

**Prírodovedecká fakulta, Univerzity Komenského v Bratislave,
Katedra jadrovej chémie**

GEMINI, združenie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave

Slovenská nukleárna spoločnosť, člen ZSVTS

Slovenská chemická spoločnosť, Odborná skupina Jadrová chémia a rádioekológia

**JADROVÁ CHÉMIA V ŠKOLSTVE,
VÝSKUME, PRIEMYSE A PREVÁDZKE
JADROVÝCH ELEKTRÁRNÍ**



**Zborník príspevkov z medzinárodného odborného seminára
organizovaného pri príležitosti 50. výročia založenia
Katedry jadrovej chémie Prírodovedeckej fakulty
Univerzity Komenského v Bratislave
20. – 22. september 2016
Študijné a kongresové stredisko Modra-Harmónia**

Slovenská nukleárna spoločnosť

2016

**Prírodovedecká fakulta, Univerzity Komenského v Bratislave,
Katedra jadrovej chémie**

**GEMINI, združenie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave
Slovenská nukleárna spoločnosť, člen ZSVTS**

Slovenská chemická spoločnosť, Odborná skupina Jadrová chémia a rádioekológia



Jadrová chémia v školstve, výskume, priemysle a prevádzke jadrových elektrární

**Zborník príspevkov z medzinárodného odborného seminára
organizovaného pri príležitosti 50. výročia založenia
Katedry jadrovej chémie Prírodovedeckej fakulty
Univerzity Komenského v Bratislave
20. – 22. september 2016
Študijné a kongresové stredisko Modra-Harmónia**

Slovenská nukleárna spoločnosť



2016

Jadrová chémia v školstve, výskume, priemysle a prevádzke jadrových elektrární

Zborník príspevkov z medzinárodného odborného seminára organizovaného pri príležitosti 50. výročia založenia Katedry jadrovej chémie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, 20. – 22. september 2016, Študijné a kongresové stredisko Modra-Harmónia

Odborný garant:

Prof. RNDr. Ľubomír Mátel, CSc.

Odborní recenzenti:

prof. Ing. Vasil Koprda, DrSc. - Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická univerzita v Bratislave
prof. Ing. Vladimír Nečas, PhD. - Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave

Vydavateľ:

Slovenská nukleárna spoločnosť, Trnava

Usporiadatelia konferencie

Prírodovedecká fakulta, Univerzity Komenského v Bratislave, Katedra jadrovej chémie
GEMINI, združenie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave
Slovenská nukleárna spoločnosť, člen ZSVTS
Slovenská chemická spoločnosť, Odborná skupina Jadrová chémia a rádioekológia

Vydanie:

Prvé

Miesto vydania:

Bratislava

Rok:

2016

Počet strán:

152 strán, 17 prezentácií, 453 fotografií, 21 videosekvencií

Náklad:

80 ks

Formát:

Elektronická kniha na DVD

© Katedra jadrovej chémie, Prírodovedecká fakulta, Univerzity Komenského v Bratislave
Všetky práva vyhradené.

Je zakázané kopírovať, rozmnožovať akékoľvek časti zborníka bez súhlasu vydavateľa. Príspevky autorov neprešli jazykovou úpravou a vydavateľ nezodpovedá za obsah príspevkov.

ISBN: 978-80-971498-8-8

EAN: 9788097149888

ISBN 978-80-971498-8-8



Sponzori



Obsah

Predslov <i>Ľubomír MÁTEL</i>	7
Príhovor dekana Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave <i>Milan TRIZNA</i>	9
Príhovor <i>Pavel POVINEC</i>	10
Príhovor <i>Vladimír NEČAS</i>	11
Príhovor <i>Jan JOHN</i>	12
Príhovor <i>Vasil KOPRDA</i>	13
Príhovor <i>Milan HUTTA</i>	14
História vzniku Katedry jadrovej chémie <i>Ľubomír MÁTEL</i>	15
50 rokov histórie Katedry jadrovej chémie PRiF UK z pohľadu jej vedeckej činnosti <i>Pavol RAJEC</i>	16
50 rokov výučby na Katedre jadrovej chémie PriF UK v Bratislave <i>Ol'ga ROSSKOPFOVÁ</i>	17
Radiochemical Research and Education Program at the Technical University in Ho-Chi-Minh City <i>Thang Manh NGO</i>	18
Radiolytic products of sulfamethoxazole in aqueous media <i>Nam D. LE, Trang T. T. LE, Tam V. T. MAI, <u>Thang M. NGO</u></i>	19
Ekonomická budúcnosť výroby elektriny z jadra <i>Juraj CHREN</i>	32
Investičný proces prípravy a výstavby JE a úloha dozorných orgánov <i>Jozef BELAŇ</i>	33

Aplikácie Univerzitného centra elektrónových urýchľovačov vo vede a priemysle <i>Peter HYBLER</i>	39
Analýza biologických tkanív pomocou Mössbauerovej spektrometrie <i>Ivana BONKOVÁ, Marcel MIGLIERINI, Marek BUJDOŠ</i>	46
Zkušenosti se stanovením tritia ve VÚV TGM Praha <i>Diana MAREŠOVÁ, Eduard HANSLÍK, Barbora SEDLÁŘOVÁ</i>	51
Od alchémie k superaktinoidom. Příprava, fyzikálno-chemické vlastnosti a hranice Periodickej sústavy prvkov <i>Jozef KURUC</i>	62
Preukázanie a stanovenie submikroskopických uránových častíc v environmentálnych vzorkách <i>Kristína SIHELSKÁ, Jan LORINČÍK, František SUS, Daniela VESELÁ</i>	107
Štúdium korózie odolnej oceli pomocou izotopu 57-Fe <i>Lukáš PAŠTEKA, Marcel MIGLIERINI</i>	108
Vplyv aniónov na sorpciu $^{99}\text{TcO}_4^-$ na Sn- hydroxyapatit <i>Andrea HAMAROVÁ, Olga ROSSKOPFOVÁ</i>	113
Sekvenčné stanovenie ^{99}Tc a ^{126}Sn v rádioaktívnych koncentrátoch <i>Veronika SILLIKOVÁ, Silvia DULANSKÁ</i>	121
Optimalizácia stanovenia ^{79}Se metódou destilácie <i>Bianka HORVÁTHOVÁ, Silvia DULANSKÁ, Boris REMENEC</i>	126
Fykoremediácia ^{137}Cs a ^{60}Co vybranými druhmi vodných mikrorias <i>Dominika TATAROVÁ, Dušan GALANDA, Jana STRIŠOVSKÁ</i>	133
Zakoncentrovanie ^{137}Cs z vôd pomocou modifikovaného sorbentu z drevokazných húb <i>Sabína PETERCOVÁ, Silvia DULANSKÁ, L. MÁTEL</i>	139
Zoznam autorov	147
Sponzori	149

Vážené kolegyne a kolegovia,

výročie 50 rokov založenia Katedry jadrovej chémie na pôde Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave je príležitosť zaspomínať si na obdobie jej vzniku, postupného vývoja, na spolupracovníkov, študentov, ale tiež na aktivity vo vedeckej a tiež v spoločenskej oblasti.

Za tieto roky sa udiali veľké zmeny v politickej orientácii štátov, dochádza k rozdeleniu Československa na dva samostatné štáty, prechod na nové storočie, neuveriteľné pokroky vo vedeckej oblasti, postupné prechody na nové komunikačné a informačné technológie. Jedno však zostáva nezmenené, a to snaha pedagógov a výskumných pracovníkov odovzdávať svoje vedomosti a skúsenosti poslucháčom štúdia vo všetkých študijných stupňoch.

Aj touto cestou sa chcem poďakovať všetkým kolegom, ale tiež domácim a zahraničným absolventom, ktorí sa svojou prácou zaslúžili o rozvoj katedry a vždy radi na ňu spomínajú ako rodičia na svoje deti.

Ďakujem všetkým, ktorí sa zúčastnili seminára z príležitosti výročia jej založenia a prispeli svojimi prezentáciami a fotografickou dokumentáciou k vzniku tejto publikácie.

prof. RNDr. Ľubomír Mátel, CSc.

vedúci katedry

Príhovor

doc. RNDr. Milan Trizna, PhD.

dekan
Prírodovedecká fakulta
Univerzity Komenského v Bratislave



Videosekvencia

Príhovor

prof. RNDr. Pavel Povinec, DrSc.

*Katedra jadrovej fyziky a biofyziky
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Univerzity Komenského v Bratislave*



Videosekvencia

Príhovor

prof. Ing. Vladimír Nečas, PhD.

*Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave*



Príhovor

prof. Ing. Jan John, CSc.

*vedúci katedry, predseda Českej chemickej spoločnosti
Katedra jaderné chemie
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
České vysoké učení technické v Praze*



Videosekvencia

Príhovor

prof. Ing. Vasil Koprda, DrSc.

*Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie
Slovenská technická univerzita v Bratislave*



Videosekvencia

Príhovor

prof. RNDr. Milan Hutta, CSc.

*vedúci katedry
Katedra analytickej chémie
Prírodovedecká fakulta
Univerzita Komenského v Bratislave*



Videosekvencia

História vzniku Katedry jadrovej chémie

Lubomír MÁTEL

*Katedra jadrovej chémie, Prírodovedecká fakulta,
Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovensko*



Prezentácia

Videosekvencia

50 rokov histórie Katedry jadrovej chémie PRiF UK z pohľadu jej vedeckej činnosti

Pavol RAJEC

*Katedra jadrovej chémie, Prírodovedecká fakulta,
Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovensko*



Prezentácia

Videosekvencia

50 rokov výučby na Katedre jadrovej chémie PriF UK v Bratislave

Ol'ga ROSSKOPFOVÁ

*Katedra jadrovej chémie, Prírodovedecká fakulta,
Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovensko*



Prezentácia

Videosekvencia

**Radiochemical Research and Education Program
at the Technical University in Ho-Chi-Minh City**

Thang Manh NGO

*Department of Physical and Analytical Chemistry,
Ho-Chi-Minh City University of Technology,
Ho-Chi-Minh City, Vietnam*



Prezentácia

Videosekvencia

RADIOLYTIC PRODUCTS OF SULFAMETHOXAZOLE IN AQUEOUS MEDIA

Le Nam D.^{1,2}, Le Trang T. T.³, Mai Tam V. T.⁴, Ngo Thang M.¹

¹*Department of Physico-chemical Engineering, HCM University of Technology,
Ho-Chi-Minh City, Vietnam*

²*Center for Analyzing, Classifying Imported & Exported Goods,
Ho-Chi-Minh City, Vietnam*

³*Key Lab of Chemical Technology, Vietnam National University, Ho-Chi-Minh City,
Vietnam*

⁴*Institute for Computational Science and Technology, Ho-Chi-Minh City, Vietnam*

⁵*Department of Biotechnology, International University, Ho-Chi-Minh City, Vietnam*

Email: 7140193@hcmut.edu.vn (NDL), hklam@hcmiu.edu.vn (LKH),
nmthang@hcmut.edu.vn (TMN)

Abstract

Radiolysis of sulfamethoxazole (SMX) have been investigated in aqueous samples with different initial compositions: $[SMX]_0$, (20 μ M $\div$ 140 μ M), pH_0 (2.0 $\div$ 11.0), $[H_2O_2]_0$ (0 $\div$ 10 mM), and absorbed doses D (0.3 kGy $\div$ 5.0 kGy). Five transformation products (TPs) of SMX were experimentally registered and evaluated by means of HPLC/UV and LC-QTOF-MS, respectively. Compared to SMX, they possess higher polarities as well as molar masses ($m/z = 270, 271, 286, 288, 304$) with $-OH$ group preferentially attached to the benzene ring. Structures of identified as TPs were optimized and their hydrophobicity abilities evaluated using the software Gaussian09 and ACD Labs, respectively, showing good accordance with their chromatographic retention times order. Under the experimental conditions investigated, no significant effects of the initial sample compositions on the TPs' identities were observed. With increasing the absorbed doses D up to about 1.0 kGy, the abundances of all 5 TPs increased. Further increasing the absorbed doses resulted in decreasing these abundances, reaching their non-detectable levels at $D = 5.0$ kGy. Based on the experimental and computational results, possible transformation schemes of SMX are briefly proposed and compared to the literature.

Keywords: Sulfamethoxazole, radiolysis, transformation products, transformation schemes, hydrophobicity

Antibiotic residues in surface- and groundwater has been a serious environmental issue [1-3]. As most antibiotics for human healthcare in Vietnam are still available without prescriptions, higher levels of antibiotic residues, e.g., sulfamethoxazole (SMX), were observed [4, 5]. SMX, whose structure is shown in Fig.1, belongs to the frequent targets of antibiotic treating efforts [6-12]. In general, SMX is considered persistent in natural waters as well as in conventional wastewater treatment procedures. For effective removal of SMX residues from water, advanced oxidation processes (AOPs) should be applied. The characteristic feature of AOPs is the *in-situ* generation of hydroxyl radicals $\bullet\text{OH}$, the most oxidative agent. On the other hand, the $\bullet\text{OH}$ groups react non-selectively with the sample components, resulting in a variety of intermediates and end-products through several reaction pathways. In many cases, values of total organic carbon (TOC) in the treated samples decreased substantially slower than that of the main target pollutant (i.e., SMX), indicating that the intermediates and/or end-products were even more persistent than their precursors is in question. From the viewpoint of water treatment/reuse, the organic pollutants should be mineralised. As the total mineralization of organic pollutants by AOPs is rarely achieved, details about the transformation pathways and their products (TPs) should be investigated and identified. Recently, the identities of TPs have been examined using various types of sophisticated mass spectrometers (MS) coupled to liquid chromatographs (LC). However, the published TPs might be different or even controversy, depending on the actual MS configuration in use and the analysts' skills [13, 14]. Besides, no comprehensive discussion had been devoted to retention times of the identified TPs, although they indicate an order of TPs' polarities.

The LC performed on analytical columns packed with a commercially available solid phase containing long hydrocarbon chains (C_{18}) chemically bound onto silica. The C_{18} hydrocarbon provides a hydrophobic micro-environment and compounds moving through this system, partition between the stationary (non-polar) and mobile (polar) phases according to their physicochemical properties. The chemicals are retained in proportion to their hydrocarbon – water partition coefficient, with water-soluble chemicals eluted first and oil-soluble chemicals last.

Gamma irradiation is a new alternative to the conventional AOPs in wastewater treatment as it also generates $\bullet\text{OH}$ in-situ. It is more advantageous compared to the conventional AOPs as virtually no further chemicals are necessary. Recently, two research groups have reported that quantitative removals of SMX from water were achieved after irradiation with doses of 1.0 kGy [11] or 5.0 kGy [12], respectively. However, according to Wang *et al.* [11] the TPs possess hydroxyl groups preferentially attached to isoxazole ring, while Sági *et al.* [12] concluded attaching to benzene ring is preferred.

Recently, computational science has become a powerful tool that helps to explain and predict experimental results; therefore, this paper presents a combined approach, experimentation and computation, to study the radiolysis of SMX. In particular, the experiments on radiolysis of SMX in water were carried out using HPLC/DAD and LC-TOF-MS, which is more suitable for identifying unknown TPs than MS detectors used in previous works [11-14]. Computationally, the molecule structures of SMX and its identified TPs were optimized using Gaussian09 [16], and consequently served to evaluate their hydrocarbon – water partition coefficients by means of ACD Labs method [17]. The calculated values $\log P$ were discussed with the corresponding experimental chromatographic retention times.

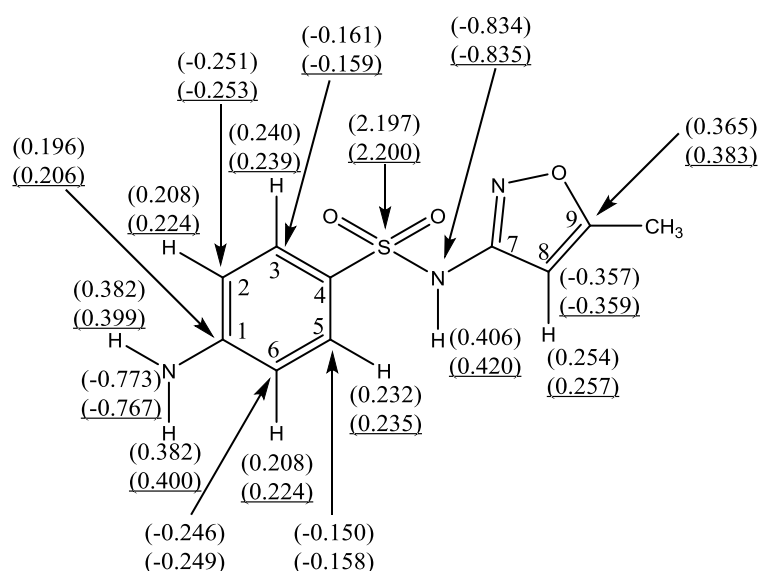


Figure 1 Sulfamethoxazole structure and its charge population for some presented atoms using natural bond orbital (NBO) [18, 19] approach, were obtained at B3LYP/6-311++G(d,p) [20, 21] level of theory in gas-phase. (The underlined values were calculated in water solvent using the polarizable continuum model (PCM) [22]).

Materials and Methods

All chemicals were of analytical grade, purchased from Merck and used without further purification: Sulfamethoxazole (99%), sulphuric acid (98%), nitric acid (65%), sodium hydroxide (>99%), hydrogen peroxide (30%). Formic acid and acetonitrile of LC/MS grade, and MQ water were used to prepare the mobile phase for LC analysis. Double distilled water was used to prepare the sample solutions.

Irradiation was performed in Center of Irradiation Technology – Nuclear Research Center Dalat, using 10 ml samples in tightly closed 12 mL - glass tubes and Gamma Chamber–5000 (BRIT, India) ^{60}Co with activity of 3000 Ci and dose rate of 2.8 kGy/h. Solutions were irradiated with 6 doses (0,3 kGy ÷ 5,0 kGy) and 3 replicates for statistic evaluation. All samples before and after irradiation were analyzed with HPLC/DAD. Several selected samples were analyzed with LC/ESI-TOF-MS.

HPLC/DAD analyses were performed using Agilent 1290 infinity series with reversed phase column Agilent Poroshell 120 EC–C18, (4,6 mm x 100 mm; 2,7 μm) and guard column Agilent Eclipse Plus C18 (2,1mm x 5 mm; 1,8 μm); the mobile phase was constant of $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN} = 85/15$ (v/v), flow-rate 1.0 ml/min, sample volume 20 μL . The wavelength of DAD was set at 270 nm.

LC/MS analyses were performed using Agilent 1290 infinity series LC-ESI-(Q)TOF–MS/MS G6530A with reversed phase column Agilent poroshell 120 C18 (4,6 mm x 250 mm; 2,7 μm) and guard column Agilent poroshell 120 EC – C18 (4,6 mm x 5 mm; 2,7 μm). The mobile phase was constant of 0,1% $\text{HCOOH}/\text{ACN} = 70 : 30$ (v/v), flow-rate 0.25 ml/min, sample volume 20 μL . Detector MS G6530A was set at positive mode, capillary voltage 3500 V, fragmentor voltage 200 V; drying gas temperature and flow-rate 365 $^{\circ}\text{C}$ and 12 L/min, respectively; nebulizer pressure 60 PSI, skimmer voltage 60V, scanning rate 2 spectra /s, duration 500 ms/spectrum, m/z range from 85 $\rightarrow$ 400.

The structure optimization of SMX and its identified TPs was performed using Gaussian09 [16]. Based on the structures obtained, their hydrocarbon-water partition coefficients, P , were calculated using the ACD Labs program by additive-constitutive method [17]. For the retention time, according to Kaliszan *et al.* [15], the prediction of retention parameter from structure of analyte offers the following linear model:

$$t_R = k_1 + k_2' \log P, \quad (\text{eq. 1})$$

where t_R is retention parameter and k_1 and k_2 are regression coefficients. Consequently, a linear relationship between retention time and partition coefficient in forms of t_R vs. $\log P$ can be established.

Results and Discussion

The HPLC/DAD and LC/TOF-MS methods were optimized after systematic investigations and provided good reproducible results, both for retention times and peak areas. A linear calibration line in the form of SMX peak areas vs. -concentration in 0.1÷100 μM range was obtained with correlation coefficient R of almost identity (cf. Fig. 2).

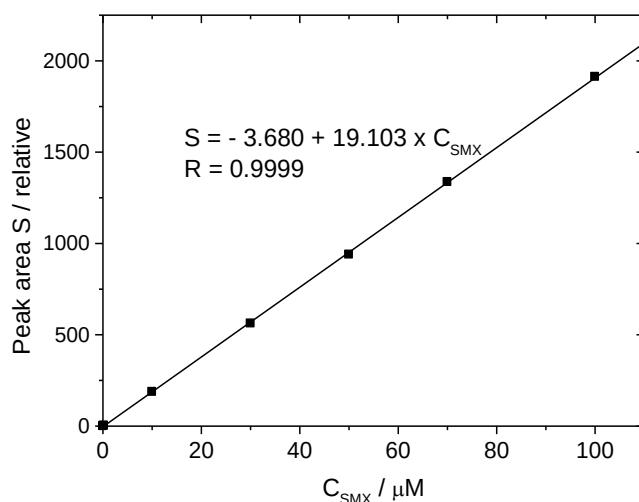


Figure 2 Calibration line for SMX quantification

Comparing to the literature values [11], the selected mobile phase composition of $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN} = 85/15$ (v/v) was slightly higher to get suitable retention times for SMX and peak resolution for its TPs. In general, higher ratios $\text{H}_2\text{O}/\text{ACN}$ in the mobile phase could negatively affect the method limit of quantification. Fig. 3 demonstrates the chromatogram of 0.1- μM SMX samples were still good reproducible. i.e. with this HPLC/DAD procedure, SMX removal yields up to 95% from 20- μM or 99.9% from 100- μM samples could be reliably quantified.

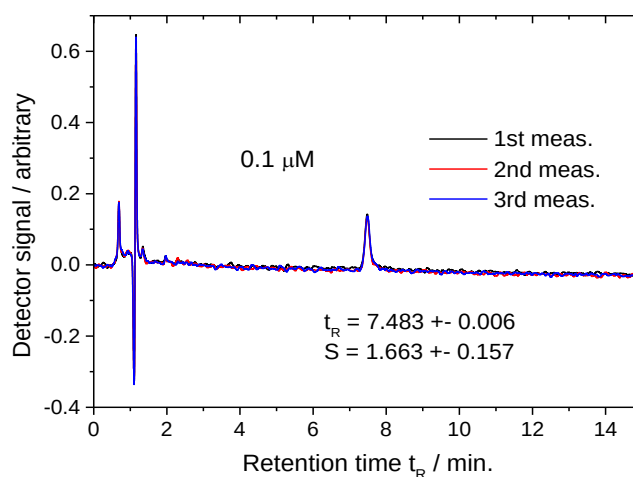


Figure 3 Chromatogram of 0.1-μM SMX sample

As shown in Fig.4, this method was able to trace up to 5 TP-peaks after different absorbed doses. Compare to SMX, all of them have shorter retention times, indicating less polar compounds. This finding was strengthened by the LC/TOF-MS results in Fig.5, as the elution order in both systems follows the same principle.

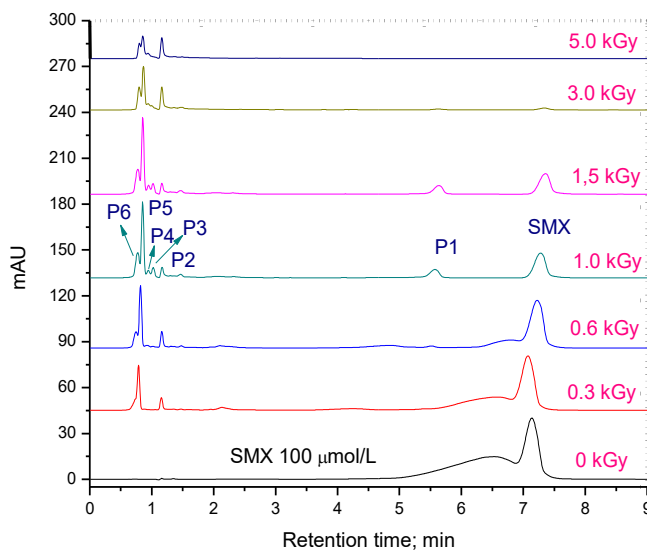


Figure 4 HPLC/DAD chromatogram of 100-μM SMX sample with different doses

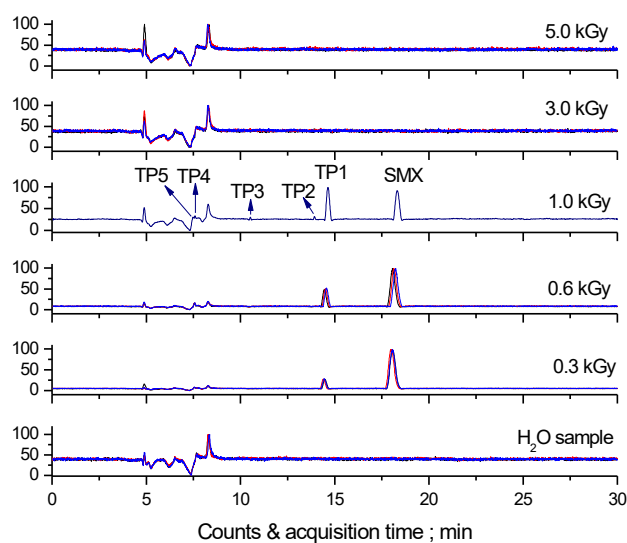


Figure 5 LC/TOF-MS chromatogram of 100- μ M SMX sample with 1.0-kGy doses

The results obtained by both methods further confirmed in 100- μ M SMX samples the 5 identified TPs accumulated with doses up to 1.0 kGy. Further increasing doses resulted in lowering the TPs signals, which disappeared at $3.0 \div 5.0$ kGy doses (compare with the signal for pure water sample). Moreover, the peak resolution in Fig.5 is much better than in Fig.4. The reproducibility of retention times evaluated from 3 replicates is also reasonable, (cf. Table 1).

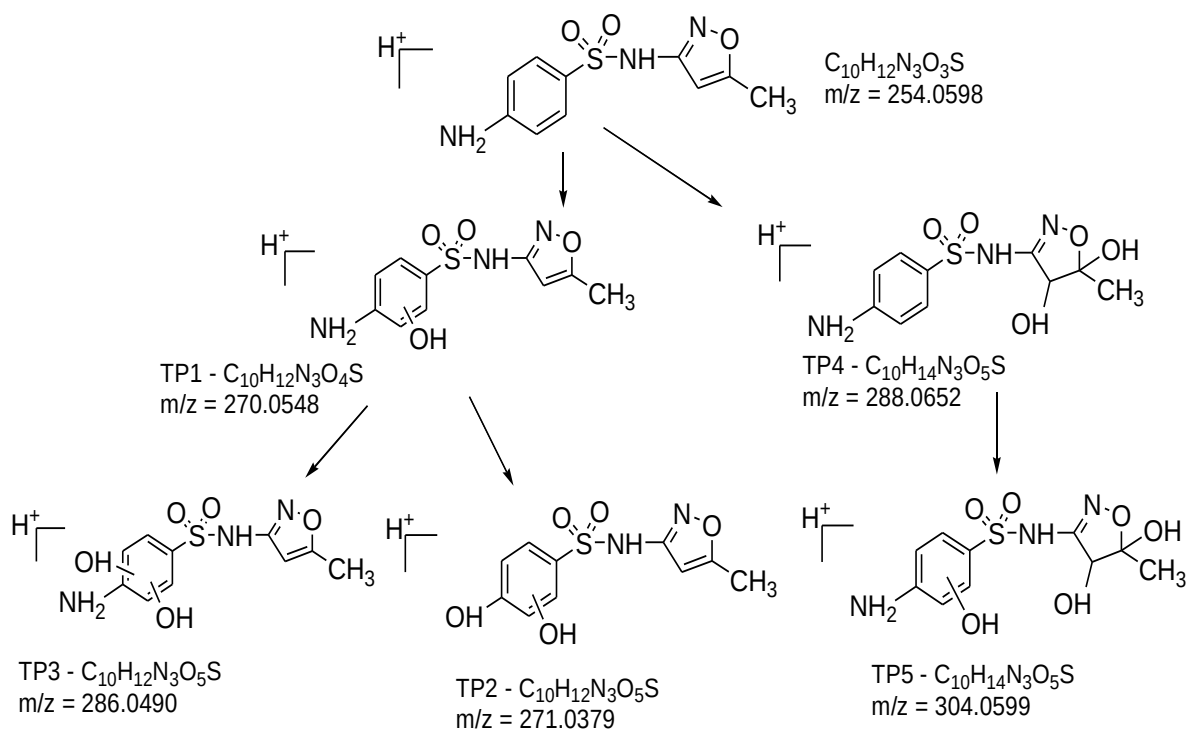
Table 1 Retention times of SMX and its TPs

Compound	Retention time, min.
SMX	18.095 ± 0.111
TP1	14.494 ± 0.059
TP2	13.529 ± 0.392
TP3	10.476 ± 0.013
TP4	7.588 ± 0.022
TP5	7.420 ± 0.007

Table 2 lists the evaluated results from ESI-TOF-MS analysis. All five SMX TPs were identified with very high scores (> 99%) and low mass error (< 2 ppm), so the listed ion forms are strongly confirmed. Based on these results, the SMX transformation pathways were briefly proposed (cf. Fig. 6).

Table 2 TOF-MS results of SMX and its TPs

Compound	Formular	DBE	Target m/z ; Da	Mass error (ppm)	score
SMX	C ₁₀ H ₁₂ N ₃ O ₃ S	6.5	254.0598	3.12	97.53
TP1	C ₁₀ H ₁₂ N ₃ O ₄ S	6.5	270.0548	-1.85	99.05
TP2	C ₁₀ H ₁₁ N ₂ O ₅ S	6.5	271.0379	1.55	99.33
TP3	C ₁₀ H ₁₂ N ₃ O ₅ S	6.5	286.0490	0.76	99.83
TP4	C ₁₀ H ₁₄ N ₃ O ₅ S	5.5	288.0652	-1.16	99.6
TP5	C ₁₀ H ₁₄ N ₃ O ₆ S	5.5	304.0599	-0.39	99.95



Wang *et al.* [11] reported six TPs in gamma irradiated SMX samples. However, two of them were fragments from splitting the isoxazole ring from SMS molecule. Both these two SMX fragments, as well as the third suggested TP with the isoxazole ring being

open/broken were not registered in our work. The corresponding mono-hydroxylated substituents also differ from our TP1 and TP2 by attaching –OH group to the isoxazole ring. The last one is consistent with our TP4, but the denoted m/z was 286.1 as our TP3, which has two –OH groups attached to the benzene ring. These discrepancies could have 2 reasons: (1) Wang’s gamma source probably had higher dose rate than ours so the $\bullet\text{OH}$ density was higher, which caused more intensive SMX transformation including molecule splitting and/or the isoxazole ring open/broken; (2) Wang’s MS configuration caused more intensive fragmentations of the SMX TPs than our TOF-MS. In general for identifying unknown compounds the TOF-MS is considered more suitable than another MS configurations [13, 14].

In accordance with reason (1) mentioned above Sági *et al.* [12] reported the isoxazole ring fragment as one of main SMX TPs by gamma irradiation with a higher dose rate, 6.2 kGy/h. However, the benzene ring fragment did not appear. It is questionable because the benzene ring is generally considered more stable than the isoxazole. Further, two mono-hydroxylated main SMX TPs were reported, with an –OH group attached either to the benzene ring as our TP1, or attached to the isoxazole ring which actually should be the precursor of our TP4. In addition, there were two double hydroxylated SMX TPs, both attached to the benzene ring resulting $m/z = 286$, but with 2 different retention times. Our TP3 also has the same m/z and both –OH groups attached to the benzene ring, resulting however only one peak. i.e., the abundances of TP3’s isomer and TP4’s mono-hydroxylated precursor in our samples were too low. Further investigation should be carried out to trace these TPs and elucidate the transformation pathways.

In this work, attention is first time focused to elucidate the consistency between the structures of identified compounds and their chromatographic retention times. The hydrocarbon – water partition coefficients P_s could be estimated from chemical structures of related compounds according to some logarithms [23, 24]. Among them, the most widely accepted method is classified as the “additive method”, where a molecule is dissected into basic fragments and its $\log P$ value is obtained by summing the contributions of each fragment. Using the ACD Labs program including additive-constitutive method [17], a fairly good linear correlation between the calculated $\log P_s$, and the experimental retention times was obtained in Fig. 7 by Kaliszan’s model [15], which additionally confirms our TPs’ identification.

Table 3 Calculated log *P*s of SXM and its selected TPs^[a]

Compound	Log <i>P</i>
SMX	0.89 ± 0.42
TP1a	0.15 ± 0.43
TP2a	0.80 ± 0.44
TP3a	-0.57 ± 0.45
TP4	-1.26 ± 0.70
TP5a	-2.00 ± 0.70

^[a] Selected TPs are structures of TP1a, TP2a, TP3a and TP5a having –OH group(s) attached to benzene ring with *ortho*-position comparing to –NH₂ group.

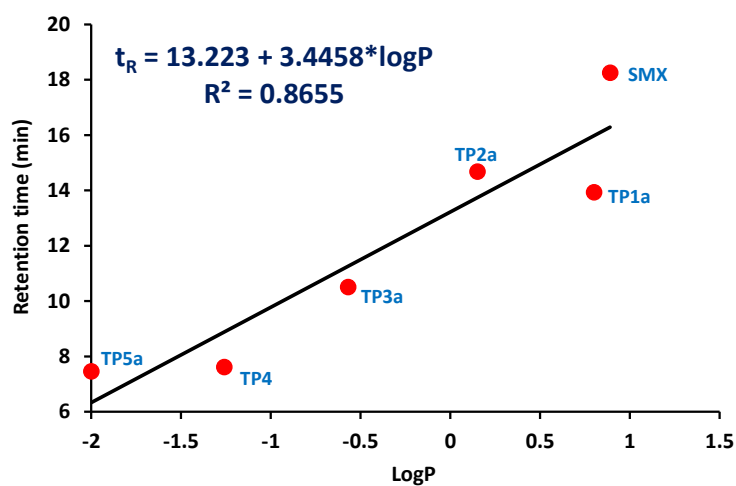


Figure 7 Relationship between the experimental retention time and calculated hydrocarbon-water partition coefficient (Log*P*)

Conclusions

Five transformation products of SMX in gamma irradiated aqueous samples were identified using LC/TOF-MS which is more suitable than MS detectors used in other studies. Among the 5 identified TPs the triple hydroxylated TP of SMX ($m/z = 304$) was discovered for the first time. On the contrary, no fragments from splitting the SMX molecules were registered, showing some of the previously published TPs [11, 12] might be artifacts. Also for the first time, the hydrocarbon-water partition coefficients of identified SMX TPs were computed, showing good linear correlation with their chromatographic retention times, therefore strengthening the TPs' identities. Further calculations to elucidate the SMX transformation pathways are in progress.

Acknowledgements

Computing resources provided by the Institute for Computational Science and Technology – Ho Chi Minh City and International University, VNU-HCM are gratefully acknowledged.

References

- [1] Kummerer K (2009) Antibiotics in the aquatic environment - a review - part I. *Chemosphere* 75(4):417-434
- [2] Kummerer K (2009) Antibiotics in the aquatic environment - a review - part II. *Chemosphere* 75(4):435-441
- [3] Hughes SR, Kay P., Brown LE (2013) Global synthesis and critical evaluation of pharmaceutical data sets collected from river systems. *Environ. Sci. Technol.* 47(2):661-677
- [4] Hoa PT, Managaki S, Nakada N, Takada H, Shimizu A, Anh DH, Viet PH, Suzuki S (2011) Antibiotic contamination and occurrence of antibiotic-resistant bacteria in aquatic environments of northern Vietnam. *Sci. Total. Environ.* 409(15):2894-2901
- [5] Shimizu A, Takada H, Koike T, Takeshita A, Saha M, Rinawati; Nakada N, Murata A, Suzuki T, Suzuki S, Chiem NH, Tuyen BC, Viet PH, Siringan MA, Kwan C, Zakaria MP, Reungsang A (2013) Ubiquitous occurrence of sulfonamides in tropical Asian waters. *Sci. Total. Environ.* 452-453:108-115
- [6] Beltran FJ, Aguinaco A, Garcia-Araya JF, Oropesa A (2008) Ozone and photocatalytic processes to remove the antibiotic sulfamethoxazole from water. *Water. Res.* 42(14):3799-3808
- [7] Kim I, Yamashita N, Tanaka H (2009) Photodegradation of pharmaceuticals and personal care products during UV and UV/H₂O₂ treatments. *Chemosphere* 77(4):518-525

- [8] Trovo AG, Nogueira RF, Agüera A, Fernandez-Alba AR, Sirtori C, Malato S (2009) Degradation of sulfamethoxazole in water by solar photo-Fenton. Chemical and toxicological evaluation. *Water. Res.* 43(16):3922-3931
- [9] Baeza C, Knappe DR (2011) Transformation kinetics of biochemically active compounds in low-pressure UV photolysis and UV/H₂O₂ advanced oxidation processes. *Water. Res.* 45(15): 4531-4543
- [10] Lekkerkerker-Teunissen K, Benotti MJ, Snyder SA, van Dijk HC (2012) Transformation of atrazine, carbamazepine, diclofenac and sulfamethoxazole by low and medium pressure UV and UV/H₂O₂ treatment. *Sep. Purif. Technol.* 96:33-43
- [11] Wang JQ, Zheng BG, Zhang JB, Zheng Z (2013) Degradation of the Antibiotic Sulfamethoxazole in Aqueous Solutions by γ -Irradiation. *Asian J. Chem.* 25(3):1536-1540
- [12] Sági G, Csay T, Pátzay G, Csonka E, Wojnárovits L, Takács E (2014) Oxidative and reductive degradation of sulfamethoxazole in aqueous solutions: decomposition efficiency and toxicity assessment. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 301(2):475-482
- [13] Kosjek T, Heath E (2008) Applications of mass spectrometry to identifying pharmaceutical transformation products in water treatment. *TrAC-Trends Anal. Chem.* 27(10):807-820
- [14] Fatta-Kassinos D, Vasquez MI, Kummerer K (2011) Transformation products of pharmaceuticals in surface waters and wastewater formed during photolysis and advanced oxidation processes - degradation, elucidation of byproducts and assessment of their biological potency. *Chemosphere* 85(5):693-709
- [15] Bączek T, Kaliszan R (2003) Predictive approaches to gradient retention based on analyte structural descriptors from calculation chemistry. *J. Chromatogr. A* 987(1-2):29-37
- [16] Frisch MJ, Trucks GW, Schlegel HB, Scuseria GE, Robb MA, Cheeseman JR, Scalmani G, Barone V, Mennucci B, Petersson GA, Nakatsuji H, Caricato M, Li X, Hratchian HP, Izmaylov AF, Bloino J, Zheng G, Sonnenberg JL, Hada M, Ehara M, Toyota K, Fukuda R, Hasegawa J, Ishida M, Nakajima T, Honda Y, Kitao O, Nakai H, Vreven TJA, Montgomery J, Peralta JE, Ogliaro F, Bearpark M, Heyd JJ, Brothers E, Kudin KN, Staroverov VN, Kobayashi R, Normand J, Raghavachari K, Rendell A, Burant JC, Iyengar SS, Tomasi J, Cossi M, Rega N, Millam JM, Klene M, Knox JE, Cross JB, Bakken V, Adamo C, Jaramillo J, Gomperts R, Stratmann RE, Yazyev O, Austin AJ, Cammi R, Pomelli C, Ochterski JW, Martin RL, Morokuma K, Zakrzewski VG, Voth GA, Salvador P, Dannenberg JJ, Dapprich S, Daniels AD, Farkas Ö, Foresman JB, Ortiz JV, Cioslowski J, Fox DJ (2009) *Gaussian 09, Revision A.1.* Gaussian, Inc. Wallingford CT
- [17] Spessard GO, (1998) ACD Labs/LogP dB 3.5 and ChemSketch 3.5. *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 38(6):1250-1253
- [18] Reed AE, Curtiss LA, Weinhold F (1988) Intermolecular interactions from a natural bond orbital, donor-acceptor viewpoint. *Chem. Rev.* 88(6):899-926
- [19] Weinhold F, Landis CR (2005) *Valency and Bonding - A Natural Bond Orbital Donor-Acceptor Perspective.* Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

- [20] Becke AD (1988) Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior. *Phys. Rev. A* 38(6): 3098-3100
- [21] Lee C, Yang W, Parr RG (1988) Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Phys. Rev. B* 37(2):785-789
- [22] Tomasi J, Mennucci B, Cammi R (2005) Quantum mechanical continuum solvation models. *Chem. Rev.* 105(8):2999-3093
- [23] Leo A, Hansch C, Elkins D (1971) Partition coefficients and their uses. *Chem. Rev.* 71(6): 525-616
- [24] Leo AJ (1993) Calculating log Poct from structures. *Chem. Rev.* 93(4):1281-1306

Ekonomická budúcnosť výroby elektriny z jadra

Juraj CHREN

Slovenské elektrárne, a. s.
Mlynské nivy 47, 821 09 Bratislava 2
Slovenská republika



Prezentácia

Videosekvencia

Investičný proces prípravy a výstavby jadrových elektrární a úloha dozorných orgánov

Jozef Belán

Slovenské elektrárne, a. s.
Mlynské nivy 47, 821 09 Bratislava 2
Slovenská republika

Prezentácia

Videosekvencia

Zoznam zákonov a vyhlášok súvisiacich s investičným procesom prípravy a výstavby jadrových elektrární a úloha dozorných orgánov

1. **Zákon č. 541/2004 Z.z.** ze dne 9.9.2004 o mierovom využití jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov (Úpravy : Zákon č. 238/2006 Z.z., 21/2007 Z.z., 94/2007 Z.z., 335/2007 Z.z.)
2. **Vyhláška č. 46/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) o špeciálnych materiáloch a zariadeniach, ktoré spadajú pod dozor Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky
3. **Vyhláška č. 47/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) o podrobnostiach o maximálnych limitách množstiev jadrových materiálov a rádioaktívnych odpadov, pri ktorých sa nepredpokladá vznik jadrovej škody
4. **Vyhláška č. 49/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) o periodickom hodnotení jadrovej bezpečnosti
5. **Vyhláška č. 50/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť jadrových zariadení pri ich umiestňovaní, projektovaní, výstavbe, uvádzaní do prevádzky, prevádzke, vyradovaní a pri uzatvorení úložiska, ako aj kritériá pre kategorizáciu vybraných zariadení do bezpečnostných tried
6. **Vyhláška č. 51/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na zabezpečenie fyzickej ochrany
7. **Vyhláška č. 52/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) o odbornej spôsobilosti
8. **Vyhláška č. 53/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách pri nakladaní s jadrovými materiálmi, rádioaktívnymi odpadmi a vyhoretým jadrovým palivom
9. **Vyhláška č. 54/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) o evidencii a kontrole jadrových materiálov a o oznamovaní vybraných činností

10. **Vyhláška č. 55/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) o podrobnostiach v havarijnom plánovaní pre prípad nehody alebo havárie
11. **Vyhláška č. 56/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na dokumentáciu systému kvality držiteľa povolenia, ako aj podrobnosti o požiadavkách na kvalitu jadrových zariadení, podrobnosti o požiadavkách na kvalitu vybraných zariadení a podrobnosti o rozsahu ich schvaľovania
12. **Vyhláška č. 57/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách pri preprave rádioaktívnych materiálov
13. **Vyhláška č. 58/2006 Z.z.** (platnosť od 1.3.2006) ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovovania dokumentácie jadrových zariadení potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam
14. **Zákon č. 238/2006 Z.z.** ze dne 16.3.2006 o národnom jadernom fondu na vyřazování jaderných zařízení a na nakládání s vyhořelým jaderným palivem a radioaktivními odpady (Změna : Zákon č. 528/2006 Z.z., 94/2007 Z.z.)
15. **Zákon č. 355/2007 Z.z.** ze dne 21.6.2007 o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov
16. **Vyhláška 524/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, ktorou se stanoví podrobnosti o radiační monitorovací síti
17. **Vyhláška 528/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, ktorou se stanoví podrobnosti o požadavcích na omezení ozáření z přírodního záření
18. **Vyhláška 534/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, o podrobnostech o požadavcích na zdroje elektromagnetického záření a na limity expozice obyvatel elektromagnetickému záření v životním prostředí
19. **Vyhláška 539/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, o podrobnostech o limitních hodnotách optického záření a požadavcích na objektivizaci optického záření v životním prostředí
20. **Vyhláška 541/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, o podrobnostech o požadavcích na osvětlení při práci
21. **Vyhláška 542/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, o podrobnostech o ochraně zdraví před fyzickou zátěží při práci, psychickou pracovní zátěží a senzorickou zátěží při práci
22. **Vyhláška 544/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, o podrobnostech o ochraně zdraví před zátěží teplem a chladem při práci
23. **Vyhláška 545/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, ktorou se stanoví podrobnosti o požadavcích na zabezpečení radiační ochrany při činnostech vedoucích k ozáření a činnostech důležitých z hlediska radiační ochrany
24. **Vyhláška 549/2007 Z.z.** ze dne 16.8.2007, ktorou se stanoví podrobnosti o přípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrací a o požadavcích na objektivizaci hluku, infrazvuku a vibrací v životním prostředí
25. **Vyhláška č. 448/2007 Z.z.** ze dne 7.9.2007 o podrobnostech o faktorech práce a pracovního prostředí ve vztahu ke kategorizaci prací z hlediska zdravotních rizik a náležitostech návrhu na zařazení prací do kategorií
26. **Nařízení vlády č. 345/2006 Z.z.** ze dne 10.5.2006 o základních bezpečnostních požadavcích na ochranu zdraví pracovníků a obyvatel před ionizujícím zářením (Směrnice Rady 96/29/Euratom ze dne 13.5.1996 stanovující základní bezpečnostní standardy pro ochranu zdraví pracovníků a obyvatelstva proti nebezpečí ionizujícího záření)

27. **Nařízení vlády č. 346/2006 Z.z.** ze dne 3.5. 2006 o požadavcích na zabezpečení radiační ochrany externích pracovníků vystavených riziku ionizujícího záření po dobu jejich činnosti v kontrolovaném pásmu (Nařízení Rady 90/641/Euratom ze dne 4.12.1990 o provozní ochraně zicích pracovníků před rizikem expozice ionizujícím zářením při jejich činnostech v kontrolovaném pásmu).
28. **Nařízení vlády č. 348/2006 Z.z.** ze dne 17.5.2006 o požadavcích na zabezpečení kontroly vysoceaktivních záříčů a opuštěných záříčů (Nařízení Rady 2003/122/Euratom ze dne 22.12.2003 o kontrole vysoce aktivních uzavřených záříčů a opuštěných zdrojů)
29. **Zákon č. 124/2006 Z.z.** ze dne 2.2.2006 o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci
30. **Nařízení vlády č. 391/2006 Z.z.** ze dne 24.5.2006 o minimálních bezpečnostních a zdravotních požadavcích na pracoviště (Nařízení Rady 89/654/EEC ze dne 30.11.1989 týkající se minimálních bezpečnostních a zdravotních požadavků na pracoviště – první individuální nařízení ve smyslu článku 16 (1) Nařízení 89/391/EEC)
31. **Vyhláška č. 718/2002 Z.z.** ze dne 20.11.2002 o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti technických zařízení
Poznámka:
 Vyhrazená technická zařízení v jaderné energetice a postup při projektování, montáži, rekonstrukcích, uskutečňování výstavby atd. upravovala do 30.3.2006 **vyhláška č. 66/1989 Z.z. na zajištění bezpečnosti technických zařízení v jaderné energetice, ve znění pozdějších předpisů.** Tato vyhláška byla zrušena zákonem č. 124/2006 Z.z. (§ 41, bod 3), ale v dokumentaci revidovaného BD je uváděna jako relevantní předpis, neboť vyhrazená technická zařízení v oboru působnosti vyhlášky č. 66/1989 Z.z., již dodaná pro 3. a 4. blok EMO, byla shválena postupem v této vyhlášce uvedeným.
 Pro nová vyhrazená technická zařízení budou při projektování, montáži, rekonstrukcích, uskutečňování výstavby atd. přiměřeně uplatněny požadavky zrušené vyhlášky č. 66/1989 Z.z. a platné vyhlášky č. 718/2002 Z.z. ze dne 20.11.2002 o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti technických zařízení do doby vydání nového obecně závazného právního předpisu.
32. **Zákon č. 142/2000 Z.z.** ze dne 17.3.2000 o metrologii a o změně a doplnění některých zákonů (úprava : Z.z. 431/2004)
33. **Nařízení vlády č. 294/2005 Z.z.** ze dne 15.6.2005 o měřidlech
34. **Zákon č. 223/2001 Z.z.** ze dne 15.5.2001 o odpadech a doplnění některých zákonů ve znění pozdějších předpisů (Úpravy : Z.z. 553/2001, 96/2002, 261/2002, 393/2002, 529/2002, 245/2003, 525/2003, 24/2004, 443/2004, 587/2004, 733/2004, 479/2005, 532/2005, 571/2005, 127/2006)
35. **Zákon č. 50/1976 Z.z.** z r. 1976 o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) Úpravy : Z.z. 103/1990, 262/1992, 136/1995, 199/1995, 286/1996, 229/1997, 175/1999, 237/2000, 416/2001, 553/2001, 217/2002, 103/2003, 245/2003, 417/2003, 608/2003, 541/2004, 290/2005, 479/2005, 24/2006, 218/2007
36. **Vyhláška č. 453/2000 Z.z.,** kterou se vykonávají některá ustanovení stavebního zákona
37. **Vyhláška č. 532/2002 Z.z.,** kterou se stanoví podrobnosti o všeobecných technických požadavcích na výstavbu a o všeobecných technických požadavcích na stavby užívané osobami s omezenou schopností pohybu a orientace

38. **Nařízení vlády č. 396/2006 Z.z.** ze dne 24.5.2006 o minimálních bezpečnostních a zdravotních požadavcích na stavenišť (Nařízení Rady č. 92/57/EEC ze dne 24.6.1992 o minimálních bezpečnostních a zdravotních požadavcích v dočasných nebo mobilních zařízeních stavenišť, osmé nařízení ve smyslu článku 16 (1) Nařízení 89/391/EEC)
39. **Vyhláška č. 374/1990 Z.z.** ze dne 14.8.1990 o bezpečnosti práce a technických zařízení při stavebních pracích
40. **Vyhláška č. 532/2006 Z.z.** ze dne 14.8.2006 o podrobnostech na zabezpečení stavebnětechnických požadavků a technických podmínek zařízení civilní ochrany
41. **Zákon č. 478/2002 Z.z.** ze dne 25.6.2002 o ochraně ovzduší, kterým se doplňuje zákon č. 401/1998 Z.z. o poplatcích za znečišťování ovzduší ve znění pozdějších předpisů (Úpravy : Z.z. 245/2003, 525/2003, 541/2004, 572/2004, 587/2004, 725/2004, 230/2005, 479/2005, 532/2005, 571/2005, 203/2007)
42. **Zákon č. 656/2004 Z.z.** ze dne 26.10.2004 o energetice (Úpravy : Z.z. 555/2005, 238/2006, 107/2007)
43. **Vyhláška č. 337/2005 Z.z.,** kterou se stanoví podrobnosti o rozsahu technických podmínek přístupu a připojení do soustavy a sítě a pravidla provozování soustavy a sítě
44. **Zákon č.364/2004 Z.z.** ze dne 13.5.2004, o vodách - vodní zákon (Úpravy : Z.z. 587/2004, 230/2005, 479/2005, 532/2005, 359/2007)
45. **Nařízení vlády č. 296/2005 Z.z.,** kterým se stanoví požadavky na kvalitu a kvalitativní cíle povrchových vod a limitní hodnoty ukazatelů znečištění odpadních vod a zvláštních vod
46. **Vyhláška č. . 100/2005 Z.z.,** kterou se stanoví podrobnosti o zacházení s nebezpečnými látkami, o náležitostech havarijního plánu a o postupu řešení mimořádného zhoršení vod
47. **Zákon č. 314/2001 Z.z.** ze dne 2.6.2001 o ochraně před požáry (Úpravy : Z.z. 438/2002, 215/2004, 347/2004, 562/2005)
48. **Vyhláška č. 726/2002 Z.z.,** ktorou sa ustanovujú vlastnosti elektrickej požiarnej signalizácie, podmienky jej prevádzkovania a zabezpečenia jej pravidelnej kontroly
49. **Vyhláška č. 121/2002 Z.z.,** o požiarnej prevencii (Úpravy : 591/2005 Z.z.)
50. **. Vyhláška č. 169/2006 Z.z.,** o konkrétnych vlastnostech stabilního hasícího zařízení a polostabilního hasícího zařízení a o podmínkách jejich provozování a zabezpečení jejich pravidelné kontroly
51. **Vyhláška č. 699/2004 Z.z.,** o zabezpečení stavieb vodou na hasenie požiarov
52. **Vyhláška č. 94/2004 Z.z.,** ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb
53. **Vyhláška č.401/2007 Z.z.** ze dne 15.8.2007 o technických podmínkách a požadavcích na protipožární bezpečnost při instalaci a provozování palivového spotřebiče, elektrotepelného spotřebiče a zařízení ústředního vytápění a při výstavbě a používání komínu a kouřovodu a o lhůtách jejich čištění a provádění kontrol
54. **Nařízení č. 96/2004 Z.z.,** ktorou sa Ustanovujú zásady protipožiarnej bezpečnosti pri manipulácii a skladovaní horľavých kvapalín, ťažkých vykurovacích olejov a rastlinných a živočíšnych tukov a olejov (Úpravy : 307/2007 Z.z.)
55. **Vyhláška č. 79/2004 Z.z.,** o vykonávaní kontroly protipožiarnej bezpečnosti pri prevádzkovaní elektrických zariadení

56. **Zákon č. 264/1999 Z.z.** ze dne 7.9.1999 o technických požadavcích na výrobky a o posuzování shody (Úpravy : Z.z. 436/2001, 254/2003)
57. **Nařízení vlády č. 222/2002 Z.z.** o technických požadavcích a postupech posuzování shody emisí hluku zařízení používaných ve venkovním prostoru (Úpravy : 26/2006 Z.z.)
58. **Nařízení vlády č. 443/2001 Z.z.** ze dne 19.9.2001, kterým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách postupoch posudzovania zhody na rádiové zariadenia a koncové telekomunikačné zariadenia
59. **Nařízení vlády č 194/2005 Z.z.,** o elektromagnetické kompatibilitě (Úpravy : 318/2007 Z.z.)
60. **Nařízení vlády č 308/2004 Z.z.,** kterým se stanoví podrobnosti o technických požadavcích a postupech posuzování shody pro elektrická zařízení, která se používají v určitém rozsahu napětí
61. **Nařízení vlády č 576/2002 Z.z.,** kterým se stanoví podrobnosti o technických požadavcích a postupech posuzování shody na tlakové zařízení
62. **Nařízení vlády č 571/2001 Z.z.** ze dne 6.12.2001, kterým se stanoví podrobnosti o technických požadavcích a postupech posuzování shody na výtahy
63. **Nařízení vlády č 117/2001 Z.z.** ze dne 28.3.2001, kterým se stanoví podrobnosti o technických požadavcích a postupech posuzování shody zařízení a ochranných systémů určených na použití v prostředí s nebezpečím výbuchu
64. **Nařízení vlády č 79/2006 Z.z.** ze dne 1.2.2006, kterým se stanoví podrobnosti o technických požadavcích na účinnost teplovodních kotlů spalujících kapalná paliva nebo plynná paliva a o postupech posuzování jejich shody
65. **Nařízení vlády č 393/1999 Z.z.** ze dne 16.12.1999, kterým se stanoví podrobnosti o technických požadavcích na spotřebiče plyných paliv
66. **Nařízení vlády č 310/2004 Z.z.,** kterým se stanoví podrobnosti o technických požadavcích a postupech posuzování shody na strojní zařízení
67. **Zákon č. 90/1998 Z.z.** ze dne 10.2.1998 o stavebních výrobcích (Úpravy : Z.z. 264/1999, 413/2000, 134/2004)
68. **Vyhláška č. 158/2004 Z.z.** (modifikace. 119/2006 Z.z.), kterou se stanoví skupiny stavebních výrobků s určenými systémy prokazování shody a podrobnosti o používání značek shody (Úpravy : 119/2006 Z.z.)
69. **Nařízení vlády č. 376/2003 Z.z.** ze dne 20.8.2003, ktorým sa ustanovujú podrobnosti o tlakových nádobách a ich inšpekci
70. **Nařízení vlády č. 377/2003 Z.z.** ze dne 20.8.2003, ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách na bezšvové ocel'ové plynové tlakové flaše
71. **Nařízení vlády č. 378/2003 Z.z.** ze dne 20.8.2003, ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách na bezšvové flaše na plyny z nelegovaného hliníka a hliníkových zliatin
72. **Nařízení vlády č. 379/2003 Z.z.** ze dne 20.8.2003, ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách na zvarané flaše na plyn z nelegovanej ocele
73. **Na řízení vlády č. 176/2003 Z.z.** ze dne 7.5.2003, ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách a o postupoch posudzovania zhody na prepravné tlakové zariadenia

- 74. **Nařízení vlády č. 404/2007 Z.z.** ze dne 15.8.2007 o všeobecné bezpečnosti výrobků
- 75. **Zákon č. 610/2003 Z.z.** ze dne 3.12.2003 o elektronických komunikacích (Úpravy : 716/2004, 69/2005, 117/2006, 220/2007 Z.z.)
- 76. **Zákon č. 164/1996 Z.z.** ze dne 17.5.1996 o drahách (Úpravy : Z.z. 58/1997, 260/2001, 416/2001, 114/2004, 725/2004, 109/2005, 466/2005, 479/2005, 1/2007, 109/2007, 330/2007)
- 77. **Zákon č. 17/1992 Z.z. ze dne 5.12.1991** o životním prostředí (Úpravy : Z.z. 127/1994, 284/1994, 171/1998, 211/2000, 332/2007)
- 78. **Zákon č. 543/2002 Z.z. ze dne 25.6.2002** o ochraně přírody a krajiny (Úpravy : Z.z. 525/2003, 205/2004, 364/2004, 587/2004, 15/2005, 479/2005, 24/2006, 359/2007, 454/2007)
- 79. **Vyhláška č. 533/2006 Z.z.** o podrobnostech o ochraně obyvatelstva před účinky nebezpečných látek
- 80. **Smlouva o založení Evropského společenství pro atomovou energii**
- 81. **Nařízení Rady (Euratom) č. 2587/1999** z 2.12. 1999, kterým se vymezují investiční projekty, které je třeba oznamovat Komisi v souladu s článkem 41 Smlouvy o založení Evropského společenství pro atomovou energii
- 82. **Nařízení Komise (EU) č. 1209/2000** ze dne 8.6.2000 o podávání oznámení podle článku 41 Smlouvy o založení Evropského společenství pro atomovou energii
- 83. **Nařízení Komise (EU) č. 1352/2003** ze dne 23.7.2003, kterým se mění a doplňuje Nařízení Komise (EU) č. 1209/2000 o podávání oznámení podle článku 41 Smlouvy o založení Evropského společenství pro atomovou energii
- 84. **Nařízení Rady (EU) č.1334/2000** ze dne 22.6.2000 stanovící režim společenství pro kontrolu exportu položek a technologie dvojího použití ve znění Nařízení Rady (ES) č. 2432/2001 ze dne 20.11.2001 a Nařízení Rady (ES) č. 1504/2004 ze dne 19.6.2004
- 85. **Nařízení Komise (Euratom) č. 66/2006** ze dne 8.2.2005 o uplatňování systému záruk Euratomu
- 86. **Nařízení Rady (EU) č. 97/23/EC** ze dne 29.5.1997 o přizpůsobení zákonů členských zemí týkajících se tlakových zařízení

APLIKÁCIE UNIVERZITNÉHO CENTRA ELEKTRÓNOVÝCH URÝCHĽOVAČOV VO VEDE A PRIEMYSLE

Peter Hybler¹, Andrea Šagátová¹, Martin Zachar², Martin Hládek³

¹*UCEA SZU Bratislava so sídlom v Trenčíne*

²*FŠT TnUAD Trenčín*

³*CMO Martin MO SR*

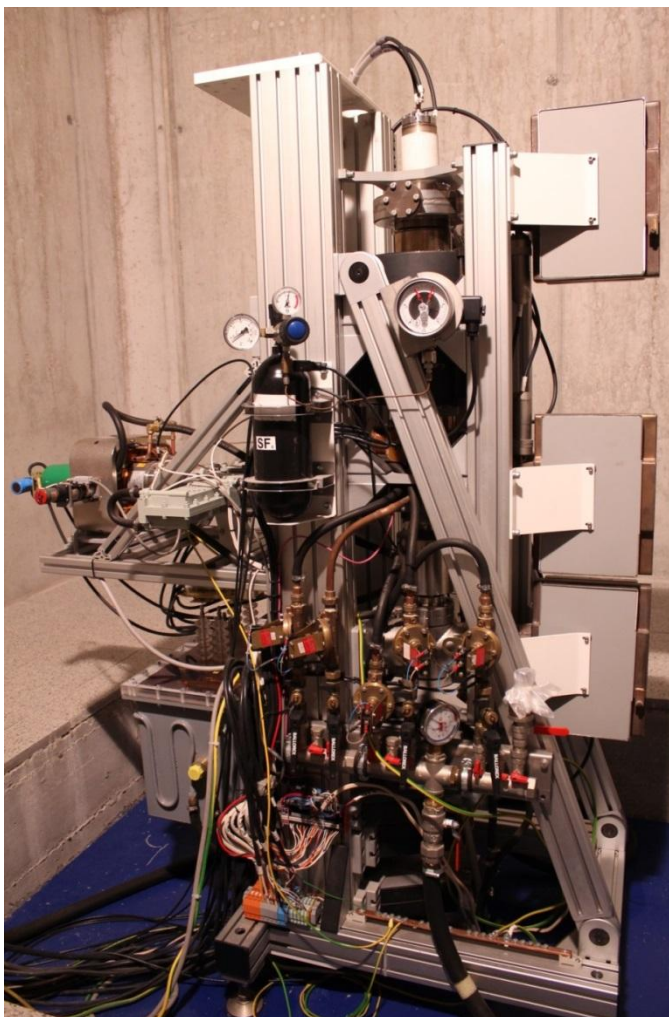
phybler@seznam.cz

Univerzitné centrum elektrónových akceleratorov (UCEA) SZU Bratislava so sídlom v - Trenčíne je jediné pracovisko s lineárnym elektrónovým urýchľovačom na Slovensku a v ČR. Pôsobí vo vedecko-výskumnej a priemyselnej sfére.

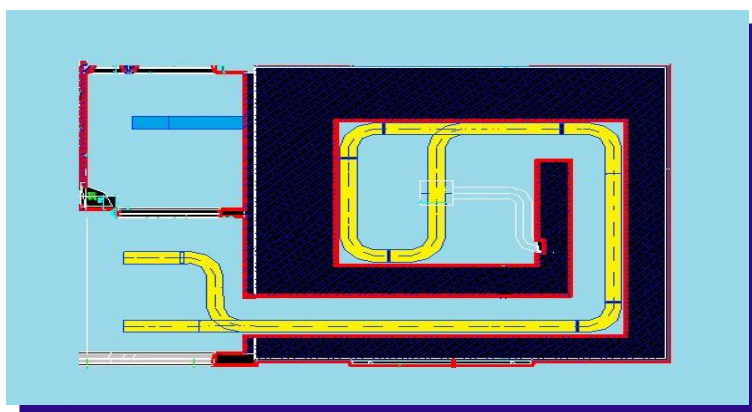
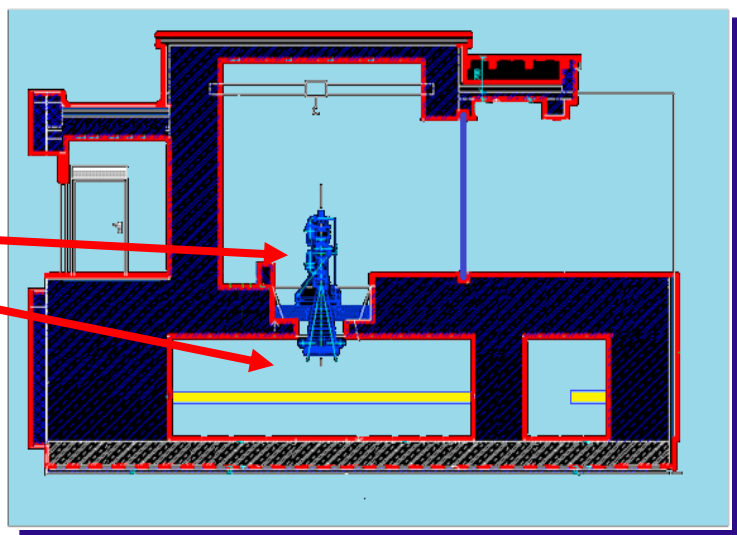
Hlavné technológie UCEA

Urýchľovač

- ❖ Lineárny urýchľovač elektrónov. Vertikálny dizajn. Spôsob urýchľovania – stojatou elektromagnetickou vlnou
- ❖ Možnosť ožarovania aj rtg. žiarením konverziou elektrónového zväzku na wolfrámovom terčiku
- ❖ Ožarovanie objektov do šírky 50cm
- ❖ Ožarovanie vzoriek režimom v jednom bode - bez skenovania zväzku. Rádiolýza kvapalín pre vedecko - výskumné účely



Pohľad z boku na bunker -
prízemie a prvé poschodie.
Urýchľovač je na prvom
poschodí. **Ožarovňa** pod ním
na prízemí



Pohľad zhora na ožarovňu. Žltá
farba označuje dopravník,
čierna betónové steny bunkra.

Výrobca urýchľovača	NIIEFA St. Petersburg, Rusko
Energia urýchlených elektrónov	Diskrétnou voľbou (3,5; 5 a 6,3) MeV
Prúd elektrónového zväzku	$(3 \div 200) \mu\text{A}$
Max. výkon zväzku (pri frekvencii impulzov 240 Hz)	1 kW
Dĺžka skenovania zväzku	40 cm, 45 cm, 50 cm
Čas trvania impulzu zväzku	3 μs
Skenovacia frekvencia	$(1 \div 5) \text{ Hz}$
Frekvencia impulzov zväzku (výkon zväzku)	Diskrétna možnosť voľby: 5, 10, 20, 40, 120 a 240 Hz
Stabilita energie elektrónov a ožarovacej dávky	$\pm 5\% / 8 \text{ h}$
Stabilita energie elektrónov počas dlhodobého ožarovania	$\pm 5\% / 8 \text{ h}$

Vedecko-výskumné aplikácie

Ožarovanie polovodičov vysoko energetickými elektrónmi:

Štúdium zmien vlastností:

- ❖ GaAs detektorov
- ❖ Schottkyho štruktúr
- ❖ Kovových práškov (amorfných a nanokryštalických) a práškov na báze FeNbB

Radiačná odolnosť zariadení, spojovacích a polovodičových prvkov (radiation aging):

- ❖ Polohovače pre urýchľovače v CERNe



- ❖ Prvý slovenský satelit „skCUBE“



- ❖ VUJE a.s. Trnava
- ❖ SE a.s. ENEL

Biomedicínsky výskum:

- ❖ Ožarovanie potkanov pre výskum chorôb srdca

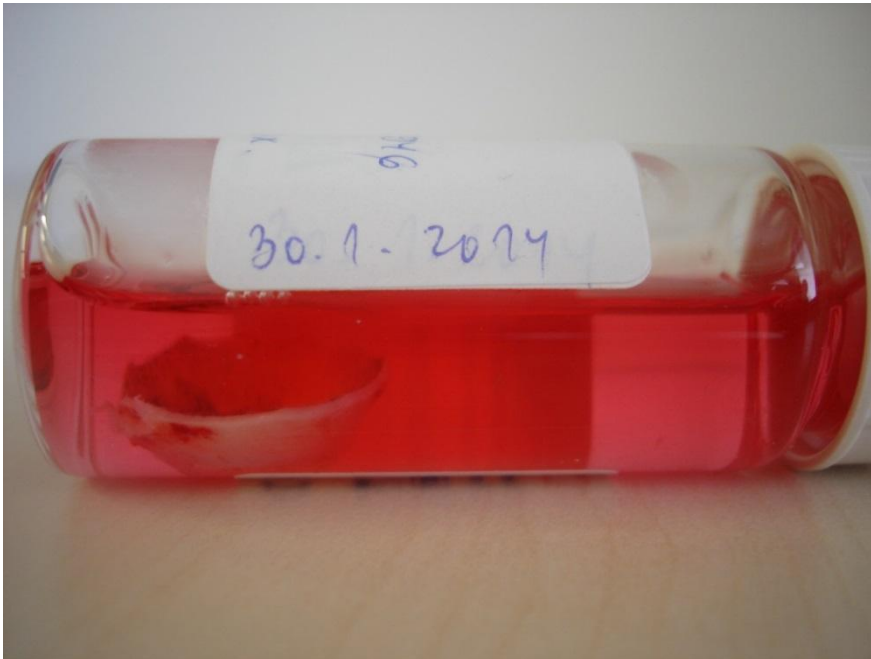


Priemyselné aplikácie

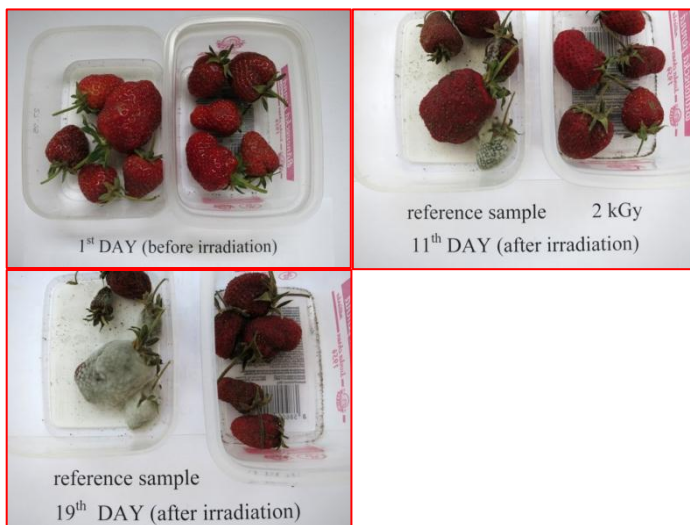
- ❖ Sterilizácia kože (ľudskej, prasacej) pre ošetrovanie popálenín



- ❖ Dekontaminácia očných rohoviek pre implantáty



- ❖ Dekontaminácia medu pre ošetrovanie otvorených kožných rán
- ❖ Úprava potravín - eliminácia choroboplodných zárodkov, lariev a plesní



- ❖ Dekontaminácia ľudských kostí pre implantáty

- ❖ Sterilizácia medicínskych prípravkov a materiálov



Environmentálne aplikácie

- ❖ Degradácia PCB



- ❖ Degradácia chemických toxických látok

Záver

UCEA SZU Trenčín je štátna inštitúcia schopná riešiť domáce aj medzinárodné výskumné projekty v širokom spektre aplikácií. Má status unikátneho moderného pracoviska v strednej Európe a kapacity schopné pokryť vedecko-výskumné aktivity slovenských a zahraničných univerzít, výskumných ústavov a vo vybraných oblastiach aj komerčných firiem.

ANALÝZA BIOLOGICKÝCH TKANÍV POMOCOU MÖSSBAUEROVEJ SPEKTROMETRIE

Bonková Ivana¹, Miglierini Marcel², Bujdoš Marek¹

¹*Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta prírodných vied, Ústav laboratórneho
výskumu geomateriálov, Ilkovičova 6, Mlynská dolina 842 15 Bratislava*

²*Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav
jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Ilkovičova 3, Mlynská dolina, 812 19 Bratislava
ivana.bonkova@mail.com*

Abstrakt

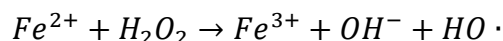
Cieľom prezentovanej práce bola analýza biologických tkanív pomocou Mössbauerovej spektrometrie z pohľadu demonštrácie magnetických vlastností železa a jeho štruktúrnych pozícií. Na analýzu boli použité lyofilizované vzorky ľudského mozgu, ľudskej a konskej sleziny. Vzorky boli merané pomocou ⁵⁷Fe Mössbauerovej spektrometrie v transmisnom usporiadaní pri izbovej teplote (~300 K) a pri teplote kvapalného hélia (4,2 K). Výsledné Mössbauerove spektrá merané pri izbovej teplote mali dubletný charakter, ktorý potvrdzuje prítomnosť nemagnetických častíc. Naopak nízkoteplotné merania sú superpozíciou niekoľkých sextetov a jedného dubletu. Získané hyperjemné parametre sú podobné tým, ktoré vykazuje hematit, ferihydrit, prípadne magnetit.

Kľúčové slová: Mössbauerova spektrometria, mozog, slezina, železo, hyperjemné parametre

Úvod

Železo patrí medzi mikrobiogénne prvky, ktoré tvoria obvykle menej ako 0,005 % hmotnosti organizmu. V tele dospelého človeka sa nachádzajú asi 3,5 až 4,5 g železa. Väčšina celkového obsahu tohto stopového prvku (viac ako 60 %) je súčasťou hemoglobínu obsiahnutého v erytrocytoch [1]. Malá časť železa (približne 10 mg) cirkuluje v plazme a zvyšok je obsiahnutý v proteínoch ako feritín, či hemosiderín [2, 3]. V biologických tkanivách sa železo najčastejšie nachádza v oxidačných stavoch Fe^{II} a Fe^{III}, ktoré sa vo forme rôznych zlúčenín ukladá v pankrease, pečeni, slezine, či srdci. V pomerne vysokých koncentráciách je železo zastúpené aj v niektorých častiach mozgu, ako sú bazálne gangliá [1]. V týchto biologických tkanivách musí byť koncentrácia železa prísne regulovaná, pretože jeho nadmerné množstvo vedie k poškodeniu tkaniva v dôsledku preťaženia železom a následne k tvorbe voľných radikálov, ktoré sú pre živý organizmus toxické. Na tvorbe voľných radikálov sa podieľa kation Fe²⁺, ktorý podporuje tvorbu vysoko reaktívnych foriem kyslíka (ROS – reactive oxygen species) rôznymi

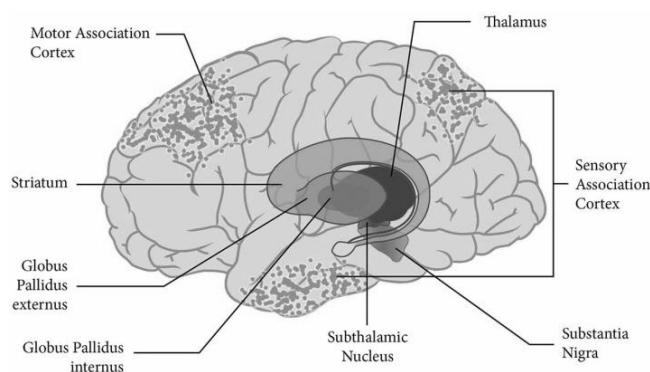
reakciami [4]. Medzi najbežnejšie patrí Fentonova reakcia, v ktorej hydroxylové radikály vznikajú reakciou katiónu Fe^{2+} s peroxidom vodíka [5]:



V dnešnej dobe prebieha štúdium foriem železa na rozličných typoch biologických tkanív (napr. tkanivá pochádzajúce z pečene, sleziny, mozgu) v spojení s niektorými ochoreniami [6]. Na takúto identifikáciu železa je vhodná metóda Mössbauerovej spektrometrie [7], ktorá má široké uplatnenie práve vďaka svojim výhodám ako sú nedeštruktívnosť vzorky, vysoká selektivita, štrukturálna senzitivita atď.

Materiál a metódy

Na analýzu boli použité tri typy biologických tkanív, konkrétne tkanivo ľudského mozgu, ľudskej a konskej sleziny. Vzorky jednotlivých tkanív boli odobraté *post mortem* na Ústave patologickej anatómie na Lekárskej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave. Odber vzoriek prebehol v súlade s protokolom Helsinskej deklarácie. Vzorky ľudského mozgu pochádzali z oblasti *Globus Pallidus* (Obr. 1), ktorá je časťou bazálnych ganglií. Čerstvé tkanivá boli lyofilizované použitím štandardných metód a následne prevedené na práškovú formu.

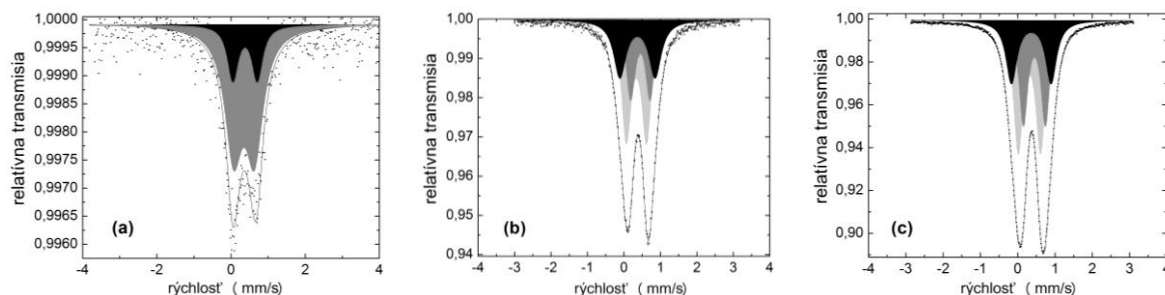


Obr. 1 Schématické zobrazenie sagitálnej časti ľudského mozgu

Po úprave boli vzorky vybraných tkanív analyzované pomocou Mössbauerovej spektrometrie s využitím izotopu ^{57}Fe . Všetky experimenty boli vykonané v transmisnej geometrii pri izbovej teplote (~ 300 K) a pri teplote kvapalného hélia (4,2 K). Na meranie bol použitý konvenčný spektrometer s konštantným zrýchlením a zdrojom γ -žiarenia ^{57}Co zabudovanom v ródiovej matici. Získané spektrálne parametre ako izoméry posun (IS), kvadrupólové štiepenie (QS), hyperjemné magnetické pole (B) a šírka čiary (Γ) boli vyhodnocované pomocou programu CONFIT [8].

Výsledky a diskusia

Mössbauerove spektrá vybraných biologických tkanív meraných pri teplote ~ 300 K sú zobrazené na Obr. 2. Všetky spektrá boli merané v úzkom rozmedzí rýchlosti (± 4 mm/s) pre lepšie zobrazenie jednotlivých spektrálnych čiar. Tieto spektrá majú dubletný charakter a Mössbauerove parametre (Tab. 1) sú charakteristické pre nemagnetické častice, ktoré pri izbovej teplote vykazujú superparamagnetické vlastnosti. Pri týchto meraniach nebola zaznamenaná prítomnosť sextetov.



Obr. 2 Mössbauerove spektrá vzoriek ľudskeho mozgu (a), ľudskej (b) a konskej sleziny (c) a ich spektrálne komponenty merané pri izbovej teplote

Výsledné Mössbauerove parametre, uvedené v nasledujúcej tabuľke, môžeme priradiť trojmocnému železu v molekule feritínu.

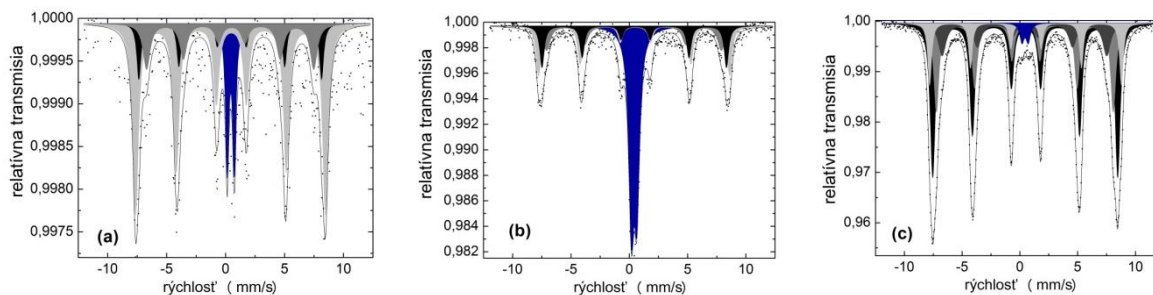
Tab. 1 Parametre získané z mössbauerovských spektier vzoriek meraných pri teplote ~ 300 K

Vzorka	Komponent	A (%)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	Γ (mm/s)
Ľudský mozog	D1	79	0,35	0,57	0,57
	D2	21	0,38	0,66	0,34
Ľudská slezina	D1	46	0,34	0,55	0,32
	D2	28	0,37	0,97	0,41
	D3	26	0,45	0,53	0,28
Konská slezina	D1	44	0,31	0,60	0,31
	D2	25	0,36	1,06	0,36
	D3	31	0,45	0,59	0,28

A – plocha; IS – izométny posun; QS – kvadrupólové štiepenie; Γ – šírka čiary

Pri nízkoteplotných meraniach došlo k zmene v magnetickom usporiadaní skúmaných vzoriek a zároveň aj k odhaleniu nových komponentov. Nízkoteplotné Mössbauerove spektrá sú superpozíciou niekoľkých sextetov a jedného dubletu, ako je vidieť na obrázku 3. Rozdiely v škálach y-osí spektier odrážajú rozdiely v koncentrácií železa v meraných vzorkách, čo platí aj pre spektrá merané pri izbovej teplote. Všetky spektrá obsahujú centrálny dublet, ktorý ukazuje, že nie u všetkých komponentov došlo k usporiadaniu magnetických momentov, z čoho vyplýva, že blokovacia teplota týchto

komponentov je nižšia, ako je teplota kvapalného hélia, teda 4,2 K. Všetky získané hodnoty spektrálnych parametrov sú uvedené v Tab. 2.



Obr. 3 Mössbauerove spektrá vzoriek ľudskeho mozgu (a), ľudskej (b) a konskej sleziny (c) a ich spektrálnych komponentov merané pri teplote 4,2 K

Tab. 2 Parametre získané z mössbauerovských spektier získané pri teplote 4,2 K

Vzorky	Komponent	A (%)	Γ (mm/s)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	B_{hf} (T)
Ľudský mozog	S1	59	0,59	0,45	-0,06	50,23
	S2	12	0,42	0,46	-0,13	48,16
	S3	17	0,73	0,45	-0,14	44,05
	D1	12	0,34	0,44	0,60	-
Ľudská slezina	S1	23	0,51	0,47	-0,12	50,88
	S2	18	0,46	0,48	-0,12	49,13
	S3	26	0,75	0,45	-0,11	46,57
	D1	42	0,56	0,41	0,47	-
Konská slezina	S1	13	0,39	0,51	-0,04	51,57
	S2	45	0,53	0,49	-0,07	49,74
	S3	26	0,55	0,47	-0,09	47,57
	S4	14	0,81	0,42	-0,05	44,25
	D1	2	0,45	0,45	0,54	-

A – plocha; IS – izoméry posun; QS – kvadrupólové štiepenie/ posun; Γ – šírka čiary; B_{hf} – hyperjemné magnetické pole

Porovnaním našich výsledkov s ďalšou literatúrou môžeme železo v týchto tkanivách priradiť Fe^{III} , ktoré je viazané v molekule feritínu. Podľa spektrálnych parametrov uvedených v tabuľke 2 môžeme konštatovať, že hodnoty sú podobné, ale nie rovnaké, ako hodnoty pre hematit, ferihydrit, prípadne magnetit.

Záver

Mössbauerova spektrometria je veľmi citlivá technika využívaná pri štúdiu železa a jeho vlastností v rôznych materiáloch. Mössbauerove parametre, ako izoméry posun, kvadrupólové štiepenie, hyperjemné magnetické pole a šírka čiary poskytujú dôležité informácie o stave a lokálnom prostredí železa v molekulách. V našej práci sme použili ^{57}Fe Mössbauerovu spektrometriu pre štúdium vlastností železa vo vybraných biologických vzorkách. Pomocou tejto metódy sme potvrdili prítomnosť nemagnetických častíc pri izbovej teplote. Pri nízkoteplotných meraniach došlo k odhaleniu nových

magnetických komponentov, no určitá časť stále vykazovala nemagnetické vlastnosti, z čoho vyplýva, že ich blokovacia teplota je nižšia ako 4,2 K. Na základe hodnôt spektrálnych parametrov môžeme konštatovať prítomnosť rôznych oxidov železa v biologických tkanivách.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená grantom VEGA 1/0274/13.

Zoznam literatúry

- [1] Galazka-Friedman J., Friedman A., Bauminger E. *Hyperfine Interact.* 189 (2009) 31–37
- [2] Casiday R., Frey R., “Iron use and storage in the body: ferritin and molecular representations”, Washington University, 2000
- [3] Walczyk T, “Iron Speciation in Biomedicine”, *Handbook of Elemental Speciation II*, 2005
- [4] Jomova K., Valko M. *Curr. Pharm. Des.* 17 (2011), 3460–3473
- [5] Heli H., Mirtorabi S., Karimian K. *Expert Opin. Ther. Pat.* 21 (2011), 819–856
- [6] Friedman A., et. al. *J. Neurol. Sci.* 248 (2006), 31-34
- [7] Galazka-Friedman J. *Hyperfine Interact.* 182 (2008), 31–44
- [8] Žák T., Jirásková Y. *Surf. Interface Anal.* 38 (2006), 710–714

ZKUŠENOSTI SE STANOVENÍM TRITIA VE VÚV TGM PRAHA

Marešová Diana, Hanslík Eduard, Sedlářová Barbora

*Výzkumný ústav vodního hospodářství, T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 2582/30, 160 00
Praha*

diana_maresova@vuv.cz

Abstrakt

Byla prezentována dlouhodobá praxe stanovení objemové aktivity tritia ve srážkových a povrchových vodách ve Výzkumném ústavu vodohospodářském, TGM, v.v.i. v Praze. Byl zhodnocen vývoj koncentrace tritia v povrchových vodách neovlivněných i ovlivněných vypouštěním odpadních vod z jaderných elektráren na českém území. Do hodnocení byly zahrnuty vlivy reziduální kontaminace povrchových vod tritiem po atmosférických testech jaderných zbraní v minulém století, zdrojů přírodního tritia a jaderných zdrojů mimo území ČR. Z dlouhodobého sledování objemových aktivit tritia na tocích neovlivněných odpadními vodami JE byl vyhodnocen efektivní poločas ubývání reziduálního obsahu tritia. Byly sledovány změny koncentrace tritia ve srážkách na profilech bez přímého vlivu jaderného zařízení. Dále byl hodnocen vliv odpadních vod z JE Temelín na obsah tritia v podélném profilu Vltavy a Labe v úseku Vltava Hluboká - Zelčín a v závěrovém profilu Labe Hřensko za období 2001 – 2015 a JE Dukovany v podélném profilu Jihlavy, Dyje a Moravy v období 1995-2015.

Klíčová slova: tritium, radioaktivní odpadní vody, atmosférické testy jaderných zbraní, jaderné elektrárny

Úvod

Problematicke tritia v hydrosféře je ve VÚV TGM., v.v.i. (dále jen VUV), dlouhodobě věnována velká pozornost. V příspěvku jsou shrnuty výsledky sledování tritia ve srážkách a povrchových vodách v České republice, které je prováděno ve VUV od roku 1990.

Tritium, ^3H nebo T je nejtěžší izotop vodíku. Jedná se o radioaktivní izotop, který se přeměňuje beta přeměnou (β^-) na ^3He . Maximální energie (E_{max}) vyzářeného elektronu (β^-) je 18,6 keV. Poločas přeměny je podle posledních poznatků $4\,500 \pm 8$ d, tj. 12,32 r [1]. Přírodní tritium vzniká v oblasti vrchní troposféry a zejména spodní stratosféry reakcí rychlých neutronů kosmického záření s atmosférickým dusíkem.

Formy výskytu tritia jsou hlavně HT, HTO, CH_3T . K zemskému povrchu se vzniklé tritium dostává především ve formě HT, největší měrou během jara a léta. Důvodem je jarní zeslabení tropopauzy, kdy dochází k průniku stratosférického vzduchu do atmosféry. Tomu odpovídá i cyklický průběh koncentrací ^3H ve srážkách se zvýšenými hodnotami v období jaro–léto a nejnižšími hodnotami v zimě [2].

V zemské atmosféře je HT postupně oxidováno na HTO. Proces chemické konverze HT na HTO je relativně pomalý (charakteristický poločas 6,5 r). Tento proces je katalyzován půdou. Při započítání radioaktivního poločasu přeměny je čistý poločas přeměny HT odhadován na 4,8 r. Dominantními formami ^3H v atmosféře jsou HT a HTO, pouze několik procent připadá na CH_3T . Na zemském povrchu je dominantní formou výskytu HTO (90 %). Dochází k postupnému ředění ^3H v oceánech, především procesy molekulární výměny (62 %), srážkami (33 %) a odtokem z kontinentů (5 %)[2].

Hlavní zdroj tritia v uplynulém období, jehož vliv přetrvává, byl antropogenního původu. Jednalo se o testy jaderných zbraní v atmosféře. Emise tritia do prostředí do roku 1963, kdy byla uzavřena dohoda mocností o omezení zkoušek jaderných zbraní, jsou odhadovány na 114,7EBq ($114,7 \cdot 10^{18}\text{Bq}$). V roce 1980 představovala zbytková aktivita tritia z jaderných výbuchů 44,1EBq, v roce 2000 14,3EBq [2]. Z toho lze odvodit, že v roce 2016 je to stále ještě aktivita tritia 5,8EBq. V roce 2030 bude aktivita po testech jaderných zbraní v atmosféře přibližně stejná jako aktivita tritia vznikajícího přirozenými procesy, tj. 2,6 EBq.

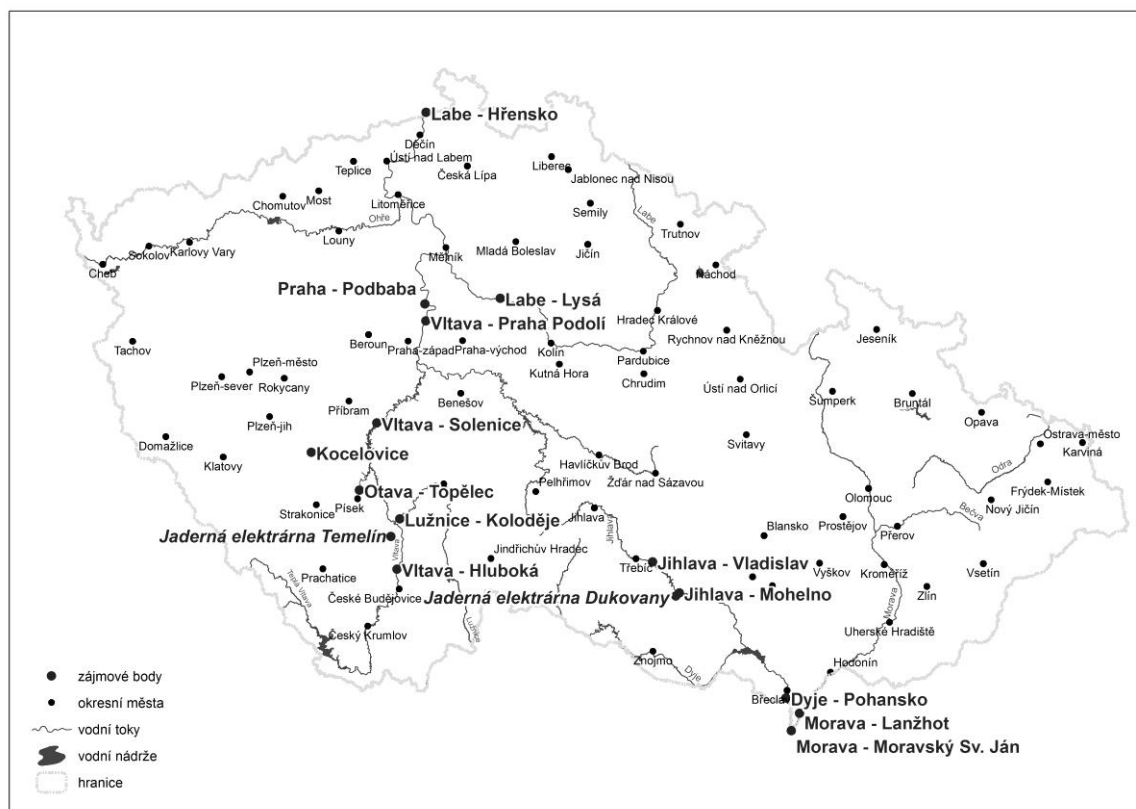
S rozvojem jaderné energetiky dochází k produkci řady radionuklidů, včetně tritia a jejich částečnému uvolňování do životního prostředí. Tritium vypouštěné z jaderných zařízení do životního prostředí se přeměňuje na tritovanou vodu (HTO) a stává se součástí koloběhu vody v přírodě. Většina současného inventáře tritia ve světě se tak dostane do oceánů prostřednictvím dešťových srážek a odtokem řek a přímé výměny vodních par obsažených ve vzduchu a mořské vodě. V oceánech dochází k ředění tritia při procesech mísení. Tím, že se tritium stává po emisi do prostředí součástí koloběhu vody v přírodě, bez schopnosti sorpce na pevných látkách, mají jeho výpusti význam pro celosvětovou populaci.

V příspěvku je hodnocen dlouhodobý vývoj objemové aktivity tritia v období 1977 - 2016. Zpracovány byly údaje publikované v zahraničí [3] i vlastních měření [4-5]. Hlavním cílem bylo kvantifikovat podíl hlavních složek pozadí - přirozeného a antropogenního (reziduální znečištění po atmosférických testech jaderných zbraní v minulém století a dálkový přenos z jaderných zařízení ve světě) a výpustí z JE Temelín a JE Dukovany v povrchových vodách v povodí Vltavy. Popsat časově-prostorové chování tritia na profilech referenčních i profilech ovlivněných provozem jaderných elektráren. Od roku 2010 jsou vzorky z vybraných referenčních profilů, tj. profilů přímo neovlivněných jaderným zařízením, upravovány elektrolytickým nabohacením. Díky této předúpravě je

dosahováno velmi nízkých nejmenších detekovatelných aktivit a postup umožňuje např. detailní popis průběhu objemové aktivity tritia ve srážkách během roku.

Metodika

Odběr a úprava vzorků byly prováděny podle norem [6-9]. Objemová aktivita tritia byla sledována v profilech povodí Vltavy a Labe neovlivněných výpustmi odpadních vod z JE Temelín (Vltava Hluboká, Lužnice Koloděje, Otava Topělec a Labe Lysá) a profilech pod zaústěním (Vltava Solenice, Vltava Praha Podolí a Labe Hřensko). V lokalitě JE Dukovany byly vzorky odebírány z neovlivněných profilů Jihlava Vladislav a Morava Lanžhot a ovlivněných profilů Jihlava Mohelno, Dyje Pohansko a Morava Moravský Sv. Ján. S výjimkou profilu Morava Moravský Sv. Ján byly odběry prováděny s četností 1 x měsíčně. Vzorkování bylo prováděno pracovníky Povodí Vltavy, Povodí Labe a Povodí Moravy, státní podnik, v rámci sledování tritia v monitorovací síti ČHMÚ, sledování VUV pro ČEZ, a.s. JETE a SÚJB v rámci Radiační monitorovací sítě ČR. Vzorky z profilu Morava Moravský Sv. Ján byly odebírány čtvrtletně. Dále byly sledovány srážky v lokalitách Praha Podbaba a Kocelovice. V případě srážek se jednalo o měsíční slévané vzorky. Mapa odběrových míst je na Obr. 1.



Obr. 1 Mapa odběrových míst

Stanovení objemové aktivity tritia bylo prováděno v Referenční laboratoři složek životního prostředí a odpadů ve VÚV. Měření se uskutečnilo na nízkořadových kapalinových scintilačních spektrometrech Quantulus 1220 a TriCarb 3170 TR podle [10]. Relativní účinnost byla asi 26 %. Podmínky měření byly nastaveny podle očekávaných aktivit. Byla měřena směs 8 ml vzorku a 12 ml scintilátoru ULTIMA GOLD LLT po dobu 800 (vzorky bez předpokládaného ovlivnění), resp. 300 min (vzorky s předpokládaným ovlivněním). Minimální detekovatelná aktivita na hladině významnosti 95 % byla v závislosti na době měření 1,0, resp. 2,0 Bq/l. Ke kalibraci byl použit certifikovaný materiál (Český metrologický institut). Vybrané vzorky z referenčních profilů jsou od roku 2010 elektrolyticky nabohacovány. Výchozí objem 500 ml vzorku je elektrolyzován na objem 20 – 25 ml, ve zbylém vzorku je nabohaceno tritium, resp. molekuly HTO, které se hůře elektrolyzují oproti molekule H₂O.

Pro popis vývoje objemové aktivity tritia na referenčních profilech v čase byla použita rovnice kinetiky 1. řádu:

$$\ln c_{3HP,j} = -\lambda_{ef} \cdot t + q \quad (1)$$

kde $c_{3HP,j}$ je roční průměrná objemová aktivita tritia v povrchových vodách, odpovídající kontaminaci po atmosférických testech jaderných zbraní, jeho tvorbě přirozenými procesy a uvolňování z jaderných zařízení (pozadí) na základě výsledků sledování za období 1977 – 2015 (Bq/l)

λ_{ef} efektivní (pozorovaná) rychlostní konstanta pro pokles objemové aktivity tritia z testů jaderných zbraní (1/r)

t doba sledování (r)

q aktivita tritia na začátku sledování (Bq/l)

Z vyhodnocené efektivní rychlostní konstanty (λ_{ef}) byl vypočten efektivní poločas (T_{ef}) poklesu objemové aktivity tritia podle rovnice:

$$T_{ef} = \ln 2 / \lambda_{ef}$$

(2)

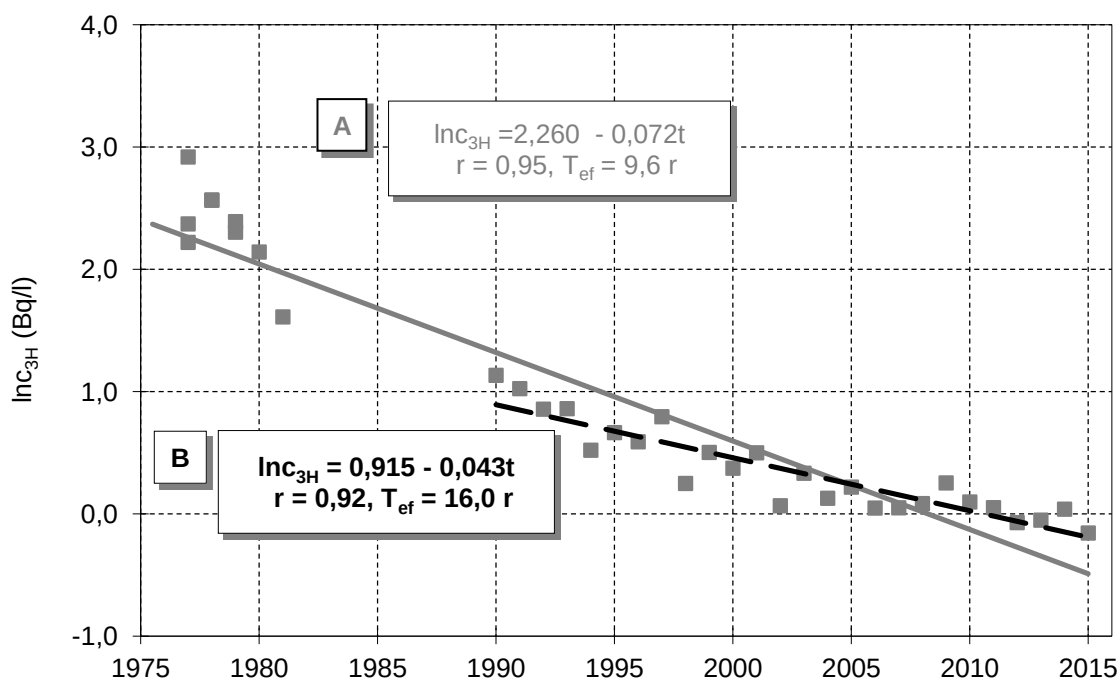
Výsledky a diskuze

Byl hodnocen dlouhodobý vývoj objemové aktivity tritia v období 1977 - 2016. Do zpracování byly zahrnuty údaje publikované v zahraničí [3] i vlastních měření [4-5]. Z

vývoje měřených ročních průměrných objemových aktivit tritia na Obr. 2 za období 1977 – 2015 (A) byl (podle rovnice 1 a 2) vypočten efektivní poločas (T_{ef}) 9,6 r.

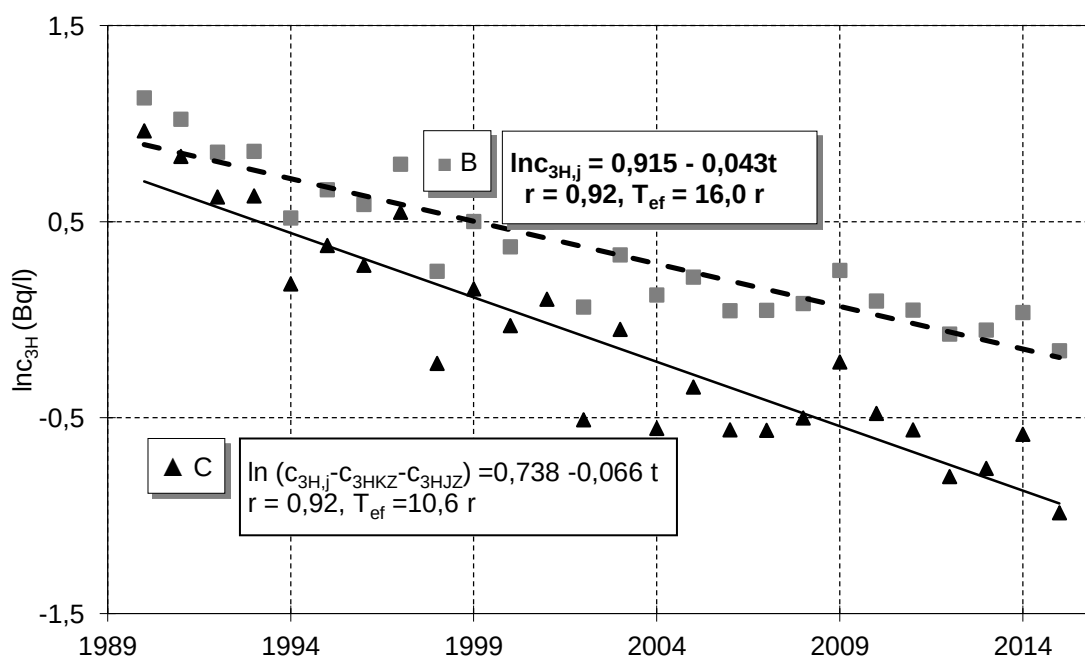
Podrobněji bylo hodnoceno období 1990 - 2015 (období výstavby a provozu jaderné elektrárny Temelín). V tomto období na neovlivněných profilech byla na začátku hodnoceného období v roce 1990 objemová aktivita tritia 3,1 Bq/l a v závěru hodnoceného období (2015) méně než 1,0 Bq/l.

Bylo pozorováno zpomalování poklesu objemových aktivit tritia. Efektivní poločas ubývání (T_{ef}) pro toto období byl 16,0 r, tedy delší poločas než je fyzikální [1]. Důvodem prodloužení poločasu je, že na relativně nízkých objemových aktivitách tritia (pozadí) se podílí významnou měrou konstantní složka – příspěvek tvořený kosmickým zářením a příspěvek z jaderných zařízení výpočtově uvažovaný pro hodnocené období také jako konstantní. Z těchto důvodů byla časová etapa poklesu objemové aktivity tritia za období 1990 – 2015 zpracována samostatně na Obr. 3. Pro popis vývoje objemové aktivity tritia v povrchových vodách byly použity výsledky sledování tritia v povodí Vltavy a Labe v části neovlivněné JE Temelín. Do průměrných hodnot byly započteny výskyty tritia pod úrovní nejmenší významné aktivity c_{NV} na úrovni této hodnoty. Roční průměrné objemové aktivity tritia $c_{\text{3HP},j}$ byly korigovány o přirozenou složku vznikající kosmickým zářením c_{3HKZ} a o odhad příspěvku z jaderných zařízení přenosem atmosférou c_{3HJZ} .



Obr. 2 Vývoj objemové aktivity tritia v povrchových vodách (povodí Labe) neovlivněných výpustmi z JE v období 1977-2015

Pro kinetiku ubývání objemové aktivity tritia korigované o přirozenou složku a příčinek jaderných zařízení (tzn. pro reziduální znečištění z atmosférických testů jaderných zbraní) byl pro období 1990 – 2015 odvozen $T_{ef}=10,6$ r, tedy kratší než u vývoje nekorigovaných objemových aktivit tritia. Tato složka tritiové kontaminace bude i nadále ubývat a lze předpokládat, že hodnota efektivního poločasu ubývání dále poroste. Po rozpadu tritia z testů jaderných zbraní zůstane konstantní složka odpovídající jeho tvorbě kosmickým zářením a mírně vzrůstající složka odpovídající atmosférickému přenosu tritia z plynných a kapalných výpustí z jaderných zařízení na našem území a v zahraničí pokud bude docházet k očekávanému rozvoji jaderné energetiky.



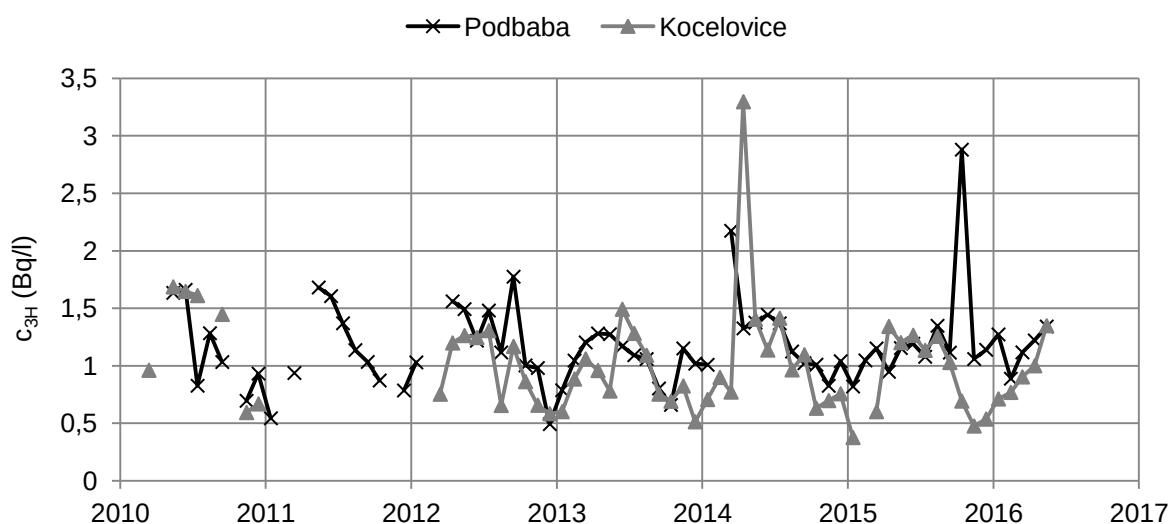
Obr. 3 Vývoj objemové aktivity tritia v povrchových vodách (povodí Labe) neovlivněných výpustmi z JE v období 1990-2015

Výsledky byly dále porovnány s údaji publikovanými v období po ukončení atmosférických jaderných zkoušek v roce 1963, kdy podle Beneta [11] byla průměrná objemová aktivita tritia ve 20 řekách na území Spojených států přibližně 100 Bq/l. V tomto období byl sledován pokles objemových aktivit tritia s větší rychlostí, než námi vypočtený $T_{ef}=9,6$ r pro období 1977 – 2015. Bogen a kol. [12] uvádějí, že došlo k prodloužení $T_{ef}=3$ let v počátečním období po testech jaderných zbraní na 5 let kolem roku 1978. Důvodem je skutečnost, že dochází k migraci tritia do hlubších vrstev oceánů apod. a tím k poklesu objemové aktivity tritia v důsledku ředění.

Zjištěné objemové aktivity tritia v neovlivněných povrchových vodách v okolí JE Temelín odpovídají objemovým aktivitám v neovlivněných profilech publikovaných v zahraničí.

Obdobně byla sledována objemová aktivita tritia ve srážkách na českém území na stanicích bez přímého vlivu JE (stanice Praha Podbaba, Kocelovice). Efektivní poločas ubývání tritia ve srážkách pro období 1993 – 2015 byl vyhodnocen 25,9 r, po korekci o složku přirozeného tritia a složku dálkového přenosu to bylo 16,9 r. Jedná se o poločas delší než je fyzikální poločas rozpadu tritia a je tedy zřejmé, že složka tritia vznikajícího přirozenými procesy začíná převládat nad složkou „bombového tritia“.

Od roku 2010 je stanovení tritia ve srážkách prováděno v elektrolyticky nabohacených vzorcích. Výsledky jsou prezentovány na Obr. 4.

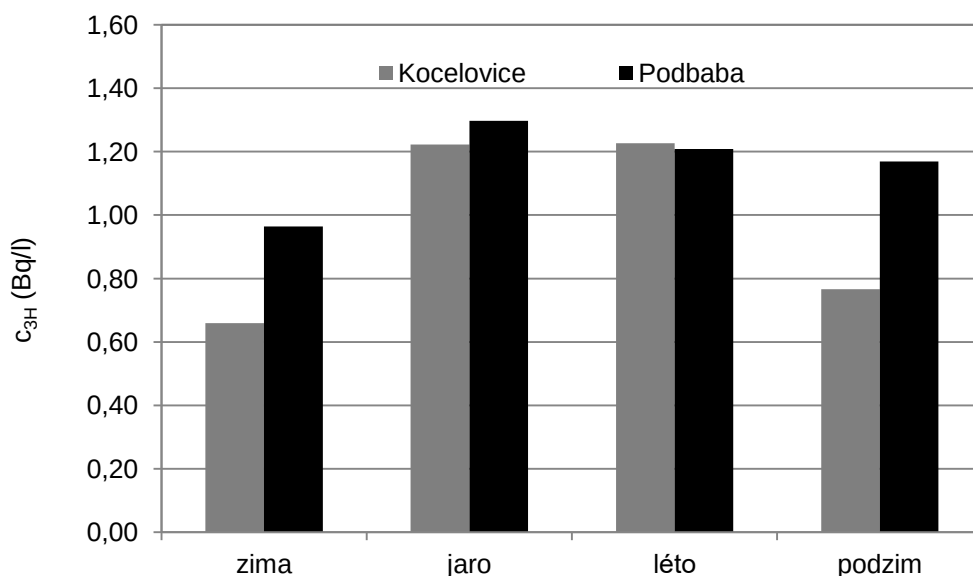


Obr. 4 Vývoj objemové aktivity tritia ve srážkách na stanicích Kocelovice a Praha Podbaba v období 2010-2016

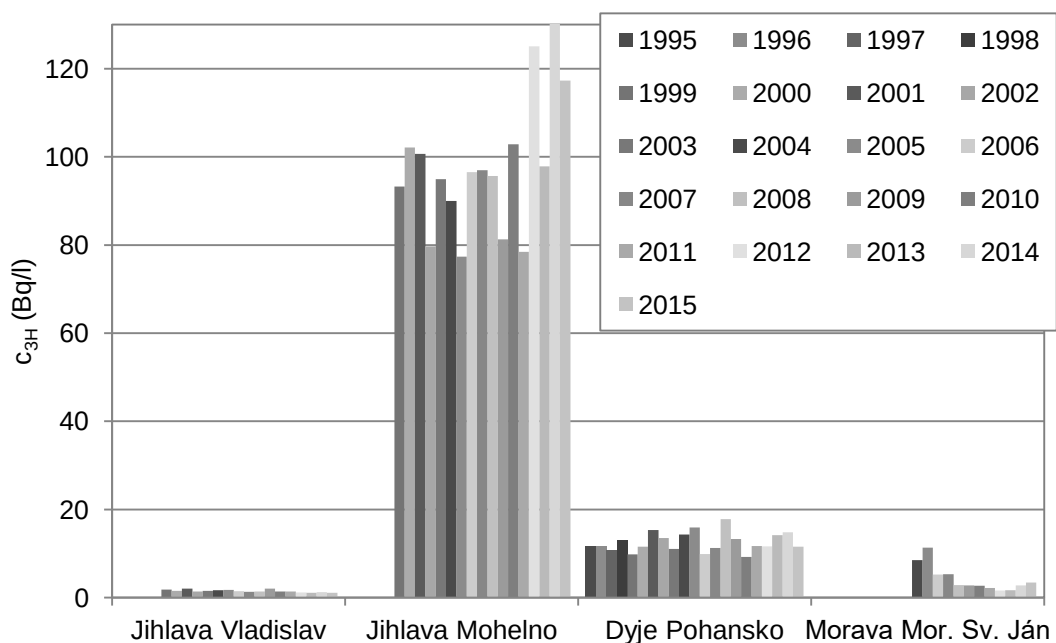
Na Obr. 4 je vidět charakteristická sezónní variace tritia ve srážkách, proto byly dále zpracovány vážené průměry tritia pro roční období (Obr. 5). Maximální průměrné hodnoty byly vyhodnoceny pro jarní a letní období, minimální pro období zimní. Jedná se o přirozený průběh srážek, tak jak je popisován v literatuře [2].

Z podrobného statistického zpracování vyplývá, že průměrná aktivita ze stanice Praha Podbaba za hodnocené období 2010-2016 je statisticky významně vyšší než hodnota vyhodnocená pro stanici Kocelovice. Jako hlavní důvod předpokládáme vliv městské aglomerace, kde jsou kumulovány drobné nevýznamné zdroje tritia.

Dále byl sledován vliv našich jaderných elektráren na koncentraci tritia v povrchových vodách. Výsledky sledování pro jadernou elektrárnu Dukovany jsou uvedeny na Obr. 6 pro jadernou elektrárnu Temelín na Obr. 7. Profily Jihlava Vladislav a Vltava Hluboká se nacházejí nad zaústěním odpadních vod z JE, jedná se tedy o profily referenční s průměrnou koncentrací přibližně 1 Bq/l.

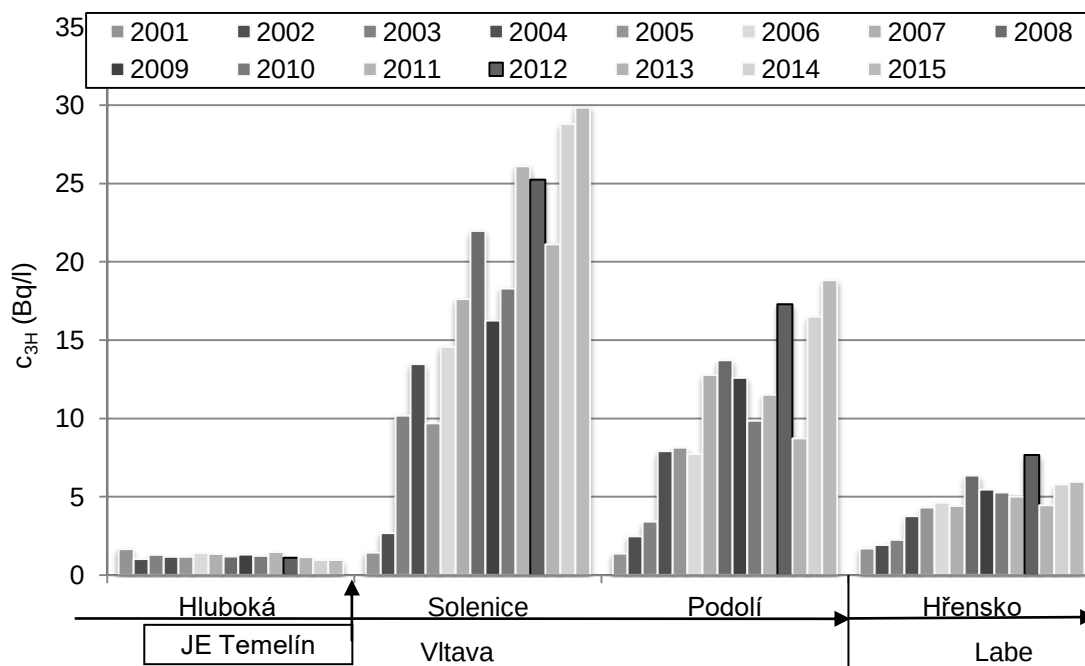


Obr. 5 Sezónní variace objemové aktivity tritia ve srážkách na vybraných profilech v období 2010-2016



Obr. 6 Vývoj objemové aktivity tritia na vybraných profilech povrchových vod nad a pod zaústěním odpadních vod z JEDU v období 1995-2015

Na ostatních profilech můžeme sledovat evidentní vliv JE, který je v rámci zákonných požadavků.



Obr. 7 Vývoj objemové aktivity tritia na vybraných profilech povrchových vod nad a pod zaústěním odpadních vod zJETE v období 2001-2015

Závěr

Byla shrnuta více než 25 letá zkušenost pracoviště ve Výzkumném ústavu vodohospodářském, TGM, v.v.i.v Praze sledováním tritia ve srážkových a povrchových vodách.

Hlavními zdroji tritia v životním prostředí jsou přirozené procesy, reziduální kontaminace po atmosférických testech jaderných zbraní v minulém století a tritium uvolňované z jaderných zařízení. Z bilančního hlediska dosud převažuje tritium uvolněné během atmosférických testů jaderných zbraní v minulém století. Tato kontaminace postupně ubývá v důsledku radioaktivního rozpadu tritia. Efektivní poločas ubývání pro období 1977 – 2015 byl vyhodnocen 9,6 r. Samostatně bylo analyzováno období 1990 – 2015, pro které byl vyhodnocen delší poločas ubývání, a to 16,0 r. Pro toto období byl dále vyhodnocen poločas pro objemovou aktivitu tritia korigovanou o složku přirozeného tritia a složku dálkového přenosu, a to 10,6 r.

Byla sledována objemová aktivita tritia ve srážkách na českém území na stanicích bez přímého vlivu JE. Efektivní poločas ubývání tritia ve srážkách pro období 1993 – 2015 byl vyhodnocen 25,9 r po korekci o složku přirozeného tritia a složku dálkového přenosu

to bylo 16,9 r. Jedná se o poločas delší než je fyzikální poločas rozpadu tritia a je tedy zřejmé, že složka tritia vznikajícího přirozenými procesy začíná převládat nad složkou „bombového tritia“. Díky elektrolytickému nabohacení vzorků od roku 2010, je možné podrobně sledovat sezónní variaci tritia ve srážkových vodách a přesně stanovit složku přirozeného tritia.

Odpadní vody z jaderných zařízení představují bodové zdroje znečištění tritiem a významně ovlivňují úroveň tritia v tocích pod jejich zaústěním. Byl sledován vliv odpadních vod z JE Temelín a Dukovany na koncentraci tritia v ovlivněných povodích. Zjišťované koncentrace tritia v tocích ovlivněných provozem JE odpovídají výpustem uváděných provozovatelem a hydrologické situaci.

VÚV TGM, v.v.i., Referenční laboratoř složek životního prostředí a odpadů, oddělení radioekologie se zabývá sledováním tritia ve vodách více než 25 let. Laboratoř je vybavena nízkopozadovými kapalinovými scintilačními spektrometry a sestavou pro elektrolytické nabohacení vzorků. Toto vybavení umožňuje stanovení objemových aktivit tritia ve vodách od 0,05 Bq/l. Laboratoř je tedy schopna přesně stanovit velmi nízké koncentrace tritia nejen v povrchových ale i srážkových a podzemních vodách.

Zoznam literatúry

- [1] Rozanski K, Gröning M (2004) Tritium assay in water samples using electrolytic enrichment and liquid scintillation spectrometry. Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements. IAEA-TECDOC-1401, 195–217
- [2] Penzhorn RD (2013) Tritium discovery, sources, and applications. In: Silvano Tosti and Nicolas Ghirelli. Tritium in Fusion: Production, Uses and Environmental Impact. Nova Science Publishers, Inc., New York, ISBN 978-62417-287
- [3] Hanslík E, Mansfeld A (1983) Tritium v odpadech jaderného palivového cyklu a možnosti jeho odstraňování. Práce a studie, vol. 159, VÚV Praha, SZN Praha
- [4] Hanslík E, Ivanovová D, Jedináková-Křížová V, Juranová E, Šimonek P (2009) Concentration of radionuclides in hydrosphere affected by Temelín nuclear power plant in Czech Republic. Journal of Environmental Radioactivity, 100(7): 558-563. ISSN 0265-931X
- [5] Hanslík E, Marešová D (2013) Case study: Quantification of individual components of tritium balance in the Vltava and Elbe Rivers affected by the operation of Temelín Nuclear Power Plant (Czech Republic) In: Silvano Tosti and Nicolas Ghirelli. Tritium in Fusion: Production, Uses and Environmental Impact. Nova Science Publishers, Inc., New York, ISBN 978-62417-287
- [6] ČSN EN ISO 5667-1 (75 7051) (2007) Jakost vod - Odběr vzorků - Část 1: Návod pro návrh programu odběru vzorků a pro způsoby odběru vzorků. ČNI
- [7] ČSN EN ISO 5667-3 (75 7051) (2013) Kvalita vod - Odběr vzorků - Část 3: Konzervace vzorků vod a manipulace s nimi. ÚNMZ

- [8] ČSN ISO 5667-6 (75 7051) (2008) Jakost vod - Odběr vzorků - Část 6: Návod pro odběr vzorků z řek a potoků. ČNI
- [9] ČSN ISO 5667-8 (75 7051) (1996) Jakost vod. Odběr vzorků. Část 8: Pokyny pro odběr vzorků srážek. ČNI
- [10] ČSN EN ISO 9698 (75 7635) (2011) Kvalita vod – Stanovení objemové aktivity tritia – Kapalinová scintilační měřicí metoda. ČNI
- [11] Bennet BG (1973) Environmental tritium and the dose to man. In: Proc. 3th International Congress of the International Radiation Protection Association, Washington, 1047-1053
- [12] Bogen DC, Welfrod GA, White, CG (1978) Tritium distribution in man and his environment. In: Behaviour of Tritium in the Environment, IAEA, Vienna, 567-574.

Od alchýmie k superaktinoidom

Syntéza aktinoidov a transaktinoidov, hranice Periodickej sústavy prvkov

Jozef Kuruc

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra jadrovej chémie,

Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovensko

kuruc (at) fns.uniba.sk

Abstrakt

V tomto prehľade je opísaná stručná história objavu periodického zákona, objavy prvkov od epochy alchýmie až po syntézu aktinoidov a transaktinoidov. Diskutovaná je príprava transaktinoidov (prvkov s $Z \geq 104$ po $Z = 118$), s použitím už navrhovaných názvov prvkov so $Z = 113, 115, 117$ a 118 : nihonium, moscovium, tennessine a oganesson. Periodické tabuľky prvkov sú prezentované v krátkej forme, v dlhej 18-stĺpcovej a 32-stĺpcovej forme. Diskutovaná je aj periodická tabuľka prvkov obsahujúca prvky 8-j a 9-j periód a jej možný rozsah. Extrapoláciou dôb polpremien najťažších izotopov prvkov od tória po oganesson bola predpovedaná doba polpremeny unbihexiuma (Ubh) okolo 378 sekúnd.

Kľúčové slová: Periodická sústava; aktinoidy; transaktinoidy; transuránové prvky; atómové číslo; fúzne reakcie s ťažkými iónmi; historické aspekty

Úvod

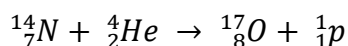
Fascinujúca história objavov prvkov trvá už niekoľko tisícročí a pokračuje dodnes. Mnohé prvky, predovšetkým kovy, pozná ľudstvo od staroveku, niektoré z nich boli známe už v Egypte. Neskôr bola publikovaná história objavov prvkov [1] a pôvod ich medzinárodných názvov až po posledný aktinoid (okrem prvkov 113, 115 a 117) [2].

Chemici (skôr alchymisti) ešte v stredoveku skúmali vlastnosti a využitie mnohých prvkov a ich zlúčenín, pričom ich hlavným cieľom (skôr snom) bolo dosiahnuť

transmutáciu niektorých, predovšetkým ťažkých kovov, na vytúžené zlato.*

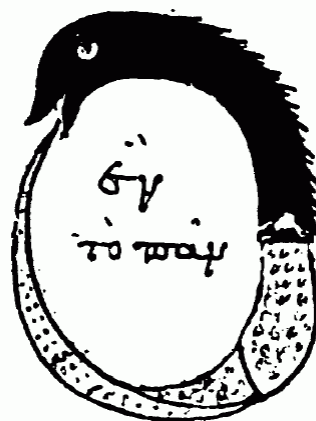
Dnes vieme, že s vtedajšími poznatkami a technológiami to bol nedosiahnuteľný cieľ, avšak v súčasnosti to už vieme realizovať, len cena takéhoto zlata je príliš vysoká. Napriek tomu činnosť a výsledky práce alchymistov pri ich snahe, ako dnes hovoríme, transmutovať kovy na drahocenné striebro a zlato, pripraviť Kameň mudrcov a Elixír života, možno hodnotiť vcelku kladne. Napriek tomu, že sa neopierali o vedecké základy, vytvorili množstvo prístrojov, aparatury a postupov, pričom niektoré z nich sa využívajú dodnes. Získané poznatky umožnili vznik chémie ako vednej disciplíny [3, 4].

V roku 1919 **Ernest Rutherford** dokázal ako prvý na svete transmutovať jeden chemický prvok na iný. Podarilo sa mu iniciovať jadrovú reakciu dusíka s alfa časticou a premeniť dusík na kyslík:



Už v rokoch 1900 až 1903 spolupracoval s Frederickem Soddy z McGillovej univerzity na transmutácii prvkov a za tieto práce dostal v roku 1921 Nobelovu cenu za chémiu. Po ňom je pomenovaný chemický prvok rutherfordium, Rf, Z=104 (bol objavený v r. 1969 a definitívne pomenovaný v r. 1997). Celkovo za posledných 50 rokov Periodická sústava prvkov bola doplnená 17 novými prvkami, vrátane tých, ktoré uzatvárajú 7. periódu Periodickej sústavy prvkov.

* V alchýmii sa používal termín **chrysopoeia**, ktorý označoval transmutáciu na zlato (z gréčtiny χρυσός *khrusos*, "zlato," a ποιῆν *poiēin*, "robiť"). Symbolicky bol použitý na indikovanie vytvorenia "kameňa mudrcov" (alebo filozofický kameň) a završenie prác vytvorením **Magnum opus** (Veľká práca - kameňa mudrcov). Slovo bolo použité v názve alchymického papyrusu [Chrysopoeia of Cleopatra](#), ktorý bol napísaný v prvom storočí Kresťanskej éry. Papyrus má črty idey "jedno všetkého" (*en to pan*). [Stephen of Alexandria](#) napísal *De Chrysopoeia* (Stanton J. Linden. *The alchemy reader: from Hermes Trismegistus to Isaac Newton*. 2003. p.54) *Chrysopoeia* je taktiež v poéme z r. 1515 [Giovanni Augurello](#). Na papyruse bol použitý symbol Ouroboros alebo Oroboros (Staroveká gréčtina: οὐροβόρος ὄφις) "chvost požierajúci hada" je staroveký symbol znázorňujúci hada alebo draka pojedajúceho jeho vlastný chvost.



Obrázok 1. Ilustrácia Ouroboros z *Chrysopoeia of Cleopatra*

Zlato (vytúžený cieľ alchymistov) možno pripraviť viacerými cestami. Zlato bolo po prvý krát pripravené z ortuti bombardovaním neutrónmi v roku 1941, ale všetky vznikajúce izotopy boli rádioaktívne [5]. Zlato je v súčasnosti vyrábané v jadrových reaktoroch ožarovaním neutrónmi platiny alebo ortuti.

Iba izotop ortute ^{196}Hg , ktorý sa vyskytuje s frekvenciou 0,15% v prírodnej ortuti, sa môže transmutovať na zlato zachytávaním pomalých neutrónov a po zachytení elektrónov nasleduje premena na zlato, pričom vzniká stabilný izotop ^{197}Au . Ak sú iné izotopy ortuti ožiarené pomalými neutrónmi, tak zachytávajú neutrón, ale buď vznikajú vlastné izotopy ortuti, alebo nasleduje beta premena na izotopy tália ^{203}Tl a ^{205}Tl .

Pomocou rýchlych neutrónov, izotop ortuti ^{198}Hg predstavuje 9,97% prírodnej ortuti môže sa transmutovať odštiepením neutrónu so vznikom ^{197}Hg , ktorý sa potom mení na stabilné zlato. Táto reakcia má však menší prierez, aktivácia je možná iba s nemoderovanými tzv. rýchlymi (Breeder) reaktormi.

Je tiež možné indukovať emisiu niekoľkých neutrónov s veľmi vysokou energiou neutrónov z ostatných izotopov ortuti za účelom vytvorenia ^{197}Hg . Avšak také vysokoenergetické neutróny možno vyrábať iba na urýchľovačoch častíc.

V roku 1980 Glenn Seaborg premenil niekoľko tisíc atómov bizmutu na zlato v Lawrence National Berkeley Laboratory. Jeho experimentálna technika bola schopná odstrániť protóny a neutróny z atómov bizmutu. Avšak Seaborgova technika by bola príliš drahá aby sa dala použiť na rutinnú výrobu zlata [6].

V súčasnosti sa indukovaná *transmutácia* prvkov (premena jedného prvku na iný pomocou jadrovej reakcie) široko využíva na prípravu rôznych izotopov nielen známych prvkov, ale aj *transaktinoidov* a realizujú sa aj experimenty s cieľom pripraviť *superaktinoidy* (pozri nižšie).

Ľudstvo zvládlo aj technológiu zlučovania jadier atómov s tvorbou ťažších jadier, tzv. fúziu jadier. Prvou aplikáciou bolo vytvorenie termonuklárnej bomby, kedy pri jej explózii prebieha fúzia jadier deutéria a trícia s tvorbou hélia [7]. Pre mierové účely navrhli v 50. rokoch princíp TOKAMAKu [Igor Jevgenievič Tamm](#) a [Andrej Sacharov](#) (s magnetickým udržiavaním plazmy) [8]. Vo svete bolo vybudovaných niekoľko tokamakov, na ktorých sa vyvíjali technológie. Okrem toho boli vyvinuté techniky Stellator [9] a inerciálneho udržania plazmy. V súčasnosti sa buduje v Cadarachu

(Francúzsko) skúšobný tokamak ITER [10], v ktorom by sa mala odskúšať technológia vhodná na výrobu elektrickej energie, teplota plazmy by v ňom mala dosiahnuť 150 miliónov K a predpokladané náklady sú 18 miliárd eur. Do skúšobnej prevádzky by mal byť uvedený v roku 2035.

Objav Periodického zákona

Éra alchémie sa skončila snahou vtedajších vedcov vytvoriť klasifikáciu známych prvkov. Antoine Lavoisier vytvoril v roku 1789 prvý moderný zoznam 33 "prvkov", ktoré zoskupil do štyroch skupín "prvkov", medzi ktorými bolo 23 chemických prvkov. [Alexandre Béguyer de Chancourtois](#) bol prvý, ktorý v roku 1862 zostavil zoznam známych prvkov v poradí zvyšujúcich sa hmotností ich atómov. [John Newlands](#) pokračoval v prácach Johanna Wolfganga Döbereinera s triádami a Jean-Baptista Dumasa o rodinách podobných prvkov a publikoval v roku 1865 svoj "zákon oktáv". Newlands usporiadal všetky známe prvky, počnúc vodíkom a končiac tóriom, do siedmich skupín po ôsmich, ktoré sa podobali na hudobné oktávy [11]. "Rozdiel v číslach najmenšieho člena skupiny a nasledujúceho za ním sa rovná siedmim, to znamená, ôsmy prvok, počínajúc od daného prvku, je určitým pokračovaním prvého, podobne ako ôsma nota oktávy v hudbe". Týmto ako prvý vyslovil ideu o periodicite zmeny vlastností prvkov.

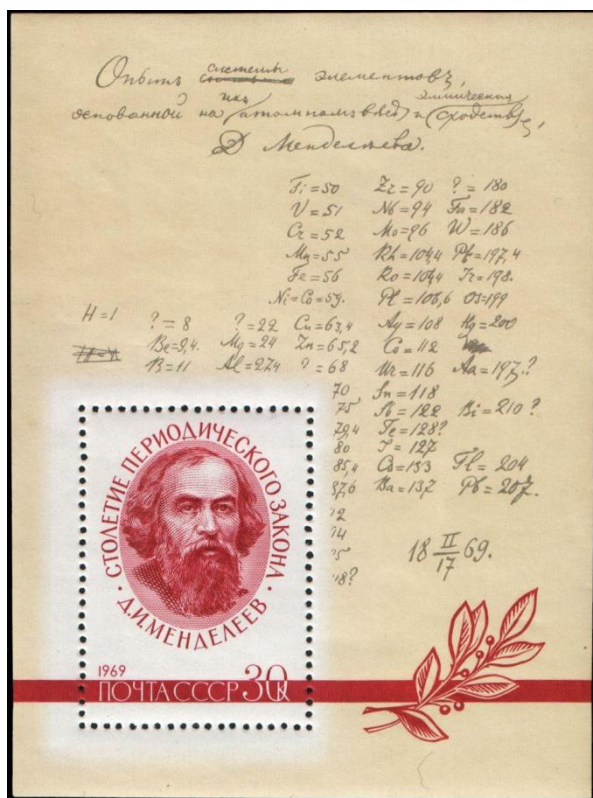
No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56

Obrázok 2. Newlandova periodická sústava z roku 1866

Chemický zákon o tom, že vlastnosti všetkých prvkov sa periodicky opakujú navrhli nezávisle dvaja chemici: 17 februára 1869 ruský chemik *Dmitrij Ivanovič Mendelejev* a v roku 1870 nemecký chemik *Julius Lothar Meyer*. Hoci žiadny prvok nemal atómovú hmotnosť medzi vápnikom a titánom, Mendelejev ponechal vakantné miesto v jeho tabuľke. Toto miesto neskôr bolo priradené prvku skandiu, ktorý objavili v roku 1879 s vlastnosťami zaraďujúcimi ho do sekvencie. Mendelejev okrem toho ešte predpovedal

existenciu ďalších prvkov, ktoré nazval eka-kremík, eka-hliník a eka-bór (germánium, gálium a už spomínané skandium, v uvedenom poradí). Práve po objavení týchto prvkov s predpovedanými vlastnosťami sa Periodický zákon, ktorý objavil D. I. Mendelejev, stal všeobecne uznávaný. Odvtedy boli objavené ďalšie prvky, väčšina z nich sa nachádza v prírode, ale aj ďalšie, ktoré sa v prírode nenachádzajú - technécium, francium, ...

V ére snahy zostaviť tabuľku prvkov bolo známych 63 prvkov. Bola publikovaná história objavov prvkov [12] a pôvod ich medzinárodných názvov až po posledný aktinoid (okrem prvkov 113, 115 a 117) [13]. V nadväznosti na náš predchádzajúci článok [14] som sa v tejto práci pokúsil doplniť informáciu o detaily syntézy superaktinoidov (prvkov 104 – 118).



Obrázok 3. Faksimile pôvodného variantu Periodického zákona D. I. Mendelejeva z roku 1869

História objavov aktinoidov

Príprava transuránových prvkov, skupiny tzv. aktinoidov, bola zahájená Manhatannovým projektom [15], v ktorom bola vyvinutá jadrová bomba s využitím štiepenia uránu-235 a plutónia-239. História objavov prvkov 94 až 103 (aktinoidov) je relatívne dobre známa, preto sa tu obmedzíme iba odkazmi na bežne dostupnú literatúru [16, 17]. Najvýznamnejšiu úlohu pri objavovaní aktinoidov zohrali [Glenn T. Seaborg](#) a

[Albert Ghiorso](#) so spolupracovníkmi v Berkeley (Lawrence Berkeley National Laboratory). Chémia aktinoidov je dobre preskúmaná [18, 20, 20].

Aktinoidy majú široké použitie, tórium a urán sa používajú v tóriovom a uránovom jadrovom palivovom cykle, plutónium ako jadrové palivo MOX (mixed oxides - zmes oxidov uránu a plutónia). Z plutónia a iných aktinoidov sa vyrábajú jadrové štiepne hlavice a iniciátory termojadrových zbraní. ^{227}Ac a ^{253}Am sú intenzívne zdroje neutrónov, ^{252}Cf sa využíva v neutrónovej rádiografii. Niektoré izotopy aktinoidov našli využitie v nukleárnej medicíne.

Príprava aktinoidov

Na Zemi sa vyskytuje 83 chemických prvkov (v skutočnosti niektoré z nich boli pripravené ľuďmi, napr. Tc, At), najľahší je vodík (jeho atómové číslo $Z=1$) a najťažší je urán ($Z=92$). V skutočnosti, v Slnčnej sústave a na našej planéte sa zachovali iba tie prvky, u ktorých doba polpremeny je porovnateľná s vekom Zeme ($\sim 4,5$ miliardy rokov). Iné prvky už podľahli rádioaktívnej premene. Urán a tórium sú ešte stále prítomné na Zemi, napriek tomu, že sú rádioaktívne.

Všetky prvky za uránom sú ťažšie. Vznikali v procese nukleosyntézy (proces, pri ktorom jadrá ťažkých chemických prvkov vznikajú z ľahších jadier atómov), avšak nedožili do dnešných dní. V súčasnosti ich možno pripraviť technicky (v jadrových reaktoroch a na urýchľovačoch). Predpokladá sa, že vo vesmíre vznikajú počas explózií supernov [21] v tzv. procesoch *s*- a *r*-procesoch explozívneho vzniku ťažkých prvkov [22].

Objav prvých technogénnych prvkov neptúnia a plutónia v rokoch 1940 – 1941 predstavoval začiatok nového smeru jadrovej fyziky a chémie pri skúmaní vlastností transuránových prvkov a ich aplikácií v mnohých oblastiach vedy a techniky. Ako výsledok mnohoročnej a intenzívnej práce ako aj technického pokroku, jadroví fyzici syntetizovali doteraz 26 nových transuránových prvkov (od $Z=93$ až po $Z=118$).

Existuje päť celosvetovo uznávaných výskumných centier, v ktorých sa pripravujú nové supertěžké prvky: v Berkeley (Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL or LBL), USA), v Dubne (Spojený ústav jadrového výzkumu (SÚJV, Ruská federácia), v Darmstadte ((GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, NSR), v Livermore (Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL, California, USA), a vo Wakō (RIKEN - Independent Administrative Institution, Japonsko). Väčšina nových prvkov bola pripravená v týchto ústavoch.

Nový prvok sa považuje za objavený až keď skupina získa spoľahlivé výsledky ohľadne jeho atómov a keď iná skupina vedcov potvrdí tieto výsledky. Preto jednotlivé nové prvky v Periodickej tabuľke prvkov sú dopĺňované veľmi pomaly.

V rokoch 1940 – 1953 profesor *Glenn Theodore Seaborg* (laureát Nobelovej ceny za chémiu, 1951, na jeho počesť je pomenovaný 106 prvok) spolu s kolegami v LLNL syntetizovali nové prvky s $Z = 93 - 103$. Prvé transuránové prvky (TUP) boli získané v reakciách postupného zachytu neutrónov jadrami izotopu uránu ^{235}U počas dlhodobého ožarovania vo výkonných jadrových reaktoroch. Pôvodne ich však objavili medzi produktami jadrových explózií pri testovaní jadrových zbraní.

Novú metódu prípravy ťažších aktinoidov už od roku 1957 realizovali na urýchľovačoch nabitých častíc, ktoré sa po urýchlení do vysokých rýchlostí a kinetickej energie zrážajú s terčovými jadrami ťažkých prvkov. Tieto práce viedol *Albert Ghiorso* v LLNL. V dôsledku zrážok vznikajú supert ťažké prvky, ktoré spravidla existujú iba veľmi krátko a potom podliehajú rádioaktívnej premene. Vďaka zaregistrovaným rádioaktívnym premenám a vznikajúcim produktom je možné určiť, či sa podarila syntéza supert ťažkého prvku. V súčasnosti sa príprava izotopov TUP realizuje na výkonnom experimentálnom jadrovom reaktore s vysokou hustotou toku neutrónov *High Flux Isotope Reactor* [23]. V Tabuľke 1 je uvedený stručný prehľad objavov aktinoidov – tzv. transuránových prvkov.

Všetky aktinoidy (prvky 89 – 103) postupne zaplňajú 5f orbitály. Na Obr. 4 sú zobrazené všetky doteraz pripravené izotopy aktinoidov [31].

Chémia aktinoidov (5f prvky), ako už bolo spomenuté, je pomerne dobre preskúmaná a opísaná, preto sa obmedzíme iba odkazmi na literatúru [32, 33, 34, 35]. Tieto poznatky sa využívajú napríklad pri spracovaní vyhoreného jadrového paliva [36, 37].

Tabuľka 1. Prehľad objavov aktinoidov – transuránových prvkov [24]

Z	Prvok	Jadrová reakcia	$T_{1/2}$	Rok	Miesto	Autor
93	Np, neptúnium	$^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow ^{239}_{92}\text{U} \rightarrow ^{239}_{93}\text{Np} + {}^0_{-1}\text{e}$ $^{238}_{92}\text{U} + {}^2_1\text{H} \rightarrow ^{239}_{93}\text{Np} + 2^1_0\text{n}$	2,356 (3) d	1940	Berkeley	E. M. Milan, H. Abelson
94	Pu, plutonium	$^{238}_{92}\text{U} + {}^2_1\text{H} \rightarrow ^{239}_{93}\text{Np} + {}^1_0\text{n}$ $^{239}_{93}\text{U} + {}^2_0\text{n} \rightarrow ^{239}_{94}\text{Pu} + {}^0_{-1}\text{e}$	24110 (30) r	1940	Berkeley	E. M. Milan, H. Abelson
95	Am, americium	$^{238}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He} \rightarrow ^{241}_{94}\text{Pu} + {}^1_0\text{n}$ $^{241}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{241}_{95}\text{Am} + {}^0_{-1}\text{e}$ $^{239}_{94}\text{Pu} + {}^1_0\text{n} \rightarrow ^{240}_{95}\text{Am} + {}^0_{-1}\text{e}$	432,6 (6) r 50,8 (3) h	1944	Chicago	G.T. Seaborg a i.
96	Cm, curium	$^{239}_{94}\text{U} + {}^4_2\text{He} \rightarrow ^{242}_{96}\text{Cm} + {}^1_0\text{n}$	162,8 (2) d	1944	Chicago	G.T. Seaborg a i.
97	Bk, berkelium	$^{242}_{95}\text{Am} + {}^4_2\text{He} \rightarrow ^{243}_{97}\text{Bk} + 2^1_0\text{n}$	4,6 (2) h	1949	Berkeley	G.T. Seaborg, A. Ghiorso a i.
98	Cf, kalifornium	$^{242}_{96}\text{Cm} + {}^4_2\text{He} \rightarrow ^{245}_{98}\text{Cf} + {}^1_0\text{n}$	45,0 (1,5) m	1950	Berkeley	G.T. Seaborg, A. Ghiorso a i.
99	Es, einsteinium	$^{238}_{92}\text{Cm} + 15^1_0\text{n} \rightarrow ^{253}_{99}\text{Es} + 7^0_{-1}\text{e}$	20,47 (3) d	1954	Nukl. expl.	A. Ghiorso a i. [25]
100	Fm, fermium	$^{252}_{98}\text{Cf} \xrightarrow{(n,\gamma)} ^{253}_{98}\text{Cf} \xrightarrow{\beta^-} ^{253}_{99}\text{Es} \xrightarrow{(n,\gamma)} ^{254}_{99}\text{Es} \xrightarrow{\beta^-} ^{254}_{100}\text{Fm}$ 17.81 d	3,240 (2) h	1954	Nukl. expl.	A. Ghiorso a. i. [25]
101	Md, mendelevium	$^{253}_{99}\text{Es} + {}^4_2\text{He} \rightarrow ^{256}_{101}\text{Md} + {}^1_0\text{n}$	77 (2) m	1955	Berkeley	G.T. Seaborg, A. Ghiorso a i. [26]
102	No, nobelium	$^{238}_{92}\text{U} + {}^{22}_{10}\text{Ne} \rightarrow (^{260}_{102}\text{No}^*) \rightarrow ^{254}_{102}\text{No} + 6^1_0\text{n}$	2,44 (4) s	1958- 1961	Dubna	G. N. Flerov a i. [27]
103	Lw, lawrencium	$^{243}_{95}\text{U} + {}^{18}_8\text{O} \rightarrow (^{261}_{103}\text{Lr}^*) \rightarrow ^{256}_{103}\text{Lr} + 5^1_0\text{n}$ $^{252}_{98}\text{Cf} + {}^{18}_8\text{O} \rightarrow (^{263}_{103}\text{Lr}^*) \rightarrow ^{258}_{103}\text{Lr} + 5^1_0\text{n}$	27 (3) s 4,1 (3) s	1961- 1965 14.2.1961	Dubna Berkeley	G. N. Flerov a i. [28, 29] A. Ghiorso a i. [30]

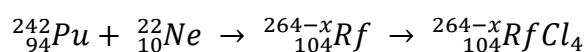
stable	α-decay	β ⁻ -decay	β ⁺ -decay (EC)	Spontaneous fission	Isomeric transition	p-decay	n-decay	t-decay	2p-decay	2n-decay	Unknown
208	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
210	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
211	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
212	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
213	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
214	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
215	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
216	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
217	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
218	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
219	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
220	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
221	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
222	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
223	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
224	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th	Th
225	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np
226	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu
227	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np
228	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu	Pu
229	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np	Np
230	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am
231	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am
232	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm
233	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm
234	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am
235	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am
236	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm
237	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf
238	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf
239	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk
240	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf
241	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf	Cf
242	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm
243	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm
244	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm	Fm
245	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es
246	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es
247	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es
248	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es
249	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es	Es
250	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
251	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
252	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
253	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
254	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
255	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
256	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
257	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
258	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
259	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
260	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
261	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
262	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
263	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
264	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
265	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
266	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
267	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
268	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
269	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
270	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
271	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
272	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
273	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
274	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
275	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
276	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
277	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
278	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
279	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
280	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
281	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
282	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
283	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
284	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
285	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
286	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
287	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
288	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
289	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
290	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
291	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
292	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
293	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
294	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
295	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
296	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
297	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
298	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
299	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr
300	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr	Lr

Obrazok 4. Periodická sústava prvkov so všetkými doteraz pripravenými izotopmi [31]

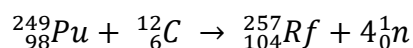
História objavov transaktinoidov

V chémii *transaktinoidové prvky* (taktiež *transaktinoidy*, alebo *superťažké prvky*) sú chemické prvky s atómovými číslami Z od 104 do 120. Všetky transaktinoidy boli pripravené na urýchľovačoch nabitých iónov [38, 39, 40], kedy ionizované urýchlené izotopy atómov dopadajú na terč, ktorý predstavuje vhodné izotopy ťažkých atómov.

Rutherfordium, Rf bolo po prvý krát detegované v roku 1968 v Spojenom ústave jadrového výskumu v Dubne, keď bombardovali terč ^{242}Am iónmi ^{22}Ne (nebola presne zmeraná doba polpremeny):

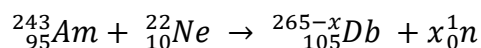


V roku 1969 vedci na Kalifornskej univerzite v Berkeley následne syntetizovali prvok 104 bombardovaním ^{249}Cf iónmi ^{12}C a namerali emisiu alfa častíc ^{257}Rf , ktoré korelovali s dcérskou premenou ^{259}No :



Americká syntéza bola nezávisle potvrdená v roku 1973 identifikáciou materského izotopu ^{257}Rf a pozorovaním K -alfa röntgenového žiarenia, dcérskeho ^{253}No .

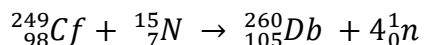
Dubnium, Db bolo po prvý krát objavené v roku 1968 v Spojenom ústave jadrového výskumu (SÚJV) v Dubne (v tom čase SSSR). Skupina vedená G. N. Fljorovom bombardovaním jadier ^{243}Am iónmi ^{22}Ne pripravila izotopy dubnia:



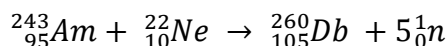
O dva roky neskôr sa im podarilo izolovať dubnium termickou gradientovou chromatografiou po jeho konverzii na chlorid interakciou s NbCl_5 s dobou polpremeny spontánneho štiepenia 2,2 s, s chemickými vlastnosťami podobnými na eka-tantál, pravdepodobne $^{261}\text{DbCl}_5$. V bývalom ZSSR tento objav zaregistrovali v Registri objavov pod číslom № 114 s prioritou od 18. februára 1970 [41], spoluautorom objavu je aj slovenský vedec akademik Ivo Zvára.

V rovnakom roku tím pod vedením Alberta Ghiorso na Kalifornskej univerzite v Berkeley bombardovaním ^{249}Cf iónmi ^{15}N pripravil ^{260}Db a nameral alfa premenu

dcérskeho produktu s dobou polpremeny 1,6 sekundy a energiou 9,10 MeV, ktorá korelovala s premenou dcérskeho jadra ^{256}Lw :

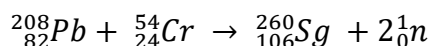


V roku 1971 tím v Dubne zopakoval ich reakciu na zdokonalenom zariadení, ktorá potvrdila údaje o premene ^{260}Db :

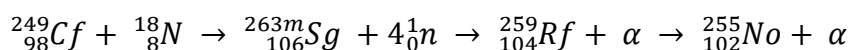


V roku 1992 IUPAC, Transfermium Working Group (TWG) potvrdila, že obidve skupiny spoluobjavili dubnium [42].

Seaborgium, Sg - dôkaz o príprave prvku 106 ako prvý oznámil tím v Dubne pod vedením Jurija Oganessiana, ktorý terče ^{208}Pb a ^{207}Pb bombardoval urýchlenými iónmi ^{54}Cr , pričom zaregistroval 51 udalostí spontánneho štiepenia s dobou polpremeny medzi 4 až desiatimi ms [43]:



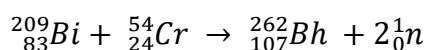
O niekoľko mesiacov neskôr skupiny v Bekeley pod vedením Glenna T. Seaborga a Alberta Ghiorshio taktiež syntetizovali prvok 106 bombardovaním ^{249}Cf iónmi ^{18}O [43]:



Doba polpremeny $^{263\text{m}}_{106}\text{Sg}$ bola $(0,9 \pm 0,2)$ s. Účinný prierez reakcie bol iba 0,3 nanobarnov. Prvok 106 Sg bol pomenovaný na počesť žijúceho vedca Glennna Seaborga.

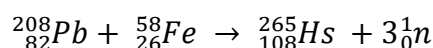
Bohrium, Bh - o syntéze prvku 107 ako prvá informovala skupina Jurija Oganessiana, ktorá terče ^{209}Bi a ^{208}Pb bombardovala iónmi ^{54}Cr a ^{58}Mn [44]. Ako sa ukázalo neskôr, doby polpremeny a vznikajúce izotopy neboli opísané presne.

V roku 1981 výskumný tím pod vedením [Petera Armbrustera](#) a [Gottfrieda Münzenberga](#) v [GSI Helmholtzovom Centre pre výzkum ťažkých iónov](#) (GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung) v Darmstadte bombardoval terč ^{209}Bi urýchlenými jadrami ^{54}Cr , pričom zaregistroval vznik 5 atómov izotopu ^{262}Bh [45]:

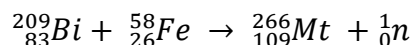


Objav bol potvrdený detailným meraním reťazca alfa premien so vznikom už predtým známych izotopov fermia a kalifornia. IUPAC TWG priznala objav kolaborácii GSI v ich správe v roku 1993 [46]:

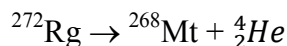
Hassium, Hs (prvok 108 – podľa Menedelejevovej terminológie pre neznáme prvky – „eka-osmium“) bolo oficiálne objavené v roku 1984 kolaboráciou GSI (vedúci projektu [Peter Armbruster](#) a [Gottfried Münzenberg](#)) v Darmstadte. Bombardovali terč ^{208}Pb urýchlenými iónmi ^{58}Fe a zaregistrovali vznik 3 atómov ^{265}Hs [47]:



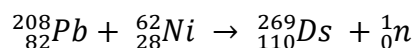
Meitnerium, Mt (prvok 109) bolo po prvý krát syntetizované 29. augusta 1982 nemeckým tímom pod vedením [Petera Armbrustera](#) a [Gottfrieda Münzenberga](#) v GSI v [Darmstadte](#) [48]. Tím bombardoval terč ^{209}Bi s urýchlenými jadrami ^{58}Fe a detegoval jediný atóm izotopu ^{266}Mt [49]:



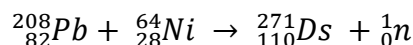
Tento objav potvrdili o tri roky neskôr v (SÚJV) v Dubne [43]. Na príprave izotopu ^{268}Mt sa podieľali aj slovenskí vedci profesor Štefan Šáro a Ing. Rudolf Janík z Matematicko-fyzikálnej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave [50]:



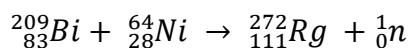
Darmstadtium, Ds (prvok 110) syntetizovali 9. novembra 1994, v GSI v [Darmstadte](#), NSR, opäť skupinou [Petera Armbrustera](#) a [Gottfrieda Münzenberga](#), pod vedením [Sigurda Hofmanna](#). Tím bombardoval terč ^{208}Pb s urýchlenými iónmi jadier ^{62}Ni a detegoval jeden atóm ^{269}Ds [51]:



Počas ďalších experimentov rovnaký tím realizoval experiment s iónmi ^{64}Ni a podarilo sa mu počas dvoch sérii experimentov pripraviť 9 atómov ^{271}Ds , u ktorých premeny korelovali so známymi vlastnosťami dcérskych produktov [52]:

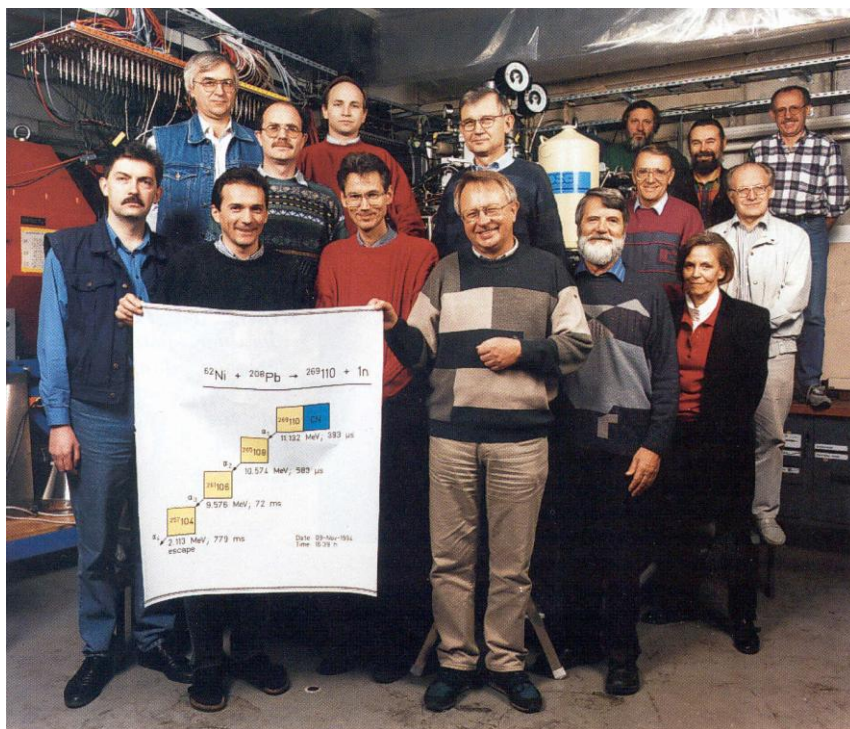
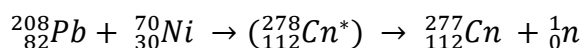


Roentgenium, Rg (prvok 111, „eka-zlato“) bolo po prvý krát syntetizované 8. decembra 1994 opäť v GSI v [Darmstadte](#), NSR (tím [Petera Armbrustera](#) a [Gottfrieda Münzenberga](#), pod vedením [Sigurda Hofmanna](#) za spoluúčasti Štefana Šára a Rudolfa Janíka), keď terčový ^{209}Bi bombardovali urýchlenými iónmi ^{64}Ni a detegovali jeden atóm izotopu ^{272}Rg [53]:



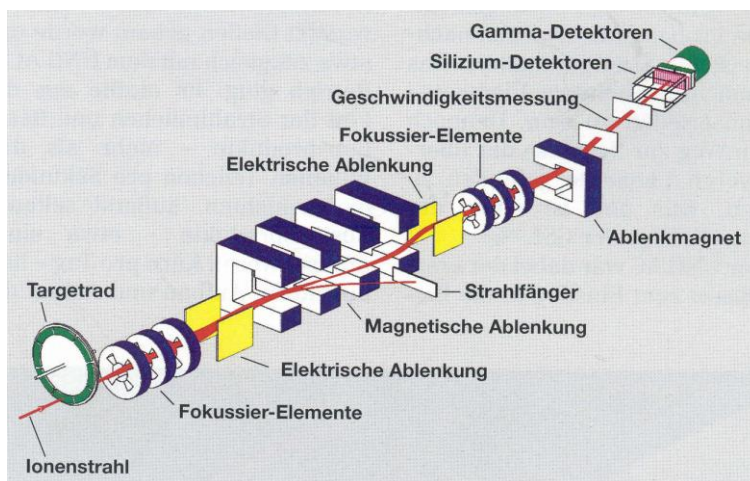
Ešte v roku 1986 v SÚJV uskutočnili rovnaký experiment, no žiadne atómy ^{272}Rg nepozorovali. V roku 2002 tím GSI zopakoval svoj experiment a detekoval vznik viac ako 3 atómov [54, 55].

Copernicium, Cp (prvok 112) bol po prvý krát vytvorený 9. februára 1996 v GSI pod vedením Sigurda Hofmanna (s účasťou Štefana Šára a Rudolfa Janíka), ostreľovaním terča ^{208}Pb urýchlenými iónmi ^{70}Zn ako jediný atóm vznikol ^{277}Cn [56]:



Obrázok 5. Kolektív spoluobjaviteľov kopernícia v GSI. Prvý sprava v druhom rade profesor Štefan Šáro. Ing. Rudolf Janík na fotografii chýba, v r. 2012 zomrel). Reťazec alfa premien kopernícia, na základe ktorých bol identifikovaný novoobjavený prvok

V roku 2000 v GSI úspešne zopakovali experiment a syntetizovali ďalší atóm ^{277}Cn [57, 58]. Túto reakciu zopakovali v RIKEN, Japonsko, v roku 2004 a 2013 syntetizovali ďalšie 3 atómy Cn, čím potvrdili údaje tímu GSI [59, 60].



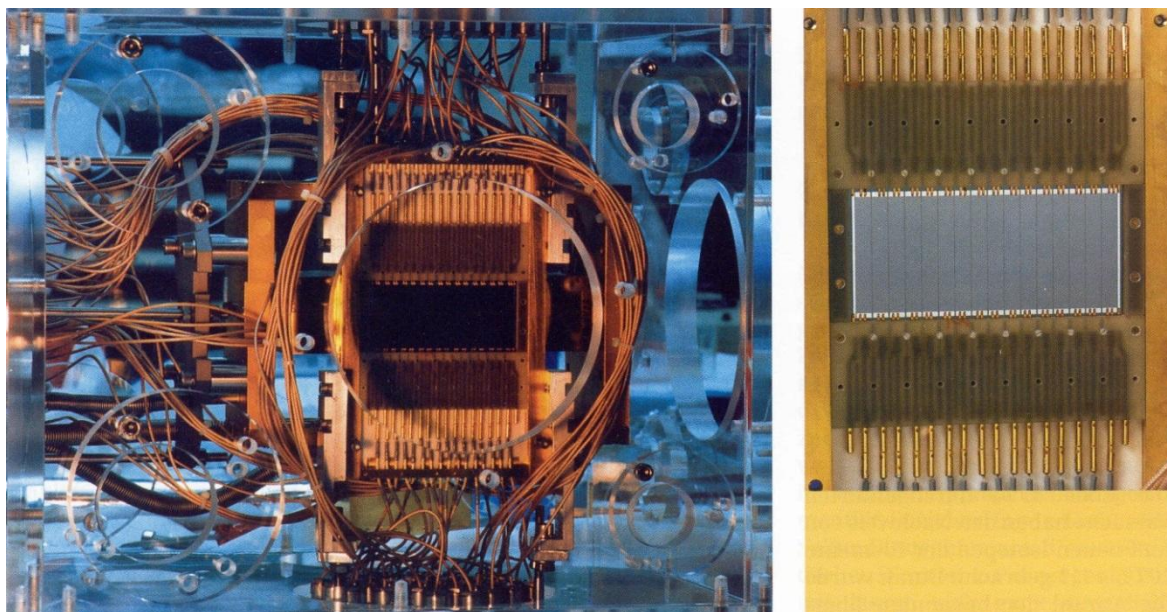
Obrázok 6. Schéma zariadenia SHIP na separáciu a analýzu syntetizovaných prvkov 107–112 v GSI [61]



Obrázok 7. Kruhový terč s polomerom 42 cm použitý pre syntézu prvkov 107 – 112

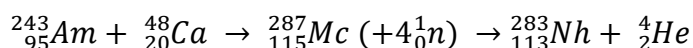
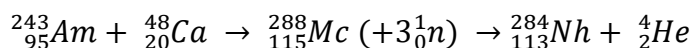
Detektor je pripojený k rýchlostnému filteru. Supert ťažký prvok musí prejsť cez filter a narazí na povrch detektora potiahnutého kremíkom (šedá oblasť). Možno zmerať polohu a energiu. Nový prvok môže byť identifikovaný pomocou reťazca svojej premeny.

Dňa 8. júna 2016, IUPAC zverejnila navrhovaný názov pre ununtrium ako nihonium. Pred formálnym schválením Radou IUPAC, bolo vyhlásené verejné preskúmanie počas päťmesačnej lehoty, ktorá skončí 8. novembra 2016 [62] - spolu s navrhovanými názvami ďalších troch prvkov s atómovými číslami 115, 117 a 118.



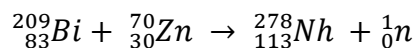
Obrázok 8. Stop-detektor syntetizovaných supert ťažkých prvkov 107 - 112 [61]

Nihonium, Nh - pred oficiálnym schválením názvu prvku sa používal latinský názov *ununtrium*, Uut, niekedy sa taktiež používal neoficiálny názov *eka-tálum*. 113-ty chemický prvok 13. skupiny (podľa zastaranej klasifikácie III. hlavnej skupiny), 7. periódy periodickej sústavy. Po prvý krát bol identifikovaný jeho vznik v auguste 2003 ako produkt alfa premeny prvku 115, *ununpentia* (navrhovaný názov *moscovium*, Mc). Tieto výsledky publikovali 1. februára 2004 ako spoločnú prácu ruských vedcov v Dubne (SÚJV) a amerických vedcov z Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) [63, 64]:

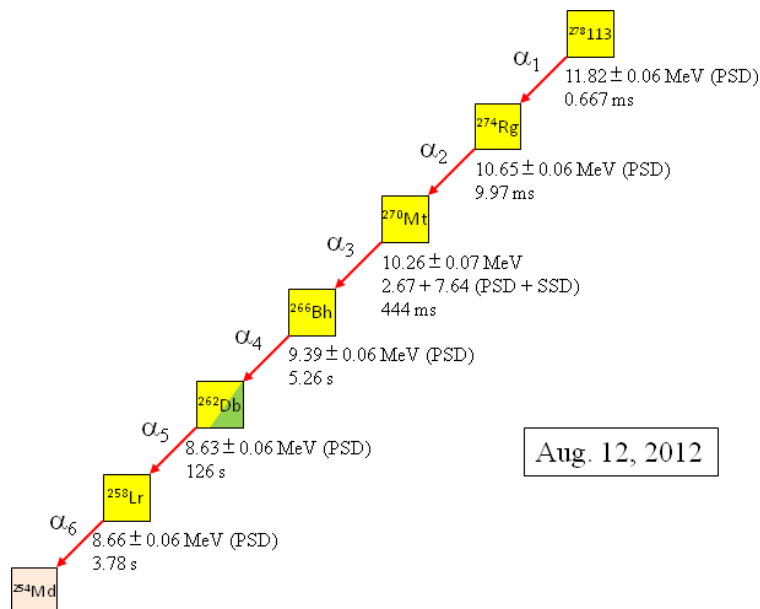


Kolaborácia Dubna-LNLL uskutočnila aj chemické experimenty s dcérskym produktom alfa premeny ${}^{288}\text{Mc}$. V júni 2004 a opäť v decembri 2005 boli identifikované štiepne produkty dubnia - dcérske produkty reťazca alfa premien ${}^{288}\text{Mc}$ [39, 40]. Napriek tomu IUPAC/IUPAP Joint Workin Party (JWP) tieto údaje neuznali ako spoľahlivý dôkaz prípravy ${}^{115}\text{Mc}$ a ${}^{113}\text{Nh}$, pretože neboli známe ich chemické vlastnosti a keďže ani charakteristiky premien ${}^{115}\text{Mc}$ neboli vtedy známe, JWP ich považovala ako "znepokojujúce", ale nie nevyhnutne exkluzívne.

23. júla 2004 skupina japonských vedcov v RIKEN bombardovala terč ${}^{209}\text{Bi}$ s urýchlenými jadrami ${}^{70}\text{Zn}$ a detegovala vznik jedného atómu ${}^{278}_{113}\text{Nh}$ [65]:



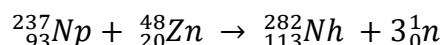
12. augusta 2012 vedci v RIKEN identifikovali ďalšie jadro $^{278}_{113}\text{Nh}$. V tomto prípade pozorovali sériu šiestich alfa premien, ktoré viedli ku vzniku $^{254}_{101}\text{Md}$ [66, 67].



Obrázok 9. Pozorovaný reťazec alfa premien izotopu $^{278}_{113}\text{Nh}$

Celkovo počas 8 rokov práce sa podarilo japonským vedcom zaregistrovať vznik 3 atómov $^{278}_{113}\text{Nh}$.

V roku 2007 syntetizovali v SÚJV v Dubne ešte dva atómy izotopu $^{282}_{113}\text{Nh}$ reakciou [68]:



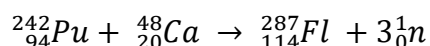
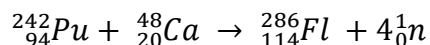
Ďalšie dva izotopy $^{285}_{113}\text{Nh}$ a $^{286}_{113}\text{Nh}$ boli pripravené v roku 2010 v SÚJV ako produkty dvoch následných alfa premien livermoria, Lv.

V marci 2016 Kosuke Morita, vedúci tímu v RIKEN navrhol názov prvku "nihonium" analogicky k názvu "nipponium", ktorý v roku 1908 japonský chemik Masataka Ogawa navrhoval pre novoobjavený prvok, pre ktorý však schválili názov *rénium*.

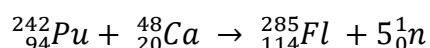
Flerovium, Fl - pred oficiálnym schválením názvu prvku sa používalo *Ununquadium*, Uuq, niekedy sa taktiež používal neoficiálny názov *eka-olovo*.

114-ty chemický prvok 14. skupiny (zastaranej klasifikácie hlavnej IV. skupiny), 7. periódy periodickej sústavy. Zo známych izotopov je najstabilnejší ^{289}Fl , $T_{1/2} = 2,7$ s. Prvok je veľmi rádioaktívny, v prírode sa nenachádza.

114-ty prvok po prvý krát pripravili pod vedením Jurija Colakoviča Oganjesjana v SÚJV v Dubne (Rusko) v spolupráci s vedcami z LLNL, California, USA). v rámci kolaborácie Dubna-Livermore v decembri 1998 syntézou izotopov reakciou fúzie jadier vápnika s jadrami plutónia [69]:



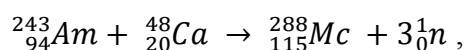
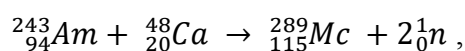
Získanie prvku táto kolaborácia zopakovala v rokoch 2004 [70, 71] a 2005, a taktiež v roku 2009 v LNLL v Berkeley (USA). Neskôr v SÚJV bol prvok identifikovaný chemicky podľa konečného produktu premeny. V októbri 2010 skupina z Berkley získala ešte ďalší izotop flerovia s hmotnostným číslom 285 [72]:

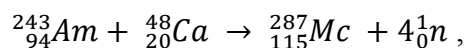


Oficiálny názov na počesť akademika *Georgija Nikolaeviča Fleurova*, IUPAC schválila 30. mája 2012. V rokoch 2014—2015 v Dubne ešte pripravili izotopy ^{284}Fl a ^{285}Fl reakciami ^{239}Pu a ^{240}Pu s ^{48}Ca [73].

Moscovium, Mc - pred oficiálnym schválením názvu prvku sa používal názov *Ununpentium*, Uup, alebo *eka-bizmut*. Názov 115-ho prvku Mc bol navrhnutý na počesť Moskovskej oblasti, v ktorej sa nachádza SÚJV, Dubna. Prvok Mc patrí do 15. skupiny (podľa zastaranej klasifikácie do hlavnej podskupiny piatej skupiny) siedmej periódy periodickej sústavy prvkov. Najstabilnejším je nuklid ^{289}Mc (doba polpremeny sa odhaduje na 156 ms).

Vo februári 2004 boli publikované výsledky z roku 2003, kedy sa vedcom zo SÚJV v Dubne (RF) spolu s LNLL, podarilo zaregistrovať vznik prvku 115 [74, 75]. Izotopy moskovia získali jadrovými reakciami [76]:

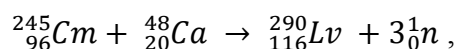
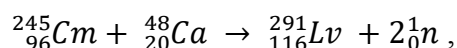
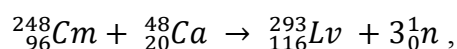




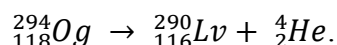
Livermorium, **Lv**, predtým sa používal dočasný názov *Ununhexium* (Uuh) alebo *eka-polónium* — 116. chemický prvok, ktorý patrí do 16. skupiny (podľa zastaranej klasifikácie ku hlavnej podskupine VI. skupiny a do 7. periódy periodickej sústavy. Najstabilnejším je izotop ${}^{293}\text{Lv}$. Je rádioaktívny, v prírode sa nevyskytuje.

Livermorium pripravili v r. 2000 v rámci spolupráce SÚJV (Dubna, RF) s LNLL (Livermole, USA) a Vedecko-výzkumným ústavom atómových reaktorov (Dimitrovgrad, RF) a Elektrochimpribor (Lesnoj, RF). 19. júla 2000 po prvýkrát pozorovali alfa-premenu jadra 116. prvku, ktorý získali bombardovaním terča z curiuma iónmi vápnika. V pôvodnej publikácii oznámili o syntéze izotopu ${}^{292}\text{Lv}$ [77], neskôr ho charakterizovali ako izotop ${}^{293}\text{Lv}$ [78].

Izotopy livermoria pripravili jadrovými reakciami [78]:

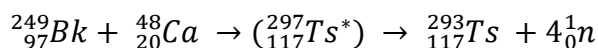
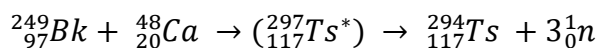


ale taktiež ako produkt alfa premeny ${}^{294}\text{Og}$ (${}^{294}\text{Uuo}$) [79]:

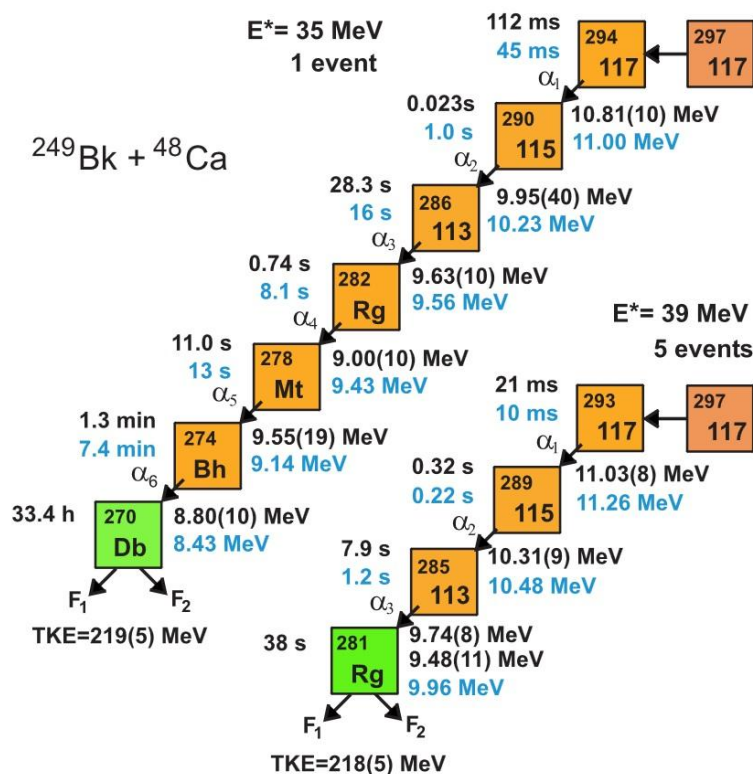


Tennessine (*angl.*), **Ts**, zatiaľ má dočasný názov *Ununseptium* (Uus) alebo *eka-astát* — 117. chemický prvok, ktorý patrí do 17. skupiny (podľa zastaranej klasifikácie ku hlavnej VII. skupiny) a do 7. periódy periodickej sústavy. Najstabilnejším je izotop ${}^{294}\text{Ts}$ (doba polpremeny je okolo 78 ms). V prírode sa nevyskytuje. Doteraz (r. 2016), bol pozorovaný vznik pätnástich atómov tennessinu (ununseptiuma) – šesť atómov, keď bol prvýkrát syntetizovaný v roku 2010, sedem atómov v roku 2012 a dva atómy v roku 2014.

Tennessine (slovenský názov ešte nie je schválený) po prvý krát pripravili v roku 2010. V SÚJV v Dubne na urýchľovači U-400 v Laboratóriu jadrových reakcií bombardovali terč vyrobený z izotopu ${}^{249}_{97}\text{Bk}$, ktorý bol vyhotovený v Oak-Ridge národnom laboratóriu (ORNL, USA) v spolupráci s [Lawrence Livermore National Laboratory](#) (LLNL) v [Livermore, California](#), U.S, urýchleným iónmi ${}^{48}_{20}\text{Ca}$ [80]. Na syntézu prvku 117 použili jadrové reakcie:



Na obrázku 10 je schéma reťazca premien izotopov $^{294}_{117}\text{Ts}$ a $^{293}_{117}\text{Ts}$.

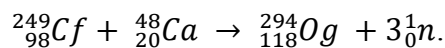


Obrázok 10. Pozorovaný reťazec premien, interpretovaný ako pochádzajúci z izotopov $^{294}_{117}\text{Ts}$ (jednorazová akcia) a $^{293}_{117}\text{Ts}$ (priemer piatich udalostí) nového prvku $Z = 117$. Odvodené a predpokladané stredné doby životnosti ($\tau = T_{1/2}/\ln 2$) a energie α -častíc sú uvedené zodpovedajúco čiernou a modrou farbou (adaptované z [80])

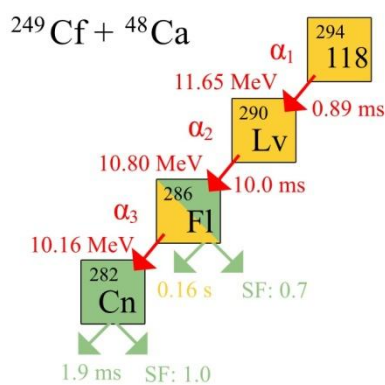
Počas tohto experimentu zaregistrovali šesť jadier $^{293}_{117}\text{Ts}$ a jeden izotop $^{294}_{117}\text{Ts}$. V júni 2012 zopakovali experiment - zaregistrovali vznik piatich jadier $^{293}_{117}\text{Ts}$ (^{293}Uus). V roku 2014 existenciu 117-ho prvku potvrdila medzinárodná skupina vedcov v Centre pre skúmanie ťažkých iónov (GSI, Darmsadt, NSR) [81].

Oganesson (*angl.*), **Og**, zatiaľ má dočasný názov *Ununoctium* (Uus) alebo *eka-radón* — 118. chemický prvok, ktorý patrí do 18. skupiny (podľa zastaranej klasifikácie ku hlavnej VIII. skupine) a do 7. periódy periodickej sústavy. Najstabilnejším (a v roku 2015 jediným známym) je izotop ^{294}Og , doba polpremeny sa odhaduje približne na 1 ms. Rádioaktívny prvok, v prírode sa nevyskytuje.

Syntézu *oganessona* (slovenský názov zatiaľ ešte nie je schválený) po prvý krát uskutočnili ruskí a americkí fyzici. Vedúcim tímu bol ruský akademik Jurij Oganessian (SÚJV v Dubne, RF). Experimentu sa zúčastnili americkí vedci z [Lawrence Livermore National Laboratory](#), (California, USA). 9. októbra 2006 výskumníci oznámili, že nepriamo detekovali vznik spolu troch (možno štyroch) jadier ununoctia-294, ktoré vznikli po zrážke atómov ^{249}Cf a iónov ^{48}Ca :



Experiment trval štyri mesiace a bolo potrebné, aby na terč kaliforna-249 dopadlo 4×10^{19} iónov vápnika-48, kým zaregistrovali prvú udalosť syntézy jadra ununoctia ($^{294}_{118}\text{Og}$). Účinný prierez fúzie je $\sim 0,3\text{--}0,6 \text{ pb}$ (alebo $(3\text{--}6) \times 10^{-41} \text{ m}^2$) [82].

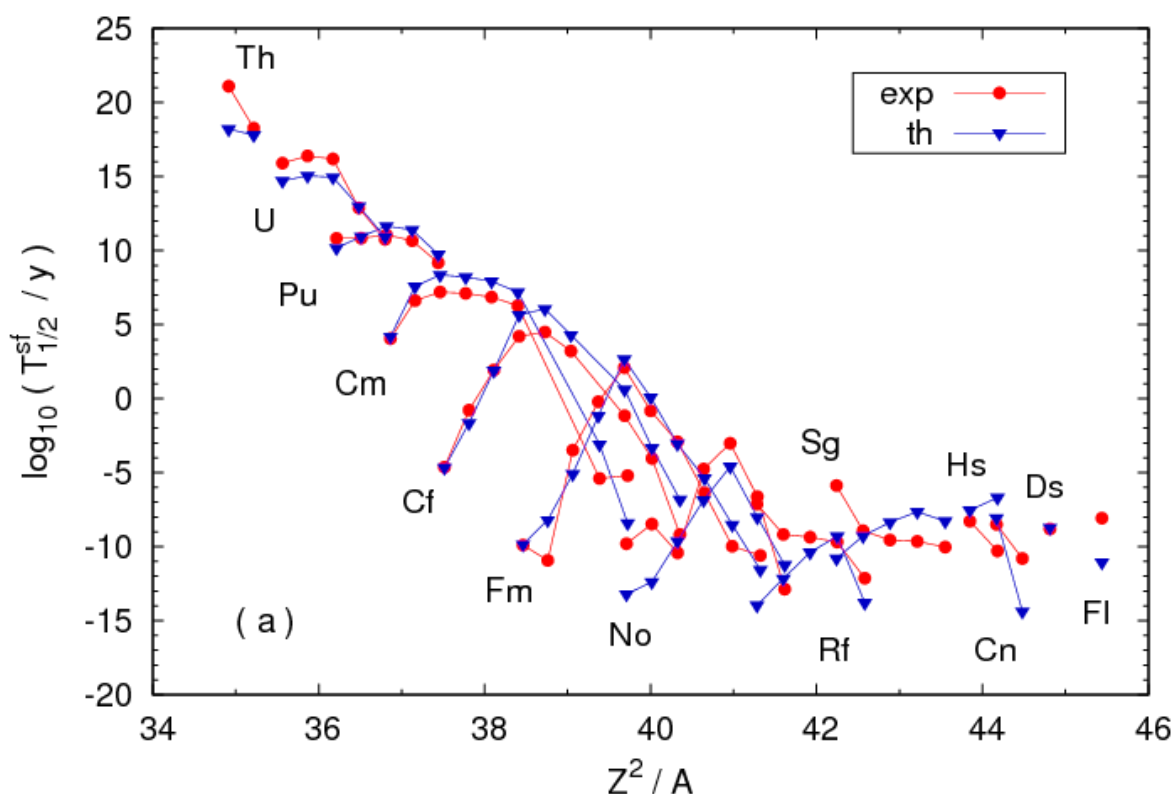


Obrázok 11. Reťazec rádioaktívnych premien izotopu ununoctium-294. Energia premeny je uvedená pre materský a každý dcérske izotop. Podiel atómov podliehajúcich spontánnemu štiepeniu (SF) je zobrazený zelenou

Na obr. 12 sú uvedené doteraz pripravené izotopy transaktinoidov [83]. Ako vidieť, zo zvyšujúcim sa protónovým číslom sa zvyšuje pravdepodobnosť samovoľného štiepenia (zelená farba príslušného izotopu). U niektorých izotopov transaktinoidov pravdepodobnosť samovoľného štiepenia dokonca prevyšuje pravdepodobnosť premeny alfa, napr. ^{250}Cm , ^{254}Cf a ^{256}Cf , ^{256}Fm , ^{258}Fm , ^{259}Fm a ^{260}Fm , ^{259}Md , ^{258}No , ^{260}No a ^{262}No , ^{261}Lr a ^{262}Lr . Na Obr. 13 je uvedená závislosť doby polpremeny spontánneho štiepenia od parametra stability jadier Z^2/A pre rôzne ťažké jadrá [84].

stable	α -decay	β^- -decay	β^+ -decay (EC)	Spontaneous fission	Isomeric transition	p-decay	n-decay	t-decay	2p-decay	2n-decay	Unknown
253 Rf	254 Rf	255 Rf	256 Rf	257 Rf	258 Rf	259 Rf	260 Rf	261 Rf	262 Rf	263 Rf	
254 Db	255 Db	256 Db	257 Db	258 Db	259 Db	260 Db	261 Db	262 Db	263 Db	264 Db	
255 Sg	256 Sg	257 Sg	258 Sg	259 Sg	260 Sg	261 Sg	262 Sg	263 Sg	264 Sg	265 Sg	
256 Bh	257 Bh	258 Bh	259 Bh	260 Bh	261 Bh	262 Bh	263 Bh	264 Bh	265 Bh	266 Bh	
257 Hs	258 Hs	259 Hs	260 Hs	261 Hs	262 Hs	263 Hs	264 Hs	265 Hs	266 Hs	267 Hs	
258 Mt	259 Mt	260 Mt	261 Mt	262 Mt	263 Mt	264 Mt	265 Mt	266 Mt	267 Mt	268 Mt	
259 Ds	260 Ds	261 Ds	262 Ds	263 Ds	264 Ds	265 Ds	266 Ds	267 Ds	268 Ds	269 Ds	
260 Rg	261 Rg	262 Rg	263 Rg	264 Rg	265 Rg	266 Rg	267 Rg	268 Rg	269 Rg	270 Rg	
261 Cn	262 Cn	263 Cn	264 Cn	265 Cn	266 Cn	267 Cn	268 Cn	269 Cn	270 Cn	271 Cn	
262 Nh	263 Nh	264 Nh	265 Nh	266 Nh	267 Nh	268 Nh	269 Nh	270 Nh	271 Nh	272 Nh	
263 Ta	264 Ta	265 Ta	266 Ta	267 Ta	268 Ta	269 Ta	270 Ta	271 Ta	272 Ta	273 Ta	
264 W	265 W	266 W	267 W	268 W	269 W	270 W	271 W	272 W	273 W	274 W	
265 Re	266 Re	267 Re	268 Re	269 Re	270 Re	271 Re	272 Re	273 Re	274 Re	275 Re	
266 Os	267 Os	268 Os	269 Os	270 Os	271 Os	272 Os	273 Os	274 Os	275 Os	276 Os	
267 Ir	268 Ir	269 Ir	270 Ir	271 Ir	272 Ir	273 Ir	274 Ir	275 Ir	276 Ir	277 Ir	
268 Pt	269 Pt	270 Pt	271 Pt	272 Pt	273 Pt	274 Pt	275 Pt	276 Pt	277 Pt	278 Pt	
269 Au	270 Au	271 Au	272 Au	273 Au	274 Au	275 Au	276 Au	277 Au	278 Au	279 Au	
270 Hg	271 Hg	272 Hg	273 Hg	274 Hg	275 Hg	276 Hg	277 Hg	278 Hg	279 Hg	280 Hg	
271 Tl	272 Tl	273 Tl	274 Tl	275 Tl	276 Tl	277 Tl	278 Tl	279 Tl	280 Tl	281 Tl	
272 Pb	273 Pb	274 Pb	275 Pb	276 Pb	277 Pb	278 Pb	279 Pb	280 Pb	281 Pb	282 Pb	
273 Bi	274 Bi	275 Bi	276 Bi	277 Bi	278 Bi	279 Bi	280 Bi	281 Bi	282 Bi	283 Bi	
274 Po	275 Po	276 Po	277 Po	278 Po	279 Po	280 Po	281 Po	282 Po	283 Po	284 Po	
275 At	276 At	277 At	278 At	279 At	280 At	281 At	282 At	283 At	284 At	285 At	
276 Rn	277 Rn	278 Rn	279 Rn	280 Rn	281 Rn	282 Rn	283 Rn	284 Rn	285 Rn	286 Rn	
277 Fr	278 Fr	279 Fr	280 Fr	281 Fr	282 Fr	283 Fr	284 Fr	285 Fr	286 Fr	287 Fr	
278 Ra	279 Ra	280 Ra	281 Ra	282 Ra	283 Ra	284 Ra	285 Ra	286 Ra	287 Ra	288 Ra	
279 Ac	280 Ac	281 Ac	282 Ac	283 Ac	284 Ac	285 Ac	286 Ac	287 Ac	288 Ac	289 Ac	
280 Th	281 Th	282 Th	283 Th	284 Th	285 Th	286 Th	287 Th	288 Th	289 Th	290 Th	
281 Pa	282 Pa	283 Pa	284 Pa	285 Pa	286 Pa	287 Pa	288 Pa	289 Pa	290 Pa	291 Pa	
282 U	283 U	284 U	285 U	286 U	287 U	288 U	289 U	290 U	291 U	292 U	
283 Np	284 Np	285 Np	286 Np	287 Np	288 Np	289 Np	290 Np	291 Np	292 Np	293 Np	
284 Pu	285 Pu	286 Pu	287 Pu	288 Pu	289 Pu	290 Pu	291 Pu	292 Pu	293 Pu	294 Pu	
285 Am	286 Am	287 Am	288 Am	289 Am	290 Am	291 Am	292 Am	293 Am	294 Am	295 Am	
286 Cm	287 Cm	288 Cm	289 Cm	290 Cm	291 Cm	292 Cm	293 Cm	294 Cm	295 Cm	296 Cm	
287 Bk	288 Bk	289 Bk	290 Bk	291 Bk	292 Bk	293 Bk	294 Bk	295 Bk	296 Bk	297 Bk	
288 Cf	289 Cf	290 Cf	291 Cf	292 Cf	293 Cf	294 Cf	295 Cf	296 Cf	297 Cf	298 Cf	
289 Es	290 Es	291 Es	292 Es	293 Es	294 Es	295 Es	296 Es	297 Es	298 Es	299 Es	
290 Fm	291 Fm	292 Fm	293 Fm	294 Fm	295 Fm	296 Fm	297 Fm	298 Fm	299 Fm	300 Fm	
291 Md	292 Md	293 Md	294 Md	295 Md	296 Md	297 Md	298 Md	299 Md	300 Md	301 Md	
292 No	293 No	294 No	295 No	296 No	297 No	298 No	299 No	300 No	301 No	302 No	
293 Lr	294 Lr	295 Lr	296 Lr	297 Lr	298 Lr	299 Lr	300 Lr	301 Lr	302 Lr	303 Lr	
294 La	295 La	296 La	297 La	298 La	299 La	300 La	301 La	302 La	303 La	304 La	
295 Ce	296 Ce	297 Ce	298 Ce	299 Ce	300 Ce	301 Ce	302 Ce	303 Ce	304 Ce	305 Ce	
296 Pr	297 Pr	298 Pr	299 Pr	300 Pr	301 Pr	302 Pr	303 Pr	304 Pr	305 Pr	306 Pr	
297 Nd	298 Nd	299 Nd	300 Nd	301 Nd	302 Nd	303 Nd	304 Nd	305 Nd	306 Nd	307 Nd	
298 Pm	299 Pm	300 Pm	301 Pm	302 Pm	303 Pm	304 Pm	305 Pm	306 Pm	307 Pm	308 Pm	
299 Sm	300 Sm	301 Sm	302 Sm	303 Sm	304 Sm	305 Sm	306 Sm	307 Sm	308 Sm	309 Sm	
300 Eu	301 Eu	302 Eu	303 Eu	304 Eu	305 Eu	306 Eu	307 Eu	308 Eu	309 Eu	310 Eu	
301 Gd	302 Gd	303 Gd	304 Gd	305 Gd	306 Gd	307 Gd	308 Gd	309 Gd	310 Gd	311 Gd	
302 Tb	303 Tb	304 Tb	305 Tb	306 Tb	307 Tb	308 Tb	309 Tb	310 Tb	311 Tb	312 Tb	
303 Dy	304 Dy	305 Dy	306 Dy	307 Dy	308 Dy	309 Dy	310 Dy	311 Dy	312 Dy	313 Dy	
304 Ho	305 Ho	306 Ho	307 Ho	308 Ho	309 Ho	310 Ho	311 Ho	312 Ho	313 Ho	314 Ho	
305 Er	306 Er	307 Er	308 Er	309 Er	310 Er	311 Er	312 Er	313 Er	314 Er	315 Er	
306 Tm	307 Tm	308 Tm	309 Tm	310 Tm	311 Tm	312 Tm	313 Tm	314 Tm	315 Tm	316 Tm	
307 Yb	308 Yb	309 Yb	310 Yb	311 Yb	312 Yb	313 Yb	314 Yb	315 Yb	316 Yb	317 Yb	
308 Lu	309 Lu	310 Lu	311 Lu	312 Lu	313 Lu	314 Lu	315 Lu	316 Lu	317 Lu	318 Lu	
309 Hf	310 Hf	311 Hf	312 Hf	313 Hf	314 Hf	315 Hf	316 Hf	317 Hf	318 Hf	319 Hf	
310 Ta	311 Ta	312 Ta	313 Ta	314 Ta	315 Ta	316 Ta	317 Ta	318 Ta	319 Ta	320 Ta	
311 W	312 W	313 W	314 W	315 W	316 W	317 W	318 W	319 W	320 W	321 W	
312 Re	313 Re	314 Re	315 Re	316 Re	317 Re	318 Re	319 Re	320 Re	321 Re	322 Re	
313 Os	314 Os	315 Os	316 Os	317 Os	318 Os	319 Os	320 Os	321 Os	322 Os	323 Os	
314 Ir	315 Ir	316 Ir	317 Ir	318 Ir	319 Ir	320 Ir	321 Ir	322 Ir	323 Ir	324 Ir	
315 Pt	316 Pt	317 Pt	318 Pt	319 Pt	320 Pt	321 Pt	322 Pt	323 Pt	324 Pt	325 Pt	
316 Au	317 Au	318 Au	319 Au	320 Au	321 Au	322 Au	323 Au	324 Au	325 Au	326 Au	
317 Hg	318 Hg	319 Hg	320 Hg	321 Hg	322 Hg	323 Hg	324 Hg	325 Hg	326 Hg	327 Hg	
318 Tl	319 Tl	320 Tl	321 Tl	322 Tl	323 Tl	324 Tl	325 Tl	326 Tl	327 Tl	328 Tl	
319 Pb	320 Pb	321 Pb	322 Pb	323 Pb	324 Pb	325 Pb	326 Pb	327 Pb	328 Pb	329 Pb	
320 Bi	321 Bi	322 Bi	323 Bi	324 Bi	325 Bi	326 Bi	327 Bi	328 Bi	329 Bi	330 Bi	
321 Po	322 Po	323 Po	324 Po	325 Po	326 Po	327 Po	328 Po	329 Po	330 Po	331 Po	
322 At	323 At	324 At	325 At	326 At	327 At	328 At	329 At	330 At	331 At	332 At	
323 Rn	324 Rn	325 Rn	326 Rn	327 Rn	328 Rn	329 Rn	330 Rn	331 Rn	332 Rn	333 Rn	
324 Fr	325 Fr	326 Fr	327 Fr	328 Fr	329 Fr	330 Fr	331 Fr	332 Fr	333 Fr	334 Fr	
325 Ra	326 Ra	327 Ra	328 Ra	329 Ra	330 Ra	331 Ra	332 Ra	333 Ra	334 Ra	335 Ra	
326 Ac	327 Ac	328 Ac	329 Ac	330 Ac	331 Ac	332 Ac	333 Ac	334 Ac	335 Ac	336 Ac	
327 Th	328 Th	329 Th	330 Th	331 Th	332 Th	333 Th	334 Th	335 Th	336 Th	337 Th	
328 Pa	329 Pa	330 Pa	331 Pa	332 Pa	333 Pa	334 Pa	335 Pa	336 Pa	337 Pa	338 Pa	
329 U	330 U	331 U	332 U	333 U	334 U	335 U	336 U	337 U	338 U	339 U	
330 Np	331 Np	332 Np	333 Np	334 Np	335 Np	336 Np	337 Np	338 Np	339 Np	340 Np	
331 Pu	332 Pu	333 Pu	334 Pu	335 Pu	336 Pu	337 Pu	338 Pu	339 Pu	340 Pu	341 Pu	
332 Am	333 Am	334 Am	335 Am	336 Am	337 Am	338 Am	339 Am	340 Am	341 Am	342 Am	
333 Cm	334 Cm	335 Cm	336 Cm	337 Cm	338 Cm	339 Cm	340 Cm	341 Cm	342 Cm	343 Cm	
334 Bk	335 Bk	336 Bk	337 Bk	338 Bk	339 Bk	340 Bk	341 Bk	342 Bk	343 Bk	344 Bk	
335 Cf	336 Cf	337 Cf	338 Cf	339 Cf	340 Cf	341 Cf	342 Cf	343 Cf	344 Cf	345 Cf	
336 Es	337 Es	338 Es	339 Es	340 Es	341 Es	342 Es	343 Es	344 Es	345 Es	346 Es	
337 Fm	338 Fm	339 Fm	340 Fm	341 Fm	342 Fm	343 Fm	344 Fm	345 Fm	346 Fm	347 Fm	
338 Md	339 Md	340 Md	341 Md	342 Md	343 Md	344 Md	345 Md	346 Md	347 Md	348 Md	
339 No	340 No	341 No	342 No	343 No	344 No	345 No	346 No	347 No	348 No	349 No	
340 Lr	341 Lr	342 Lr	343 Lr	344 Lr	345 Lr	346 Lr	347 Lr	348 Lr	349 Lr	350 Lr	

Obrázok 12. Periodická sústava prvkov so všetkými doteraz pripravenými izotopmi. Po schválení názvov prvkov bude potrebné vymeniť atómové čísla prvkov: 113 - Nh, 115 - Mc, 117 - Ts, 118 - Og.[31]



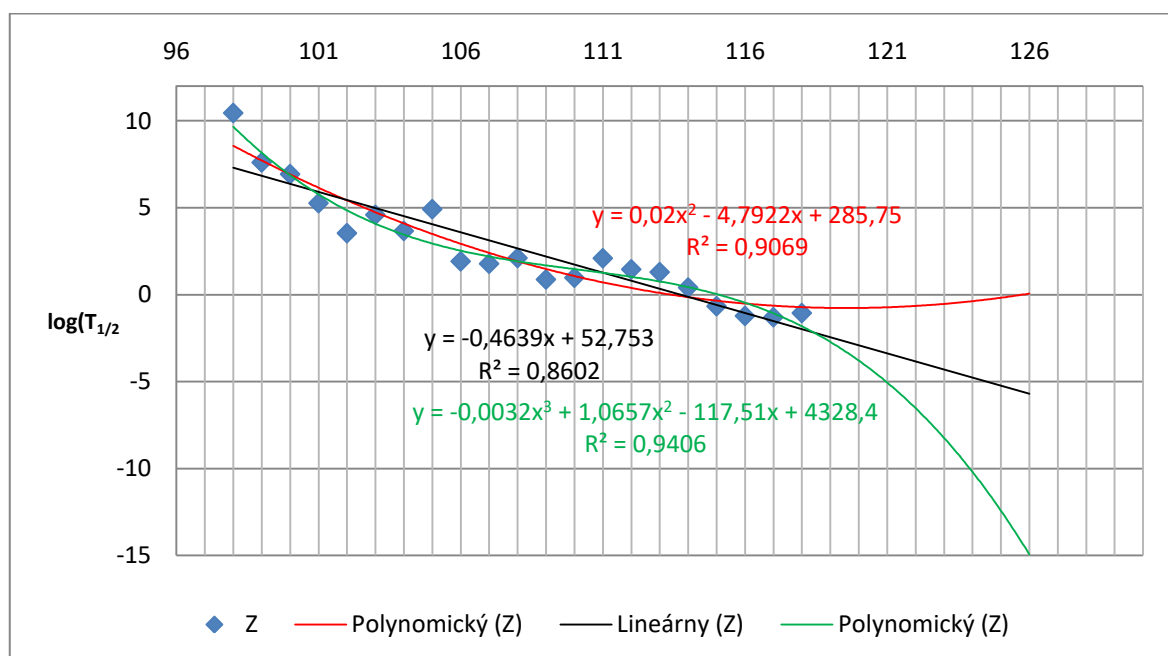
Obrázok 13. Závislosť doby polpremeny spontánneho štiepenia od parametra stability jadier Z^2/A pre rôzne ťažké jadrá: párne jadrá (hore) a nepárnych jadrá (dole), ktoré boli vypočítané v porovnaní s experimentálnymi hodnotami [84]

Štúdium chémie transaktinoidov je sťažené krátkymi dobami polpremeny izotopov týchto prvkov. Napriek tomu boli dosiahnuté značné pokroky pri ich štúdiu. Transaktinoidy (prvky 104 – 118) zaplňajú $6d$ orbitály, patria do skupiny prechodných kovov. Vzhľadom na pomerne rozsiahlu oblasť, sa obmedzíme opäť len odkazmi na literatúru. Boli publikované dve monografie – M. Shädel [85], R. G. Haire [86], a monografia a prehľadný článok Ivana Zváru – slovenského vedca, ktorý sa v SÚJV zaslúžil o rozvoj chémie super-ťažkých prvkov [87, 88, 89].

Predpokladá sa, že jadrá superťažkých prvkov s magickými číslami $Z = 126, \dots$ môžu byť stabilnejšie ako predchádzajúce v Periodickej sústave prvkov, tj. mohol by existovať tzv. "Ostrov stability" [90]. Na obrázkoch 14 a 15 sa autor tejto práce pokúsil extrapolovať hodnoty polpremeny najstabilnejších izotopov (od $Z = 98$ po $Z = 118$; resp. najstabilnejšieho izotopu) až po $Z = 126$. Východzou ideou bol graf nestability izotopov ťažkých prvkov, ktorý autorovi poskytol profesor Štefan Šáro (po objave 112 prvku, vtedy

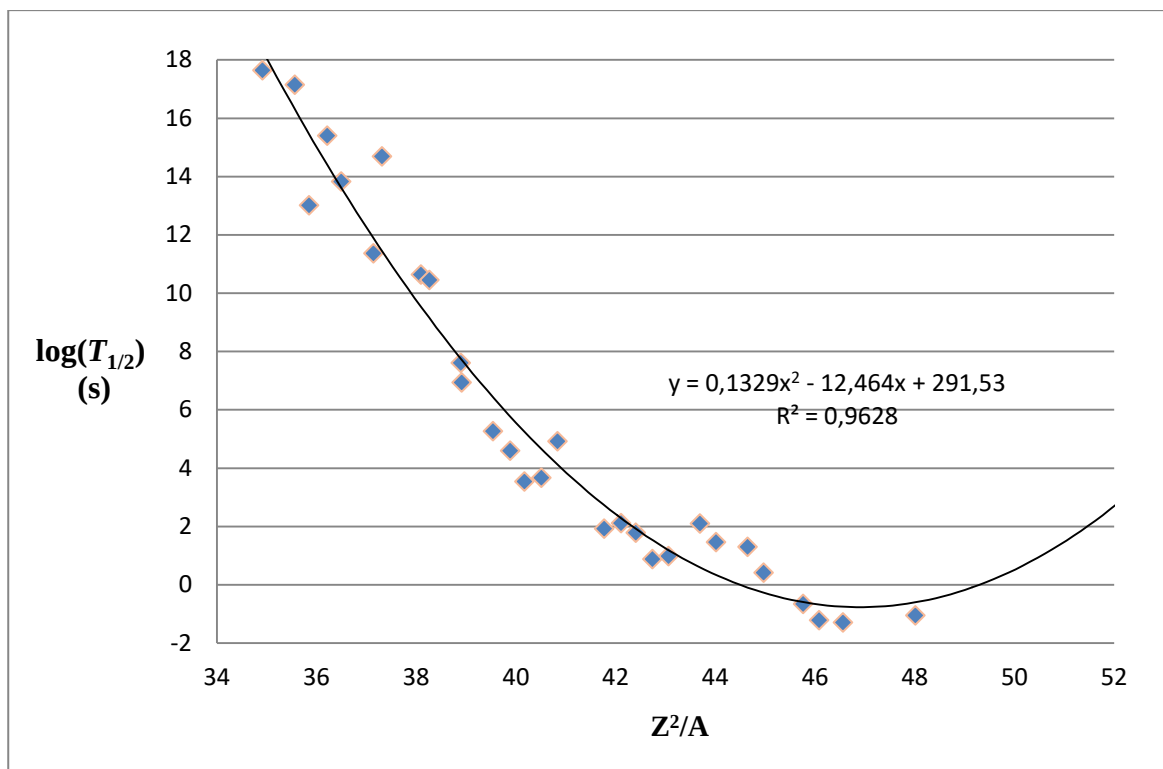
bol graf extrapolovaný po 110 prvok). V tom čase teoretický fyzici už strácali nádej, že prvky s $Z > 110$ budú stabilnejšie.

Na obrázku 14 je zobrazená závislosť doby polpremeny najstabilnejších doteraz známych pripravených izotopov až po $Z=118$ (Og) s extrapolovanými tendenciami pre lineárnu závislosť (čierna), kvadratickú závislosť (červená) a kubickú závislosť (zelená). Z lineárnej závislosti vyplýva, že pri "magickom" počte protónov $Z=126$ by doba polpremeny prvku Ubh mala byť okolo 1 μ s; kvadratická závislosť predpovedá ($r^2 = 0,9069$) $T_{1/2} \approx 1$ s (čo poukazuje na to, že hypotetický ostrov stability existuje (?)); avšak extrapolácia kubickej rovnice predpovedá ($r^2 = 0,9406$) $T_{1/2} \approx 10^{-15}$ s, to znamená, že ostrov stability by neexistoval.



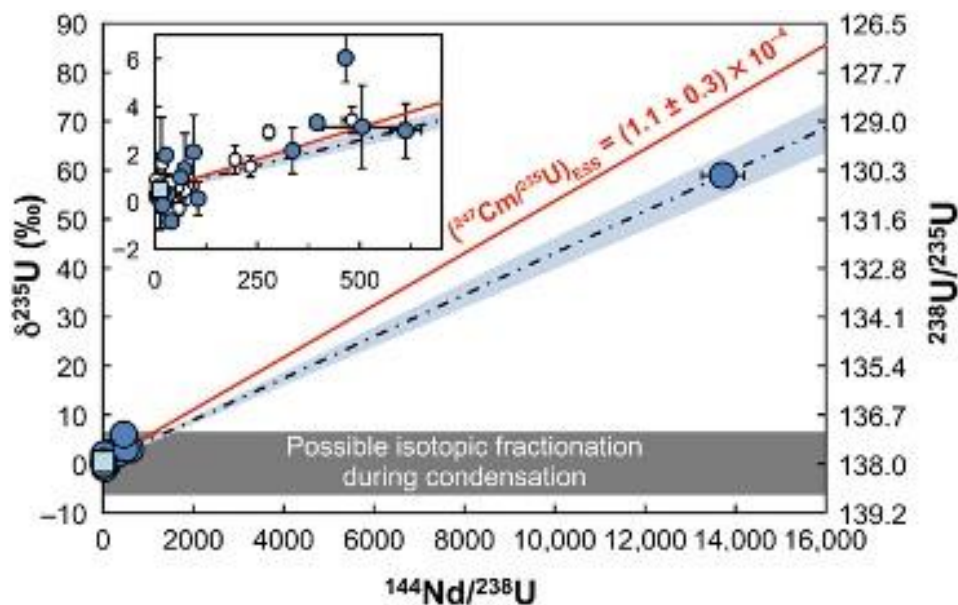
Obrázok 14. Závislosť doby polpremeny najstabilnejších doteraz známych pripravených izotopov až po $Z=118$ (Og) s extrapolovanými tendenciami pre lineárnu, kvadratickú a kubickú závislosť až po $Z = 126$ (J. Kuruc)

Extrapolácia závislosti doby polpremeny najstabilnejších doteraz známych pripravených izotopov od ${}_{92}\text{Th}$ až po ${}_{118}\text{Og}$ s extrapolovanou kvadratickou závislosťou s hodnotami až do $Z \approx 126$ predpovedá dobu polpremeny pre unbihexium (Ubh) okolo 378 sekúnd. Toto svedčí v prospech hypotézy o existencii ostrova stability okolo magického čísla $Z = 126$.



Obrázok 15. Závislosť doby polpremeny najstabilnejšieho izotopu transaktinoidu ($Z = 90 \div 118$) od pomeru Z^2/A : kvadratická extrapolácia (J. Kuruc)

Nedávno bol získaný experimentálny dôkaz toho, že aktinoidy boli prítomné v plynovom mraku, z ktorého vznikla Slnčná sústava. Analýza meteoritu, ktorého vek predstavuje 4,5 miliárd rokov potvrdila, že curium bolo prítomné v plynovo-prachovom mraku v momente vzniku našej Slnčnej sústavy [91].



Obrázok 16. Závislosť $\delta^{235}\text{U}$ od pomeru $^{144}\text{Nd}/^{238}\text{U}$ vo vzorkách meteoritov (Adaptované z: Tissot, F. L. H., 2016)

Vedci z Chicagskej univerzity zmerali pomer rôznych izotopov uránu v inklúziách meteoritu, pôvod ktorého priradujú k dobe vzniku Slnečnej sústavy. Rádioaktívne curium-247 sa mení so vznikom uránu-235, preto zvýšený obsah uránu-235 (relatívne k iným rádionuklidom) v meteoritickej hornine môže poukazovať na to, že v momente tvorby tejto horniny obsahovala curium. Na analýzu vybrali vzorku inklúzie nazvanú "Záhadná Mária" (*Curious Marie*). Zistili, že v zmesi nuklidov uránu nachádzajúcich sa v "Záhadnej Márii" je obsah uránu-235 o 6% vyšší, než bolo možné očakávať – toto autori interpretovali tak, že curium-247 bolo prítomné v čase vzniku meteoritu [91].

Výpočty založené na výsledkoch analýzy demonštrovali, že v čase vzniku Slnečnej sústavy bol obsah curiuma porovnateľný s obsahom nuklidov ťažkých prvkov, ako sú plutónium-244 a jód-129, ktoré ako sa predpokladá, vznikajú počas explózií hviezd so vznikom nov a supernov. Astrochemici dúfajú, že výskum pomôže zostaviť model vzniku a ranného štádia Slnečnej sústavy [91].

Tieto experimentálne fakty potvrdzujú teóriu nukleogenézy transuránových prvkov vo Vesmíre. Predpokladá sa, že tieto prvky vznikajú pri explózii supernov [92].

Taktiež boli uskutočnené pokusy syntézy nasledujúcich supertiažkých transuránových prvkov, vrátane superaktinoidov ($Z > 120$). Boli ohlásené syntézy prvku *unbuquadia* ($Z=124$) a nepriame dôkazy o príprave prvkov *unbiliuma* ($Z=120$) a

unbihexiuma ($Z=126$) a iné, ktoré však zatiaľ neboli potvrdené (superaktinoidy u ktorých sa zaplňa 5g orbitál).

Periodická sústava prvkov a verzie Periodickej tabuľky prvkov

Objav Periodického zákona D. I. Mendelejevom [93, 94] predstavoval významný krok k pochopeniu chemických prvkov. V súčasnosti je správnejšie hovoriť o Periodickej sústave prvkov [95, 96, 97], pretože informácie, ktoré sú známe o každom prvku, predovšetkým periodické opakovanie sa rôznych fyzikálno-chemických vlastností prvkov, sú veľmi obsiahle. Samotná Periodická tabuľka prvkov predstavuje iba dvojrozmerné znázornenie periodicity chemických a fyzikálno-chemických vlastností.

1. verzia – tzv. "*Krátka*", bola rozdelená do 8 skupín a podskupín (Obr. 17) - dosť ťažkopádna, pomerne ťažko pochopiteľná, no používala sa do 1960-tich rokov (u nás až do roku 1993). Napriek tomu na tejto "krátkej" verzii periodickej tabuľky prvkov vyrástlo niekoľko generácií chemikov. Publikované tabuľky Periodickej sústavy prvkov obvykle okrem základných informácií (atómové číslo, názov a skratku prvku a relatívnu atómovú hmotnosť) môžu obsahovať ďalšie informácie, ako sú názov prvku, latinský názov, oxidačné čísla, elektronegativitu podľa Paulinga, obsadenie orbitálov, prípadne iné informácie o atóme. Je potrebné poznamenať, že v socialistických krajinách sa používal názov prvku 104 - *kurčatovium*, Ku (napríklad na obr. 17). Tento názov sa používal až do 90-tich rokov 20. storočia. IUPAC schválilo názov 104. prvku – *rutherfordium*, Rf. Podobne to bolo s označením prvku 105 - *nielsborium*, Ns (IUPAC neskôr schválilo názov *dubnium*, Db).

PERIODICKÁ SÚSTAVA PRVKOV tabuľka Z
základná chémia

PREDPONY SÚSTAVY SI

predpona	symbol	násobok	predpona	symbol	diel
exa-	E	10 ¹⁸	deci-	d	10 ⁻¹
peta-	P	10 ¹⁵	centi-	c	10 ⁻²
tera-	T	10 ¹²	milli-	m	10 ⁻³
giga-	G	10 ⁹	mikro-	μ	10 ⁻⁶
mega-	M	10 ⁶	nano-	n	10 ⁻⁹
kilo-	k	10 ³	piko-	p	10 ⁻¹²
hecto-	h	10 ²	femto-	f	10 ⁻¹⁵
deka-	da	10 ¹	atto-	a	10 ⁻¹⁸

• tieto jednotky majú byť používané len výnimočne

OZNAČENIE SKUPINY

→ ZNAČKA PRVKU →
 → RELATÍVNA ATÓMOVÁ HMOTNOSŤ →
 → OKSIDAČNÉ ČÍSLA →
 → SLOVENSKÝ NÁZOV →
 → LATINSKÝ NÁZOV →
 → PAULINGOVA ELEKTRONEGATIVITA →
 → PROTÓNOVÉ ČÍSLO →

Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa
1 VODÍK HYDROGENIUM 1,00794 1,1 H	2 LÍTIUM BERYLIUM 6,941 9,012182 Li Be	3 SODÍK NÁTRÍUM 22,989768 11 Na	4 DRAKLÍK KALÍUM 39,0983 19 K	5 RUBÍDIUM RUBÍDIUM 85,4678 37 Rb	6 CÉZIUM RUBÍDIUM 132,90543 55 Cs	7 FRANCIUM FRANCIUM 223,0197 87 Fr	8 HÉLIUM HÉLIUM 4,002602 2 He

IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa
9 BÓR BORUM 10,811 5 B	10 UHLÍK CARBONEUM 12,011 6 C	11 DUSÍK NITROGENIUM 14,00644 7 N	12 KYSLIČK OXYGENIUM 15,9994 8 O	13 FLUÓR FLUORIUM 18,9984032 9 F
14 HLINÍK ALUMINIUM 26,981539 13 Al	15 KREMÍK SILICIUM 28,0855 14 Si	16 FOSFOR PHOSPHORUS 30,973762 15 P	17 SIŘA SULFURIUM 32,066 16 S	18 CHLÓR CHLORIUM 35,4527 17 Cl
19 GÁLÍUM GALLIUM 69,723 31 Ga	20 GERMÁNÍUM GERMANIUM 72,61 32 Ge	21 ARZÉN ARSENICUM 74,92159 33 As	22 SELEÉN SELENIUM 78,96 34 Se	23 BRÓM BROMIUM 79,904 35 Br
24 INDÍUM INDIUM 114,82 49 In	25 CÍN STANNUM 118,710 50 Sn	26 ANTIMÓN ANTIMONIUM 121,75 51 Sb	27 TELÚR TELLURIUM 127,60 52 Te	28 JÓD IODIUM 126,90447 53 I
29 TÁLIUM THALLIUM 204,3833 81 Tl	30 OLOVO PLUMBUM 207,2 82 Pb	31 BIZMUT BISMUTHIUM 208,98037 83 Bi	32 POLÓNIUM POLONIUM 209 84 Po	33 ASTÁT ASTATINUM 209 85 At

VYDALO VYDAVATEĽSTVO CHEMICKEJ LITERATÚRY ORIDEA (1993), tel.: 07/837 191

Obrázok 17. "Krátka" Periodická sústava prvkov s dovtedy známymi prvkami (Oridea)

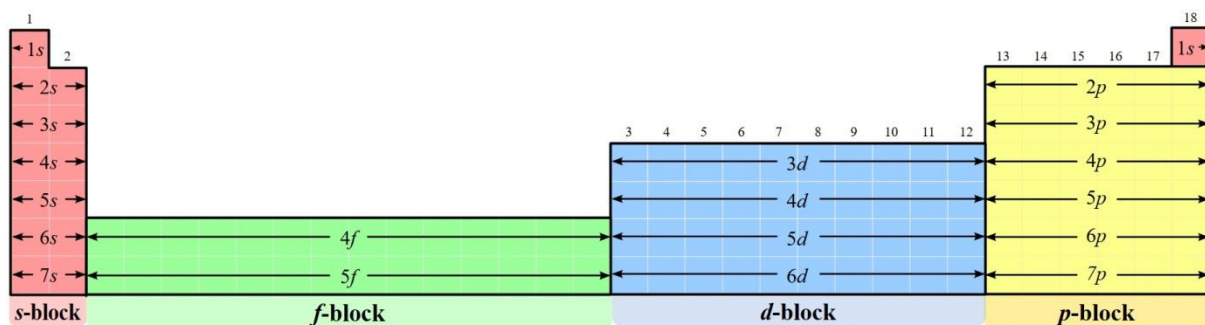
IUPAC v roku 1988 schválila [98] periodickú sústavu prvkov rozdelenú do 18 skupín - tzv. "*Dlhá*" periodická tabuľka prvkov (Obr. 18). V tejto verzii sú *lantanoidy* a *aktinoidy* (tzv. *f*-prvky) vyčlenené do dvoch samostatných podskupín, začínajúcich lantanom a aktíniom. V nami uvedenej verzii "*Dlhej*" Periodickej sústavy prvkov sú už uvedené aj 4 novoobjavené prvky, navrhované názvy ktorých v súčasnosti schvaľuje Divízia IUPAC Anorganická chémia [99]. Definitívne názvy sa budú schvaľovať na zasadaní Divízie IUPAC Anorganická chémia dňa 8.11.2016. Navrhnuté sú názvy:

nihonium a symbol Nh, pre prvok 113,
moscovium a symbol Mc, pre prvok 115,
tennessine a symbol Ts, pre prvok 117,
oganesson a symbol Og, pre prvok 118.

Slovenské názvy týchto prvkov musí ešte schváliť Slovenský národný komitét pre IUPAC po konzultáciách s Jazykovedným ústavom SAV [100]. Autor tejto práce predpokladá, že ešte môže vzniknúť konflikt so skratkou pre tennessine, pretože navrhovaná skratka Ts sa používa v organickej chémii ako skratka funkčnej skupiny *tosyl* (niekedy *Tos*) [101]. Zrejme najlogickejšia je 32 stĺpcová periodická sústava prvkov (Obr.

18 a 19). Používa sa zriedkavo (zrejme pre jej dĺžku), no najlepšie vystihuje postupné zapĺňanie elektrónových orbitálov v prvkoch [102].

Táto 32 stĺpcová verzia je založená na postupnom obsadzovaní orbitálov s , p , d , f elektrónmi. Dobré to ilustruje obrázok 18. Blok $4f$ prvkov ($Z = 57 - 71$) sú *lantanoidy*, blok $5f$ ($Z = 89 - 103$) - *aktinoidy*.



Obrázok 18. Schéma zaplnenia orbitálov v 32 stĺpcovej verzii Periodickej tabuľky prvkov

[illegible]

Obrazok 19. "Dlhá" 18 stupňová Periodická sústava prvkov s doteraz známymi prvkami, vrátane novoobjavených

Group —

1

2

16

Alkali metal

Alkaline earth metal

<

Obrázok 20. 32 stĺpcová Periódická sústava prvkov [103]

Po schválení názvov prvkov 113, 115, 117 a 118 bude Periodická tabuľka prvkov napríklad v tejto forme (aj s farebne vyznačenými chemickými vlastnosťami - Obr. 21) [104]:

Periodic Table of the Elements

The periodic table is organized into groups and periods. The groups are color-coded as follows:

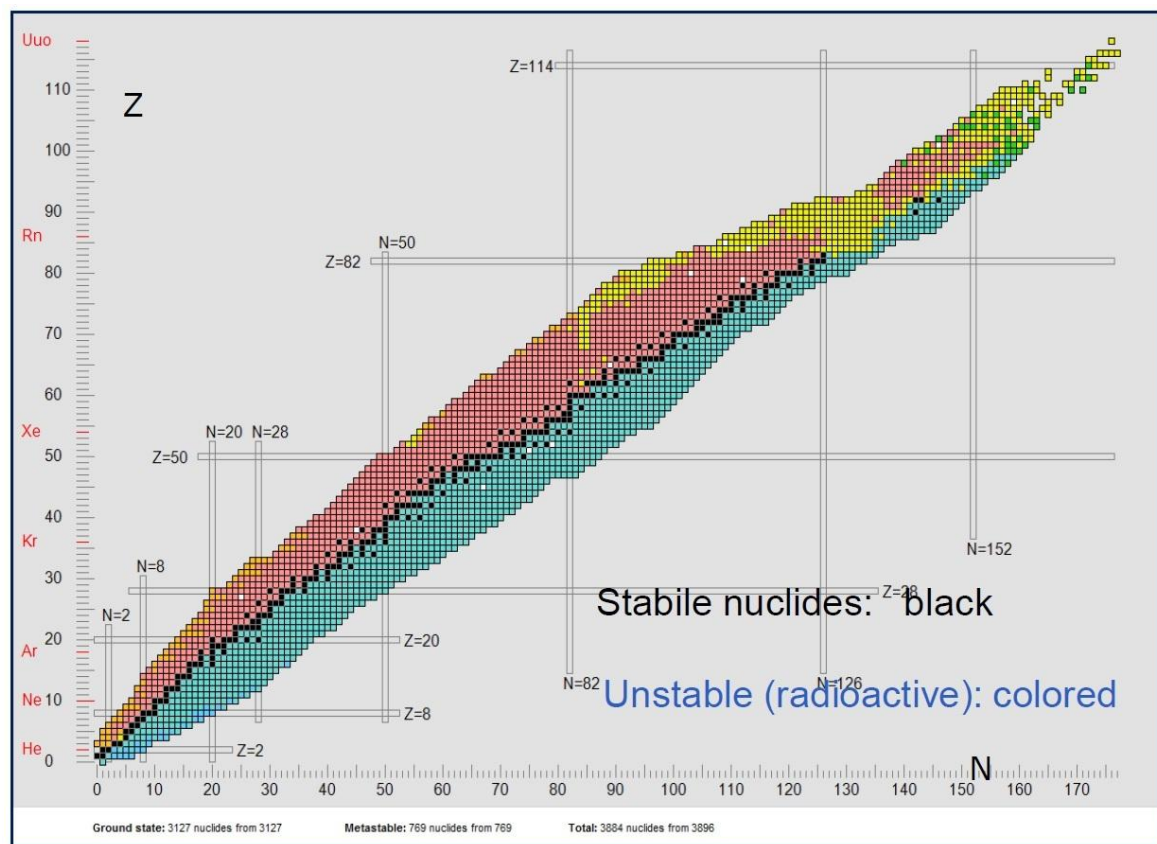
- Alkali Metals (Red):** Group 1 (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr).
- Alkaline Earths (Orange):** Group 2 (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra).
- Transition Metals (Yellow):** Groups 3-10 (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr).
- Basic Metals (Green):** Groups 11-12 (Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe).
- Semimetals (Light Green):** Groups 13-14 (B, C, Si, P, S, Cl, Ar).
- Nonmetals (Purple):** Groups 15-16 (N, O, F, Ne).
- Halogens (Dark Purple):** Group 17 (F, Cl, Br, I, At).
- Noble Gases (Pink):** Group 18 (Ne, Ar, Kr, Xe, Rn).
- Lanthanides (Light Blue):** Period 6 (La to Lu).
- Actinides (Dark Blue):** Period 7 (Ac to Lr).

Obrázok 21. Periodická tabuľka prvkov s farebne vyznačenými chemickými vlastnosťami

Dodnes bolo navrhnutých vyše 1000 verzií Periodickej sústavy (tabuľky) prvkov [105], okrem toho bolo publikovaných nespočetné množstvo "klonov" navrhovaných verzií. Mnohé z nich sú interaktívne vo Web 2.0 s dynamickými vrstvami zobrazujúce aj izotopy jednotlivých chemických prvkov s možnosťou vyhľadávania a elektrónovými orbitálmi. Sú to internetové verzie Periodickej sústavy, ktoré predstavujú databázu znalostí o prvkoch. Z hľadiska potrieb jadrových vied (fyziky, chémie, nukleárnej medicíny, rádiobiológie, radiačnej ochrany, rádioekológie a iných) možno odporučiť predovšetkým: NuDat 2 [106]; VRM - Nuclear Map [107]; KAERI Table of Nuclides [108]; Interactive Chart of Nuclides [109] a iné. Pre chemikov k najvýznamnejším patria nasledujúce tabuľky:

- The Periodic Table by WebElements [110];
- Atomic Weights of the Elements 2007 [111];
- IUPAC Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry Third Edition [112].

Na obrázku 22 je zobrazená Periodická sústava prvkov so všetkými doteraz pripravenými izotopmi [113].



Obr. 22. Periodická sústava prvkov s dovtedy (2013) pripravenými izotopmi (čierne štvorčeky - stabilné izotopy, farebné - nestabilné, rádioaktívne izotopy)

O praktickom využití rádioizotopov bolo publikovaných viacero monografií, z nich spomenieme iba monografiu J. Hálu [114] a rozsiahlu príručku *Izotopy* (v ruštine) [115, 116].

Príprava superaktinoidov, hranice Periodickej sústavy prvkov

Tým, že bola dokázaná možnosť existencie prvkov až po $Z = 118$ (Ts), bolo ukončené zaplnenie $6f$ orbitálov, bola ukončená 7. perióda. Vzniká logická otázka, či existujú aj prvky z $A > 118$?

Ak budú objavené ďalšie prvky s vyšším atómovým číslom ($Z \geq 119$), budú sa nachádzať v ďalších periódach a budú usporiadané (podobne ako u existujúcich periód). Zrejme sa budú periodicky opakovať trendy vo vlastnostiach zodpovedajúcich prvkov. V ďalších periódach (napr. 8. perióda) sa očakáva, že bude obsahovať väčší počet prvkov ako siedma perióda, pretože bolo vypočítané, že bude existovať ďalší tzv. *g*-blok, ktorý obsahuje aspoň 18 prvkov s čiastočne naplnenými *g*-orbitálmi v každej perióde.

Ôsmu periódu periodickej sústavy obsahujúcu tento blok navrhol Glenn T. Seaborg (bol spoluobjaviteľom plutónia a ďalších 9 prvkov) v roku 1969 [117]. IUPAC definuje existenciu prvku, pokiaľ je jeho životnosť dlhšia ako 10^{-14} sekundy, čo je doba potrebná pre jadro na vytvorenie elektrónového obalu [118]. Žiadne prvky v tejto perióde neboli objavené v prírode, alebo syntetizované. Prvý prvok *g*-bloku môže mať atómové číslo 121, jeho systematický názov je *unbiunium*. Prvky v tejto perióde by mohli byť veľmi nestabilné, vzhľadom na rádioaktívne premeny, mohli by mať extrémne krátke doby polpremeny, aj keď existuje hypotéza, že okolo 126-ho prvku môže existovať tzv. "*Ostrov stability*", v ktorom niektoré izotopy môžu byť odolné voči štiepeniu, ale nie alfa rozpadu. Nie je jasné, či je to fyzicky možné aj pre iné prvky mimo očakávaného ostrova stability, či 8-ma perióda bude kompletná, prípadne či môže existovať aj 9-ta perióda.

Podľa orbitálneho priblíženia v kvantovo-mechanickom opise štruktúry atómov, *g*-blok by zodpovedal prvkom s čiastočne zaplnenými *g*-orbitálmi, ale spin-orbitálne interakcie znižujú platnosť orbitálneho priblíženia v podstate pre prvky s vysokým atómovým číslom. Seaborgova verzia predstavovala dlhšiu dobu ťažšie prvky podľa vzoru stanoveného pre ľahšie prvky, pretože nezohľadňovala relativistické efekty [119]. Avšak modely, ktoré zohľadňujú relativistické efekty nevychádzajú z tohto predpokladu. Pekka Pyykkö a B. Fricke použili počítačovú simuláciu pre výpočet pozícií prvkov až po $Z = 184$ (zahŕňa periód 8, 9 a začiatok 10-ej), a zistili, že niektoré z prvkov by boli premiestnené podľa Madelungovho pravidla [120]. Existuje databáza ohľadne relativistických efektov u atómov [121].

Richard Feynman poznamenal [122], že zjednodušená interpretácia relativistickej Diracovej rovnice naráža na problémy s elektrónovými orbitálmi pri $Z > 1/\alpha \approx 137$, čo naznačuje, že neutrálne atómy nemôžu existovať za untriseptiumom, a že periodická tabuľka prvkov založená na elektrónových orbitáloch končí pri tomto prvku. Na druhej strane, presnejšie analýzy vypočítali limit pre $Z \approx 173$.

[illegible]

Bola navrhnutá aj rozšírená tabuľka prvkov po zaplňaní g -orbitálov až po ukončenie 9-j periódy, ktorú uzatvára 218 prvok (Buo, obr. 24) [124].

Taktiež boli už realizované experimenty s cieľom syntetizovať prvky so $Z = 119$, 120, 122, 124, 126, 127, avšak tieto pokusy zatiaľ neboli úspešné, resp. výsledky sú nedôveryhodné [125].

Záver

Zrejme až budúcnosť ukáže možnosti syntézy a preukázania existencie superaktinoidov - prvkov s atómovým číslom $Z \geq 120$. Od môjho narodenia dodnes (do roku 1950 bolo známych 98 prvkov, Cf bolo objavené v roku 1950) bolo syntetizovaných 20 prvkov, čo v priemere dáva objav asi jedného prvku počas troch rokov. Koľko objavov prvkov mi (nám) bude ešte dopriať?

Zoznam literatúry

- [1] Periodic Table / History. <http://www.rsc.org/periodic>
- [2] Andraos J (2002-2012) Origins of Element Names. <http://careerchem.com/NAMED/Elements-Names.pdf>
- [3] Multhauf RP, Gilbert RA (2008) Alchemy. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/>
- [4] Giua M (1962) Storia della chimica. Union Tipografico - Editrice Torinese. 246 p.; Džua M (1975) Istorija chimii. Mir, Moskva. 479 p.
- [5] Sherr R, Bainbridge KT, Anderson HH (1941) Transmutation of Mercury by Fast Neutrons. *Physical Review*. 60(7):473–479. doi:10.1103/PhysRev.60.473
- [6] Aleklett K, Morrissey D, Loveland W, McGaughey P, Seaborg G (1981) Energy dependence of ^{209}Bi fragmentation in relativistic nuclear collisions. *Physical Review C*. 23(3):1044. doi:10.1103/PhysRevC.23.1044
- [7] Langford RE (2004) Introduction to Weapons of Mass Destruction: Radiological, Chemical, and Biological. Wiley-Interscience, Hoboken:. XXII+395 pp. ISBN 0-471-46560-7
- [8] TOKAMAK (Токамак). V: Bol'shaja sovetskaja enciklopedija. V 30 tomach. Tom. 26. 3. izd., Moskva, Izd-vo Bol'shaja sovetskaja enciklopedija, 1977. 622 s. Dostupné na: <http://bse.uaio.ru/BSE/2601.htm>
- [9] Wakatani M (1998) *Stellarator and Heliotron Devices*. Oxford University Press. ISBN 0-19-507831-4

- [10] ITER. <https://www.iter.org/>
- [11] Newlands, JAR (1865-08-18) [On the Law of Octaves](#). *Chemical News*. 12:83.
- [12] Jirkovský R, Tržil J, Mažárová G (1980) Abeceda chemických prvkov. 2. vyd., Alfa, Bratislava
- [13] História objavov chemických prvkov. <http://naturescience.fhvp.unipo.sk/chemia/objav.htm> (Citácia 15.8.2015)
- [14] Kuruc J, Kajan I. (2009) Syntéza a vlastnosti superťažkých prvkov. V: Zabezpečenie kvality v rádiochemických laboratóriách. Bratislava, Omega Info. s. 177-212. ISBN: 978-80-89337-04-0 INIS 41109486. http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/109/41109474.pdf?r=1
- [15] [The Manhattan Project. An Interactive History](#). US Department of Energy. <http://web.archive.org/web/20101122185847/http://www.cfo.doe.gov/me70/manhattan/nagasaki.htm>
- [16] [Actinide element](#), Encyclopædia Britannica on-line. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/4354/actinoid-element>
- [17] Actinide (Wikipedia). <https://en.wikipedia.org/wiki/Actinide>
- [18] Vdovenko VM (1960) Chimija urana i transuranovych elementov. Izd-vo AN SSSR, Moskva-Leningrad. 700 s.
- [19] Myasoedov B (1972) *Analytical chemistry of transplutonium elements*. Nauka, Moscow. ISBN 0-470-62715-8.
- [20] Greenwood NN, Earnshaw A (1997) *Chemistry of the Elements (2nd ed.)*. Butterworth-Heinemann. ISBN 0-08-037941-9.
- [21] Pagel BEJ (2009) Nucleo-Synthesis and Chemical Evolution of Galaxies. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge. 466 s. ISBN 978-0-521-84030-9
- [22] Langer N (2012) Nucleosynthesis. Bonn University, SS. 118 p https://astro.uni-bonn.de/~nlanger/siu_web/nucscript/Nucleo.pdf
- [23] [High Flux Isotope Reactor](#). Oak Ridge National Laboratory.
- [24] Kuruc J, Kajan I (2009) Synteza a vlastnosti supertazkych prvkov. V. Quality assurance in radiochemical laboratories. Proceedings of the workshop contributions ZAKVARAL'09. Omega Info, Bratislava. ISBN 978-80-89337-04-0. INIS 41109486

- [25] Ghiorso A, Thompson S, Higgins G, Seaborg G, Studier M, Fields P, Fried S, Diamond H, Mech J, Pyle G, Huizenga J, Hirsch A, Manning W, Browne C, Smith H, Spence R (1955) [New Elements Einsteinium and Fermium, Atomic Numbers 99 and 100](#). *Phys. Rev.* 99(3):1048–1049. [doi:10.1103/PhysRev.99.1048](#)
- [26] Ghiorso A, Harvey B, Choppin G, Thompson S, Seaborg G (1955). [New Element Mendelevium, Atomic Number 101](#). *Physical Review*. 98(5):1518–1519. [doi:10.1103/PhysRev.98.1518](#). [ISBN 9789810214401](#)
- [27] [Научные открытия России](#). № 34 с приоритетом от 9 июля 1963. Образование изотопа сто второго элемента — Нобелия периодической системы Менделеева.
- [28] Flerov GN (1967) On the nuclear properties of the isotopes $^{256}103$ and $^{257}103$. *Nucl. Phys. A*. 106:476. [doi:10.1016/0375-9474\(67\)90892-5](#)
- [29] Научные открытия России - [Государственный реестр открытий СССР](#) № 132 с приоритетом от 20 апреля 1965 г.: «Экспериментально обнаружено неизвестное ранее явление образования элемента с атомным номером 103, впервые полученный изотоп которого синтезирован при облучении америция-243 ионами кислорода-18. Имеет массовое число 256, период полураспада 35 с и сложный спектр энергий альфа-частиц в интервале 8,3—8,6 мегаэлектрон-вольт»
- [30] [Ghiorso A](#), Sikkeland T, Larsh AE, Latimer RM (1961) *New Element, Lawrencium, Atomic Number 103*. *Phys. Rev. Lett.* 6(9):473.
- [31] NRV - Nuclear Map. <http://nrv.jinr.ru/nrv/webnrv/map/>.
- [32] Mors LR, Edelstein NM, Fuger J (2006) *The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements*. Springer. ISBN: 978-1-4020-3555-5 (Print) 978-1-4020-3598-2 (Online)
- [33] **Morss LR, Edelstein N, Fuger J, Katz JJ** (Eds.) (2011) *Chemistry of the Actinide Elements*. In: *Radiochemistry and Nuclear Chemistry*. (3rd ed., Volumes 1-6) Vol. II. Springer. e_Book, ISBN 978-94-007-0211-0
- [34] Cotton S (2006) *Lanthanide and Actinide Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd. XVI+263 pp. ISBN: 0-470-01005-3
- [35] Keogh D. Webster (2006) Actinides: Inorganic & Coordination Chemistry. In: *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*. Wiley. DOI: 10.1002/0470862106. Online ISBN: 9780470862100.
- [36] (1997) *Actinide Separation Chemistry in Nuclear Waste Streams and Materials*. NEA/NSC/DOC(97)19. Nuclear Energy Agency. 115 p.

- [37] Paulenova, A. Physical and Chemical Properties of Actinides in Nuclear Fuel Reprocessing (2010) In: Advanced Separation Techniques for Nuclear Fuel Reprocessing and Radioactive Waste Treatment, Ed. K. Nash and G. Lumetta, Woodhead Publishing. p. 23-57. <http://dx.doi.org/10.1533/9780857092274.1.23>
- [38] Livingston, M. S.; Blewett, J. (1969). *Particle Accelerators*. McGraw-Hill. New York. ISBN 1-114-44384-0.
- [39] Wiedemann H (2007) Particle Accelerator Physics. 3rd ed. Berlin - Heidelberg - New York: Springer. XXVII+948 pp. ISBN-13 978-3-540-49043-2
- [40] Humphries S, Jr. (1999) Principles of Charged Particle Acceleration. John Wiley and Sons. ISBN 0-471-87878-2
- [41] Sto pjatyj element (Сто пятый элемент). http://museum.jinr.ru/jinr/jinr-discovery_dop.htm#7
- [42] [Discovery of the Transfermium elements](#).(1993) *Pure and Applied Chemistry*. 65(8):1757-1814. <http://s3.documentcloud.org/documents/562229/iupac1.pdf> (Citované 11.9.2016).
- [43] Barber RC, Greenwood NN, Hryniewicz AZ, Jeannin YP, Lefort M, Sakai M, Ulehla I, Wapstra AP, Wilkinson DH (1993). *Discovery of the transfermium elements. Part II: Introduction to discovery profiles. Part III: Discovery profiles of the transfermium elements. Pure and Applied Chemistry*. 65(8):1757. [doi:10.1351/pac199365081757](https://doi.org/10.1351/pac199365081757)
- [44] Oganessian Yu. Ts, et al. (1976) [On spontaneous fission of neutron-deficient isotopes of elements 103, 105 and 107](#). *Nuclear Physics A*. 273(2):505-522
- [45] Münzenberg G, Hofmann S, Heßberger FP, Reisdorf W, Schmidt KH, Schneider JHR, Armbruster P, Sahm CC, Thuma B (1981) *Identification of element 107 by α correlation chains. Zeitschrift für Physik A*. 300(1):107–8. [doi:10.1007/BF01412623](https://doi.org/10.1007/BF01412623)
- [46] Barber RC, Greenwood NN, Hryniewicz AZ, Jeannin YP, Lefort M, Sakai M, Ulehla I, Wapstra AP, Wilkinson DH (1993). *Discovery of the transfermium elements. Part II: Introduction to discovery profiles. Part III: Discovery profiles of the transfermium elements. Pure and Applied Chemistry*. 65(8):1757. [doi:10.1351/pac199365081757](https://doi.org/10.1351/pac199365081757)
- [47] Münzenberg G, Armbruster P, Folger H, Heßberger FP, Hofmann S, Keller J, Poppensieker K, Reisdorf W, Schmidt K-H, et al. (1984) *The identification of element 108. Zeitschrift für Physik A*. 317(2):235–236. [doi:10.1007/BF01421260](https://doi.org/10.1007/BF01421260)

- [48] Münzenberg G, Armbruster P, Heßberger FP, Hofmann S, Poppensieker K, Reisdorf W, Schneider JHR, Schneider WFW, Schmidt K-H, Sahm C-C, Vermeulen D (1982). Observation of one correlated α -decay in the reaction ^{58}Fe on $^{209}\text{Bi} \rightarrow ^{267}109$. *Zeitschrift für Physik A*. 309(1):89. doi:[10.1007/BF01420157](https://doi.org/10.1007/BF01420157)
- [49] Barber RC, Greenwood NN, Hryniewicz AZ, Jeannin YP, Lefort M, Sakai M, Ulehla I, Wapstra AP, Wilkinson DH (1993) Discovery of the transfermium elements. Part II: Introduction to discovery profiles. Part III: Discovery profiles of the transfermium elements. *Pure and Applied Chemistry*. 65 (8): 1757. doi:[10.1351/pac199365081757](https://doi.org/10.1351/pac199365081757). (Note: for Part I see *Pure Appl. Chem.*, Vol. 63, No. 6, pp. 879–886, 1991).
- [50] Hofmann S, Ninov V, Heßberger FP, Armbruster P, Folger H, Münzenberg G, Schött HJ, Popeko AG, Yeremin AV, Andreyev AN, Saro S, Janik R, Leino M. (1995). The new element 111. *Zeitschrift für Physik A*. 350(4):281. doi:[10.1007/BF01291182](https://doi.org/10.1007/BF01291182)
- [51] Hofmann S, Ninov V, Heßberger FP, Armbruster P, Folger H, Münzenberg G, Schött HJ, Popeko AG, Yeremin AV, Andreyev AN, Saro S, Janik R, Leino M. (1995). Production and decay of $^{269}110$. *Zeitschrift für Physik A*. 350(4):277. doi:[10.1007/BF01291181](https://doi.org/10.1007/BF01291181).
- [52] Hofmann, S (1998) New elements – approaching. *Reports on Progress in Physics*. 61(6):639. doi:[10.1088/0034-4885/61/6/002](https://doi.org/10.1088/0034-4885/61/6/002)
- [53] Hofmann S, Ninov V, Heßberger FP, Armbruster P, Folger H, Münzenberg G, Schött HJ, Popeko AG, Yeremin AV, Andreyev AN.; Saro S, Janik R, Leino M. (1995). The new element 111. *Zeitschrift für Physik A*. 350(4):281–282. doi:[10.1007/BF01291182](https://doi.org/10.1007/BF01291182).
- [54] Hofmann; et al. (2000) New results on element 111 and 112. GSI Scientific Report
- [55] Hofmann S, Heßberger FP, Ackermann D, Münzenberg G, Antalic S, Cagarda P, Kindler B, Kojouharova J, Leino M, Lommel B, Mann R, Popeko AG, Reshitko S, Šaro S, Uusitalo J, Yeremin AV (2002). New results on elements 111 and 112. *European Physical Journal A*. 14(2):147–157. doi:[10.1140/epja/i2001-10119-x](https://doi.org/10.1140/epja/i2001-10119-x)
- [56] Hofmann, S.; et al. (1996). The new element 112. *Zeitschrift für Physik A*. 354(1):229–230. doi:[10.1007/BF02769517](https://doi.org/10.1007/BF02769517)
- [57] Hofman S (2002) On Beyond Uranium. Journey to the End of the Periodic Table. Taylor & Francis, London. ISBN 0-415-28495-3, e-Book ISBN 0-203-34540-1
- [58] Hofmann, S.; et al. (2002). New Results on Element 111 and 112. *European Physical Journal A*. 14(2):147–57. doi:[10.1140/epja/i2001-10119-x](https://doi.org/10.1140/epja/i2001-10119-x)

- [59] Morita K. (2004). "Decay of an Isotope $^{277}_{112}$ produced by $^{208}\text{Pb} + ^{70}\text{Zn}$ reaction". In Penionzhkevich Yu. E, Cherepanov EA. *Exotic Nuclei: Proceedings of the International Symposium*. [World Scientific](#). pp. 188–191. [doi:10.1142/9789812701749_0027](#)
- [60] Takayuki S et al. (2013) New Result on the Production of ^{277}Cn by the $^{208}\text{Pb} + ^{70}\text{Zn}$ Reaction. *J. Phys. Soc. Jpn.* 82:024202. [http://journals.jps.jp/doi/10.7566/JPSJ.82.024202](#)
- [61] SHIP – Stop Detector for the Identification of New Elements. GSI Gallery. [https://www.gsi.de/en/press/mediathek/gallery.htm#c4447](#)
- [62] [IUPAC Is Naming The Four New Elements Nihonium, Moscovium, Tennessine, And Oganesson](#)". (2016-06-08) IUPAC.
- [63] Oganessian Yu, et al. (September 15, 2003) Experiments on the synthesis of element 115 in the reaction $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca},\text{xn})^{291-x}115$, JINR Preprints, E-7-2003-178
- [64] Oganessian Yu. Ts, Utyonkov V, Dmitriev S, Lobanov Yu, Itkis M, Polyakov A, Tsyganov Yu, Mezentshev A, Yerein A, Voinov AA, et al. (2005). Synthesis of elements 115 and 113 in the reaction $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$. *Physical Review C*. 72(3):034611. [doi:10.1103/PhysRevC.72.034611](#)
- [65] Morita K, et al. (2004) Experiment on the Synthesis of Element 113 in the Reaction $^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn},\text{n})^{278}113$. *J. Phys. Soc. Jpn.* 73(10): 2593–2596. [doi:10.1143/JPSJ.73.2593](#).
- [66] [Search for element 113 concluded at last](#). (27 September 2012) Press Release. RIKEN. (Citované 19.9.2016).
- [67] Morita K, et al. (2012). New Results in the Production and Decay of an Isotope, $^{278}_{113}$, of the 113th Element. *J. Phys. Soc. Jpn.* 81(10):103201. [arXiv:1209.6431](#) . [doi:10.1143/JPSJ.81.103201](#).
- [68] Oganessian Yu. Ts, et al. (2007) [Synthesis of the isotope \$^{282}_{113}\$ in the \$^{237}\text{Np} + ^{48}\text{Ca}\$ fusion reaction](#). *Physical Review C*. 76:011601
- [69] Oganessian Yu. Ts, et al. (2003) [Synthesis of Superheavy Nuclei in the reaction \$^{244}\text{Pu}\$ and \$^{248}\text{Cm}\$ with \$^{48}\text{Ca}\$ Reaction](#). In: *Exotic Nuclei and Atomic Masses* p. 336–366. DOI 10.1007/978-3-642-55560-2_139. Print ISBN 978-3-642-62424-7, On-line ISBN 978-3-642-55560-2
- [70] Oganessian Yu. Ts, et al. (1999) [Synthesis of Superheavy Nuclei in the \$^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu}\$ Reaction](#). *Physical Review Letters*. 83(16):3154 - 3157
- [71] Oganessian Yu. Ts (2004) [Superheavy elements](#). *Pure Appl. Chem.* 76(9)1715–1734

- [72] [Preus P](#) (October 26, 2010) Six New Isotopes of the Superheavy Elements Discovered. Berkeley Lab - News Center, <http://newscenter.lbl.gov/2010/10/26/six-new-isotopes/>
- [73] Utyonkov VK, et al. (2015) Experiments on the synthesis of superheavy nuclei ^{284}Fl and ^{285}Fl in the $^{239,240}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$ reactions. Phys. Rev. C. 92(3):034609. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.92.034609>
- [74] Oganessian Yu. Ts, et al. (2004) [Experiments on the synthesis of element 115 in the reaction \$^{243}\text{Am}\(^{48}\text{Ca},\text{xn}\)^{291-x}115\$](#) . Physical Review C. 69:021601
- [75] Oganessian Yu. Ts, et al. (2005) [Synthesis of elements 115 and 113 in the reaction \$^{243}\text{Am}+^{48}\text{Ca}\$](#) . Physical Review C. 72:034611
- [76] Oganessian Yu. Ts, et al. (2012) [New Insights into the \$^{243}\text{Am}+^{48}\text{Ca}\$ Reaction Products Previously Observed in the Experiments on Elements 113, 115, and 117](#). Phys. Rev. Lett. 108:022502
- [77] Oganessian Yu. Ts, et al. (2000) [Observation of the decay of \$^{292}116\$](#) . Physical Review C. 63(1):011301
- [78] Oganessian Yu. Ts (2004) [Superheavy elements](#). Pure Appl. Chem. 76(9):1715–1734
- [79] Oganessian Yu. Ts, Utyonkov VK, Lobanov Yu. V, Abdullin FSh, Polyakov AN, Sagaidak RN, Shirokovsky IV, Tsyganov Yu. S, et al. (2006). [Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the \$^{249}\text{Cf}\$ and \$^{245}\text{Cm}+^{48}\text{Ca}\$ fusion reactions](#). Physical Review C. 74 (4): 044602. doi:[10.1103/PhysRevC.74.044602](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.74.044602).
- [80] Oganessian Yu. Ts. et al. (2010) [Synthesis of a New Element with Atomic Number \$Z=117\$](#) , Physical Review Letters, 104:142502. DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.142502. <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.104.142502>.
- [81] Khuyagbaatar J, et al. (2014) $^{48}\text{Ca}+^{249}\text{Bk}$ Fusion Reaction Leading to Element $Z=117$: Long-Lived α -Decaying ^{270}Db and Discovery of ^{266}Lr . Phys. Rev. Lett. 112:172501. <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.112.172501>.
- [82] Mitch J (October 17, 2006) [Element 118 Detected, With Confidence](#). Chemical & Engineering News, [[Science & Technology](#), [Latest News](#)].
- [83] Nuclear Reactions Video. Low Energy Nuclear Knowledge Base. Nuclear Map: <http://nrv.jinr.ru/nrv/webnrv/map/>
- [84] [Zdeb A](#), [Warda M](#), [Pomorski K](#). Spontaneous fission half-lives of nuclei in a phenomenological model. e-Print: arXiv:1311.1956, <https://arxiv.org/abs/1311.1956>

- [85] Shädel M (ed.) (2003) The Chemistry of Superheavy Elements. Kluwer Academic Publishers Dordrecht. x+318 p. Print ISBN: 1-4020-1250-0, eBook, ISBN: 0-306-48415-3
- [86] Haire RG (2006) Transactinides and the future elements. The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements. 3rd ed. [Springer Science+Business Media](#) Dordrecht, The Netherlands, 2006. P. 1724. [ISBN 1-4020-3555-1](#)
- [87] Zvara I (1983) Žurn. Ves. chim. ob-va im. D. I. Menedeeva. 28(6):617-627
- [88] Zvara I (2008) The Inorganic Radiochemistry of Heavy Elements. Methods for Studying Gaseous Compounds. Springer. xxviii+228 p. ISBN 978-1-4020-6601-6; e-ISBN 978-1-4020-6602-3.
- [89] Zvara II, Vakarov VI, Lebedev VJa, Timochin SN, Jakušev AB (1997) Izičenie svojstv galogenidov elementa 100 - ekavol'frama. Report NIR/NIOKP, [No. 97-03-33171](#)
- [90] Moskowitz C (May 7, 2014). [Superheavy Element 117 Points to Fabled "Island of Stability" on Periodic Table](#). *Scientific American*. (Citované 16.9.2016)
- [91] Tissot FLH, Dauphas N, Grossman L (2016) Origin of uranium isotope variations in early solar nebula condensates. *Sci. Adv.* 2:e1501400. 4 March 2016. <http://advances.sciencemag.org/content/2/3/e1501400.full.pdf+html> (Citované 16.9.2016)
- [92] Pagel BEJ (2009) *Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge. xvii + 466 p. ISBN 9780521840309.
- [93] Mendeleev DI (1869) Sootnošenie svojstv s atomnym vesom elementov. Žurn. Rossijskogo Chim. Ob-va. 1(2):60-77
- [94] Mendeleev D (1869) [Ueber die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente](#). *Zeitschrift für Chemie*. 12:405–406 (Citované 18.10.2016)
- [95] Trifonov DN, Krivomazov AN, Lisnevskij Ju.I (1974) Učenie o periodičnosti i učenie o radioaktivnosti. Kommentirovannaja chronologija važnejšich sobytij. Atomizdat, Moskva. 248 s.
- [96] Korableva TP, Korol'kov DV (2005) Teorija periodičeskoj sistemy. Izd-vo S.-Peterb. univ-ta, Sankt-Peterburg. 174 s. ISBN 5-288-03617-9
- [97] Volkov AI (2006) Stroenie atomov i periodičeskij zakon. Novoe znanie, Moskva. 196 s. ISBN 5-94735-103-X.
- [98] Fluck E (1988) New notations in the periodic table. *Pure & Appl. Chem.*, 60(3):431-436

- [99] IUPAC *Release 8 June 2016*: IUPAC is naming the four new elements nihonium, moscovium, tennessine, and oganesson. <https://iupac.org/iupac-is-naming-the-four-new-elements-nihonium-moscovium-tennessine-and-oganesson/> (Citované 16.9.2016)
- [100] Drábik M (2016) Štyri nové chemické prvky, ich objavy a návrhy názvov a značiek. *ChemZi*, (1):4-5.
- [101] Tosyl. <https://en.wikipedia.org/wiki/Tosyl> (Citované 16.9.2016)
- [102] Periodic Table: [https://en.wikipedia.org/wiki/Periodic_table_\(large_cells\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Periodic_table_(large_cells)) (Citované 16.9.2016)
- [103] Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Periodic_table_\(large_cells\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Periodic_table_(large_cells))
- [104] Printable Periodic Tables - Science Notes and Projects. <http://sciencenotes.org/printable-periodic-table/>
- [105] The INTERNET Database of Periodic Tables. http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?Button=All
- [106] NuDat 2.6 - Interactive Chart of Nuclides. <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>
- [107] VRM - Nuclear Map. <http://nrv.jinr.ru/nrv/webnrv/map/>
- [108] KAERI Table of Nuclides. <http://atom.kaeri.re.kr/nuchart/>
- [109] Sonzogni AA. [Interactive Chart of Nuclides](http://www.nndc.bnl.gov/chart/). National Nuclear Data Center: Brookhaven National Laboratory. <http://www.nndc.bnl.gov/chart/> (Citované 19.9.2016)
- [110] The Periodic Table by WebElements. <https://www.webelements.com>
- [111] Wieser ME, Berglund M (2007) Atomic Weights of the Elements, (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.* 81(11):2131–2156. <http://www.ciaaw.org/pubs/TSAW-2007.pdf>
- [112] Cohen ER, et al. (2008) [*IUPAC Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry. Third Edition*](https://media.iupac.org/publications/books/gbook/IUPAC-GB3-2ndPrinting-Online-22apr2011.pdf). IUPAC Green Book, 3rd Edition, 2nd Printing, IUPAC & RSC Publishing, Cambridge. media.iupac.org/publications/books/gbook/IUPAC-GB3-2ndPrinting-Online-22apr2011.pdf
- [113] Solti Z. (2013) Karlsruhe Chart of the Nuclides Nuclear Data in Nucleonica. www.nucleonica.net/wiki/images/9/96/nucleardata_ftu_2013.pdf
- [114] Hála H (2013) Radiativní izotopy. Sursum, Tišnov. 374 s. ISBN 978-80-7323-248-1.

- [115] Izotopy. I. Svojstva, polučenie i primenenie. (2005) Pod red. V. Ju. Baranova. Moskva, FIZMATLIT. 599 s. ISBN 5-9221-0522-1
- [116] Izotopy. II. Svojstva, polučenie i primenenie. (2005) Pod red. V. Ju. Baranova. FIZMATLIT, Moskva. 728 s. ISBN 5-9221-0523-X
- [117] Frazier K. (1978) Superheavy Elements. *Science News* 113(15):236-238.
- [118] Transactinide-2. <http://www.kernchemie.de/Transactinides/Transactinide-2/transactinide-2.html>
- [119] Iliáš M, Kellö V, Urban M. (2010) Relativistic effects in atomic and molecular properties. *Acta Physica Slovaca*, 60(3):259-391.
- [120] Fricke B, Greiner W, Waber JT (1971). [The continuation of the periodic table up to \$Z = 172\$. The chemistry of superheavy elements.](#) *Theoretica Chimica Acta*. Springer-Verlag. 21(3):235–260. doi:[10.1007/BF01172015](https://doi.org/10.1007/BF01172015)
- [121] DATABASE 'RTAM', Version 19.0 (January 20, 2016). (C) Pekka Pyykko, ktorá v súčasnosti obsahuje 17 247 vstupov. <http://rtam.csc.fi/> (Citované 16.9.2016).
- [122] Elert, G. [Atomic Models](#). *The Physics Hypertextbook*. <http://physics.info/atomic-models/>. (Citované 16.9.2016)
- [123] Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева 2.2. <http://www.softportal.com/software-3223-periodicheskaya-sistema-himicheskikh-elementov-d-i-mendeleeva.html>
- [124] Расширенная периодическая таблица элементов. Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%88%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2 (Citované 16.9.2016)
- [125] Extended periodic table. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Extended_periodic_table#cite_note-Elert-7

Doslov

S potešením môžeme konštatovať, že dňa 28. Novembra 2016 IUPAC definitívne schválila názvy objavených prvkov 113, 115, 117 a 118 tak ako boli predbežne navrhované.

- [126] <https://iupac.org/iupac-announces-the-names-of-the-elements-113-115-117-and-118/> (30.11.2016)

**Preukázanie a stanovenie submikroskopických uránových častíc
v environmentálnych vzorkách**

Kristína Sihelská, Jan Lorinčík, František Sus, Daniela Veselá

Centrum výzkumu Řež s.r.o., Hlavní 130, 250 68 Husinec-Řež



Prezentácia

Videosekvencia

ŠTÚDIUM KORÓZII ODOLNEJ OCELI POMOCOU IZOTOPU 57-Fe

Pašteka Lukáš¹, Miglierini Marcel²

¹Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Ústav laboratórneho výskumu geomateriálov, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovenská republika;

²Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika

pashty89@gmail.com

Abstrakt

V práci sme sa sústredili na charakterizáciu korózie odolnej oceli LC200N pomocou Mössbauerovej spektrometrie (MS) s využitím izotopu 57-Fe. Táto metóda je vhodná pre stanovenie zlúčenín železa a ich vlastností v ocelových materiáloch. Vzorky vyšetrovaného materiálu boli vo forme ocelových diskov s hrúbkou 0,5 mm a polomerom 25 mm. Skúmaný bol vplyv termálnej histórie a povrchovej úpravy na zloženie a vlastnosti materiálu. Dodané boli tri typy vzoriek: nekalená oceľ, kalená a kalená s následným vložením do tekutého dusíka. Diskové vzorky sa získali odrezaním z pôvodných ocelových tyčí a jedna strana diskov bola leštená diamantovou pastou. Parametre jednotlivých strán každej vzorky boli získané pomocou Mössbauerovej spektrometrie a získané spektrá vyhodnotené programom Confit. Najvýraznejší vplyv na charakter daného materiálu mala termálna história.

Kľúčové slová: 57-Fe, Mössbauerová spektrometria, korózia, ocelové materiály

Úvod

Železo (lat. Ferrum) sa v periodickej tabuľke prvkov nachádza v skupine prechodných prvkov, má protónové číslo 26, značku Fe a jeho relatívna atómová hmotnosť je 55,84. Je to striebrolesklý kov, pomerne mäkký a jeden z najrozšírenejších prvkov na Zemi (5 hm. %). Jeho výskyt smerom do stredu Zeme narastá, jadro je tvorené zliatinou železa a niklu. V zemskej kôre sa vyskytuje v horninách, mineráloch a rudách. Najvýznamnejšie železo-obsahujúce rudy sú magnetit, limonit a siderit[1]. V termojadrových reakciách vo hviezdach je najťažším prvkom, ktorý v nich vzniká nukleosyntézou ^{56}Ni a jeho následnou premenou $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$.

Železo sa vyrába z rúd vo vysokých peciach pomocou redoxných reakcií s uhlíkom alebo oxidom uhoľnatým. Najčastejšie sa využíva ako konštrukčný materiál v rôznych zliatinách, oceliach, ktoré sa môžu modifikovať mnohými prímiesami na dosiahnutie žiaducich mechanických vlastností na základe ich špecifického použitia.

Naším cieľom je identifikovať vzorky ocele LC200N, ktorá je špeciálne modifikovaná na odolnosť v korozívnom prostredí. Porovnáme jednotlivé vzorky s rôznou termálnou históriou a tento vplyv na výsledné vlastnosti a štruktúrne modifikácie danej ocele a zároveň určiť vplyv procesu získavania vzorky odrezaním a nečistôt z neho na výsledné MS spektrum.

Materiál a metódy

Mössbauerova spektrometria (MS) je metóda založená na využití bezodrazovej jadrovej rezonančnej fluorescencie γ -fotónov, známej ako Mössbauerov efekt [2-4], ktorá bola vyvinutá Rudolfom L. Mössbauerom v roku 1958 počas jeho práce na doktorandskej téme. Je to nedeštruktívna metóda a dokáže zaregistrovať veľmi jemné zmeny v energetických stavoch jadier tzv. mössbauerovských atómov. Zdrojom γ -fotónov je žiarič ^{57}Co zabudovaný najčastejšie v ródiovej matici, ktorý sa elektrónovým záchytným premieňa na ^{57}Fe a počas tejto premeny vyžiari aj fotóny o energii 14,4 keV, ktoré sa využívajú pri MS.

Študovaný materiál je oceľ s označením LC200N vyrobená firmou Zapp Materials Engineering GmbH. Tento materiál je zliatinou s vysokým obsahom dusíka a odolnou voči korózií. Jednotlivé vzorky s hrúbkou 0,5 milimetra boli odrezané z pôvodných oceľových tyčí s priemerom 25 milimetrov pomocou elektroiskrového obrábania (EDM). Odobrali sa tri typy vzoriek z rôznou termálnou históriou: nekalené (1), kalené (2) a kalené s následným rýchlym ochladením v tekutom dusíku (3) [5-6]. Prvková charakteristika bola vykonaná pomocou neutrónovej aktivačnej analýzy a μXRF . Dominantnými prvkami pri NAA boli Fe, Cr a Mn. Prvky stanovené pomocou μXRF boli porovnané s deklarovanými hodnotami od výrobcu (Tab. 1.). V oboch prípadoch nebol stanovený kobalt, ktorý by mohol byť problémovým prvkom pri potenciálnom použití daného materiálu v jadrovom priemysle.

Tab. 1. Prvková charakteristika ocele LC200N pomocou μXRF [5]

Prvok	Fe	Cr	Si	Mo	Al	Mn	Ni	P	V	Cu	Poznámka
hm. %*	79,4	16,1	1	1,4	0,7	0,8	0,2	0,2	0,13	0,1	XRF
Min.%**	-	14	-	0,85	-	-	-	-	-	-	výrobca
Max.%***	-	16	1	1,1	-	1	0,5	-	-	-	

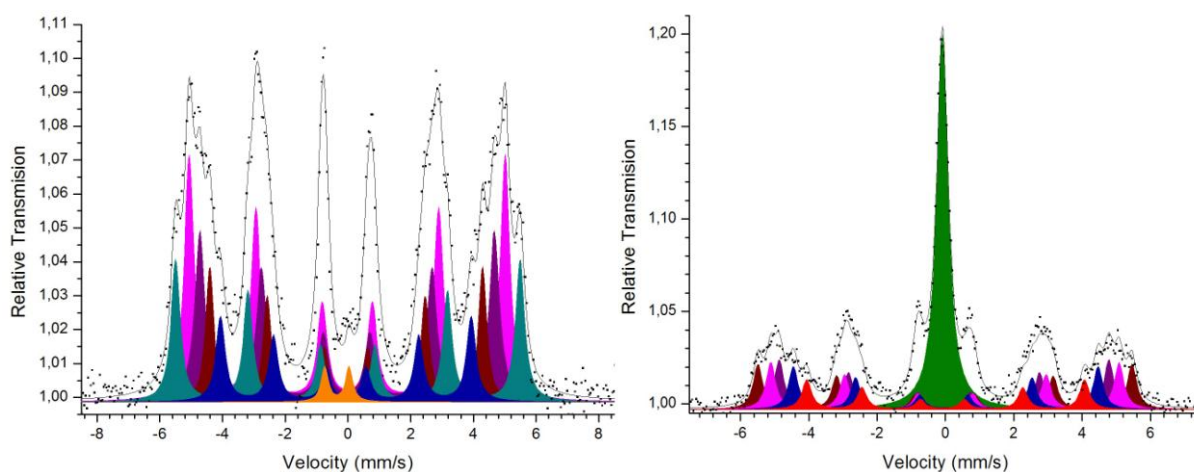
*hm. % - hmotnostné percentá

**Min.% - minimálny obsah deklarovaný výrobcom

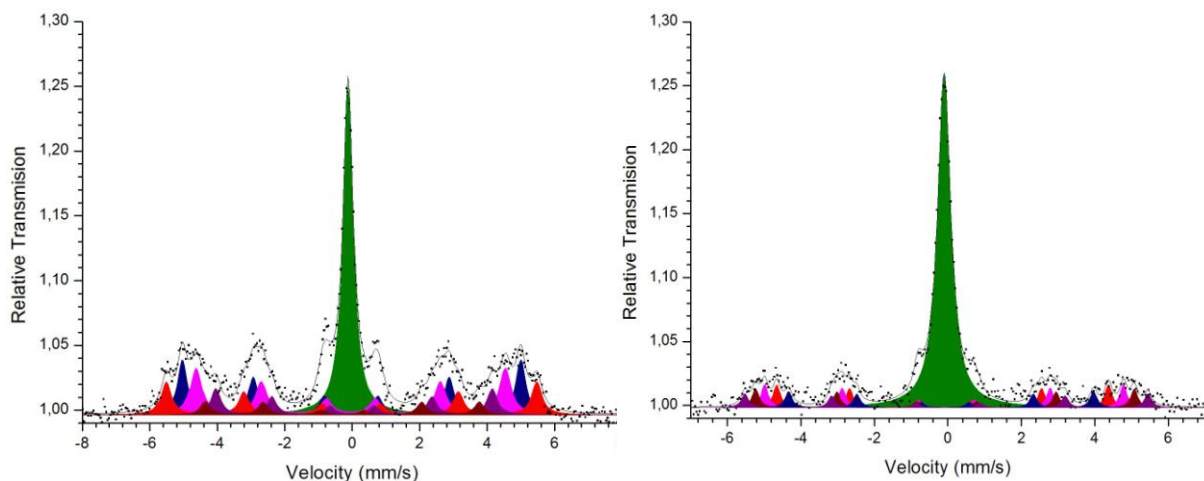
***Max.% - maximálny obsah deklarovaný výrobcom

Výsledky a diskusia

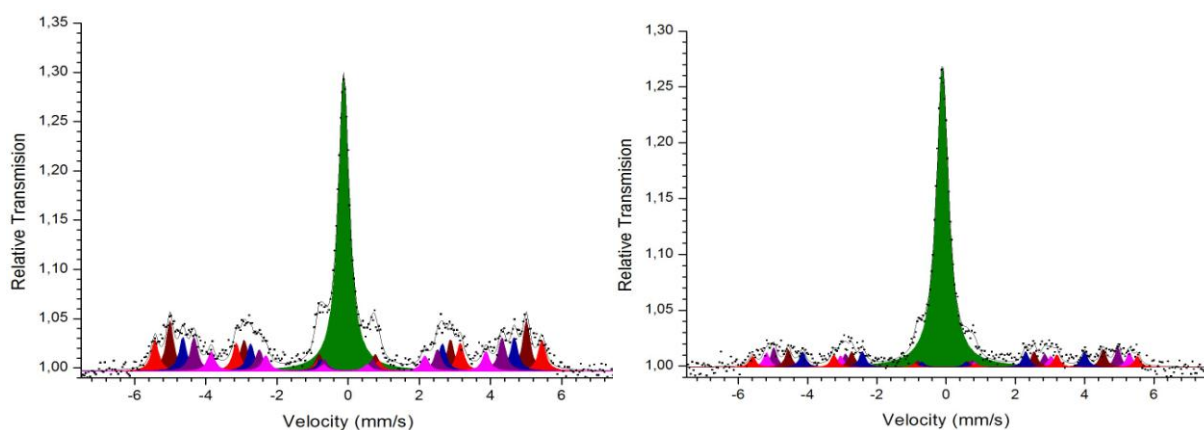
Oceľový materiál LC200N pri parametroch mössbauerovej spektrometrie vykazuje austenitický nemagnetický singletový signal vo dvoch vzorkách: po procese kalenia a aj kalenia s následným rýchlym ochladením v tekutom dusíku (Obr. 2. a Obr. 3.). V týchto vzorkách sa rovnako pozorovali podobné pomery singletových signálov ku sextetovým (Tab. 2.). Austenitická zložka (plošne centrovana kryštálová mriežka – bcc) dodáva materiálu húževnatosť a tvárnosť. Sextetové signály predstavujú magnetické fázy, feritickú zložku (kubicky priestorová kryštalická mriežka – fcc). Nekalená oceľ nevykazovala singletový signál, ale sextetový s malým podielom dubletového (Obr. 1.). Dubletový signál znamená prítomnosť magnetickej zložky s náhodne usporiadanými magnetickými momentmi a pravdepodobne je to spôsobené nečistotami z drôtu po rezaní. Pri povrchovej úprave vzorky bol pozorovaný rozdielny pomer singletov ku sextetom v rámci jedného typu vzorky pri leštenej a neleštenej strane.



Obr. 1. Mössbauerové spektrum vzorky 1 (nekalená)
Leštená (vľavo) a neleštená (vpravo) strana



Obr. 2. Mössbauerové spektrum vzorky 2 (kalená)
Leštená (vľavo) a neleštená (vpravo) strana



Obr. 3. Mössbauerové spektrum vzorky 3 (kalená a rýchlo ochladená)
Leštená (vľavo) a neleštená (vpravo) strana

Tab.2. Parametre mössbauerovho spektra

Typ spracovania/ úprava vzorky	Nekalená		Kalená		Kalená rýchlo chladená	
	Leštená	Neleštená	Leštená	Neleštená	Leštená	Neleštená
Singlety %	-	34	31	60	38	62
Dublety %	2	-	-	-	-	-
Sextety %	98	66	69	40	63	37

Záver

Pomocou Mössbauerovej spektrometrie sa získali informácie o vlastnostiach a charakterizácii ocele s označením LC200N s rôznou termálnou históriou. Najvýraznejší vplyv malo, či daná vzorka bola kalená. Následné ochladenie v tekutom dusíku po procese kalenia nemalo žiadny signifikantný vplyv na charakter spektra a vlastnosti ocele. Po preleštení povrchu vzorky sa odstránila vrstva nemagnetickej austenitickej zložky na

povrchu, čím sa zmenil podiel obsahu singletových (nemagnetických) fáz voči sextetovým (magnetickým), v prospech nárastu obsahu sextetov v spektre. Dubletový signál sa pozoroval iba na jednej strane a pri konkrétnom type vzorky, avšak môže sa nachádzať vo všetkých spektrách, kde je pravdepodobne prekrytý singletovým signálom.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená grantmi GAČR 14-12449S and VEGA 1/0182/16.

Zoznam literatúry

- [1] Rojkovič I., Lintnerová O., Uhlík P., Kraus I. (2006) Nerastné suroviny. Univerzita Komenského, Bratislava, s. 179
- [2] Mössbauer R. L. (1958) Z. Physik 151:124
- [3] Mössbauer R. L. (1958) Naturwissenschaften 45:538
- [4] Mössbauer R. L. (1959) Z. Naturforsch. A 14:211
- [5] Miglierini M., Kmječ T., Štefánik M. (2015) Hutnícka a priemyselná analytika 2015, Zborník prednášok, Vrátna dolina, SR, s. 38
- [6] Lančok A., Kmječ T., Štefánik M., Sklenka L., Miglierini M. (2016) Croat. Chem. Acta 88(4):355-361

VPLYV ANIÓNOV NA SORPCIU $^{99m}\text{TcO}_4^-$ NA Sn-HYDROXYAPATIT

Hamárová Andrea, Rosскопfová Oľga

*Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra jadrovej chémie,
Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4, Slovenská republika;
hamarova17@gmail.com*

Abstrakt

Hydroxyapatit (HA) je vhodný adsorbent pre ťažké kovy a rádionuklidy vďaka svojmu veľkému povrchu, vysokej stabilite pri oxidačno-redukčných podmienkach. SnCl_2 sa pre svoje redukčné vlastnosti používa v biomedicínskych aplikáciách a v priemyselných technológiách. Sn(II) redukuje $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ (VII) na $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ (IV), pričom sa Sn oxiduje z oxidačného stupňa II na IV. Adsorpcia TcO_4^- na vzorky HA, ktoré boli pripravené mokrou zrážacou metódou, sa sledovala metódou rádioindikácie. Ako rádioizotopový indikátor bol použitý rádionuklid $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$, ktorý sa využíva hlavne v nukleárnej medicíne – zobrazovacie techniky PET, SPECT a pod. V tejto práci boli študované vplyvy aniónov na sorpciu $^{99m}\text{TcO}_4^-$ na Sn-hydroxyapatitu.

Kľúčové slová: Sn-hydroxyapatit, sorpcia, technecistan

Úvod

Produkcia kvapalných ale aj pevných rádioaktívnych odpadov sa neustále zvyšuje v dôsledku využívania jadrovej energetiky ale aj rozvojom nukleárnej medicíny. Do rizikovej skupiny spadajú rádionuklidy a ťažké kovy, ktoré sú pre živé organizmy toxické, a ktoré znečisťujú životné prostredie. Medzi takéto látky patrí Co , Cd , Pb , Hg a pod. Avšak medzi toxické látky sa radia aj tie, ktoré sa nachádzajú v ľudskom organizme v stopových množstvách, napr. Ni , Cu , Sn , Zn . Ak sa však zvýši ich koncentrácia v organizme, stávajú sa rovnako nebezpečné ako ťažké kovy či rádionuklidy [1,2]. Tieto prvky majú schopnosť viazať sa aj na veľmi malé častice, a preto je ich dekontaminácia zložitá.

Hydroxyapatit (HA) je základná prírodná anorganická zložka oporného systému stavovcov. V kostiach cicavcov je zastúpenie HA približne 60%, v zubnej sklovine dokonca až 90% [3]. Potenciálne sa vďaka svojej biokompatibilite, nízkej hustote, chemickej stabilite, osteokonduktivite, nezápalovosti, netoxickosti a pod. využíva ako substitučný kostný materiál, ako výplň kostných defektov, v dentálnej a ortopedickej chirurgii [3-5]. HA má vo svojej štruktúre miesta pre kationové a aniónové výmenne reakcie. Okrem toho je schopný adsorbovať na svoj povrch dvojmocné kationy kovov –

Sr^{2+} , Cu^{2+} , Sn^{2+} , Ni^{2+} a pod., a to spoluzrážaním, iónovo-výmennými reakciami, substitúciou vápenatých katiónov s inými kovmi nachádzajúcimi sa v HA, tvorbou komplexov na povrchu HA [6]. Do štruktúry HA sa môžu heterogénnou iónovou výmenou inkorporovať aj anióny napr. uhličitaný, fluoridy, chloridy či kremičitany. Pre svoju chemickú stabilitu pri oxidačno-redukčných reakciách, nízkej rozpustnosti vo vode, veľkému špecifickému povrchu a tlmivým vlastnostiam sa hydroxyapatit využíva aj ako adsorbent rádionuklidov a ťažkých kovov z vodných odpadov. Používa sa ako vhodný sorbent na rádionuklidovú imobilizáciu rozsiahlych komplexných látok U, Np, Pu, Am, Sr, a pod., ktoré sa nachádzajú vo vodnej fáze.[8]

$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ je najpoužívanejší rádioizotop v medicíne. $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ s dobou polpremeny 6,01 hodiny a s ľahkou dostupnosťou je vhodné pre diagnostické aj terapeutické postupy. Emituje γ -žiarenie s energiou 140 keV (89%), čo sa využíva pri detegovaní gama kamerou [6]. V tejto štúdii sa použil rádioizotopový indikátor $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ vo forme technecistanového aniónu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$.

Cieľom práce bolo stanovenie vplyvu aniónov na sorpciu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ na Sn-hydroxyapatitu.

Materiál a metódy

Chemikálie a materiál

Chemikálie používané v experimentoch boli čistoty p.a. od firmy Lachema n.p., Česká republika a od firmy Slavus, s.r.o., Slovenská republika. Rádioizotop $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ sa použil z $^{99}\text{Mo} / ^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ generátora DRYTEC (2,5 – 100 GBq), GE Healthcare, @ 1200 GMT. Hydroxyapatit (HA1) bol od firmy Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Nemecko.

Adsorpčné experimenty

Adsorpcia technécia vo forme technecistanového aniónu na syntetizované vzorky hydroxyapatitu sa sledovala metódou rádioindikácie. Ako rádioizotopový indikátor sa použil $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ vo forme technecistanového aniónu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. Sorpčné experimenty sa uskutočňovali vsádzkovou metódou v plastových skúmavkách so zátkou pri laboratórnej teplote.

Pomer tuhej a kvapalnej fázy bol 1:100. Obe fázy sa premiešavali na laboratórnom extraktore konštantou rýchlosťou po dobu 60 min. Po adsorpcii sa vzorky centrifugovali pri 6000 ot·min⁻¹ po dobu 10 min. Následne sa odobralo alikvotné množstvo supernatantu, ktorý sa použil na meranie. Meranie supernatantu prebiehalo na automatickom gama

počítači 1470 Wizard, Perkin Elmer. Relatívna chyba merania bola $< 5\%$. Hodnota pH bola zmeraná pred sorpciou a rovnako aj po sorpcii pomocou pH metra WTW 720 inoLab.

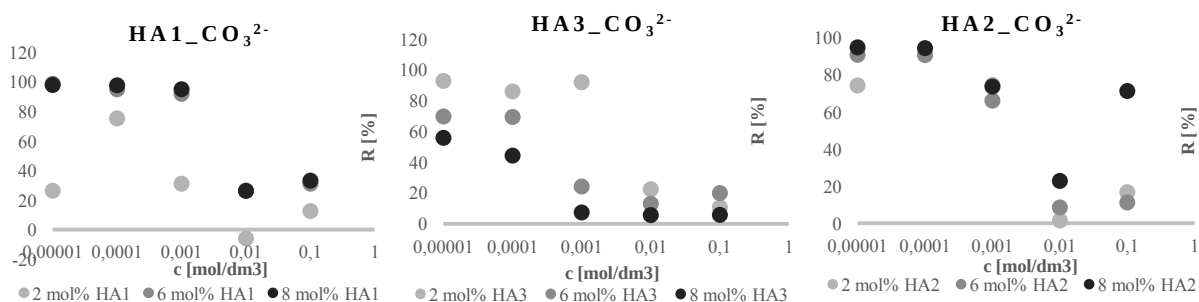
Na vzorkách HA1, HA2 a HA3 bol študovaný vplyv konkurenčných aniónov na adsorpciu $^{99m}\text{TcO}_4^-$. Vodnú fázu tvorili anióny CO_3^{2-} , HPO_4^{2-} , cit^{3-} . Koncentrácia roztokov bola v rozmedzí $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Všetky roztoky boli označené $^{99m}\text{TcO}_4^-$.

Výsledky a diskusia

Študoval sa vplyv konkurenčných aniónov – HPO_4^{2-} , CO_3^{2-} , cit^{3-} na sorpciu technecianu na Sn-hydroxyapatit, ktorý bol modifikovaný cínatými iónmi. Zastúpenie cínatých iónov v štruktúre Sn-hydroxyapatitu bolo 0 mol%, 2 mol%, 6 mol% a 8 mol%.

Vplyv CO_3^{2-} iónov

Ióny HCO_3^- a CO_3^{2-} sú v suspenzii prítomné, keď hodnota pH je 9,3. Pri takomto pH môžu byť ióny nasorbované na kladne nabitý povrch hydroxyapatitu a môžu vytvárať hydrogenuhličitan vápenatý a uhličitan vápenatý. Rovnako môžu byť vytvorené aj zlúčeniny ako $\text{HPO}_4\text{CaHCO}_3$ a $\text{HPO}_4\text{CaCO}_3^{2-}$. Ak je $\text{pH} > 9,3$ je možná nukleácia CaCO_3 a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [9]. Ak by bola presiahnutá kritická koncentrácia CO_3^{2-} v roztoku, môže nastať premena hydroxyapatitu na uhličitan vápenatý, ktorý sa môže následne vyzrážať z roztoku, a tým vytvoriť povrchovú vrstvu na hydroxyapatite [10]. Výsledky z vplyvu CO_3^{2-} aniónov na sorpciu technecianu na vzorky Sn-hydroxyapatitov sú na Obr. 1 a hodnoty K_D a $R\%$ sú uvedené v Tab. 1.



Obr. 1 Vplyv CO_3^{2-} iónov na adsorpciu technecianového aniónu.

Percento sorpcie technécia na HA1 a HA2 klesalo so zvyšujúcou sa koncentráciou uhličitanových aniónov v roztoku. Pri sorbente HA1 sa percento sorpcie takmer nemenilo do koncentrácie $1 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, pre HA2 to bolo do koncentrácie $1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Pri koncentrácii CO_3^{2-} iónov $1 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ bolo pH roztoku 11,6 a po sorpcii technecianu

sa hodnota pH pohybovala od 7,8 do 8,3. Možno predpokladať, že pri tomto pH dochádzalo aj k nukleácii CaCO_3 , resp. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ktoré sa mohli vyzrážať na povrchu HA, a tak zabrániť sorpcii technecistanu na sorbent. Pri vzorkách HA1 a HA2 percento sorpcie vzrastalo podľa zastúpenia Sn^{2+} nasledovne: 2 mol% > 6 mol% ~ 8mol%.

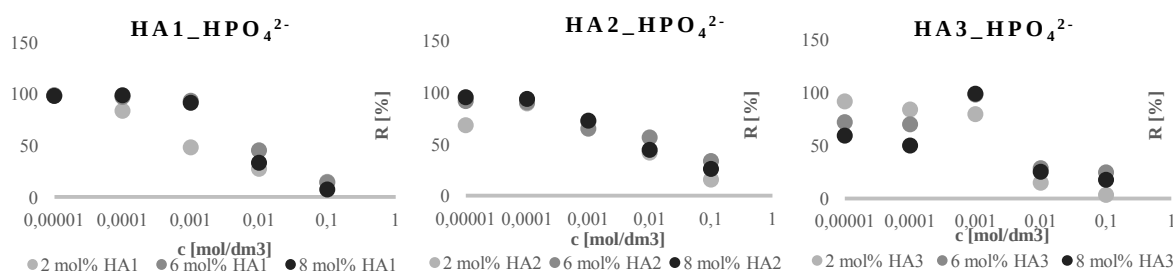
Vplyv CO_3^{2-} iónov na sorpciu technecistanu sa sledoval aj na sorbent HA3. Zvyšovaním koncentrácie uhličitanových aniónov v roztoku klesalo percento sorpcie technécia. Pri sorbente HA3 s 2 mol% cínu sa percento sorpcie takmer nemenilo do koncentrácie $1 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, pre HA3 s 6 mol% Sn^{2+} to bolo do koncentrácie $1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Pri najnižšej koncentrácii CO_3^{2-} percento sorpcie technécia klesalo so zvyšovaním zastúpenia cínu v poradí 2 mol% > 6 mol% > 8 mol% a dosahovalo hodnoty 93 %, 69,8 % a 56 %.

Tab. 1 Distribučný pomer a percento sorpcie pri štúdiu vplyvu CO_3^{2-} iónov na sorpciu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ na vzorku

$c_{\text{CO}_3^{2-}}$ [mol·dm ⁻³]		10 ⁻¹		10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵	
		K _D	R(%)	K _D	R(%)	K _D	R(%)	K _D	R(%)	K _D	R(%)
HA1	2mol%=	15	12,7	0	0	45	31,3	307	75,5	36	26,5
	6mol%	46	31,3	36	26,7	1165	92,1	1958	95,1	9134	98,9
	8mol%	50	33,4	36	26,4	1972	95,2	4580	97,9	5139	98,1
HA2	2mol%	20	16,8	2	1,5	297	74,8	1095	91,6	292	74,5
	6mol%	13	11,3	9	8,6	196	66,3	995	90,9	1013	91,0
	8mol%	250	71,5	30	22,9	283	73,9	1763	94,6	1923	95,1
HA3	2mol%	12	10,8	29	22,6	1169	92,1	620	86,1	1322	93,0
	6mol%	25	20,1	15	13,1	32	24,4	228	69,5	231	69,8
	8mol%	6	5,9	6	5,8	8	7,5	80	44,4	127	56,0

Vplyv HPO_4^{2-} iónov

Percento sorpcie pri vplyve hydrogenfosforečnanových iónov v roztoku na sorpciu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ na Sn-HA je zobrazené na Obr. 2 a hodnoty distribučného koeficientu a percenta sorpcie sú uvedené v Tab. 2.



Obr. 2 Vplyv HPO_4^{2-} iónov na adsorpciu technecistanového aniónu na vzorky.

Zo zvyšujúcou sa koncentráciou HPO_4^{2-} iónov klesalo percento sorpcie technécia u vzoriek HA1 a HA2. Pri nižších koncentráciách ako $1 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ percento sorpcie technécia pre HA1 a HA2 bolo vyššie ako 83 %, okrem 2 mol% HA1, kedy hodnota R% bola 68,4 %. Pri koncentrácií $1 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ a $1 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ sa percento sorpcie technécia s narastajúcim zastúpením Sn^{2+} iónov výrazne nemenilo, ale pri nižších koncentráciách HPO_4^{2-} R% vzrastalo.

Percento sorpcie technécia klesalo so zvyšujúcim sa mólovým zastúpením Sn^{2+} vo vzorke HA3 pri koncentráciách HPO_4^{2-} iónov $1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ a $1 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. V prípade sorbentu HA3 so zvyšujúcou sa koncentráciou HPO_4^{2-} aniónov v roztoku klesalo percento sorpcie technécia.

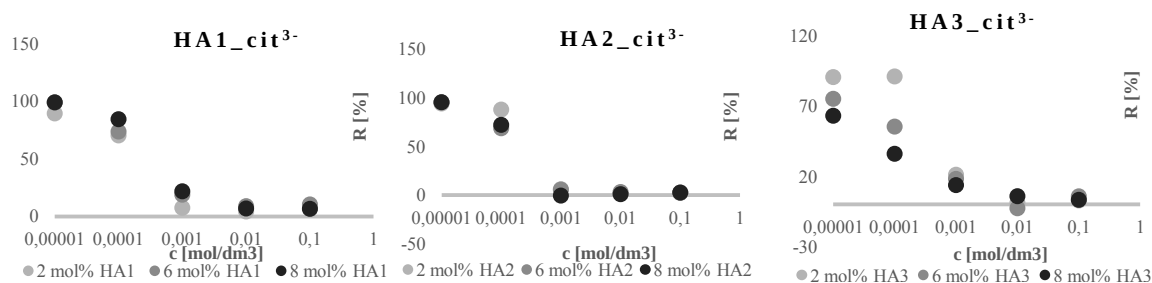
pH pri najvyššej koncentrácii HPO_4^{2-} iónov v roztoku bolo 9 – 9,5 s klesajúcou koncentráciou aniónu kleslo aj pH na 7 – 5,5.

Tab. 2 Distribučný pomer a percento sorpcie pri štúdiu vplyvu HPO_4^{2-} iónov na sorpciu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ na vzorku

$c_{\text{HPO}_4^{2-}}$ [mol·dm ⁻³]	10^{-1}		10^{-2}		10^{-3}		10^{-4}		10^{-5}	
	K _D	R (%)	K _D	R(%)	K _D	R(%)	K _D	R (%)	K _D	R (%)
HA1	2mol%	18 14,9	38 27,6	94 48,4	517 83,8	5841 98,3				
	6mol%	17 14,3	83 45,5	1452 93,6	3564 97,3	9964 99,0				
	8mol%	8 7,5	50 33,4	1091 91,6	8728 98,9	5610 98,2				
HA2	2mol%	19 15,8	72 41,9	256 71,9	851 89,5	216 68,4				
	6mol%	51 33,7	130 56,6	186 65,0	951 90,5	1113 91,8				
	8mol%	35 26,1	80 44,6	268 72,8	1522 93,8	2105 95,5				
HA3	2mol%	4 3,5	18 15,0	398 79,9	536 84,3	1144 92,0				
	6mol%	33 24,8	40 28,8	6159 98,4	236 70,3	261 72,3				
	8mol%	22 17,8	34 25,4	12972 99,2	101 50,2	147 59,6				

Vplyv $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}(\text{COO})^{3-}$ iónov

Percento sorpcie pri vplyve citranových iónov v roztoku na sorpciu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ na Sn-hydroxyapatity je zobrazené na Obr. 3 a hodnoty K_D a $R\%$ sú uvedené v Tab. 3.



Obr. 3 Vplyv cit³⁻ iónov na adsorpciu technecistanového aniónu na vzorky

Vplyv cit³⁻ iónov bol na sorpciu technecistanu najväčší pre všetky vzorky sorbentov. Pri vyšších koncentráciách cit³⁻ iónov ako $1 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ bolo percento sorpcie technécia nižšie ako 22 % pri vzorkách HA1 a HA2. Pri nižších koncentráciách citranu v roztoku bolo $R\%$ v rozmedzí 70 % – 99 %. Percento sorpcie technécia sa s narastajúcim zastúpením Sn^{2+} iónov sa výrazne nemenilo. Vplyv citranových iónov na sorpciu technécia na HA3 bol takisto veľmi výrazný. Pri koncentráciách $1 \cdot 10^{-4}$ a $1 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ so stúpajúcim zastúpením Sn^{2+} iónov klesalo percento sorpcie technécia a dosahovalo hodnoty 91 % – 36 %. Pri HA3 stúpalo percento sorpcie technécia s klesajúcou koncentráciou cit³⁻ iónov.

pH roztoku HPO_4^{2-} s koncentráciou $1 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ v roztoku bolo 9,5. S klesajúcou koncentráciou aniónu kleslo aj pH na 7,5 – 6.

Tab. 3 Distribučný pomer a percento sorpcie pri štúdiu vplyvu cit^{3-} iónov na sorpciu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ na vzorky

$c_{\text{cit}^{3-}}$ [mol·dm ⁻³]	10^{-1}		10^{-2}		10^{-3}		10^{-4}		10^{-5}	
	K_D	R (%)	K_D	R (%)	K_D	R (%)	K_D	R (%)	K_D	R (%)
HA1	2mol%	7 6,4	4 4,2	8 7,4	237 70,3	848 89,4				
	6mol%	12 10,3	10 8,9	23 18,8	280 73,7	9477 99,0				
	8mol%	7 6,5	7 6,8	28 21,8	542 84,4	10620 99,1				
HA2	2mol%	2 2,3	1 1,3	6 6,0	717 87,8	1569 94,0				
	6mol%	3 2,5	3 3,2	6 5,6	219 68,6	2022 95,3				
	8mol%	3 2,6	1 1,0	0 0	258 72,1	2022 95,3				
HA3	2mol%	3 3,0	1 1,3	27 21,3	1020 91,1	967 90,6				
	6mol%	6 5,9	0 0	22 18,3	125 55,5	303 75,2				
	8mol%	4 3,5	6 6,1	16 13,9	57 36,2	172 63,2				

Záver

Sorpcia technecistanu na vzorky bola študovaná vsádzkovou metódou a ako rádioizotopový indikátor bol použitý $^{99\text{m}}\text{Tc}$ vo forme $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. Vplyv aniónov bol stanovený z hodnôt percenta sorpcie R%.

Vplyv konkurenčných aniónov CO_3^{2-} , HPO_4^{2-} a cit^{3-} bol na sorpciu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ na vzorky veľmi výrazný. Najväčší vplyv na sorpciu mali anióny, ktorých počiatočná koncentrácia bola $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Pri nižších koncentráciách, už vplyv na sorpciu nebol taký vysoký. Na sorpciu technecistanu na vzorky sorbentov malo veľký vplyv aj zastúpenie Sn^{2+} iónov a spôsob prípravy resp. reaktanty, z ktorých boli sorbenty pripravované. Najväčší vplyv na sorpciu mali trojmocné konkurenčné anióny – $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}(\text{COO})^{3-}$, o niečo menej vplývali na sorpciu dvojmocné konkurenčné anióny – hydrogenfosforečnany a uhličitaný. Vo všeobecnosti sa môže povedať, že vplyv konkurenčných aniónov na sorpciu technecistanu na vzorky Sn-hydroxyapatitov narastal v poradí $\text{HPO}_4^{2-} < \text{CO}_3^{2-} < \text{cit}^{3-}$.

Zo získaných údajov o vlastnostiach nami pripravených vzoriek hydroxyapatitov (HA1, HA2, HA3) je možné navrhnúť ich uplatnenie jednak v nukleárnej medicíne – diagnostika ochorení skeletu, napr. rôzne karcinómy a metabolické poruchy kosti, a tiež pri imobilizácii $^{99\text{m}}\text{Tc}^{\text{m}}$, resp. ^{99}Tc z kvapalných odpadov.

Zoznam literatúry

- [1] ROSSKOPFOVÁ, O., GALAMBOŠ, M., PIVARČIOVÁ, L., ČAPLOVIČ, M., RAJEC, P. (2012). Adsorption of nickel on synthetic hydroxyapatite from aqueous solutions. *J Radioanal Nucl Chem*, 2013, Vol. 295, p. 459-465. DOI 10.1007/s10967-012-1799-6.
- [2] ROSSKOPFOVÁ, O., GALAMBOŠ, M., OMETÁKOVÁ, J., ČAPLOVIČ, M., RAJEC, P. (2012). Study of sorption processes of copper on synthetic hydroxyapatite. *J Radioanal Nucl Chem*, 2012, vol. 293, p. 641-647. DOI 10.1007/s10967-012-1711-4
- [3] KOČICOVÁ, P. (2013). *Syntéza biokeramických materiálov na bázi hydroxyapatitu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. p. 25-26.
- [4] DOBOŠ, P. (2010). *Příprava biokeramických materiálov pro medicínské aplikace*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. Vedoucí bakalářské práce doc. Dr. Ing. Martin Palou. 2010. p.17.
- [5] HSIEH, M-F., et al. (2001). [online] Phase purity of sol-gel derived hydroxyapatite ceramic. *Biomaterials*. Dostupné na: <www.sciencedirect.com>[2014-03-29]
- [6] FABIČOVICOVÁ, N. (2012). *Štúdium sorpčných procesov technécia na syntetickom hydroxyapatite*. [Diplomová práca]. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra jadrovej chémie. Školiteľ: RNDr. Oľga Rosskopfová, PhD. Bratislava: Prif UK. 2012. p. 12-15.
- [7] SHEPERD, J.D., SHEPERD, D.V., BEST, S.M. (2012). Substituted hydroxyapatite for bone repair. *J Mater Sci: Mater Med*. 2012, Vol. 23, p. 2335–2347. DOI:10.1007/s10856-012-4598-1.
- [8] HAMÁROVÁ, A. (2016). *Sorpcia technecianu na hydroxyapatit modifikovaný cínatými iónmi*. [Diplomová práca]. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra jadrovej chémie. Školiteľ: RNDr. Oľga Rosskopfová, PhD. Bratislava: Prif UK. 2016. 77 s.
- [9] SMIČIKLAS, I., DIMOVIĆ, S., PLEČAŠ, I., MITRIĆ, M. (2006) Removal of CO₂⁺ from aqueous solutions by hydroxyapatite. In *Water Res.*, 40, 2006. p. 2267 – 2274.
- [10] CARLISLE, E.M. (1972). Silicon: an essential element for chick. *Science*, 1972, vol. 178, 1972. p. 619

SEKVENČNÉ STANOVENIE ^{99}Tc A ^{126}Sn V RÁDIOAKTÍVNYCH KONCENTRÁTOCH

Silliková Veronika, Dulanská Silvia

*Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Katedra jadrovej chémie, Ilkovičova 6,
Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovenská republika
sillikova2@uniba.sk*

Abstrakt

V práci bola vyvinutá nová metóda pre sekvenčné stanovenie ^{99}Tc a ^{126}Sn vo vzorkách rádioaktívnych koncentrátov. Pre separáciu ^{99}Tc a ^{126}Sn bol použitý anión výmenný sorbent od firmy Eichrom Technologies, Inc. Vzorky boli separované na anión výmennom sorbente v prostredí $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ HCl}$. ^{99}Tc bolo merané na kvapalinovom scintilačnom detektore TRI-CARB 3100 TR (Perkin Elmer) a ^{126}Sn bol meraný na HPGe detektore meraním aktivity dcérskeho produktu $^{126}\text{Sb}^{\text{m}}$ v rádioaktívnej rovnováhe.

Kľúčové slová: separácia ^{126}Sn ; separácia ^{99}Tc ; aniónový výmena; rádioaktívne koncentráty

Úvod

V posledných 20 rokoch boli úspešne testované separačné metódy využívajúce kvapalinovú extrakciu. Shengdong a kol. [1], izolovali ^{126}Sn rozpustením zrazenín štiepných produktov a použitím extrakcie typu kvapalina-kvapalina s N-benzoyl-N-fenyl-hydroxylamínom (BPHA) pre extrakciu cínu z prepracovaného jadrového paliva. Relatívne zastúpenie atómov ^{126}Sn spolu s absenciou interferujúcich častíc v analyzovaných roztokoch umožnilo merať aj hmotnostnú koncentráciu a aktivitu nuklidu s vysokou presnosťou. Catlow a kol. [2] analyzovali ^{126}Sn vo vzorkách prepracovaného vyhoreného jadrového paliva z Hanfordu. Prevládajúce rádionuklidy v tomto druhu odpadu boli štiepne produkty ^{137}Cs a ^{90}Sr , ktoré interferujú pri meraní beta alebo gama ^{126}Sn . Použili Bio-Rad AG-1 v chloridovej forme alebo AG MP-1, 100 až 200 mesh anión výmenný nosič a ^{113}Sn v 2 až $4 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ kyseline chlorovodíkovej a ^{126}Sn bol kvantitatívne eluovaný $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ HNO}_3$. Výsledný roztok bol meraný buď gama-spektroskopiou alebo pomocou hmotnostnej spektrometrie. Výtťažok stopovača na základe ^{113}Sn bol v rozmedzí od 90 % až 98 %.

Su, Tsai a kol. [3] stanovili ultra stopové množstvá ^{99}Tc vo vzorkách nízkoaktívnych rádioaktívnych odpadov pomocou ICP-QMS (Inductively coupled plasma – quadrupole mass spectrometry). Použili približne 100 mg vzorky. Po upravení vzorky pomocou HNO_3 , HF a HCl , vzorky vysušili takmer do sucha a zvyšky rozpustili v koncentrovanej HNO_3 a H_2O_2 . Nasledovne vzorku obsahujúcu ^{99}Tc naniesli na sorbent TEVA od Eichrom Technologies, ktorá bola kondicionovaná $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{HNO}_3$. Týmto krokom odseparovali Tc od Ru a Mo. Po premytí kolóny pomocou HNO_3 vzorku eluovali $5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{HNO}_3$. Vzorku odparili takmer do sucha, a rozpustili v 2 % HNO_3 a zriedili do 50 cm^3 , pre meranie na ICP-QMS.

Pre stanovenie neaktinoidových rádionuklidov v rádioaktívnych odpadoch, bolo nedávno publikovaných niekoľko metód. Lee a kol. [4] systemizovali jednoduchý a rýchly separačný proces pre stanovenie ^{99}Tc , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{55}Fe a $^{59,63}\text{Ni}$ v nízkych a stredne aktívnych rádioaktívnych odpadoch. Integrovaný postup zahŕňa zrážanie, aniónovú výmenu a extrakčnú chromatografiu pre separáciu a čistenie jednotlivých rádionuklidov z matrice vzorky a od ďalších rádionuklidov.

^{99}Tc a ^{126}Sn patrí do skupiny 19 limitovaných rádionuklidov pre dlhodobé skladovanie na republikovom úložisku nízko a stredne aktívnych rádioaktívnych odpadov v Mochovciach na Slovensku. V príspevku je opísaná nová metóda pre sekvenčné separovanie ^{99}Tc a ^{126}Sn pomocou kation výmenného a anión výmenného resinu zo vzoriek koncentrátov z JE Mochovce.

Materiál a metódy

Kation výmenný resin H^+ forma, 50 W x 8, 100 až 200 mesh a Anión výmenný resin v chloridovej forme, 1 x 8, 100-200 mesh, boli dodané výrobcom Eichrom Technologies, Inc. Všetky ďalšie použité chemikálie boli bežne dostupné kyseliny a chemikálie.

Vplyv koncentrácie kyseliny chlorovodíkovej na separáciu Sn

Do 10 ml HCl s rôznou koncentráciou v rozsahu (od 0,1 do 11,3) $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ bol pridaný ^{113}Sn a 5 mg Sn^{4+} . Roztok sa naniesol na 1 g anexu, ktorý bol kondicionovaný 10 ml HCl (rovnakej koncentrácii ako bola použitá kyselina pre každú vzorku). Kolóna sa premyla dvakrát 10 ml HCl . ^{113}Sn bol eluovaný z kolóny 20 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{HNO}_3$. Eluovaná frakcia bola meraná na HPGe detektore pri energii 391,6 keV.

Optimalizácia separačnej metódy (anión výmenný resin)

Do 10 ml $0,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl boli pridané stopovacie rádionuklidy ^{113}Sn a $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$. Modelová vzorka bola nanosená na 1 g katexu kondiciovaného s 10 ml $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl. Kolóna bola premytá dvakrát 2 ml HCl s koncentráciou $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ a eluáty sa následne naniesli na 1 g anexu, kondiciovaného s $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl. Kolóna bola premytá s 10 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl. ^{113}Sn bol eluovaný s 20 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HNO_3 [5] a technécium sa následne elovalo s 20 ml $14,35 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HNO_3 . Každá frakcia sa merala na HPGe detektore pre stanovenie výťažku separácie.

Sekvenčné stanovenie ^{99}Tc a ^{126}Sn v koncentrátoch

K 20 ml koncentrátu z jadrovej elektrárne v Mochovciach sa pridalo 7 Bq stopovacieho rádionuklidu ^{113}Sn a 5 mg Sn^{4+} . Vzorka sa neutralizovala pomocou $11,3 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl a následne sa kyslosť koncentrátu sa upravila približne na koncentráciu $(1 - 2) \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Pripravený roztok sa naniesol na 2 g katexu v H^+ forme, 100-200 mesh (kondiciované 10 ml $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl) pre odstránenie ^{60}Co a zvyškov ^{137}Cs . Kolóna bola premytá 2 ml $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl a pretečené frakcie boli zachytené do vialky. Zachytená frakcia sa naniesla na 1 g anexu (kondiciovaný s $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl). Kolóna bola premytá 20 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl a Sn bol eluovaný 20 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HNO_3 . Technécium bolo elované 20 ml $14,35 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HNO_3 . Eluované frakcie boli merané na HPGe gama detektore a bol stanovený výťažok separácie.

Meranie ^{126}Sn

Po elúcii cínu, boli vzorky priamo merané pomocou HPGe (ORTEC, 20% relatívna účinnosť) detektora pri energii 391,6 keV pre stanovenie výťažku cínu. Aktivita ^{126}Sn bola stanovená meraním gama aktivity dcérskeho produktu $^{126}\text{Sb}^{\text{m}}$ v rádioaktívnej rovnováhe pri energiách 666,3 keV a 695 keV po dobu 60 000 s.

Meranie ^{99}Tc

Finálne frakcie technécia boli odparené takmer do sucha. Následne bol odparok rozpustený v 5 ml $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HNO_3 . Po rozpustení bol nanosený na katex a pretečená frakcia sa zachytila. Frakcie boli merané na HPGe detektore pre stanovenie výťažkov $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ (pri energií 140 keV). Technécium bolo merané po týždni na kvapalinovom scintilačnom detektore TRI-CARB 3100 TR (Perkin Elmer) po pridaní 15 ml scintilačného roztoku Ultima Gold AB.

Výsledky a diskusia

Ťažiskom predloženej práce bolo vyvinúť vhodný sekvenčný analytický postup separáciu pre stanovenie ^{126}Sn a ^{99}Tc z odpareného koncentráту z JE.

Sn^{4+} je silne adsorbovaný na anión výmenný sorbent nakoľko tvorí v prostredí HCl s koncentráciou vyššej ako $0,7 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ stabilný aniónový komplex SnCl_4^{2-} . Testovaním sorpcie cínu v HCl s rôznou koncentráciou sa zistilo, že výtťažok ^{113}Sn bol vyšší ako 80 % pri koncentráciách HCl a to v oblasti $(0,7 - 7) \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl. Pre ďalšie experimenty sa vybralo prostredie HCl s koncentráciou $(1 - 2) \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$.

V ďalšej časti práce bola testovaná na modelových vzorkách sorpcia cínu a technécia na anión výmennom sorbente v prostredí $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl. Cín bol eluovaný s 20 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HNO_3 . Pri danej koncentrácii HCl je retenčný faktor k' pre $(\text{TcO}_4)^-$ sa pohybuje okolo hodnoty 500. Technécium bolo eluované s 20 ml $14,35 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HNO_3 . Aktivity ^{126}Sn a ^{99}Tc sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Aktivity a výtťažky vybraných rádionuklidov vo vzorkách rádioaktívnych koncentrátov

Vzorka	^{99}Tc	^{99m}Tc	^{126}Sn	^{113}Sn
	$A \pm U / \text{Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$	$R \pm U$ (%)	$A \pm U / \text{Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$	$R \pm U$ (%)
Č. 1	$4,08 \pm 0,49$	70 ± 8	$< 9,1$	74 ± 9
Č. 2	$3,92 \pm 0,47$	82 ± 10	$< 8,4$	80 ± 9
Č. 3	$5,99 \pm 0,72$	89 ± 11	$< 3,2$	83 ± 10
Č. 4	$4,94 \pm 0,59$	88 ± 11	$< 4,1$	66 ± 8
Č. 5	$3,17 \pm 0,38$	74 ± 9	$< 9,2$	76 ± 9

Poznámka: U - rozšírená neistota, $U_{(A, R)} = k \cdot u_{(A, R)}$, $k = 2$, R – výtťažok

Pri stanovení ^{126}Sn bol najväčší výtťažok 83 % v prípade vzorky rádioaktívneho koncentrátu č.1. Výtťažky ^{113}Sn sa pohybovali v rozmedzí (66 – 83) % pričom boli nižšie ako pri stanovení ^{99}Tc . Objemová aktivita ^{126}Sn bola v každej vzorke menšia ako minimálna detegovateľná aktivita, ktorá mala hodnotu v rozsahu od $(9,2 - 3,2) \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$. Najväčší výtťažok pri stanovení ^{99}Tc bol dosiahnutý v prípade vzorky rádioaktívneho koncentrátu č.3 výtťažky sa pohybovali v rozsahu (70 – 89) %. Najväčšia stanovená objemová aktivita bola v prípade vzorky rádioaktívneho koncentrátu č.3, $5,99 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$. Objemové aktivity v analyzovaných piatich vzorkách koncentrátov sa pohybovali v rozmedzí $(3,17 - 5,99) \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Výhodou metódy sekvenčného stanovenia je jednoduchosť prípravy vzorky, lacné a rýchle jedno kolónové separovanie rádionuklidov ^{99}Tc a ^{126}Sn v jednej matrici.

Záver

V práci bola vyvinutá a úspešne testovaná nová rádioanalytická metóda pre sekvenčné stanovenie ^{99}Tc a ^{126}Sn v rádioaktívnych koncentrátoch. Na separáciu bol použitý anión výmeny resin pre stanovenie aktivity ^{126}Sn a ^{99}Tc . Metóda bola optimalizovaná na modelových vzorkách, výtťažky boli stanovené pomocou stopovacích rádionuklidov. Hlavnou výhodou tejto metódy je zníženie doby potrebnej na separáciu rádionuklidov, ktorý bol iba 5 hodín a použitie jednej kolóny pre stanovenie týchto rádionuklidov.

Zoznam literatúry

- [1] Shengdong Z., Jingru G., Anzhi C., et al. (1993) Radiochemical analysis of ^{126}Sn in high-level liquid waste. Atomic Energy Science and Technology 27(6), p. 449-552
- [2] Catlow S. A. Troyer G. L., Hansen D. R., Jones R. A. J. (2005) Half-life measurement of ^{126}Sn isolated from Hanford nuclear defense waste. J Radioanal. Nucl. Chem. 263, p. 599-603
- [3] Su, T. Y., Tsai T. L. et al. (2015) Determination of ultratrace –levels of ^{99}Tc in low-level radioactive waste samples using ICP-QMS. In J. Radioanal. Nucl. Chem., 303, p. 1245 – 1248, DOI 10.1007/s10967-014-3490-6
- [4] Lee C. H., Lee M. H., Han S. H., et al. (2011) Sequential separation of ^{99}Tc , ^{94}Nb , ^{55}Fe , ^{90}Sr and $^{59/63}\text{Ni}$ from radioactive wastes. J. Radioanal. Nucl. Chem. 288, p. 319-325
- [5] Dulanská S., Bilohuščin J., Remenec B. (2015) Determination of ^{126}Sn in radioactive waste using TEVA® resin and gamma spectrometry. J. Radioanal. Nucl. Chem. 304, p. 1093-1097

OPTIMALIZÁCIA STANOVENIA ^{79}Se METÓDOU DESTILÁCIE

Horváthová Bianka, Dulanská Silvia, Remenec Boris

*Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra jadrovej chémie,
Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4, Slovenská republika*
horvathovabianka@centrum.sk

Abstrakt

Cieľom práce bolo vyvinúť, testovať a optimalizovať metódu destilácie pre separáciu ^{79}Se . Pokusy boli realizované na modelových vzorkách. Na sledovanie výťažku selénu sa pridával stopovací rádionuklid ^{95}Se a na detekciu bol použitý HPGe detektor pri $E_\gamma = 136$ keV a $E_\gamma = 264,8$ keV. Sledovali sa podmienky pre účinnú destiláciu selénu v prostredí HCl s rôznou koncentráciou, vplyv objemu $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr a množstvo odoberaného destilátu. Najvyššie výťažky ^{95}Se (90,6 - 91,5) % sa pohybovali v prostredí (4 - 6,5) $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl spolu s HBr s objemom (3 - 7) ml. Maximálne výťažky selénu (86 - 91) % pri destilácii 50 ml roztoku sa dosiahli pri odoberanom destiláte o objeme 35 ml. V súčasnosti sa optimalizuje množstvo nosiča Se^{4+} a následne bude separačný postup pre stanovenie ^{79}Se aplikovaný na reálne vzorky rádioaktívnych odpadov pochádzajúcich z JE na území SR.

Kľúčové slová: destilácia, ^{79}Se , ^{95}Se

Úvod

Na základe rozhodnutia Úradu jadrového dozoru SR je producent RAO povinný deklarovať 19 kritických rádionuklidov v rádioaktívnych odpadoch, medzi ktoré patrí aj ^{79}Se . Stanovenie týchto rádionuklidov je však náročné nielen z technologického, časového ale aj z ekonomického hľadiska, a preto je dôležité neustále vyvíjanie nových metód [1].

V prírode je selén zložený zo zmesi stabilných izotopov ^{74}Se (0,89 %), ^{76}Se (9,36 %), ^{77}Se (7,63 %), ^{78}Se (23,78 %), ^{80}Se (49,61 %), ^{82}Se (8,73 %) [2]. Selén má 26 rádioizotopov, pričom najvýznamnejšie z nich sú ^{75}Se a ^{79}Se [3,4]. Rádioizotop ^{75}Se má dobu polpremeny 120 dní a je produktom neutrónovej aktivácie stabilného ^{74}Se , využíva sa ako stopovací rádionuklid na biomedicínske účely [4]. Rádioizotop ^{79}Se vzniká ožiarení jadrového paliva v jadrovom reaktore pomocou štiepenia ^{235}U v aktívnej zóne reaktora. ^{79}Se je β^- žiarič s maximálnou hodnotou beta energie $E_{\max}=150,9$ keV, premieňa sa na ^{79}Br [5]. V súčasnosti doba polpremeny ^{79}Se nie je jednoznačná a práve jej prehodnotením sa

zvýšila pravdepodobnosť možnosti preniknutia tohto rádionuklidu z jadrových elektrární a aj z úložísk jadrového odpadu do podzemných vôd [6,7].

Akumulácia selénu závisí hlavne od environmentálnej matrice, klimatických faktorov a od pH prostredia [8]. V kyslých a neutrálnych pôdach sa selén nachádza vo forme selenidov a seleničitanov, dochádza k silnej sorpcii prevažnej časti seleničitanov na oxidy

a hydroxidy železa za tvorby zlúčenín typu $\text{Fe}(\text{OH})\text{SeO}_3$ a selén sa takto stáva pre rastliny neprístupným. V zásaditých pôdach sa selén vyskytuje vo väčšom množstve vo forme selénanov, ktoré sú pre rastliny dostupnejšie [9].

Vedecký názor na funkciu a vplyv selénu na ľudský organizmus sa v priebehu posledných desaťročí výrazne zmenil. Z pôvodného hodnotenia selénu ako silno toxickej látky sa v súčasnosti zaraďuje k prvkom esenciálnym s relatívne veľmi malým rozpätím medzi priaznivými a toxickými účinkami [10].

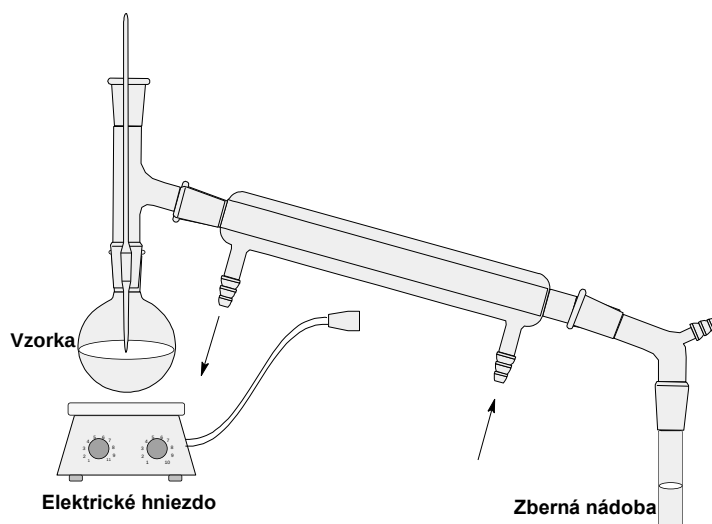
Na separáciu selénu sa používa viacero metód ako destilácia, extrakčná chromatografia s využitím aniónvýmenných sorbentov, extrakcia rozpúšťadlom, zrážanie a papierová chromatografia [11]. Pri destilácii sa selén najčastejšie separuje zo zmesi HCl a HBr , pri teplote vyššej ako $200\text{ }^\circ\text{C}$, pričom koncentrácia kyselín musí byť vyššia ako $6\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Fogg a Wilkinson sa venovali štúdiu destilácie selénu a zistili, že selén sa najlepšie separuje z prostredia zmesi kyselín $\text{HBr}/\text{Br}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$ [11]. Lehto a Hou do environmentálnych vzoriek pridávali nosič selénu vo forme Na_2SeO_3 . Vzorky digerovali v zmesi kyselín HNO_3 a H_2SO_4 . Roztok prefiltrovali a filtrát vysušili skoro do sucha.

Po pridaní H_2SO_4 a zmesi $\text{HBr}-\text{HCl}$, selén destilovali vo forme SeBr_4 pri teplote $230\text{ }^\circ\text{C}$. Destilovaný SeBr_4 zachytávali do roztoku HCl . Roztok prebublávali s SO_2 na redukciu selénu na elementárnu formu, ktorý sa vyzrážal a scentrifugoval. Selén sa rozpustil pomocou HNO_3 . Po pridaní $9\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ H_2SO_4 a $1,5\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ HCl selén vytvoril komplex SeCl_4 , ktorý sa extrahoval nitrobenzénom. SeCl_4 bol v organickej fáze reextrahovaný s H_2O , komplex sa rozložil na SeO_3^{2-} . Po pridaní HCl a prebublávaní roztoku s SO_2 sa roztok scentrifugoval, vyzrážal a gravimetricky sa zistil výťažok selénu. Selén sa rozpustil pridaním HNO_3 , zriedil sa s vodou a zmiešal sa so scintilačným koktailom. Takto pripravená vzorka s ^{79}Se sa merala pomocou kvapalinového scintilátora [4].

Pre stanovenie nízkych koncentrácií selénu sú známe viaceré metódy ako spektrometrické (AAS, ETA-AAS, HG-AAS, fluorescenčná spektrometria, ICP-MS), rádiochemické (neutrónová aktivačná analýza, rádionuklidová röntgenofluorescenčná analýza) a chromatografické (plynová a kvapalinová chromatografia) [12].

Optimalizácia separačného postupu ^{79}Se

Cieľom práce bolo vyvinúť, testovať a optimalizovať metódu destilácie pre separáciu ^{79}Se . Destilácia je jedným z najjednoduchších a najstarších spôsobov separácie kvapalných sústav. Použitá destilačná aparatúra na separáciu ^{79}Se v modelových vzorkách bola pomerne jednoduchá, skladala sa z destilačnej banky o objeme 250 ml, Liebigovho chladiča, zbernej nádoby (centrifugačná skúmavka, 50 ml) a z elektrického hniezda. Daná aparatúra je uvedená na Obr. 1. Po zostrojení aparatúry sa pokračovalo v práci testovaním vhodného prostredia pre účinnú destiláciu selénu v modelových vzorkách.



Obr.1 Použitá destilačná aparatúra

Testovanie prostredia pre účinnú destiláciu selénu

a) Vplyv množstva destilátu na účinnú destiláciu selénu

Sledoval sa vplyv množstva odoberaného destilátu na analýzu selénu. Modelové vzorky sa skladali z 50 ml $6,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl s $0,5 \text{ mg } ^{95}\text{Se}$ a 5 ml $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr, pričom sa zachytával destilátu o objeme 20 ml. Každá destilácia trvala približne 20 min. Výťažky selénu pri objeme destilátu 20 ml sa pohybovali v rozsahu (71 – 86) %. Z dôvodu nižších výťažkov sa pri rovnakých modelových vzorkách zachytávalo vyššie množstvo destilátu, a to 35 ml. Doba destilácie trvala 40 min. Zvýšením objemu destilátu o 15 ml sa zvýšili aj výťažky selénu o (5 – 15) %. Testovala sa aj destilácia selénu pri množstve

destilátu 50 ml, avšak výtťažky boli rovnaké ako v prípade odoberaného destilátu s objemom 35 ml. Závislosť výtťažkov selénu od množstva odoberaného selénu je uvedená v Tab.1.

Tab.1 Vplyv množstva odoberaného destilátu na destiláciu selénu

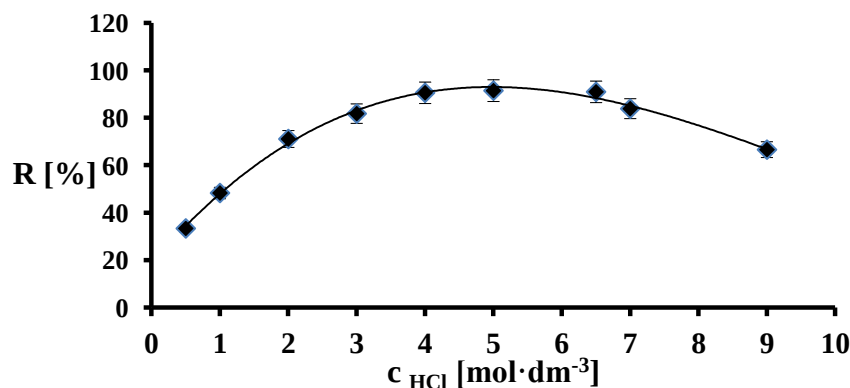
Vzorky	$V_{\text{destilát}} [\text{ml}]$	R [%]
1.	20	(71 - 86) %
2.	35	(86 - 91) %
3.	50	90 %

b) Vplyv koncentrácie HCl na destiláciu selénu

Po stanovení množstva odoberaného destilátu sa sledoval aj vplyv koncentrácie HCl

na destiláciu selénu. Modelové vzorky boli zložené zo zmesi 50 ml HCl o rôznej koncentrácii, z 0,5 mg ^{95}Se a 7 ml $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr. Destilačná banka sa umiestnila do elektrického hniezda a destilácia prebiehala pri teplote 300°C . Destilát o objeme 35 ml sa zachytával

do zbernej nádoby, centrifugačnej skúmavky. Po predestilovaní vzorky sa výtťažok selénu v skúmavke stanovil pomocou gama spektrometrického merania pri $E_\gamma = 136 \text{ keV}$ a $E_\gamma = 264,8 \text{ keV}$. Najvyššie výtťažky ^{95}Se sa pohybovali v prostredí $(4 - 6,5) \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl. Na ďalšie experimenty sa však používala HCl o koncentrácii $6,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Pri koncentrácii HCl vyššej ako $7 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ výtťažky destilácie selénu klesali. Dané výsledky sú uvedené na Obr. 2.

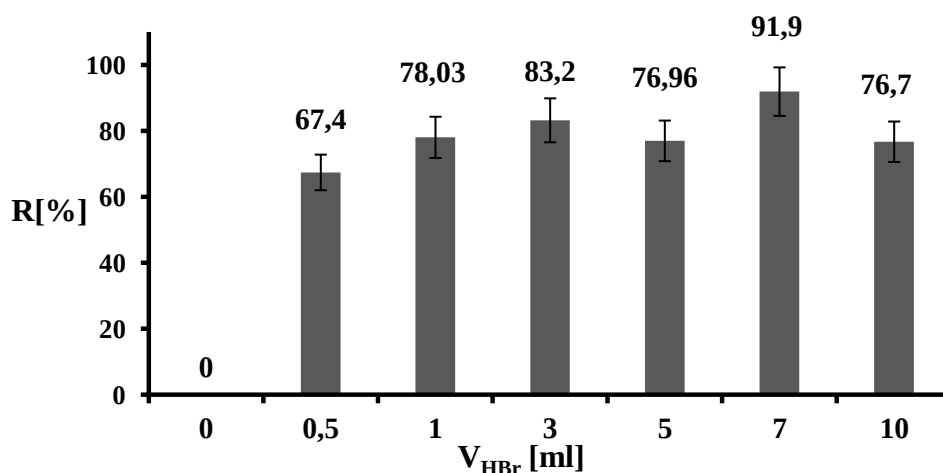


Obr. 2 Závislosť výtťažkov selénu od koncentrácie HCl

c) Vplyv objemu HBr na destiláciu selénu

V ďalšom kroku sa sledoval vplyv objemu $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr na účinnú destiláciu selénu v testovanom rozsahu (0,5 - 10) ml s 50 ml $6,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl a s 0,5 mg ^{95}Se .

Destilát o objeme 35 ml sa zachytával do zbernej nádoby a po predestilovaní vzoriek sa výtázky selénu merali na HPGe gama spektrometri. Aj zmena objemu $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr mala vplyv na výtázky destilácie selénu. Pri destilácii bez pridania HBr nedochádzalo k destilácii selénu ale už pri použití 0,5 ml $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr sa dosiahli výtázky 68 %. Najvyššie však boli pri použití 7 ml $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr, a to 92 %. Závislosti vplyvu objemu $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr na destiláciu selénu sú uvedené na Obr. 3.



Obr. 3 Závislosť výtážkov selénu od zmeny objemu $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr

Záver

Cieľom práce bolo optimalizovanie metódy destilácie pre separáciu ^{79}Se , pričom sa testovalo vhodné prostredie HCl, vplyv objemu $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr a množstvo odoberaného destilátu. Na sledovanie výtážku jednotlivých separačných krokov sa pridával stopovací rádionuklid ^{95}Se s dobou polpremeny 119,78 dňa. Na detekciu ^{95}Se bol použitý HPGe detektor (EG&G ORTEC GEM 20190P).

Zistilo sa, že pri destilácii modelových vzoriek (50 ml $6,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl + 5 ml $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr) je potrebné odoberať cca 35 ml destilátu. Odoberanie väčšieho množstva destilátu nemalo vplyv na výtázky destilácie. Ako vhodné prostredie sa zvolilo prostredie (4 - 6,5) $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl. Destilácia selénu neprebiehala bez prídavku HBr, (vznik SeBr_4), z toho dôvodu sa sledoval vplyv objemu $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr v rozsahu (0,5 - 10)

ml. Najvyššie výťažky sa dosiahli pri použití 7 ml $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr, a to 92 %.

Po zvolení vhodných podmienok na účinnú destiláciu selénu - $6,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl, 7 ml $18,31 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HBr, a množstvo odoberaného destilátu o objeme 35 ml, sa v súčasnosti testuje množstvo nosiča Se^{4+} . Optimalizovaná metóda bude aplikovaná na stanovenie ^{79}Se v reálnych vzorkách rádioaktívnych odpadov pochádzajúcich z jadrových elektrární na území SR.

Podakovanie

Optimalizácia stanovenia ^{79}Se metódou destilácie bola realizovaná vďaka Grantu UK/230/2016 - Štúdium separácie ^{79}Se metódou extrakčnej chromatografie v rádioaktívnych odpadoch.

Použitá literatúra

- [1] Remenec, B., Stanovenie ťažko merateľných rádionuklidov v rádioaktívnych odpadoch, dizertačná práca, PriF UK, Bratislava, 2014
- [2] Saji, V. S., Lee, C-W.: Selenium electrochemistry, RSC Advances, 2013
- [3] Isotopes of the Element Selenium, It's Elemental, Jefferson Lab, [Citované: 23. január 2016], <<http://education.jlab.org/itselemental/iso034.html>>
- [4] Lehto, J., Hou, X.: Chemistry and Analysis of Radionuclides, Laboratory Techniques and Methodology, 2011, ISBN 978-3-527-32658-7
- [5] Table de Radionucléides, ^{79}Se , [Citované: 15. december 2015], <http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/Se-79_tables.pdf>
- [6] Ashworth, D.J., Shaw, G.: Soil migration, plant uptake and volatilisation of radio-selenium from a contaminated water table, Science of the Total Environment 370, 2006
- [7] Sharma, N.: Soil Microbe Interaction and its Impact on Selenium uptake by Allium species, Department of Biotechnology & Environmental Sciences, Thapar University, 2010
- [8] Farkašová, I., Žemberyová M.: Stanovenie a špeciácia selénu v biologickom materiáli a vo vzorkách životného prostredia technikami metódy AAS, Chemické Listy 93, 1999
- [9] Chovancová, D., Krajňáková, M.: Možnosti stanovenia selénu s ohľadom na jeho premeny v biologických systémoch, Nova Biotechnologica, 2004
- [10] Ursínyová, M., Hladíková, V., Laboratorní přístroje a postupy, Stanovenie selénu v sére metódou atómovej absorpčnej spektrometrie s elektrotermickou atomizáciou, Chemické Listy 92, 1998

- [11] Wilkinson, W.J., Handbook of Anion Determination, School of Chemistry, University of Bath, 1979, ISBN 0-408-71306-2
- [12] Chovancová, D., Lesný, J., Súčasný stav výskytu selénu na Slovensku, Nova Biotechnologica VI-I, 2006

FYKOREMEDIÁCIA ^{137}Cs A ^{60}Co VYBRANÝMI DRUHMI VODNÝCH MIKRORIAS

Tatarová Dominika¹, Galanda Dušan, Strišovská Jana

¹*Prírodovedecká fakulta UK, Katedra jadrovej chémie, Ilkovičova 6, 84215 Bratislava
tatarova.d@gmail.com*

Abstrakt

Práca je zameraná na zistenie vhodného pH pre fykoremediáciu ^{137}Cs a ^{60}Co mikroriasami *Dunaliella salina* a *Chlorella vulgaris*. Na zabezpečenie dynamického priebehu remediácie sa použila peristaltická pumpa, cez ktorú bol premývaný roztok spolu s rádionuklidmi a pri jednotlivých meraniach sa sledoval pokles aktivity roztoku v čase. Pokles aktivity vo vzorkách bol stanovovaný pomocou polovodičového HPGe gama detektora. Z nameraných výsledkov vyplýva, že najlepšie prostredie pre fykoremediáciu pre mikroriasu *Dunaliella salina* bolo pri pH 8 a menej pri pH 3, pre *Chlorellu vulgaris* predstavovalo hodnotu pH 6.

Kľúčové slová: fykoremediácia, mikroriasy, rádionuklidy, Chlorella vulgaris, Dunaliella salina

Úvod

Kontaminácia životného prostredia je dlhodobý problém. Rádionuklidy sa cez vodu a pôdu môžu dostať do potravinového reťazca k človeku. V súčasnosti sa okrem mnohých chemických a fyzikálnych techník, dostávajú do popredia bioremediačné techniky sanácie. Bioremediácia predstavuje dekontaminačnú techniku prostredia za využitia živých alebo neživých organizmov, resp. biomasy. Podľa určenia sa používa bioremediácia *ex-situ* (dekontaminácia mimo miesta znečistenia, ktorá sa uskutočňuje vytážením kontaminovanej pôdy alebo odčerpaním vody s následným transportom na dekontaminačné miesto) alebo *in-situ* (dekontaminácia sa vykonáva priamo na kontaminovanom mieste), ktorá predstavuje prirodzený spôsob dekontaminácie prostredia za činnosti organizmov a mikroorganizmov. Najnovšie trendy dostávajú do popredia fykoremediáciu, čiže bioremediáciu pomocou rias a mikrorias. Je to zapríčinené vzhľadom na mnohé vlastnosti mikrorias, ktoré sú pre sanáciu vhodnejšie ako pri rastlinách - ekonomická nenáročnosť, kultivácia môže prebiehať pri laboratórnych podmienkach, prežitie v extrémnych podmienkach, výskyt v takmer všetkých biotopoch, druhová rozmanitosť a rýchlejšia rast [1].

Dunaliella salina je zelená halofilná mikroriasa schopná akumulácie viacerých ťažkých kovov ako napríklad Zn, Cu a Cd [2]. Vyskytuje sa v hypersalinnom prostredí s toleranciou 0,2 – 35 % NaCl. Vďaka obsahu vysokého množstva karotenoidov, je chránená pred tvorbou voľných radikálov z UV žiarenia [3]. Ochrana pred osmotickým tlakom je zabezpečená vysokými koncentráciami glycerolu v bunke, vďaka čomu nachádza využitie v biotechnológiách alebo aj v iných priemyselných odvetviach. *Chlorella vulgaris* je zelená sladkovodná eukaryotická mikroriasa s najväčším obsahom chlorofylu z pomedzi všetkých zelených mikrorias, vďaka čomu má uplatnenie v rôznych priemyselných odvetviach. Jej fykoremediačné schopnosti boli zistené pri N a P, ktoré používa ako svoje nutričné prvky [4], ale aj pri ťažkých kovoch ako sú Cu, Cr, Cd, Pb, Au [5]. Fykoremediácia môže prebiehať biosorpciou, ktorá predstavuje rýchly proces (obvykle počas prvých 5 min) adsorpcie kontaminantov na povrch bunky, bez vplyvu na metabolickú aktivitu bunky. Na rozdiel od biosorpcie, bioakumulácia závisí od metabolickej aktivity bunky z dôvodu akumulácie kontaminantov do bunky s tým, že nesmie byť narušená jej životaschopnosť. Posledný proces predstavuje biotransformácia, ktorá prebieha z dôvodu mikrobiálnej neštiepiteľnosti kovov a metaloidov [6].

Rádiocézium (^{137}Cs) s dobou polpremeny 30 rokov, vzniká ako štiepny produkt v jadrových elektrárnach. Emituje beta a gama žiarenie a najväčší problém predstavuje kvôli jeho rýchlej inkorporácii do biologických systémov ako analóg draslíka [7]. Ďalším rádionuklidom, ktorý sa dostáva do životného prostredia činnosťou jadrových a medicínskych zariadení je ^{60}Co , s dobou polpremeny 5,27 roka sprevádzanou emitovaním beta a gama žiarenia [8].

Materiál a metódy

Mikroriasy boli zakúpené v spoločnosti CCALA (Culture Collection of Autotrophic Organisms), Třeboň, Česká republika. *Chlorella vulgaris* v objeme 30 cm³, BEIJERINCK/CCAP 211-11b a 30 cm³ *Dunaliella salina*, MAINX/SAG 19-3 spolu s 1 dm³ BBM média pre *C. vulgaris* a 1 dm³ Dunaliella média pre *D. salina*.

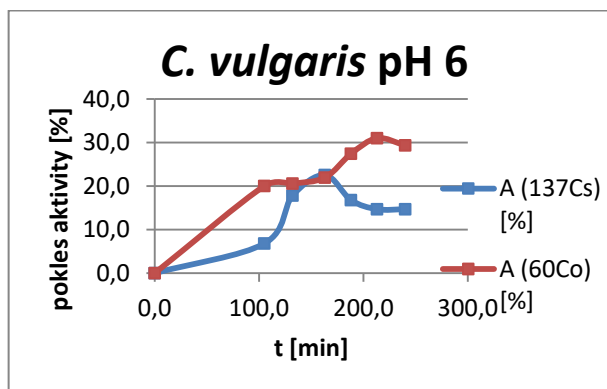
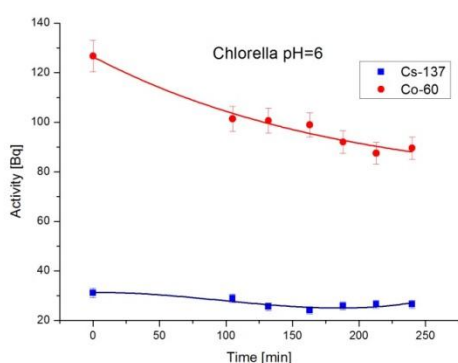
Kultivačné BBM médium pre *C. vulgaris* bolo zarobené do objemu 1 dm³ v Erlenmeyerovej banke [9]. Dunaliella médium pre *D. salinu* bolo zarobené do objemu 1 dm³ v Erlenmeyerovej banke [10]. Médiá boli premiešavané v 48 hodinovom intervale pri izbovej teplote.

Kontaminácia sledovaných vzoriek bola realizovaná prídavkom zo zásobného roztoku, ktorý obsahoval ^{137}Cs s hmotnostnou aktivitou $150 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ a ^{60}Co s hmotnostnou aktivitou $400 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$. Vzorky sa skladali z 25 cm^3 živného média sledovanej mikroriasy, $0,2 \text{ cm}^3$ roztoku s ^{137}Cs a ^{60}Co , $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ HNO}_3$ alebo $0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ NaOH}$ v objeme vypočítanom na zaistenie požadovaného pH.

Dynamický priebeh fykoremediácie bol realizovaný využitím peristaltickej pumpy ISMATEC Model:ISM851 (prietok $2 \text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$). Na vyhodnotenie vzoriek bol použitý gama spektrometer s HPGe detektorom (doba merania vzoriek 600 s) od firmy ORTEC a namerané spektrá boli vyhodnotené softvérom GammaVision od firmy ORTEC.

Výsledky a diskusia

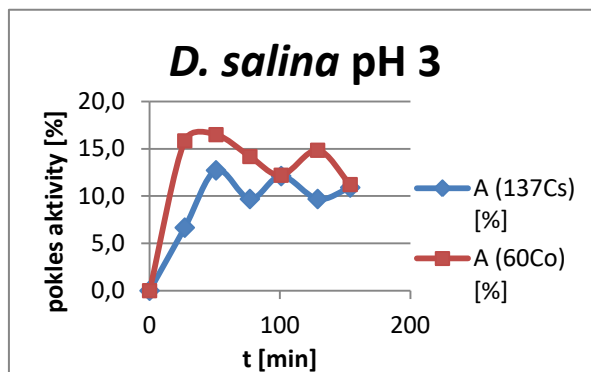
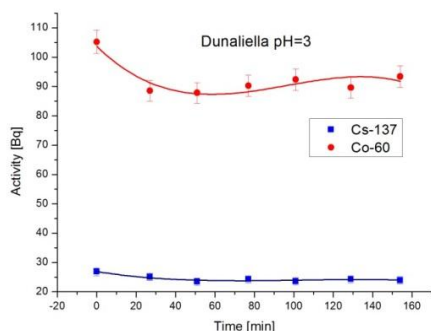
Cieľom práce bolo preukázanie fykoremediácie rádionuklidov vybranými mikroriasami ako aj stanovenie vhodného pH, pri ktorom je remediačný proces najúčinnější. Z výsledkov série experimentov sa zistilo, že najvhodnejšie pH roztoku pre vzorky s *Chlorella vulgaris* je pH 6, ktoré predstavuje hodnotu kultivačného BBM média. Z Grafu 1 vyplýva, že pri ^{137}Cs bol percentuálny pokles aktivity výrazný, pričom hodnota poklesu dosiahla najviac 22,51 %. Ustálenie krivky mohlo byť spôsobené nasýtením mikroriasy rádionuklidom. Z teórie je známe, že organizmus dokáže prijať len limitné množstvo rádionuklidov a po prekročení tejto hodnoty je príjem látok zastavený. Pri ^{60}Co bol pozorovaný najvyšší dosiahnutý pokles aktivity o 30,96 %. Dá sa preto zhodnotiť, že *C. vulgaris* pri pH 6 je vhodná na fykoremediačné účely.



Graf 1 Vľavo je znázornená časová závislosť poklesu aktivity v roztoku zaťažená 1σ chybou. V grafe vpravo je znázornený percentuálny pokles aktivity v čase pre vzorku *Chlorella vulgaris* pri pH 6

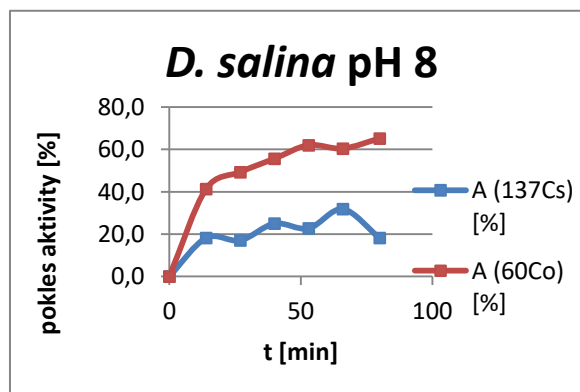
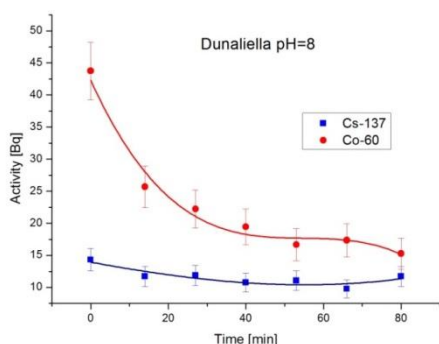
Z merania vzoriek *Dunaliella salina* v roztoku s pH 3 vyplýva, že remediácia ^{60}Co prebiehala konštantne vzhľadom na čas, pričom pokles aktivity o 16,5 % v roztoku bol

najvyšší, čo mohlo byť spôsobené približujúcim sa pH k hodnote pH *Dunaliella* média (pH 5). Pokles aktivity ^{137}Cs bol pri danej vzorke minimálny (nameraná počiatočná aktivita ^{137}Cs 26,9 Bq s najvýraznejším poklesom aktivity 12,7 %), čo mohlo byť spôsobené vymytím ^{137}Cs kvôli vysokej kyslosti roztoku.



Graf 2 Vľavo je znázornená časová závislosť poklesu aktivity v roztoku zaťažená 1 σ chybou. V grafe vpravo je znázornený percentuálny pokles aktivity v čase pre vzorku *Dunaliella salina* pri pH 3

Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri prostredí s pH 8, keďže sa predpokladala lepšia sorpcia vzhľadom na hodnotu blízku neutrálnemu prostrediu. Z Grafu 3 vyplýva, že pri pH 8 prebiehala fykoremediácia ^{137}Cs , ktoré dosiahlo až 31,8 % pokles aktivity (z 14,3 Bq na 9,8 Bq), ako aj ^{60}Co , pri ktorom úbytok aktivity mikroriasou *D. salina* z roztoku predstavoval najvyššiu hodnotu 65,1 %, z počiatočnej aktivity 43,8 Bq na 15,3 Bq.



Graf 3 Vľavo je znázornená časová závislosť poklesu aktivity v roztoku zaťažená 1 σ chybou. V grafe vpravo je znázornený percentuálny pokles aktivity v čase pre vzorku *Dunaliella salina* pri pH 8

Záver

Zistilo sa, že mikroriasy *Chlorella vulgaris* a *Dunaliella salina* sú schopné účinnej fykoremediácie a taktiež, že proces je závislý od hodnoty pH kvapalného roztoku.

Po sérii experimentov sa zistilo, že pH 6 predstavuje najvhodnejšie prostredie pre fykoremediáciu mikroriasy *Chlorella vulgaris*. Táto hodnota predstavuje zároveň aj hodnotu jej živného BBM média. Najvýraznejší pokles aktivity ^{137}Cs bol o 22,5 % a pre ^{60}Co o 31 %. Pri vzorke *Dunaliella salina* pH 3 bol zaznamenaný najvýraznejší pokles aktivity 12,7 % a pre ^{60}Co to bola hodnota 16,5 %. Pri vzorke s *D. salina* pri pH 8 bola počiatočná aktivita ^{137}Cs 14,3 Bq a najvýraznejší pokles aktivity bol o 31,8 %, pre ^{60}Co to bolo 65,1 % pri počiatočnej aktivite 43,8 Bq.

Pri sladkovodnej mikroriase *Chlorella vulgaris* bol zistený najlepší fykoremediačný potenciál v jej prirodzenom prostredí pri pH 6. Tým, že je táto mikroriasa sladkovodná, môže nájsť uplatnenie vo vnútrozemí alebo pri kvapalných rádioaktívnych odpadoch z jadrových zariadení. Najúčinnnejšia fykoremediácia mikroriasy *Dunaliella salina* prebiehala v prostredí pH 3 a ešte výraznejšie pri pH 8. Skutočnosť, že je *D. salina* schopná fykoremediácie pri tak kyslom pH môže prispieť k jej aplikáciám v extrémnejších podmienkach alebo v prímorských oblastiach vzhľadom na to, že je halofilná.

Použitá literatúra

- [1] Laubscher R. K., Rose P. D. a Aken M. E. (1990): Saline tannery effluents as growth media for the halophilic alga *Dunaliella salina*. *Proc. 6th Congr. S. Afr. Soc. Microbiol.*, University of Stellenbosch. 8.18.
- [2] Shafik M. A. (2008) Phytoremediation of some Heavy Metals by *Dunaliella salina*. *Global Journal of Environmental Research* 2 (1). Egypt, p 1-11
- [3] Farahat N., Rabhi M., Falleh H., et al. (2011) Optimization of salt concentrations for a higher carotenoid production in *Dunaliella salina* (Chlorophyceae). *Phycological Society of America*.
- [4] Gopinath J. M., Kaveriammal S., Elayarasi M. (2014) Phytoremediation of domestic waste water of Gudiyatham town by Microalgae *Chlorella vulgaris*.
- [5] Nacorda J. O., Martinez-Gozz M. R., Torreta N. K., Merca F. E. (2007): Metal resistance and removal by two strains of the green alga, *Chlorella vulgaris* Beijerinck isolated from Laguna de Bay, Philippines. *J Appl Phycol* 19; s. 701-710.
- [6] Frankovská J., Kordík J., Slaninka I., Jurkovič L., Greif V., Šottník P., Dananaj I., Mikita S., Dercová K., Jánová V. (2010): Atlas sanačných metód environmentálnych záťaží. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava. ISBN 978-80-89343-39-3
- [7] Finston H. L., Kinsley M. T. (1961). The Radiochemistry of Cesium. National Academy of Sciences, USA, p. 13
- [8] Bate L. C., Leddicotte G. W. (1961) The Radiochemistry of Cobalt. National Academy of Sciences, Oak Ridge, Tennessee, USA, p. 8
- [9] CCALA. BBM médium [online], Culture Collection of Autotrophic Organisms, [cit. 10. 10. 2016]. Dostupné na: <http://ccala.butbn.cas.cz/en/bbm-medium>

[10]CCALA. Dunaliella médium [online], Culture Collection of Autotrophic Organisms, [cit. 10. 10. 2016]. Dostupné na: <http://ccala.butbn.cas.cz/en/dunaliella-medium>

ZAKONCENTROVANIE ^{137}Cs Z VÔD POMOCOU MODIFIKOVANÉHO SORBENTU Z DREVOKAZNÝCH HÚB

Petercová Sabina, Dulanská Silvia, Máteľ Ľubomír

*Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra jadrovej chémie,
Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4, Slovenská republika
sabina.petercova@gmail.com*

Abstrakt

Drevokazná huba - Prachnovej kopytovitý bola použitá na prípravu modifikovaného biosorbentu a testovaná pre možnosť zakoncentrovania ^{137}Cs z vodných roztokoch. Biosorbent bol modifikovaný za pomoci chloridu železitého, síranu meďnatého a hexakynožeľznatanu draselného. V práci bola testovaná kinetika sorpcie cézia, vplyv pH, hmotnosti nosiča Cs^+ , konkurenčných iónov, iónovej sily a možnosť desorpcie. Metóda bude aplikovaná na zakoncentrovanie ^{137}Cs z vodných roztokov.

Kľúčové slová: biosorbent, cézium, huba

Úvod

Aplikácia biosorbentov stojí pred veľkou výzvou, existujú dva trendy vývoja procesov biosorbentov pre odstraňovanie kovov. Prvým trendom je využitie hybridnej technológie na odstránenie škodlivých látok, najmä s použitím živých buniek. Ďalším trendom je rozvíjať technológie biosorpcie pomocou imobilizačnej technológie, a zlepšiť procesy tieto procesy vrátane regenerácie resp. opätovného použitia - vytvoriť biosorbenty ako druh ionexu [1].

Biosorpcia je technika, ktorá môže byť použitá na odstránenie škodlivých látok z vôd, a to predovšetkým ľahko biologicky odbúrateľných, ako sú kovy a farbivá. Rôzne biomateriály vrátane baktérií, húb, rias môžu viazať znečisťujúce látky, priemyselné a poľnohospodárske odpady. Dôležité sú vlastnosti zložiek bunkovej steny a úlohy funkčných skupín (kyboxylové, karboxylové amino, amini, sulfátové, tioéterové, hydroxylové, fosfátové, fenolové ...). Pre zvýšenie kapacity biosorbentu, sú diskutované úpravy biomasy prostredníctvom chemických metód a genetického inžinierstva [2]. Biosorbenty sú lacnejšia a účinnejšia alternatíva na odstránenie kovových elementov a najmä ťažkých kovov z vodných roztokov. Je potrebný neustály vývoj, výskum, spracovanie a úprava nových biosorbentov s cieľom zlepšiť ich sorpčnú schopnosť s potenciálom aplikácie do budúcnosti [3,4].

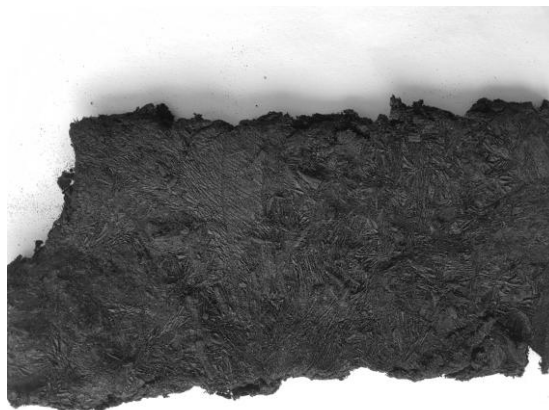
Vlastnosti pripraveného impregnovaného sorbentu sa sledovali na modelových roztokoch s prítomnosťou ^{137}Cs . Bola testovaná kinetika sorpcie, vhodnosť prostredia, vplyv stabilného nosiča Cs^+ , vplyv konkurenčných katiónov. Stanovenie výťažkov sorpcie sa uskutočnilo meraním ^{137}Cs pomocou gama spektrometrie.

Materiál a metódy

Huby sú veľká a rôznorodá skupina eukaryotických mikroorganizmov, avšak len niektoré skupiny húb majú praktický význam. Vlákňité huby sú v poslednom čase sledované v mnohých prípadoch pre väzbu kovových prvkov. Huby sú všadeprítomné v prirodzenom prostredí a dôležité v priemyselných procesoch. Vlákňité huby môžu absorbovať ťažké kovy z vodných roztokov. Bunkové stieny biomasy zohrávajú dôležitú úlohu v sorpcii kovov. Celkový charakter sorpčných vlastností závisí od funkčných skupín biosorbentu po vhodnej modifikácii. Biosorpcia húb do značnej miery závisí od vlastností, ako je pH, koncentrácii iónov kovu, množstva biomasy, fyzikálnej, alebo chemické predbežnej úprave biomasy, prítomnosti rôznych ligandov v roztoku a v obmedzenej miere aj na teplote [2]. Selektivita biosorbentu ako celku je daná zložkami ako sú proteíny a polysacharidy, ovplyvňujú mechanické i retenčné vlastnosti [5]. Cieľom práce bolo pripraviť modifikovaný biosorbent, s obsahom zlúčenín prechodných kovov na pórovitom nosiči. Ako biosorbent bola použitá drevokazná huba (Obr. 1), ktorá bola odobratá z lesa na západnom Slovensku. Prvá chemická modifikácia vysušenej a na elektrickom mlynčeku rozomletej huby sa uskutočnila pomocou zmesi roztoku chloridu železitého a síranu meďnatého. Po vysušení pri izbovej teplote sa uskutočnila druhá modifikácia pomocou roztoku hexakynožeľeznatanu draselného. Zmes bola v kontakte po dobu dvoch dní. Výsledný produkt bol prefiltrovaný a lyofylizovaný (Obr. 2) [6]. Takto pripravený modifikovaný biosorbent bol následne použitý na charakterizáciu sorpčných vlastností pre separáciu ^{137}Cs .



Obr. 1 Drevokazná huba –Práchnovec kopytovitý

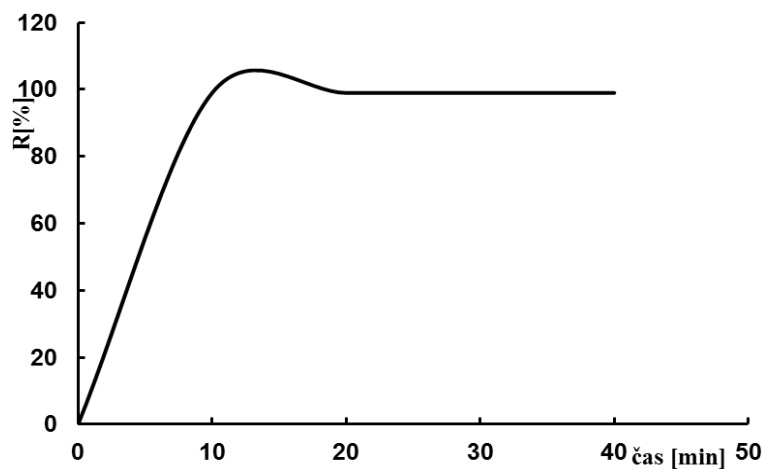


Obr. 2 Výsledný biosorbent sušený lyofylizáciou

Výsledky a diskusia

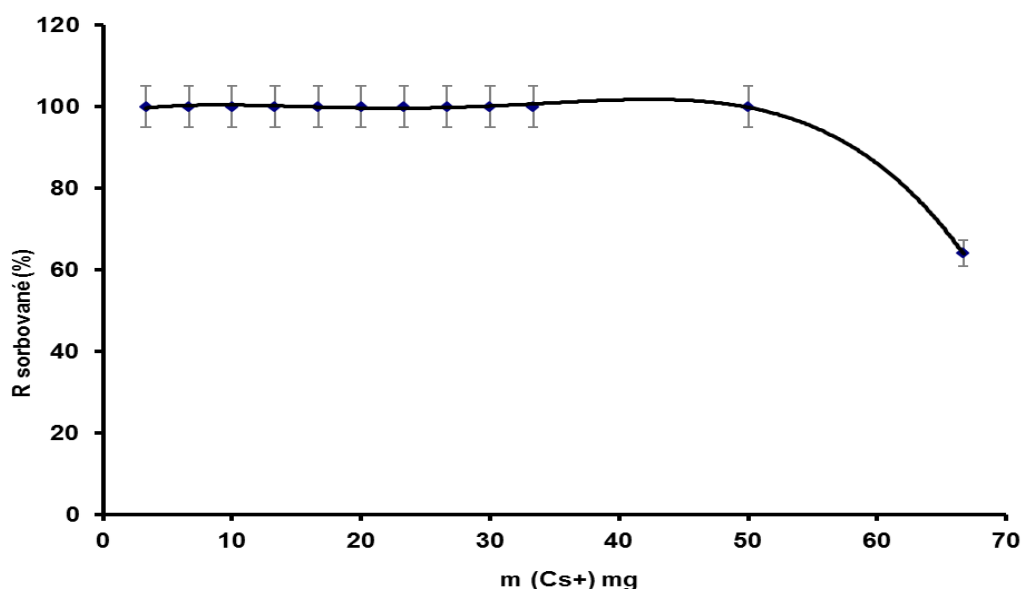
Merný povrch pripraveného modifikovaného sorbentu bol zmeraný na SAV a mal hodnotu $39 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Pripravený produkt bol meraný na AAS kde bol stanovený obsah prvkov: 1,73 % draslíka, 2,98 % meďi, 4,67 % železa.

Ako prvé sa sa sledovala časová závislosť adsorpcie ^{137}Cs na impregnovanom sorbente z drevokaznej huby. Časová závislosť sa sledovala v dynamických podmienkach. Na experiment sa odobralo sa 0,05 g modifikovaného biosorbentu do centrifugačnej skúmavky, následne sa pridalo 10 cm^3 destilovanej vody a $200 \mu\text{L } ^{137}\text{Cs}$. Gama spektrometrickým meraním roztoku odobratého po dobe kontaktu s biosorbentom sa zistilo, že k sorpcii dochádza pomerne rýchlo, už v prvých minútach kontaktu (Obr. 3).



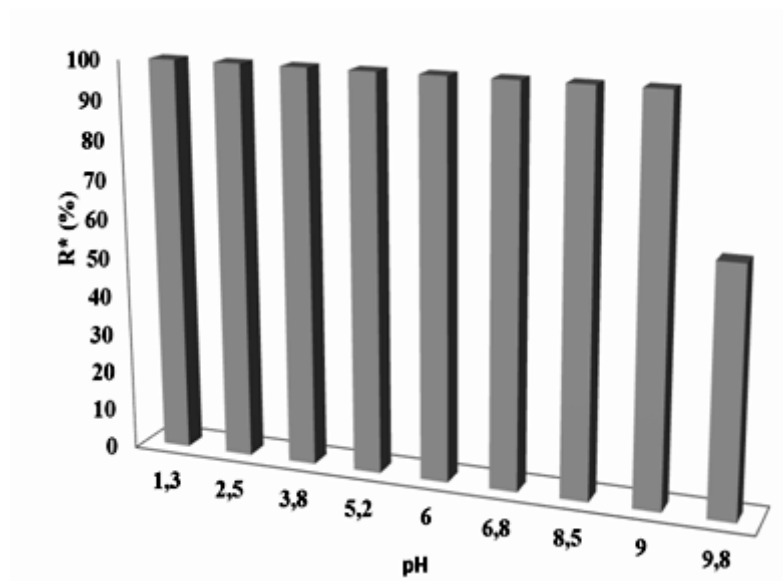
Obr. 3 Percento sorpcie ^{137}Cs na sorbente v závislosti od doby kontaktovania

Vplyv stabilného nosiča Cs^+ bol realizovaný na 0,5 g sorbentu za použitia CsCl . 0,5 g sorbentu vykazuje kapacitu až 100 % pri použití nosiča Cs^+ do $50 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Pri ďalšom zvyšovaní koncentrácie Cs^+ kapacita sorbentu rýchlo klesala, výsledky sú prezentované na Obr. 4. Maximálna sorpčná kapacita je 100 mg Cs^+ na 1 g impregnovaného sorbentu.



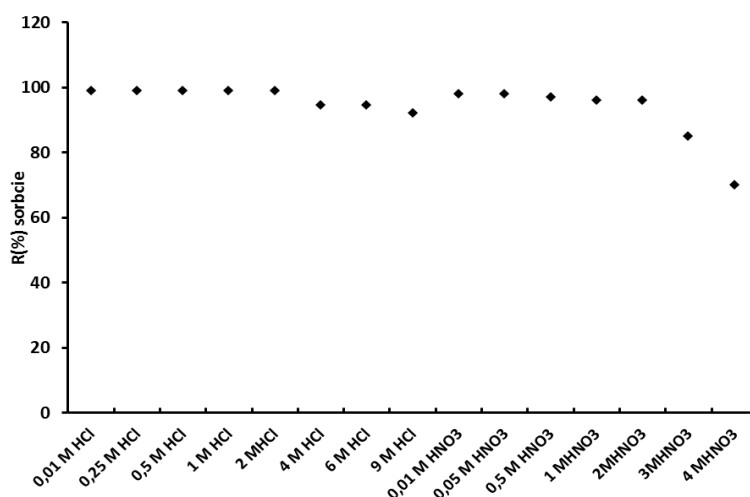
Obr. 4 Vplyv Cs^+ na 1 g sorbentu

V ďalšej časti práce sa testovalo vhodné prostredie pre adsorpciu ^{137}Cs . Na testovanie sa použilo 0,3 g biosorbentu. Na experiment sa použila chromatografická kolóna o výške 30 cm a priemere 1 cm. Vzorky boli nanášané na kolónu s prietokovou rýchlosťou $5 \text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$. Ako prvé sa sledoval vplyv pH na sorpciu, pH sa menilo v širokom rozsahu (0-10). Na sledovanie účinnosti sorpcie sa pridal stopovač ^{137}Cs a 1 mg stabilného nosiča Cs^+ . pH vodného roztoku sa upravilo pomocou $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ HCl}$ v kyslej oblasti a s $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ NaOH}$ v zásaditej oblasti. Po nanesení pripravenej vzorky s vhodným pH sa zachytila pretečená frakcia a následne sa merala na gama spektrometri (HPGe detektore). Zistilo sa, že pripravený biosorbent má vysokú sorpčnú schopnosť pre testovaný rádionuklid takmer v celom testovanom rozsahu pH, výsledky sú prezentované na Obr. 5.



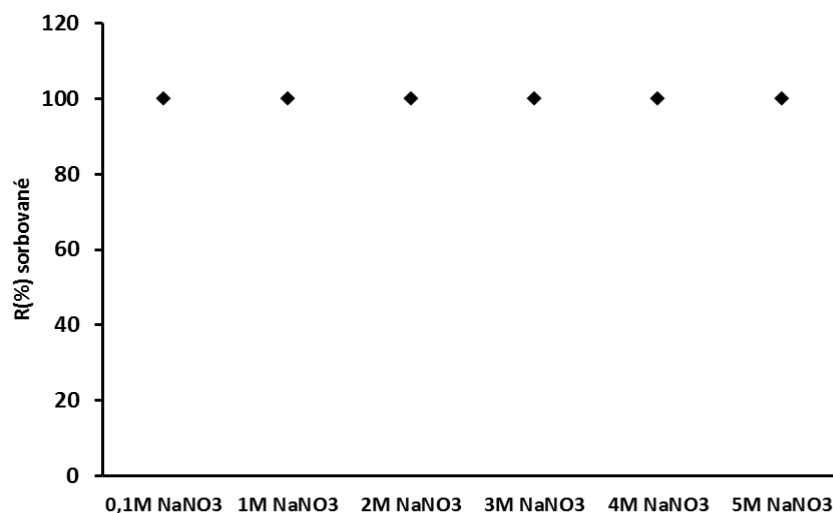
Obr. 5 Percento sorpcie ^{137}Cs na sorbente v závislosti od pH

V ďalšej časti práce sa testovalo prostredie sorpcie ^{137}Cs na biosorbent. Vybralo sa prostredie HCl a HNO_3 s rôznou koncentráciou. Pri použití modelovej vzorky s koncentráciou v rozsahu $(0,01 - 4) \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{HNO}_3$ a $(0,01 - 9) \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{HCl}$ predstavovalo percento sorpcie ^{137}Cs od $(80 - 100) \%$. Pri testovaní zásaditých roztokov upravených s NaOH percento sorpcie ^{137}Cs kleslo pod hodnotu 70% (Obr. 6).



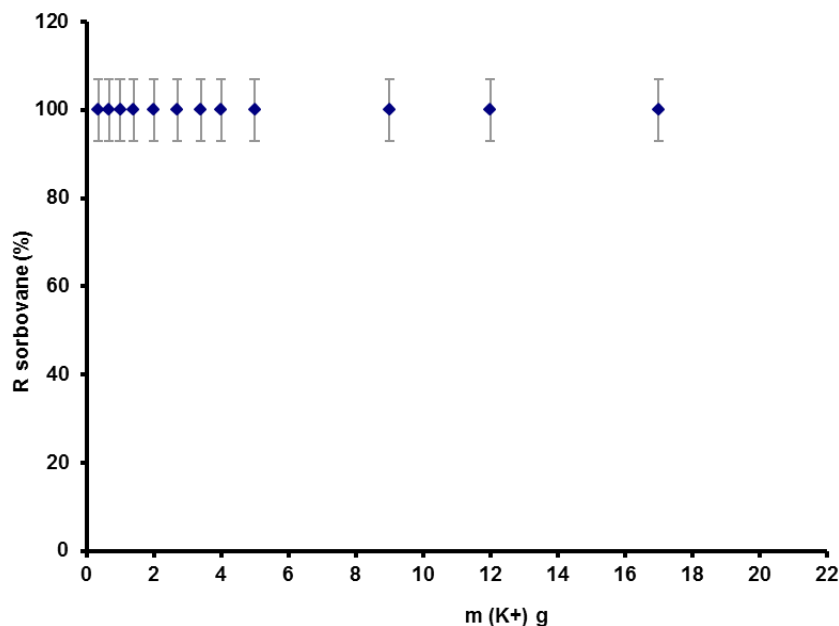
Obr. 6 Percento sorpcie ^{137}Cs na sorbente v závislosti od prostredia

V ďalšej časti práce sa sledovala závislosť iónovej sily (modelový roztok predstavoval NaNO_3 s rôznou koncentráciou a pH) na sorpciu ^{137}Cs . Výsledky sú uvedené na Obr. 7, % sorpcie cézia predstavuje 100% pri vysokej iónovej sile roztoku, sorbuje až do koncentrácií $5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{NaNO}_3$.

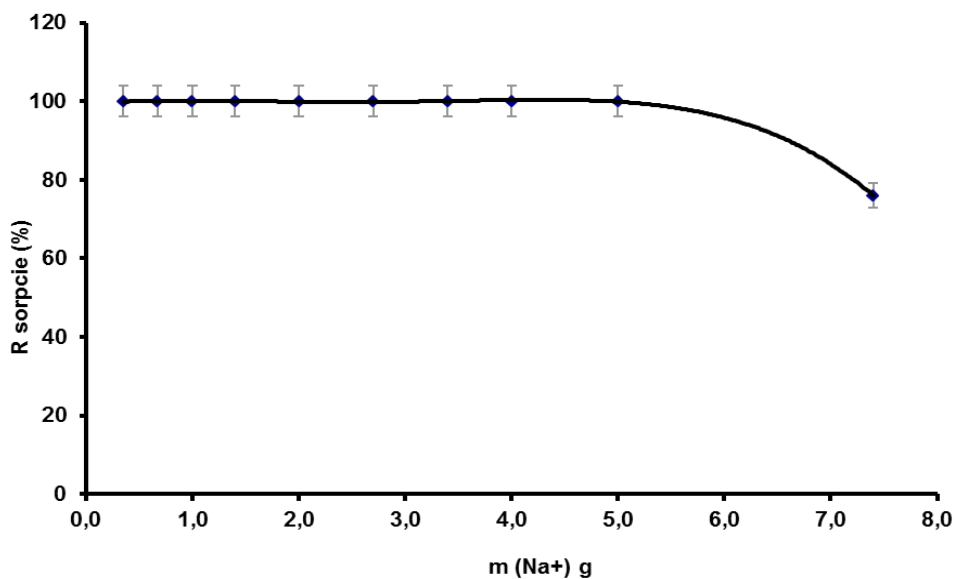


Obr. 7 Percentosorpcie cézia v závislosti od iónovej sily

Na modelových roztokoch bol sledovaný vplyv konkurenčných iónov Na^+ a K^+ na sorpciu ^{137}Cs a výsledky sú prezentované na Obr. 8 a 9. V prípade vplyvu K^+ , výťažky sorpcie neklesli v testovanej oblasti (0,1- 17) g Cs^+ pod 100 %, v prípade Na^+ došlo k zníženiu % sorpcie cézia až pri použití 7 g Na^+ .



Obr. 8 Percento sorpcie ^{137}Cs na sorbente v závislosti od K^+



Obr. 9 Percento sorpcie ^{137}Cs na sorbente v závislosti od Na^+

Ako ďalšie konkurenčné ióny sa testoval vplyv Ca^{2+} v testovanom rozsahu (0,1 – 3) g a Mg^{2+} v testovanom rozsahu (0,2 – 2) g, v oboch prípadoch výťažky sorpcie ^{137}Cs na biosorbente neklesli pod 100 %.

Na záver sa testovalo vhodné prostredie pre elúciu ^{137}Cs zo sorbentu. Ako najvhodnejšie elučné činidlo sa zvolila HNO_3 s objemom 100 cm^3 a koncentráciou vyššou ako 6 mol.dm^{-3} . V súčasnosti sa testuje pripravený biosorbent pre zakoncentrovanie ^{137}Cs na reálnych vzorkách vôd.

Záver

V práci bol pripravený a následne testovaný impregnovaný biosorbent z drevokaznej huby. ^{137}Cs vykazuje vysokú selektivitu v širokom rozsahu pH (1-9), rovnako tak možnosť použitia v kyslých roztokoch. V práci bola stanovená maximálna sorpčná kapacita pre stabilný nosič Cs^+ na 1 g sorbentu bola 100 mg. Pri testovaní vplyvu iónovej sily na možnosť sorpcie ^{137}Cs sa potvrdila vysoká schopnosť sorpcie až do koncentrácie 5 mol.dm^{-3} . Pri sledovaní vplyvu konkurenčných iónov Na^+ , K^+ , Ca^+ a Mg^{2+} sa zistilo, že testované kationy nemajú vplyv na sorpciu ^{137}Cs . Biosorbent sa aplikuje na zakoncentrovanie ^{137}Cs z reálnych vzoriek vôd.

Podakovanie

Práca bola financovaná z Gratu UK/119/2016 Prírodné biosorbenty pre separácie rádionuklidov.

Zoznam literatúry

- [1] Wang, J., Chen, C. (2009) Biosorbents for metals removal and their future. *Biotechnology Advances* 27, p. 195-226
- [2] Vijayaraghavan, K., Yun, Y-S. (2008) Bacterial biosorbents and biosorption. . *Biotechnology Advances* 26, p. 226-291
- [3] Pratt, D. Y., Wilson. L. D., Kozinski, J.A. (2013) Preparation and sorption studies of glutaraldehyde cross-linked chitosan copolymers. *J. Colloid Interf. Sci.* 395, p. 205
- [4] Petercová S. (2015) Využitie derivátov chitosanu pre extrakciu alfarádionuklidov (Diplomová práca) Univerzita Komenského v Bratislave
- [5] Yi, T. et. al. (2013) Preparation of Chitosan and Water-Soluble Chitosan Microspheres via Spray-Drying Method to Lower Blood Lipids in Rats Fed with High-Fat Diets *Int. J. Mol. Sci.*, ISSN 1422-0067
- [6] Krčmář, M. (2011) Chitosan-glukanový komplex izolovaný ze *Schizophyllum commune* (Diplomová práca) Vysoké učení technické v Brne

Zoznam autorov

Belán Jozef	33	Mátel Ľubomír	7, 15, 139
Bonková Ivana	47	Marešová Diana	51
Bujdoš Marek	47	Miglierini Marcel	47, 108
Dulanská Silvia	121, 126, 139	Nečas Vladimír	11
Galanda Dušan	133	Ngo Thang Manh	18, 19
Hamarová Andrea	113	Pašteka Lukáš	108
Hanslík Eduard	51	Petercová Sabína	139
Horváthová Bianka	126	Povinec Pavel	10
Hutta Milan	14	Rajec Pavol	16
Hybler Peter	39	Remenec Boris	126
Chren Juraj	33	Roskopfová Oľga	17, 113
John Jan	12	Sedlářová Barbora	51
Koprda Vasil	13	Sihelská Kristína	107
Kuruc Jozef	62	Strišovská Jana	133
Le Nam D.	19	Sus František	107
Le Trang T. T.	19	Tatarová Dominika	133
Lorinčík Jan	107	Trizna Milan	9
Mai Tam V. T.	19	Veselá Daniela	107

NAŠA SPOLOČNOSŤ ZABEZPEČUJE
KOMPLEXNÉ ČINNOSTI SO ZDROJMI
IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA VYUŽÍVANÝCH
V PRIEMYSLE A V ZDRAVOTNÍCTVE

Sme tu pre vás už

22 rokov

www.apeko.sk

apeko@apeko.sk

- 1** inštalácie, údržby, opravy, prepravy, skúšky a prekládky rádioaktívnych žiaričov aj u zákazníka.
- 2** riešenie havarijných situácií a nehôd spôsobených stratou kontroly nad rádioaktívnym žiaričom.
- 3** odber ionizačných hlásičov požiaru, tranzitný sklad pre preskladnenie rádioaktívnych izotopov.
- 4** nakladanie s opustenými žiaričmi, rádioaktívnymi odpadmi neznámeho pôvodu a nepoužívanými rádioaktívnymi žiaričmi.
- 5** zmluvný servis defektoskopických zariadení a iných technických zariadení, v ktorých sa nachádza rádioaktívny žiarič. Predaj a servis zariadení pre defektoskopiю, likvidácia zariadení z ochudobneného uránu.



2600

Zlikvidovaných

3250

Dovezených

žiaričov

HUMA-LAB Apeko s.r.o.

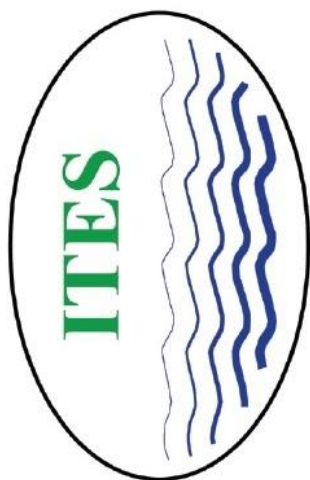
Ukrajinská 22

040 18 Košice

Slovenská republika

22 rokov
spoľahlivosti

Telefón: +421 55 6852026



ITES Vranov, s.r.o.

...kvalita overená rokmi

www.ites.sk

Od roku 1993 Vám prinášame:

- ✓ laboratórny nábytok a digestory na mieru
- ✓ laboratórnu prístrojovú techniku
- ✓ laboratórne sklo, chemikálie, plasty,
filtračný papier, pomôcky pre laboratórnu prax



Môžete sa na nás spoľahnúť.

UŽ 23 rokov.

NOVÁ DIMENZIA VEDOMOSTÍ

ENERGOLAND MOCHOVCE

NAJMODERNEJŠIE INFOCENTRUM O ENERGII

33 INTERAKTÍVNYCH SEKCIÍ, 3D KINO,
INTERAKTÍVNA PODLAHA, DOTYKOVÉ APLIKÁCIE A HRY,
VÝLET DO HISTÓRIE NA ELEKTRICKEJ SUPERMOTORKE, ROZŠÍRENÁ REALITA

REGISTRUJTE SA NA
energoland.sk


SLOVENSKÉ
ELEKTRÁRNE

Všetko pre Vaše laboratórium....

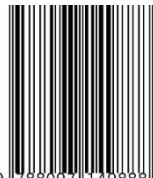
ponúkame:

- laboratórne sklo,
- nábytok,
- prístroje a zariadenia,
- chemikálie, štandardy a špeciálne reagenty,
- osobné ochranné prostriedky,
- spotrebný materiál (plasty),
- služby a riešenia pre Vaše nové laboratórium,
- riešenia pre optimalizáciu obnovy Vášho pôvodného laboratória,

**VWR International, spoľahlivý partner
pre Vaše laboratórium...**



ISBN 978-80-971498-8-8



9 788097 149888