontinuální měření v reálném čase
- Hotové kalibrace pro více než 400 plynů
- Příprava kalibrací na míru
- Kompaktní design a malé rozměry
- Nízké provozní náklady, žádný spotřební materiál



Online měření vícesložkových směsí



Přesný výpočet koncentrací ze spektra

INVENIO



LUMOS II



OMEGA 5

## NA SPEKTROSKOPICKÚ TÉMU

## STANOVENIE DLHOŽIJÚCICH ŠTIEPNYCH PRODUKTOV URÁNU S VYUŽITÍM METÓD HMOTNOSTNEJ SPEKTROMETRIE

Michaela Matulová

Ústav laboratórneho výskumu geomateriálov,  
Prírodovedecká fakulta, Univerzita  
Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 84215  
Bratislava, Slovenská republika  
matulova22@uniba.sk

### Abstrakt

Dlhožijúce štiepne produkty uránu sú dôležitou skupinou rádionuklidov s nutnosťou kvantifikácie v jadrových odpadoch, ďalej slúžia ako indikátory jadrových havárií, migrácie vzdušných mäs a prúdenia vody. Ich stanovenie, najmä v zložkách životného prostredia, si vyžaduje citlivosť a nízku medzu stanovenia. Stále sa vyvíjajúce metódy hmotnostnej spektrometrie zaručujú presné a citlivé meranie dlhožijúcich štiepných produktov uránu v rôznych matriciach, a dokonca dovoľujú merať rádionuklidy v tuhých matriciach bez ich predchádzajúcej chemickej úpravy. V tejto rešeršnej práci sú spomenuté najčastejšie používané metódy hmotnostnej spektrometrie pre stanovenie dlhožijúcich štiepných produktov uránu a ich využitie v laboratórnej praxi.

### Kľúčové slová

Hmotnostná spektrometria, dlhožijúce rádionuklidy, štiepne produkty, stanovenie.

### 1. Úvod

Dlhožijúce štiepne produkty uránu  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{107}\text{Pd}$ ,  $^{126}\text{Sn}$ ,  $^{129}\text{I}$  a  $^{135}\text{Cs}$  patria medzi významné rádionuklidy nachádzajúce sa v jadrových odpadoch v rámci dlhodobého riadenia úložiska vyhoreného jadrového paliva [1]. Tieto rádionuklidy patria prevažne medzi beta žiariče s nízkou špecifickou aktivitou. Vzhľadom na nízky štiepny výťažok dlhožijúcich štiepných produktov uránu sa očakávajú aj ich relatívne nízke koncentrácie v

rádioaktívnom odpade. Nízke koncentrácie možno očakávať najmä v prípadoch stanovenia rádionuklidov, ktoré sú dôležitými indikátormi jadrových nehôd (napr.  $^{129}\text{I}$ ,  $^{79}\text{Se}$  a  $^{99}\text{Tc}$ ) a ktoré slúžia na výskum transportu vzdušných mäs ( $^{129}\text{I}$ ) a vody ( $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{99}\text{Tc}$  a  $^{129}\text{I}$ ) [2-6]. Menšia doba polpremeny znamená vyššiu hodnotu špecifickej aktivity, a teda so zvyšujúcou sa dobou polpremeny citlivosť ich stanovenia rádiometrickými metódami klesá. To spôsobuje, že pri nízkej koncentrácii rádionuklidov je nemožné použiť rádiometrické metódy [7]. Preto sa v posledných rokoch dostávajú do popredia metódy hmotnostnej spektrometrie s vysokou citlivosťou a výhodnými hodnotami medze stanovenia.

### 2. Metódy hmotnostnej spektrometrie používané na stanovenie dlhožijúcich štiepných produktov uránu

Najpoužívanejšou metódou pre stanovenie dlhožijúcich produktov štiepenia uránu patrí metóda hmotnostnej spektrometrie s indukčne viazanou plazmou (ICP-MS, *Inductively coupled plasma mass spectrometry*) [8-14]. Pri ICP-MS pomer počtu zaregistrovaných iónov analytu k celkovému počtu meraných iónov analytu v matrici predstavuje interval od  $10^{-5}$  do  $10^{-8}$ , pričom tento pomer závisí od hmotnosti analytu, interferencií a vlastností prístroja. Pomocou ICP-MS je možné merať jeden analyt, viacero analytov alebo izotopové pomery analytov ako napr.  $^{127}\text{I}/^{129}\text{I}$  a  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ . Stanovenia prebiehajú v kvapalných vzorkách alebo v pevných vzorkách po digerovaní [15,16]. Hlavným problémom pri použití tejto metódy pri analýze rádioaktívnych odpadov alebo vzoriek zo životného prostredia je výskyt izobarických interferencií s rovnakým pomerom hmotnosti k náboju ( $m/z$ ). ICP-MS s vysokým rozlíšením [17], ICP-MS s reakčnou (resp. kolíznou) celou [18], ICP-MS s viacnásobným iónovým kolektorovým systémom [19] alebo použitie špeciálnych postupov zavádzania vzoriek a spájania techník, ako je kapilárna elektroforéza

(CE, *Capillary electrophoresis*) [20] a chromatografia [8], môžu oddeliť analyty od matrice a zbaviť sa tak nežiadúcich interferencií.

Ďalšou analytickou technikou je hmotnostná spektrometria s termálnou ionizáciou (TIMS, *Thermal ionization mass spectrometry*). Limitujúce faktory pre presnosť meraných izotopových pomerov použitím TIMS sú spojené so schopnosťou hmotnostného rozlíšenia prístroja a účinkami hmotnostnej frakcionácie vznikajúcimi pri odparovaní vzorky. Vnútna presnosť pri meraní izotopových pomerov rádionuklidov s dlhou dobou polpremeny predstavuje 0,01 % [21].

Akcelerátorová hmotnostná spektrometria (AMS, *Accelerator mass spectrometry*) a hmotnostná spektrometria s rezonančnou ionizáciou (RIMS, *Resonance ionization mass spectrometry*) sú veľmi citlivé metódy, ktoré majú medzu stanovenia o dva rády nižšie ako rádiometrické metódy [22,23].

Hmotnostná spektrometria sekundárnych iónov (SIMS, *Secondary ion mass spectrometry*) je citlivá analytická povrchová technika, ktorá dovoľuje meranie vzorky bez jej chemickej úpravy. Presnosť stanovenia pomeru izotopov sa pohybuje medzi 0,01 % a 1 %, ale s použitím viacerých kolektorov iónov je možné dosiahnuť presnosť 0,002 %. Problém predstavuje kvantifikácia výsledkov, ktorá je pri použití SIMS veľmi náročná kvôli účinkom matrice [2,24].

### 3. Príklady využitia metód hmotnostnej spektrometrie pre stanovenie dlhožijúcich štípných produktov uránu

Stanovenie  $^{79}\text{Se}$  vo vzorkách najčastejšie prebieha použitím metódy ICP-MS. V porovnaní s inými dlhožijúcimi rádionuklidmi je meranie  $^{79}\text{Se}$  použitím ICP-MS náročnejšie. Problém pri meraní spôsobujú nielen interferenty  $^{79}\text{Br}^+$ ,  $^{39}\text{K}^{40}\text{Ar}^+$ ,  $^{38}\text{Ar}^{40}\text{Ar}^1\text{H}^+$ ,  $^{63}\text{Cu}^{16}\text{O}^+$ ,  $^{158}\text{Gd}^{2+}$  a  $^{158}\text{Dy}^{2+}$ , ktoré sa nachádzajú vo vzorke alebo vznikajú v plazme, ale aj vysoký ionizačný potenciál selénu ( $I_{\text{Se}}=9,75$  eV) [17,25,26]. Dokonca ani ICP-MS s vysokým rozlíšením a reakčné (resp. kolízne) cely sa nepreukázali byť schopné odstrániť všetky tieto interferencie v zložitých matriciach. Selektivita merania pre  $^{79}\text{Se}$  sa dá zlepšiť použitím ICP-MS s

elektrotermálnym vyparovaním (ETV, *Electrothermal vaporisation*) [25,27]. Comte a kol. [27] opísali vo svojej práci optimalizáciu postupu merania  $^{79}\text{Se}$  vo vysokoaktívnych vzorkách použitím ETV-ICP-MS (Elan 6000, PerkinElmer). Ďalším spôsobom na stanovenie  $^{79}\text{Se}$  je ICP-MS s hydridovým generátorom, čo umožňuje odstránenie interferencií, pričom medza stanovenia má hodnotu  $100 \text{ pg}\cdot\text{ml}^{-1}$  [17]. V prípade použitia hydridového generátora v kvadrupólovom ICP-QMS s hexapólovou kolíznou celou je medza stanovenia  $5 \text{ pg}\cdot\text{ml}^{-1}$  [28].

Pri stanovení  $^{93}\text{Zr}$  použitím hmotnostných spektrometrických metód je nutné odstrániť chemickou separáciou nasledovné interferenty:  $^{94}\text{Nb}^+$ ,  $^{93\text{m}}\text{Nb}^+$  a  $^{93}\text{Mo}^+$ . ICP-MS [19,29,30] je často používanou metódou, konkrétne, dobré výsledky zaznamenala metóda MC-ICP-MS (MC, *Multi-collector*).  $^{93}\text{Zr}$  sa môže merať aj použitím TIMS, avšak nízka ionizačná účinnosť, spôsobená jeho vysokým ionizačným potenciálom ( $I_{\text{Zr}}=6,84$  eV) sťažuje jeho meranie [31]. Na rozdiel od TIMS, metóda MC-ICP-MS ponúka lepšiu ionizáciu v dôsledku plazmového zdroja iónov a systém MC zabezpečuje vysokú presnosť merania [32]. Stanovenie  $^{93}\text{Zr}$  s hodnotou RSD 2 % umožňuje vysokú citlivosť a presnosť techniky MC-ICP-MS (Isoprobe, GV Instruments) s použitím techniky riedenia izotopov (ID, *Isotope dilution*) [19]. Jednou z perspektívnych metód na stanovenie  $^{93}\text{Zr}$  je aj AMS, pričom postup vývoja metódy pre stanovenie  $^{93}\text{Zr}$  je opísaný v práci od Pavetich a kol. [33].

Medzi interferenty, ktoré je nevyhnutné odstrániť pri stanovení  $^{99}\text{Tc}$  metódami hmotnostnej spektrometrie, patria  $^{99}\text{Ru}^+$  a  $^{98}\text{MoH}^+$ . Yamamoto a kol. [34] stanovoval  $^{99}\text{Tc}$  v sedimentoch z Írskeho mora použitím HR-ICP-MS (HR, *High resolution*) na prístroji Plasma Trace, VG Elemental Ltd., pričom absolútna hodnota medze stanovenia bola  $0,25 \text{ pg}$  ( $0,16 \text{ mBq}$ ).  $^{99}\text{Tc}$  vo vysokoaktívnom odparenom koncentráte bolo merané použitím dvojitého zaostrenia DF-ICP-MS (DF, *Double-focusing*), pričom medza stanovenia mala hodnotu  $5 \text{ pg}\cdot\text{l}^{-1}$  ( $3 \text{ }\mu\text{Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) v porovnaní s kvadrupólovým ICP-QMS (ELAN 6000, Perkin Elmer Sciex) s medzou stanovenia  $0,1 \text{ ng}\cdot\text{l}^{-1}$  [35]. Pri stanovení  $^{99}\text{Tc}$  v

nízko aktívnom odpade (LLW, *Low-level waste*) použitím ICP-QMS (Thermo, Xseries II) dosiahli autori minimálnu detekovateľnú aktivitu  $8,5 \text{ mBq}\cdot\text{g}^{-1}$  ( $13,6 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) [36]. Medzi perspektívne metódy stanovenia  $^{99}\text{Tc}$  patrí AMS, pričom v 250 ml morskej vody boli ľahko stanoviteľné koncentrácie  $^{99}\text{Tc}$  v rozmedzí 0,2-2 pg s presnosťou 10 % ( $1\sigma$ ) [37,38]. Medzi metódy používané pre stanovenie  $^{99}\text{Tc}$  patria aj TIMS [39] a RIMS [40].

Pri meraní  $^{107}\text{Pd}$  použitím ICP-MS treba separáciou odstrániť zo vzorky interferenty  $^{107}\text{Ag}^+$ ,  $^{91}\text{Zr}^{16}\text{O}^+$ ,  $^{90}\text{Zr}^{16}\text{O}^1\text{H}^+$  [41],  $^{35}\text{Cl}^{35}\text{Cl}^{37}\text{Cl}^+$ ,  $^{106}\text{Pd}^1\text{H}^+$ ,  $^{91}\text{ZrO}^+$  a taktiež prvky Rb, Sr, Y, Zr, Mo, a Cd [42]. Bibler a kol. [43] použili ICP-QMS (Fisons/VG Plasmaquad) na stanovenie  $^{107}\text{Pd}$  vo vysoko aktívnom odpade (HLW, *High-level waste*) a vo vzorkách rádioaktívneho skla. Avšak, priame meranie  $^{107}\text{Pd}$  nebolo možné z dôvodu izobarickej interferencie striebra. Medzi perspektívne metódy na stanovenie  $^{107}\text{Pd}$  patria LA-ICP-MS (LA, *Laser ablation*), na prístroji Agilent 7700x [42] a ETV-ICP-MS, pričom medza stanovenia pre  $^{107}\text{Pd}$  bola  $0,4 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  v *Zircalloy* roztoku [44].

V prípade stanovenia  $^{126}\text{Sn}$  použitím hmotnostnej spektrometrie treba v procese úpravy vzorky odstrániť interferenty  $^{126}\text{Sb}$ ,  $^{126}\text{Te}$  a  $^{110}\text{Cd}^{16}\text{O}^+$  [41]. Asai a kol. [45] úspešne použili ID-ICP-MS na meranie  $^{126}\text{Sn}$  vo vyhorenom jadrovom palive. Perspektívne metódy na stanovenie  $^{126}\text{Sn}$  sú aj AMS [23] a TIMS [46].

Na stanovenie  $^{129}\text{I}$  je možné použiť metódy ICP-MS, AMS, SIMS a TIMS. Pri hmotnostnom spektrometrickom stanovení  $^{129}\text{I}$  je potrebné odstránenie interferentov  $^{129}\text{Xe}^+$ ,  $^{127}\text{IH}_2$ ,  $^{89}\text{Y}^{40}\text{Ar}$ ,  $^{115}\text{In}^{14}\text{N}$  a  $^{113}\text{Cd}^{16}\text{O}$  [2,3,5]. Účinným nástrojom na ultracitlivé stanovenie  $^{129}\text{I}$  je ICP-QMS [47]. Jednou z nevýhod merania  $^{129}\text{I}$  použitím ICP-MS je pamäťový efekt. Vhodnými metódami sú taktiež TIMS a AMS, pričom AMS dokáže merať koncentrácie  $^{129}\text{I}$  v rozsahu od 4 do  $12 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  ( $0,03\text{-}0,08 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ ) [48-50]. Citlivosť SIMS je menšia v porovnaní s inými metódami, meranie je možné len v prípade vyšších koncentrácií jódu vo vzorkách. SIMS použili autori na stanovenie  $^{129}\text{I}$  v štítnej žľaze u

zvierat a u človeka, pričom množstvo  $^{129}\text{I}$  vo vzorkách sa pohybovalo okolo  $10 \text{ }\mu\text{g}$  [26].

$^{135}\text{Cs}$  a izotopový pomer  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  je možné stanoviť metódami ICP-MS, TIMS, AMS a RIMS, pričom medzi izobarické interferencie patria  $^{133}\text{Ba}^+$ ,  $^{134}\text{Ba}^+$ ,  $^{135}\text{Ba}^+$ ,  $^{137}\text{Ba}^+$ ,  $^{133}\text{Cs}^+$ ,  $^{95,97}\text{Mo}^{40}\text{Ar}^+$ ,  $^{119}\text{Sn}^{16}\text{O}^+$ ,  $^{121}\text{Sb}^{16}\text{O}^+$  a  $^{119}\text{Sn}^{18}\text{O}$  [41,51]. Perspektívne metódy na stanovenie  $^{135}\text{Cs}$  sú aj ICP-SFMS (SF, *Sector field*) [9], ICP-MS s reakčnou celou [18] a ICP-MS/MS s trojitým kvadrupólom [10]. Pri meraní  $^{135}\text{Cs}$  použitím ETV-ICP-MS bola medza stanovenia v  $20 \text{ }\mu\text{l}$  vzorky  $0,2 \text{ pg}\cdot\text{ml}^{-1}$  ( $10 \text{ }\mu\text{Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) a  $4 \text{ fg}$  ( $0,2 \text{ }\mu\text{Bq}$ ) [52]. Medzi ďalšie perspektívne metódy patria TIMS a AMS [53,54].

#### 4. Záver

Vzhľadom na nízke medze stanovenia sa metódy hmotnostnej spektrometrie osvedčujú najmä vo vzorkách s nízkymi koncentraciami analytov, kedy je v niektorých prípadoch meranie rádiometrickými metódami nemožné kvôli nízkej mernej aktivite. Všeobecne možno pokladať za najperspektívnejšiu a cenovo najdostupnejšiu metódu ICP-MS, ktorá ponúka stanovenie širokého množstva rádionuklidov.

*Práca vznikla v rámci riešenia projektu Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a Slovenskej akadémie vied VEGA 1/0164/17 a Grantov Univerzity Komenského v Bratislave UK/224/2020 a UK/226/2020.*

#### Literatúra

1. C. Poinssot, C. Ferry, P. Lovera, C. Jegou, J.-M. Gras, *J. Nucl. Mater.* 346 (2005) 66-77
2. X. Hou, P. Roos, *Anal. Chim. Acta* 608 (2008) 105-139
3. E. Duborská, J. Kubová, *Spravodaj SSS* 22 (2015) 3-5
4. E. Duborská, J. Kubová, P. Matúš, *Chem. Listy* 110 (2016) 625-629
5. E. Duborská, M. Bujdoš, *Chem. Listy* 111 (2018) 222-226
6. E. Duborská, M. Urík, M. Bujdoš, in: J.A. Daniels (Ed.), *Advances in environmental research* Vol. 67, Nova Science, New York, 2019, 1-71
7. M. Matulová, E. Duborská a M. Bujdoš, *Spravodaj SSS* 27 (2020) 2-5
8. A.E. Eroglu, C.W. Mcleod, K.S. Leonard, D. McCubbin, *J. Anal. At. Spectrom.* 13 (1998) 875-878
9. B.C. Russell, I.W. Croudace, P.E. Warwick, J.A. Milton, *Anal. Chem.* 86 (2014) 8719-8726
10. J. Zheng, L. Cao, K. Tagami, S. Uchida, *Anal. Chem.* 88 (2016) 8772-8779

11. E. Duborská, M. Urík, M. Bujdoš, J. Kubová, *Water Air Soil Poll.* 227 (2016) 407
12. E. Duborská, M. Urík, M. Bujdoš, *Water Air Soil Poll.* 228 (2017) 225
13. M. Urík, E. Duborská, M. Bujdoš, v: E. Jurkovič, T. Kulikova (Eds.): *Aktuálne trendy geochemického štúdia geologického prostredia, Slovenská asociácia geochemikov*, Bratislava, 2017, 121-124
14. E. Duborská, M. Bujdoš, M. Urík, P. Matúš, *Catena* 195 (2020) 104749
15. A.V. Izmer, S.F. Boulyga, J.S. Becker, *J. Anal. At. Spectrom.* 18 (2003) 1339-1345
16. M. Liezers, O.T. Farmer, M.L. Thomas, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 282 (2009) 309-313
17. K. Hoppstock, J.S. Becker, H.J. Dietze, *At. Spectrosc.* 18 (1997) 180-185
18. B.C. Russell, I.W. Croudace, P.E. Warwick, *Anal. Chim. Acta* 890 (2015) 7-20
19. F. Chartier, H. Isnard, J.P. Degros, A.L. Faure, C. Fréchou, *Int. J. Mass Spectrom.* 270 (2008) 127-133
20. J.A. Day, J.A. Caruso, J.S. Becker, H.-J. Dietze, *J. Anal. At. Spectrom.* 15 (2000) 1343-1348
21. I.T. Platzner, *Modern isotope ratio mass spectrometry*, Wiley, Chichester, 1997
22. W. Kutschera, *Int. J. Mass Spectrom.* 242 (2005) 145-160
23. W. Kutschera, I. Ahmad, P.J. Billquist, B.G. Glagola, R.C. Pardo, M. Paul, K.E. Rehm, J.L. Yntema, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 42 (1989) 101-108
24. C. Briançon, J. Jeusset, C. Francese, F. Omri, S. Halpern, P. Fragu, *Biol. Cell* 74 (1992) 75-80
25. P. Bienvenu, P. Cassette, G. Androletti, M.-M. Bé, J. Comte, M.-C. Lépy, *Appl. Radiat. Isot.* 65 (2007) 355-364
26. G. Jörg, R. Bühnemann, S. Hollas, V.N. Kivel, K. Kossert, S. Van Winckel, C.L.V. Gostomski, *Appl. Radiat. Isot.* 68 (2010) 2339-2351
27. J. Comte, P. Bienvenu, E. Brochard, J.-M. Fernandez, G. Androletti, *J. Anal. At. Spectrom.* 18 (2003) 702-707
28. S. Boulyga, J. Dombová, J.S. Becker, H.J. Dietze, *At. Spectrosc.* 21 (2000) 149-155
29. S. Asai, Y. Hanzawa, M. Konda, D. Suzuki, M. Magara, T. Kimura, R. Ishihara, K. Saito, S. Yamada, H. Hirota, *Talanta* 185 (2018) 98-105
30. S. Dulanská, B. Remenec, V. Gardoňová, E. Mátel, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 293 (2012) 635-640
31. K. David, J.L. Birck, P. Telouk, C.J. Allègre, *Chem. Geol.* 157 (1999) 1-2
32. M. Schönbacher, M. Rehkämper, D.C. Lee, A.N. Halliday, *Analyst* 129 (2004) 32-37
33. S. Pavetich, A. Carey, L.K. Fifield, M.B. Froehlich, S. Halfon, A. Kinast, M. Martschini, D. Nelson, M. Paul, A. Shor, J.H. Sterba, M. Tessler, S.G. Tims, L. Weissman, A. Wallner, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 438 (2019) 77-83
34. M. Yamamoto, L.A. Syarbaini, K. Kofuji, A. Tsumura, K. Komura, K. Ueno, D.J. Assinder, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 197 (1995) 185-194
35. J.S. Becker, H.-J. Dietze, *J. Anal. At. Spectrom.* 14 (1999) 1493-1500
36. T.-Y. Su, T.-L. Tsai, H.-C. Wu, L.-C. Men, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 303 (2015) 1245-1248
37. M. He, S. Jiang, B. Peng, X. Ruan, K. Dong, Y. Guan, S. Li, S. Wu, J. Qiu, X. Yin, Y. Ding, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 259 (2007) 708-713
38. L. Wacker, L.K. Fifield, S.G. Tims, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 223-224 (2004) 185-189
39. P. Dixon, D.B. Curtis, J. Musgrave, F. Roensch, J. Roach, D. Rokop, *Anal. Chem.* 69 (1997) 1692-1699
40. P. Schönberg, C. Mokry, J. Runke, D. Schönenbach, N. Stöbener, P. Thörle-Pospiech, N. Trautmann, T. Reich, *Anal. Chem.* 89 (2017) 9077-9082
41. E. Excoffier, P. Bienvenu, C. Combes, N. Delteil, R. Ferrini, *Scientific report CEA Saclay, Direction du Cycle du Combustible*, 91 - Gif-sur-Yvette, France, 1999, p. 352-357
42. S. Asai, M. Ohata, T. Yomogida, M. Saeiki, H. Ohba, Y. Hanzawa, T. Horita, Y. Kitatsuji, *Anal. Bioanal. Chem.* 411 (2019) 973-983
43. N.E. Bibler, W.F. Kinard, W.T. Boyce, C.J. Coleman, *Radioanal. Nucl. Chem.* 234 (1998) 159-163
44. M. Bertaux, P. Bienvenu, O. Provitina, C. Point, J.B. Bilocot, E. Brochard, S. Pontremoli, N. Arnal, *Proceedings Atalante 2008 - Nuclear fuel cycle for a sustainable future*, 19-23 May, 2008, Montpellier, France, P5\_01, p. 1-3
45. S. Asai, M. Tshimitsu, Y. Hanzawa, H. Suzuki, N. Shinohara, J. Inagawa, K. Okumura, S. Hotoku, T. Kimura, K. Suzuki, S. Kaneko, *J. Nucl. Sci. Technol.* 50 (2013) 556-562
46. F. Oberli, P. Gartenmann, M. Meier, W. Kutschera, M. Suter, G. Winkler, *Int. J. Mass Spectrom.* 184 (1999) 145-152
47. J.S. Becker, *J. Anal. At. Spectrom.* 17 (2002) 1172-1185
48. E. Nottoli, P. Bienvenu, A. Labet, D. Bourlès, M. Arnold, M. Bertaux, *Appl. Radiat. Isotopes* 86 (2014) 90-96
49. J.E. Olson, M.L. Adamic, D.C. Snyder, J.L. Brookhart, P.A. Hahn, M.G. Watrous, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 438 (2019) 84-88
50. J. Olson, M. Adamic, D. Snyder, J. Brookhart, P. Hahn, M. Watrous, *Appl. Radiat. Isot.* 126 (2017) 54-57
51. J.A. Dunne, D.A. Richards, H.W. Chen, *Talanta* 174 (2017) 347-356
52. M. Song, T.U. Probst, N.G. Berryman, *Fresenius' J. Anal. Chem.* 370 (2001) 744-751
53. T. Lee, K. Teh-Lung, L. Hsiao-Ling, C. Ju-Chin, *Geochim. Cosmochim. Acta* 57 (1993) 3493-3497
54. C. MacDonald, C.R.J. Charles, R.J. Cornett, X.L. Zhao, W.E. Kieser, A.E. Litherland, *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 29 (2015) 115-118

# DISPERZNÁ EXTRAKCIA TUHOU FÁZOU VYUŽÍVAJÚCA NANOČASTICE KOVŮV NA SEPARÁCIU A PREKONCENTRÁCIU ULTRASTOPOVÝCH PRVKOV PRED ICH SPEKTROMETRICKOU KVANTIFIKÁCIU

**Ingrid Hagarová**

Univerzita Komenského v Bratislave,  
Prírodovedecká fakulta, Ústav laboratórneho  
výskumu geomateriálov, Mlynská dolina,  
Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava  
ingrid.hagarova@uniba.sk

## Abstrakt

Disperzná extrakcia tuhú fázou (DSPE) využívajúca rôzne nanomateriály na separáciu a prekoncentráciu rôznych (ultra)stopových analytov z rôznych komplexných matric patrí nepochybne medzi stále sa rozvíjajúce extrakčné techniky. Súvisí to s možnosťou použiť širokú škálu nanomateriálov s ich unikátnymi fyzikálno-chemickými vlastnosťami, možnosťou ich povrchovej modifikácie a v neposlednom rade s možnosťou miniaturizácie a automatizácie navrhnutých extrakčných postupov. Cieľom tohto príspevku je uviesť príklady spojenia DSPE postupov (v ktorých boli použité nanočastice kovov) so spektrometrickými metódami, ktoré viedli k spoľahlivej kvantifikácii ultrastopových prvkov v komplexných reálnych matriciach.

## Kľúčové slová

Disperzná extrakcia tuhú fázou, nanočastice kovov, spektrometrické metódy, ultrastopová analýza prvkov.

## 1. Úvod

Medzi separačnými technikami, ktoré v spojení s kvantifikačnými metódami vedú k získaniu spoľahlivých výsledkov, narastá popularita relatívne jednoduchých extrakčných postupov. Z nich je stále zvyšujúca sa pozornosť venovaná extrakcii tuhú fázou (*Solid phase extraction*, SPE). Je to predovšetkým kvôli možnosti dosiahnuť vysoké extrakčné výťažnosti a vysoké prekoncentračné faktory. Okrem uvedených výhod je možné v porovnaní s klasickou

extrakciou v systéme kvapalina-kvapalina (*Liquid-liquid extraction*, LLE) navrhnuť rýchlejšie postupy a značne znížiť spotrebu organických činidiel.

V klasickom prevedení SPE môže byť použitý sorbent umiestnený v určitom kartridži, striekačke alebo minikolóne. V takomto „kolónovom usporiadaní“ môže dochádzať k vylúhovaniu použitého sorbentu, vytváraniu určitých kanálov v použitom sorbente alebo k upchatiu kolóny, čo môže mať za následok predĺženie extrakčného procesu a/alebo zníženie jeho účinnosti. V snahe minimalizovať tieto obmedzenia boli navrhnuté membránové extrakčné disky s rovnomerne rozmiestnenými časticami sorbentu v určitej inertnej matici.

Inou alternatívou SPE, pri ktorej je tuhý sorbent pridávaný priamo do kvapalnej vzorky, je tzv. disperzná extrakcia tuhú fázou (*Dispersive solid phase extraction*, DSPE). V tomto prípade blízky kontakt medzi časticami sorbentu a analytom je pozitívnym aspektom pre kinetiku sorpcie, čo vedie k zvýšeniu účinnosti extrakčného procesu. DSPE je v súčasnosti spájaná s novodobým akronymom QuEChERS, ktorý v sebe ukrýva tieto pozitívne vlastnosti daného postupu: rýchly (*Quick*), jednoduchý (*Easy*), lacný (*Cheap*), účinný (*Effective*), robustný (*Rugged*) a bezpečný (*Safe*) [1].

V súčasnosti sa v DSPE postupoch využívajú rôznorodé materiály, čo sa týka zloženia, ale aj rozmerov. Stále väčší záujem je však venovaný materiálom nanometrických rozmerov. Je to spôsobené ich značným povrchom, značnou chemickou aktivitou, značnou adsorpčnou kapacitou, rýchlou adsorpčnou dynamikou a dobrou mechanickou a chemickou stabilitou. Možnosť ich povrchovej modifikácie je ďalšou výhodou, ktorá môže viesť k vývoju účinných DSPE postupov vhodných na separáciu a prekoncentráciu rôznych analytov v širokej škále analytických aplikácií.

## 2. Disperzia v DSPE

Efektívna disperzia sorbentu v kvapalnej vzorke je nepochybne najdôležitejším krokom vo vypracovávanom DSPE postupe. Docieliť ju možno buď použitím externého zdroja energie alebo použitím vhodného chemického činidla [1]. Do prvej skupiny možno zaradiť disperziu podporovanú ultrazvukom (*Ultrasound-*

*assisted* DSPE, UA-DSPE), mechanickým miešaním, tzv. vortexom (*Vortex-assisted* DSPE, VA-DSPE) alebo vzduchom (*Air-assisted* DSPE, AA-DSPE). V prípade chemickej disperzie možno použiť určité vhodné kvapalné činidlo (*Solvent-assisted* DSPE, SA-DSPE) alebo tablety obsahujúce najčastejšie uhličitan sodný spolu so sorbentom, čo pri ich použití vedie k vzniku CO<sub>2</sub>, čo má za následok efektívnu disperziu použitého sorbentu (*Effervescence-assisted* DSPE, EA-DSPE).

### 3. Princíp DSPE

Princíp DSPE postupu možno v skratke zhrnúť nasledovne. Ku kvapalnej vzorke v extrakčnej nádobe je pridaný tuhý sorbent (v súčasnosti sú často používané hmotnosti rádovo v desiatkach alebo jednotkách mg, no možno nájsť aj práce, v ktorých sú používané stovky, prípadne desiatky µg), pričom nasleduje disperzia sorbentu jednou z možností spomenutých v predchádzajúcom texte. Táto časť postupu trvá určitý, vhodne zvolený čas. Po uplynutí tohto času nasleduje separácia sorbentu spolu so sledovaným analytom, najčastejšie s použitím centrifugácie a/alebo filtrácie. Po separácii fáz sa zvyčajne na sorbent s cieľovým analytom aplikuje vhodné elučné činidlo a nasleduje kvantifikácia analytu v eluáte. Snaha vynechať centrifugáciu viedla k návrhu postupov s využitím magnetických sorbentov, kde sa separácia fáz uskutočňuje s využitím externého magnetického poľa. V tomto prípade hovoríme o magnetickej extrakcii tuhou fázou (*Magnetic solid phase extraction*, MSPE) [2].

### 4. Nanomateriály v DSPE

Podľa pôvodu možno nanomateriály rozdeliť na dve základné skupiny, a to na prírodné a syntetické. Čo sa týka chemického zloženia možno nanomateriály rozdeliť na anorganické, organické a zmesné organicko-anorganické [3]. Podľa homogenity môže ísť o materiály jednoduché alebo hybridné. Zatiaľ čo jednoduché monofunkčné nanomateriály ponúkajú možnosť využiť jednu funkciu, hybridné nanomateriály dokážu zvýšiť extrakčnú účinnosť vďaka spolupôsobeniu viacerých efektov súčasne. V posledných

rokoch vedie vývoj v tejto oblasti k návrhu stále nových a nových hybridných nanomateriálov [4].

Podľa štruktúry možno nanomateriály rozdeliť na tri základné skupiny, a to na nanočastice (*Nanoparticles*, NPs), nanovrstvy (*Nanolayers*, NLs) a nanotrubic (*Nanotubes*, NTs). Medzi rôznymi typmi nanočastíc možno nanočastice obsahujúce kovy (napr. Au, Ag, Cu, Fe), nanočastice obsahujúce oxidy kovov (napr. TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, ZnO, CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>x</sub>O<sub>y</sub>), ako aj iné nanočastice obsahujúce kovy ako napríklad kvantové bodky (*Quantum dots*, QDs; napr. CdSe, ZnS) klasifikovať ako nanočastice kovov (*Metallic nanoparticles*, MNPs) [5].

V nasledujúcom texte budú uvedené príklady aplikácií, v ktorých boli použité nanočastice kovov v DSPE postupoch; pričom vypracované extrakčné postupy v spojení so spektrometrickými metódami (atómovou absorpčnou spektrometriou s plameňovou atomizáciou, FAAS; atómovou absorpčnou spektrometriou s elektrotermickou atomizáciou, ETAAS; atómovou absorpčnou spektrometriou s generovaním studených pár, CVAAS; optickou emisnou spektrometriou s indukčne viazanou plazmou, ICP-OES; UV/Vis spektrofotometriou) viedli k spoľahlivej separácii, prekoncentracii a následnej kvantifikácii ultrastopových prvkov v rôznych komplexných maticiach.

### 5. Príklady DSPE postupov využívajúcich nanočastice kovov

Nanočastice obsahujúce ušľachtilé kovy, najmä striebro alebo zlato, sú vďaka silnej afinite k ortuti, značne využívané pri separácii a prekoncentracii ako jej anorganických, tak aj organických špecií [6-9].

Využitie nanočastíc striebra (*Silver nanoparticles*, AgNPs) v UA-DSPE postupe pre separáciu a prekoncentraciu Hg<sup>2+</sup> iónov z prírodných vôd opísali Krawczyk a Stanisz [7]. Ich kvantifikačnou metódou bola ETAAS s kontinuálnym zdrojom žiarenia s vysokým rozlíšením (*High-resolution continuum source*, HR-CS). V uvedenom spojení dosiahli po optimalizácii podmienok experimentu medzi dôkazom (*Limit of detection*, LOD) 5 ng.l<sup>-1</sup>.

Nanočastice obsahujúce oxidy kovov ponúkajú značnú termálnu, mechanickú a chemickú stabilitu [10-13], čo spolu so značným



špecifickým povrchom a značnou adsorpčnou kapacitou vedie k ich využitiu v rôznych analytických aplikáciách. Oxidy kovov  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$  alebo  $\text{ZrO}_2$  majú amfotérne vlastnosti [14-23], pri ktorých voľba vhodných experimentálnych podmienok môže viesť k návrhu postupov na separáciu a prekoncentráciu analytov prítomných v kationovej, ale aj aniónovej forme.

Nanočastice  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (*Aluminium oxide nanoparticles*,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{NPs}$ ) využili vo svojej práci Nyaba a kol. [24]. Povrch použitých nanočastíc modifikovali pomocou Aliquat-336 (kvartérna amóniová soľ). Vypracovaný postup poslúžil na selektívnu separáciu a prekoncentráciu anorganického  $\text{Se(IV)}$  z riečnych vôd. V spojení s ICP-OES dosiahli LOD pre sledovaný analyt  $1,4 \text{ ng.l}^{-1}$  pri obohacovacom faktore 850. V ďalšej práci [25] bol použitý  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{NPs}$  modifikovaný ligandom obsahujúcim kyslík, dusík a síru, čo umožnilo vypracovať postup pre separáciu a prekoncentráciu anorganického  $\text{As(III)}$ . Po optimalizácii experimentálnych podmienok bol dosiahnutý prekoncentračný faktor 750 a v spojení s ETAAS boli dosiahnuté LOD  $1,81 \text{ ng.l}^{-1}$  pre  $\text{As(III)}$  a  $1,97 \text{ ng.l}^{-1}$  pre celkový  $\text{As}$  (kvantifikovaný po redukcii  $\text{As(V)}$  na  $\text{As(III)}$ ). Validovaný postup v tomto prípade poslúžil na selektívnu kvantifikáciu  $\text{As(III)}$  z rôznych typov prírodných vôd (pitné, minerálne, riečne, morské).

Spoločlivé stanovenie stopových koncentrácií  $\text{Ge}$  v rôznych vzorkách potravín bolo cieľom práce [26], v ktorej bol ako sorbent použitý  $\text{ZnO}$  nanometrických rozmerov (*Zinc oxide nanoparticles*,  $\text{ZnONPs}$ ). Autori využili spojenie UA-DSPE a HR-CS ETAAS. Zatiaľ čo v ich predchádzajúcej práci [7] bol sorbent po extrakcii rozpustený v  $7 \text{ M HNO}_3$ , v tejto práci [26] autori využili možnosť dávkovania jemnej suspenzie  $\text{ZnONPs}$  spolu s nasorbovaným analytom priamo do elektrotermického atomizátora. Dosiahli LOD  $3 \text{ ng.l}^{-1}$  pri prekoncentračnom faktore 15.

Sorpčné vlastnosti  $\text{TiO}_2$  nanometrických rozmerov (*Titanium dioxide nanoparticles*,  $\text{TiO}_2\text{NPs}$ ) našli využitie v extrakčných postupoch pri separácii a prekoncentracii rôznych stopových prvkov. Ich použitie možno nájsť ako v kolónovom usporiadaní [27-29], tak aj v disperznom prevedení

[30,31]. Príkladom UA-DSPE postupu je práca, kde v spojení s metódou CVAAS bolo možné dosiahnuť spoločlivú separáciu, prekoncentráciu a následnú kvantifikáciu celkovej  $\text{Hg}$  v biologických a geologických vzorkách, ale aj selektívnu separáciu a prekoncentráciu  $\text{Hg}^{2+}$  iónov a metylortute vo vzorkách prírodných vôd [32]. Aj v tejto práci možno vyzdvihnúť tú skutočnosť, že po extrakcii nebola potrebná elúcia analytu. Pri prekoncentračnom faktore 35 autori dosiahli LOD  $4 \text{ ng.l}^{-1}$ .

Zirkón a jeho zlúčeniny nepochybne nachádzajú využitie aj v súčasnej modernej analytickej chémii [33]. Príklady použitia  $\text{ZrO}_2$  nanometrických rozmerov (*Zirconium dioxide nanoparticles*,  $\text{ZrO}_2\text{NPs}$ ) ako sorbentu pre rôzne stopové prvky možno nájsť v mikrokolónach [34,35], ale aj v disperzných prevedeniach [36,37]. Zheng a kol. [36] opísali postup, pri ktorom boli  $\text{ZrO}_2\text{NPs}$  využité na separáciu a prekoncentráciu  $\text{Ti(IV)}$  z prírodných vôd pred jeho spektrofotometrickou kvantifikáciou. Po optimalizácii podmienok experimentu dosiahli LOD  $0,1 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ .

Selektívnu separáciu dvoch rôznych špecií chrómu, a to  $\text{Cr(III)}$  a  $\text{Cr(VI)}$  s využitím  $\text{ZrO}_2\text{NPs}$  opísali Procházková a kol. [37]. Autori využili priame dávkovanie jemnej suspenzie použitého sorbentu spolu s nasorbovaným analytom do elektrotermického atomizátora. Pri prekoncentračnom faktore 25 dosiahli v spojení s ETAAS LOD pre  $\text{Cr(III)}$   $0,48 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$  a pre  $\text{Cr(VI)}$   $0,27 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ . Vypracované postupy boli použité pri kvantifikácii uvedených špecií  $\text{Cr}$  v syntetickej vode, ale aj v rôznych typoch prírodnej vody.

Nedávno boli publikované práce, ktoré opisujú využitie nanočastíc zirkónu (*Zirconium nanoparticles*,  $\text{ZrNPs}$ ) vo VA-DSPE postupoch na separáciu a prekoncentráciu celkového  $\text{Sb}$  [38] a celkového  $\text{Se}$  [39] zo vzoriek čaju. Kvantifikačnou metódou v oboch prípadoch bola FAAS s použitím štrbinovej kremennej trubice (*Slotted quartz-tube*, SQT). V prípade  $\text{Sb}$  použili autori obohacovací faktor 180, čo následne v spojení VA-DSPE a SQT-FAAS viedlo k dosiahnutiu LOD  $8 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$  [38]. V prípade  $\text{Se}$  bol obohacovací faktor 415 a dosiahnuté LOD v rovnakom spojení separačnej techniky a kvantifikačnej metódy bolo  $5,3 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$  [39].

## 6. Záver

Disperzná extrakcia tuhou fázou je nepochybne zavedenou, ale aj stále sa rozvíjajúcou separačnou technikou, a to predovšetkým vďaka svojej jednoduchosti, rýchlosti a efektívnosti. Vyplýva to z jej základného princípu, ktorým je disperzia sorbentu vo vzorke, čo umožňuje využiť maximum sorpčnej kapacity použitého materiálu, ako aj urýchlenie extrakčného procesu. Všestrannosť tejto separačnej techniky súvisí so širokou škálou sorbentov, ktoré môžu byť v postupoch využité. Možnosť ich modifikácie vedie k vývoju selektívnych a vysoko účinných postupov na separáciu a prekoncentráciu rôznych analytov v širokej škále analytických aplikácií. V tomto krátkom prehľade boli uvedené predovšetkým práce, v ktorých boli vypracované spoľahlivé DSPE postupy využívajúce MNPs bez ich špeciálnej modifikácie. Dosiahnuté LOD v jednotkách  $\text{ng.l}^{-1}$  naznačujú, že validované DSPE postupy majú analytický potenciál a v spojení s bežne dostupnými spektrometrickými metódami môžu byť využité pri kvantifikácii prvkov na ultrastopovej úrovni aj v reálnych matriciach, či už environmentálnych, biologických, potravinových, ale aj mnohých iných.

*Práca vznikla v rámci projektu VEGA 1/0153/17.*

## Literatúra

1. A. Chisvert, S. Cárdenas, R. Lucena, TrAC Trends Anal. Chem. 112 (2019) 226-233
2. I. Hagarová, J. Anal. Methods Chem. (2020) 8847565
3. J.Y. Tian, J.Q. Xu, F. Zhu, T.B. Lu, C.Y. Su, G.F. Ouyang, J. Chromatogr. A 1300 (2013) 2-16
4. K. Pyrzynska, Talanta 212 (2020) 120784
5. I. Hagarová, Anal. Methods 9 (2017) 3594-3601
6. K. Dastafkan, M. Khajeh, M. Ghaffari-Moghaddam, M. Bohlooli, TrAC Trends Anal. Chem. 64 (2015) 118-126
7. M. Krawczyk, E. Stanisz, J. Anal. At. Spectrom. 30 (2015) 2353-2358
8. Y.Q. Lei, F. Zhang, P. Guan, P.R. Guo, G.H. Wang, New J. Chem. 44 (2020) 14299-14305
9. Z.L. Huang, S.X. Chen, Y.L. Wang, T. Li, Mater. Res. Express 7 (2020) 035017
10. M. Šebesta, M. Kolenčík, P. Matúš, L. Kořenková, Chem. Listy 111 (2017) 322-328
11. M. Šebesta, P. Matúš, Spravodaj SSS 25 (2018) 30-34
12. M. Šebesta, P. Matúš, Chem. Listy 112 (2018) 583-589
13. M. Šebesta, P. Matúš, Spravodaj SSS 26 (2019) 2-6
14. I. Hagarová, P. Matúš, M. Bujdoš, J. Kubová, Acta Chim. Slov. 59 (2012) 102-108
15. I. Hagarová, P. Matúš, M. Bujdoš, L. Čanecká, Chem. Listy 106 (2012) 136-142
16. F. Polák, M. Urik, M. Bujdoš, P. Uhlík, P. Matúš, J. Inorg. Biochem. 181 (2018) 162-168
17. M. Kolenčík, D. Ernst, M. Komár, M. Urik, M. Šebesta, E. Dobročka, I. Černý, R. Illa, R. Kanike, Y. Qian, H. Feng, D. Orlová, G. Kratošová, Nanomaterials 9 (2019) 1559
18. M. Šebesta, M. Kolenčík, M. Urik, M. Bujdoš, I. Vávra, E. Dobročka, J. Smilek, M. Kalina, P. Diviš, M. Pavúk, M. Miglierini, G. Kratošová, P. Matúš, J. Nanosci. Nanotechnol. 19 (2019) 3024-3030
19. M. Šebesta, L. Nemček, M. Urik, M. Kolenčík, M. Bujdoš, I. Vávra, E. Dobročka, P. Matúš, Sci. Total Environ. 700 (2020) 134445
20. M. Kolenčík, D. Ernst, M. Urik, E. Ďurišová, M. Bujdoš, M. Šebesta, E. Dobročka, S. Kšiňan, R. Illa, Y. Qian, H. Feng, I. Černý, V. Holišová, G. Kratošová, Nanomaterials 10 (2020) 1619
21. M. Šebesta, M. Urik, M. Bujdoš, M. Kolenčík, I. Vávra, E. Dobročka, H. Kim, P. Matúš, J. Fungi 6 (2020) 210
22. L. Nemček, M. Šebesta, M. Urik, M. Bujdoš, E. Dobročka, I. Vávra, Plants-Basel 9 (2020) 1365
23. M. Šebesta, M. Urik, M. Kolenčík, M. Bujdoš, P. Matúš, Forests 11 (2020) 1077
24. L. Nyaba, J.M. Matong, K.M. Dimpe, P.N. Nomngongo, Talanta 159 (2016) 174-180
25. S. Hassanpoor, G. Khayatian, A.R.J. Azar, Microchim. Acta 182 (2015) 1957-1965
26. E. Stanisz, M. Krawczyk-Coda, Microchem. J. 132 (2017) 136-142
27. P. Liang, T.Q. Shi, H.B. Lu, Z.C. Jiang, B. Hu, Spectrochim. Acta, Part B 58 (2003) 1709-1714
28. C.Z. Huang, Z.C. Jiang, B. Hu, Talanta 73 (2007) 274-281
29. P. Liang, B. Hu, Z.C. Jiang, Y.C. Qin, T.Y. Peng, J. Anal. At. Spectrom. 16 (2001) 863-866
30. P. Matúš, I. Hagarová, M. Bujdoš, P. Diviš, J. Kubová, J. Inorg. Biochem. 103 (2009) 1473-1479
31. I. Hagarová, M. Bujdoš, P. Matúš, Fresenius Environ. Bull. 21 (2012) 3568-3574
32. M. Krawczyk, E. Stanisz, Talanta 161 (2016) 384-391
33. N.V. Pechishcheva, K.Y. Shunyaev, O.V. Melchakova, Rev. Anal. Chem. 37 (2018) 20170016
34. J. Sabo Suleiman, B. Hu, X. Pu, C. Huang, Z. Jiang, Microchim. Acta. 159 (2007) 379-385
35. Y. Ren, Z. Fan, J. Wang, Microchim. Acta. 158 (2007) 227-231
36. F.Y. Zheng, S.X. Li, L.X. Lin, L.Q. Cheng, J. Hazard. Mater. 172 (2009) 618-622
37. S. Procházková, K. Kriegerová, I. Boháčová, R. Halko, J. Environ. Anal. Chem. 99 (2019) 157-171
38. N.E. Karlidag, M. Toprak, Z. Tekin, S. Bakirdere, J. Food Compos. Anal. 92 (2020) 103583
39. N.E. Karlidag, E.S. Kocoglu, M. Toprak, O. Yilmaz, S. Bakirdere, Food Chem. 329 (2020) 127210

BUDÚCE ODBORNÉ AKCIE

SLOVENSKO A ČESKÁ REPUBLIKA

**Kurz vibračních spekter**

leden 2021

Praha, ČR

<http://www.spektroskopie.cz>

**Kurz ICP**

květen 2021

Brno, ČR

<http://www.spektroskopie.cz>

**Seminář Radioanalytické metody**

květen 2021

Pardubice, ČR

<http://www.spektroskopie.cz>

**Workshop Speciační analýza**

červen 2021

Skalka, ČR

<http://www.spektroskopie.cz>

ZAHRANIČIE

**Mezinárodní konference Hutní a  
průmyslová analytika 2020**

duben 2021

Ustroň, Polsko

<http://www.2theta.cz>

**11th International Conference on Advanced  
Vibrational Spectroscopy**

22-27 August 2021

Krakow, Poland

<http://icavs.org/gb>

**European Conference on Nonlinear Optical  
Spectroscopy**

30 May - 2 June 2021

Karlsruhe, Germany

<http://econos-online.org>

**14th International Conference on  
Synchrotron Radiation Instrumentation**

30 August - 3 September 2021

Hamburg, Germany

<https://www.sri2021.eu>

**European Conference on X-Ray  
Spectrometry**

27 June - 2 July 2021

Bruges, Belgium

<https://www.uantwerpen.be/en/conferences/exrs-2021>

**17th Conference on Methods and  
Applications of Fluorescence**

5-8 September 2021

Göteborg, Sweden

<https://maf2020.org>

**XXVII International Conference on Raman  
Spectroscopy**

1-6 August 2021

Rome, Italy

<http://icors2020.com>

**22nd Polish-Slovak-Czech Optical  
Conference on Wave and Quantum Aspects  
of Contemporary Optics**

13-17 September 2021

Wajonow Palace, Poland

<https://psc2020.pwr.edu.pl>

**35th European Congress on Molecular  
Spectroscopy**

15-19 August 2021

Jyväskylä, Finland

<https://www.jyu.fi/en/congress/eucmos2020>

**International Conference on Particle  
Induced X-ray Emission**

9-15 October 2021

Toyama, Japan

<https://ion-beam.jp/pixe2021>

OZNAMY, PONUKY, POŽIADAVKY

ČLENSKÉ POPLATKY

Členský poplatok za rok 2020 vo výške 5 EUR pre individuálnych členov alebo vo výške 50 EUR pre kolektívnych členov, prosím, uhradte na účet SSS v Tatra banke (Hodžovo námestie 3, 811 06 Bratislava), pobočka Karloveská 1, 841 04 Bratislava, č. ú.: **2921888728**, kód banky: **1100**, IBAN: **SK701100000002921888728**, BIC/SWIFT: **TATRSKBX**. V poznámke pre príjemcu **nezabudnite uviesť svoje meno a názov organizácie**.

Ďalej prosíme členov, ktorí ešte nezaplatili členské za predchádzajúce roky, aby tak urobili čo najskôr.

Ďakujeme.

*Hlavný výbor SSS*

LITERATÚRA

**Slovenská spektroskopická spoločnosť ponúka na predaj:**

1. J. Dědina, M. Fara, D. Koliňová, J. Korečková, J. Musil, E. Plško, V. Sychra: Vybrané metody analytické atomové spektrometrie, ČSSS, Praha, 1987
2. M. Hoenig, A.M. de Kersabiec: Ako zabezpečiť kvalitu výsledkov v atómovej absorpčnej spektrometrii s elektrotermickou atomizáciou?, SSS, Bratislava, 1999
3. E. Krakovská (Ed.): Contemporary State, Development and Applications of Spectroscopic Methods (Proceedings of 4<sup>th</sup> European Furnace Symposium and XV<sup>th</sup> Slovak Spectroscopic Conference), VIENALA, Košice, 2000
4. E. Krakovská, H.-M. Kuss: Rozklady v analytickej chémii, VIENALA, Košice, 2001
5. J. Kubová, I. Hagarová (Eds.): Book of Abstracts (XVIII<sup>th</sup> Slovak Spectroscopic Conference), Comenius University, Bratislava, 2006
6. J. Kubová (Ed.): A special issue of Transactions of the Universities of Košice, 2-3, 2006 (Proceedings of XVIII<sup>th</sup> Slovak Spectroscopic Conference), Technical University, Košice, 2006
7. M. Bujdoš, P. Diviš, H. Dočekalová, M. Fišera, I. Hagarová, J. Kubová, J. Machát, P. Matúš, J. Medved', D. Remeteiová, E. Vitoulová: Špeciácia, špeciálna analýza a frakcionácia chemických prvkov v životnom prostredí, Univerzita Komenského, Bratislava, 2008
8. J. Kubová, M. Bujdoš (Eds.): Book of Abstracts (XIX<sup>th</sup> Slovak-Czech Spectroscopic Conference), Comenius University, Bratislava, 2008
9. J. Kubová (Ed.): A special issue of Transactions of the Universities of Košice, 3, 2008 (Proceedings of XIX<sup>th</sup> Slovak-Czech Spectroscopic Conference), Technical University, Košice, 2008
10. K. Flórián, H. Fialová, B. Palaščáková (Eds.): Zborník (Výberový seminár o atómovej spektroskopii), Technická univerzita, Košice, 2010
11. J. Kubová, M. Bujdoš (Eds.): Book of Abstracts (European Symposium on Atomic Spectrometry ESAS 2012 / XX<sup>th</sup> Slovak-Czech Spectroscopic Conference), Comenius University, Bratislava, 2012

Cena publikácií č. 1-3, 5, 6, 8-11: 5 EUR + balné a poštovné

Cena publikácií č. 4, 7: 10 EUR + balné a poštovné

## PRÍSTROJE A CHEMIKÁLIE

SSS si dovoľuje požiadať všetky pracoviská, na ktorých sa nachádza prebytočná laboratórna technika (najmä spektrometre – funkčné i

nefunkčné), resp. prebytočné zásoby chemikálií, aby ich prostredníctvom našej komisie ponúkli iným pracoviskám.

### SÚŤAŽ

#### Výsledky 12. kola Súťaže vedeckých prác mladých spektroskopikov za roky 2019 a 2020

Výsledky boli vyhlásené 14. 12. 2020 v Bratislave:

##### *1. cena*

**Michaela Matulová:** za súbor 2 vedeckých prác o využití spektrometrických metód pri štúdiu sorpcie selénu na goethit

##### *2. cena*

**Bence Farkas:** za súbor 2 vedeckých prác o využití spektrometrických metód pri hodnotení mobility antimónu a arzenu spojenej s biotransformáciou oxidov železa a mangánu

##### *3. cena*

**Zuzana Goneková:** za súbor 2 vedeckých prác o využití spektrometrických metód v chemickej analýze prírodných okrov a zvieracích kostí

## SLOVENSKÁ SPEKTROSKOPICKÁ SPOLOČNOSŤ

vyhlasuje na roky 2021 a 2022

### 13. kolo

#### Súťaže vedeckých prác mladých spektroskopikov

Do súťaže môže byť poslaný článok alebo súbor článkov autora, ktorý v príslušnom roku 2021/2022 nepresiahne vek 35 rokov. Článok alebo súbory článkov na spektroskopickú tému publikované v období 2021-2022 treba poslať na adresu SSS do 30. septembra 2022. Akceptované sú experimentálne články, ktoré boli publikované alebo prijaté redakčnou radou niektorého vo *Web of Science Core Collection* impaktovaného vedeckého časopisu. V prípade spoluautorstva sa žiada

čestné prehlásenie autora o jeho podiele na publikácii. Okrem uznania a spoločenského ocenenia je súťaž aj finančne dotovaná z prostriedkov SSS. Oceneným autorom bude navyše udelené aj jednoročné členstvo v SSS. Výsledky súťaže budú vyhlásené na príslušnom odbornom podujatí v roku 2022 a zverejnené v Spravodaji SSS.

*Peter Matúš*

INZERCIA

*Využite možnosť výhodnej inzercie v Spravodaji Slovenskej spektroskopickej spoločnosti!*

Cenník inzercie v Spravodaji SSS

Formát	Cena/EUR
jedna strana (A4)	100
polovica strany (A5)	75
štvrtina strany (A6)	50

Spravodaj SSS je vedecký časopis zameraný na výskum a vzdelávanie v oblasti spektroskopie a spektrometrie na Slovensku.

Spravodaj SSS vydáva Slovenská spektroskopická spoločnosť, člen Zväzu slovenských vedecko-technických spoločností. Vychádza v slovenskom, českom alebo anglickom jazyku dvakrát ročne.

Adresa redakcie:

ULVG PriF UK, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4  
tel. č.: 02/60296280, e-mail: [sss@spektroskopia.sk](mailto:sss@spektroskopia.sk)  
<http://www.spektroskopia.sk>

Redakčná rada:

doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.  
prof. Ing. Karol Flórián, DrSc.  
prof. RNDr. Alžbeta Hegedúsová, PhD.  
doc. RNDr. Jana Kubová, PhD.; predsedníčka  
doc. RNDr. Peter Matúš, PhD.; zodpovedný redaktor  
Ing. Monika Ursínyová, PhD.  
doc. Ing. Viera Vojteková, PhD.

Redakčná úprava: doc. RNDr. Peter Matúš, PhD.

**ISSN 1338-0656**