

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.
Výskumný ústav vodného hospodárstva v Bratislave



XXX. KONZULTAČNÍ DNY PRO PRACOVNÍKY VODOHOSPODÁŘSKÝCH RADIOLOGICKÝCH LABORATOŘÍ

8.–10. října 2024
Hotel Stará škola, Sloup 30, 679 13 Sloup

Partneři:



XXX. KONZULTAČNÍ DNY PRO PRACOVNÍKY VODOHOSPODÁŘSKÝCH RADIOLOGICKÝCH LABORATOŘÍ

Odborný garant:

Ing. Barbora Sedlářová

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.
Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Organizační výbor:

Ing. Eva Juranová, Ph.D.

RNDr. Diana Marešová, Ph.D.

Michal Novák

Ing. Josef Nistler

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.
Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Redakční úprava: Mgr Zuzana Řehořová

Vydal: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, 2024

ISBN 978-80-88484-11-0

XXX. Konzultační dny pro pracovníky vodohospodářských radiologických laboratoří byly pořádány Českou vědeckotechnickou vodohospodářskou společností ve spolupráci s Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka, v. v. i., a Výzkumným ústavem vodného hospodářství v Bratislavě ve dnech 8.–10. října 2024 v Hotelu Stará škola, Sloup. Partnerem konference byla firma Canberra Packard, s. r. o.

Cílem Konzultačních dní bylo poskytnout aktuální informace z oblasti radiologie a radiochemie, reagovat na požadavky praxe a umožnit vzájemnou komunikaci mezi pracovníky radiologických hydroanalytických laboratoří ve vodárenství, životním prostředí, zdravotnictví aj. Pozornost byla dále zaměřena na úkoly Radiační monitorovací sítě ČR. V rámci semináře proběhla exkurze do Sloupsko-šošůvské jeskyně, v jejímž rámci bylo provedeno měření dávkového příkonu. Také byl zajištěn odběr vzorku podzemní vody pro mezilaboratorní porovnání vybraných radiologických ukazatelů.

Obsah

ZMĚNY ATOMOVÉHO ZÁKONA A SOUVISEJÍCÍCH VYHLÁŠEK <i>Diana Marešová</i>	5
HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK ZPŮSOBILOSTI OR-RA-24 <i>Barbora Sedlářová, Martina Kluganostová</i>	7
ZHODNOTENIE MEDZILABORATÓRNYCH POROVNÁVACÍCH SKÚŠOK MPS-RR-10/2023 <i>Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová, Mária Vojtková</i>	8
POROVNÁNÍ TŘÍ METOD STANOVENÍ RN-222 V PITNÝCH VODÁCH: PODTLAKOVÁ EMANAČNÍ METODA, GAMASPEKTROMETRIE SE STUDNOVÝM NAI(TL) DETEKTOREM A METODA LSC <i>Tomáš Bouda</i>	13
MEZILABORATORNÍ POROVNÁNÍ V RADIOAKTIVNÍ LÁTCE UVOLŇOVANÉ Z PRACOVNÍHO MÍSTA S MOŽNOSTÍ ZVÝŠENÉHO OBSAHU PŘÍRODNÍHO ZDROJE ZÁŘENÍ: Z POHLEDU ZÚČASTNĚNÉ LABORATOŘE <i>Barbora Sedlářová, Irena Pohlová</i>	26
JADROVÉ MIMORIADNE UDALOSTI, VÝZVA PRE RÁDIOLOGICKE LABORATÓRIA <i>Lubomír Mátel, Silvia Dulanská</i>	27
SPOLUPRÁCE SUBJEKTŮ V PŮSOBNOSTI MINISTERSTVA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ V RÁMCI MONITOROVACÍ RADIACNÍ SITUACE 2004–2023 <i>Diana Marešová, Barbora Sedlářová, Irena Pohlová</i>	34
STN EN ISO 13165-1 KVALITA VODY. RÁDIUM-226. ČASŤ 1: KVAPALINOVÁ SCINTILAČNÁ SKÚŠOBNÁ METÓDA (ISO 13165-1:2022) <i>Ivana Petránová, Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Mária Vojtková</i>	42
VÝVOJ A VERIFIKÁCIA RÝCHLEJ METÓDY STANOVENIA STRONCIA-90 VO VODE V PRÍPADE HAVARIJNEJ SITUÁCIE <i>Enrique Mariaca, Gabriela Wallová, Mária Vojtková</i>	43
STANOVENIE IZOTOPOV URÁNU VO VZORKÁCH VÔD A SEDIMENTOV DUNAJA <i>Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová, Mária Vojtková</i>	52
VYHODNOCENÍ MEZILABORATORNÍHO POROVNÁNÍ U VZORKU VODY ODEBRANÉHO V RÁMCI KONZULTAČNÍCH DNÍ 2024 <i>Barbora Sedlářová, Irena Pohlová</i>	56

ZMĚNY ATOMOVÉHO ZÁKONA A SOUVISEJÍCÍCH VYHLÁŠEK

Diana Marešová

*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha
e-mail: diana.maresova@vuv.cz*

Klíčová slova: legislativa; atomový zákon

Abstrakt

Príspevek informuje o pripravovanej novelizaci atomového zákona 263/2016 Sb., a souvisejících vyhlášek.

V roce 2024 byla Státním úřadem pro jadernou bezpečnost připravena novelizace atomového zákona 263/2016 Sb. [1], a souvisejících vyhlášek, včetně Vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje [2], a Vyhlášky 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace [3].

Hlavními principy navrhované právní úpravy jsou [4]:

- a) příprava na nové jaderné technologie formou zjednodušení povolovacích procesů, vhodnějšího odstupňování požadavků na jaderná zařízení, připuštění obecných výjimek ze zákona a zobecnění,
- b) adaptace na poznatky z praxe, zejména v oblasti využívání ionizujícího záření, např. úpravou některých požadavků na testování zdrojů ionizujícího záření či režimu ochrany pacientů v případě radiologických událostí,
- c) implementace mezinárodních doporučení, např. v oblasti výzkumných jaderných zařízení, řízení zastarávání jaderných zařízení, zajišťování zabezpečení, zejména v návaznosti na výsledky mezinárodních hodnotících misí (s ohledem na kybernetickou bezpečnost a tzv. kulturu zabezpečení, projektových požadavků na zajištění nešíření jaderných zbraní a přepravy radioaktivních a štěpných látek),
- d) přesnější zachycení požadavků Úmluvy o přístupu k informacím, účasti veřejnosti na rozhodování a přístupu k právní ochraně v záležitostech životního prostředí, Sdělení MZV č. 124/2004 Sb. m. s. („Aarhuská úmluva“) na transparentnost a zapojení veřejnosti do procesů v jaderné oblasti,
- e) zohlednění některých nových požadavků jiných právních předpisů České republiky (např. digitalizace),
- f) náprava nedostatků právní úpravy (odhalených praktickou aplikací).

V září 2024 proběhlo 2. čtení návrhu v Poslanecké sněmovně [4]. Předpokládá se účinnost k 1. červenci 2025.

Literatura

[1] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů.

[2] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

[3] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace.

[4] Návrh zákona, kterým se mění zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon [on-line]. Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/monitor/7798403.htm>

CHANGES OF THE ATOMIC LAW AND RELATED DECREES REES

Keywords: Legislation; Atomic Act

The contribution informs about the upcoming amendment of the Atomic Act 263/2016 Coll. and related decrees.

HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK ZPŮSOBILOSTI OR-RA-24

Barbora Sedlářová, Martina Kluganostová

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

e-mail: barbora.sedlarova@vuv.cz

Klíčová slova: zkouška způsobilosti; radiační ukazatele; umělý a přírodní vzorek; voda; zemina; filtrační písky

Abstrakt

Příspěvek informuje o vyhodnocení výsledků zkoušek způsobilosti OR-RA-24 pořádaných ASLAB, VÚV TGM.

Byla podána informace o vyhodnocení zkoušek způsobilosti (ZZ) OR-RA-24 stanovení radioaktivních látek ve vodě a v pevných vzorcích (zemín a filtračních náplní z úpravny vod) pořádaných střediskem ASLAB při Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v. v. i. (VÚV TGM). Vzorky pro ZZ OR-RA-24 zajistila Zkušební laboratoř technologií a složek životního prostředí VÚV TGM v oddělení Radioekologie. Byly distribuovány umělé vzorky vod a přírodní vzorky vod, půdy a filtrační náplně úpravny vod. Umělé vzorky byly připraveny z certifikovaných standardů pro stanovení ukazatelů: celková objemová aktivita alfa, celková objemová aktivita beta, objemové aktivity ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^3H , ^{90}Sr , objemová aktivita radionuklidů metodou spektrometrie záření gama (^{57}Co , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{241}Am), objemová aktivita ^{137}Cs (stanovení pomocí LSC) a hmotnostní koncentrace uranu. Dále byly distribuovány přírodní vzorky zeminy a filtrační náplně pro gamaspektrometrické stanovení. Celkem se zúčastnilo 32 laboratoří. U většiny stanovení radiochemických ukazatelů prokázaly laboratoře 100% úspěšnost. Výjimečně byly některé laboratoře neúspěšné ve stanovení ukazatelů celkové objemové aktivity alfa (úspěšnost 88,9 %), objemové aktivity ^{222}Rn (úspěšnost 66,7 %) a ^{226}Ra (úspěšnost 81,8 %) v uměle připravených vzorcích vod. Podrobná zpráva je uvedena na webových stránkách VÚV TGM [1].

Literatura

[1] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. *Výsledky zkoušení způsobilosti. Stanovení radioaktivních látek ve vodě a v pevných vzorcích OR-RA-24* [on-line]. 20. listopadu 2024. Dostupné z: https://www.aslab.cz/administrator/components/com_zkoušení_zpusobilosti/files/zpravy/zpra-ra-24.pdf

THE EVALUATION OF THE RESULTS OF PROFICIENCY TEST OR-RA-24

Keywords: Proficiency test; radiation indicators; artificial and natural sample; water; soil; filter sands

The contribution informs about the evaluation of the results of Proficiency test OR-RA-24 organized by ASLAB, VÚV TGM, p. r. i.

ZHODNOTENIE MEDZILABORATÓRNYCH POROVNÁVACÍCH SKÚŠOK MPS-RR-10/2023

Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová, Mária Vojtková
Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava
e-mail: gabriela.wallova@vuvh.sk

Kľúčové slová: medzilaboratórne porovnávacie skúšky; rádiochémia; voda

Abstrakt

Cieľom príspevku je zhodnotenie výsledkov medzilaboratórnych porovnávacích skúšok MPS-RR-10/2023.

1. Úvod

Národné referenčné laboratórium pre oblasť vôd na Slovensku (NRL), ktoré je súčasťou Výskumného ústavu vodného hospodárstva (VÚVH), je akreditované na organizovanie programov skúšok spôsobilosti podľa normy STN EN ISO/IEC 17043 [1]. Programy skúšok spôsobilosti (PSS) a ich jednotlivé kolá, tzv. medzilaboratórne porovnávacie skúšky (MPS), predstavujú základný stupeň vonkajšej kontroly laboratórií a možnosť preverovania kvality ich práce.

Cieľom MPS je pravidelná externá kontrola spôsobilosti zúčastnených laboratórií vykonávať analýzy sledovaných ukazovateľov na požadovanej úrovni kvality a porovnateľnosť jednotlivých laboratórií, zameraná na odhaľovanie kritických bodov pri výkone analýz. Po prijatí vhodných nápravných opatrení účasť v MPS zabezpečuje zlepšovanie kvality ich práce. Úspešné laboratóriá majú možnosť preukázať svoju spôsobilosť na vykonávanie jednotlivých analýz aj navonok, a to osvedčením o správnosti ich výsledkov dosiahnutých v MPS.

2. Základné informácie

MPS zamerané na rádiochemický rozbor vôd MPS-RR-10/2023 sa konali v októbri 2023. Na porovnanie boli vybrané ukazovatele zahrňujúce základné rádiochemické stanovenia pri kontrole kvality pitnej a povrchovej vody [2–4]. V modelových vzorkách boli na koncentračnej úrovni pitných a povrchových vôd sledované nasledovné ukazovatele:

- celková objemová aktivita alfa,
- celková objemová aktivita beta,
- objemová aktivita ^{222}Rn ,
- objemová aktivita ^{226}Ra ,
- objemová aktivita ^3H ,
- hmotnostná koncentrácia uránu (U_{nat}),
- objemová aktivita ^{238}U ,
- objemová aktivita ^{234}U .

Príprava vzoriek

Na prípravu modelových vzoriek v NRL boli použité certifikované referenčné materiály (CRM), referenčné materiály (RM) a analyticky čisté chemikálie. Vzorky boli pripravené ako

koncentráty a plnené boli do 20ml HDPE vzorkovníc, okrem vzorky na stanovenie objemovej aktivity ^3H , ktorá bola plnená do 250ml PE vzorkovníc. Pripravené vzorky boli skladované a distribuované v súlade s požiadavkami normy STN EN ISO 5667-3 [5]. Na prípravu vzorky na stanovenie ^{222}Rn bol použitý roztok ^{226}Ra , ktorý vytvára s ^{222}Rn rovnováhu. Termín spracovania vzorky bol po 168 hodinách (7 dňoch) po jej dôkladnom prevzdušení.

Účasť v MPS

Účasť v MPS je dobrovoľná a dosiahnuté výsledky sú anonymné a dôverné. Vo výnimočných prípadoch môže regulačný orgán priamo požiadať organizátora PSS o poskytnutie výsledkov príslušnej MPS.

Laboratóriu, ktoré sa zúčastňuje MPS, je pridelený random kód (rk), t. j. náhodne generované číslo, ktoré sa mení pri jednotlivých MPS. Tohtoročných MPS sa zúčastnilo 8 laboratórií, z ktorých boli 4 akreditované a 4 neakreditované pre danú oblasť.

Vzorky boli účastníkom MPS distribuované dňa 24. októbra 2023 v troch centrách: Bratislava, Banská Bystrica a Košice. Spolu so vzorkami účastníci MPS dostali pokyny na ich spracovanie spolu so zoznamom metód stanovenia. Rozborový list na zápis výsledkov, ako aj Pokyny a informácie pre účastníkov MPS-RR-10/2023, boli uverejnené na webovej stránke VÚVH: www.vuvh.sk/lid=3. Výsledok stanovenia objemovej aktivity ^3H bolo treba uviesť ku dňu 24. októbra 2023. Termín na zaslanie výsledkov na VÚVH bol do 6. decembra 2023.

3. Vyhodnotenie MPS

Výsledky zaslané laboratóriami boli štatisticky spracované v súlade s normou STN ISO 5725 [6]. Na identifikovanie extrémnych (odľahlých) hodnôt bol použitý Hampelov test [7]. Testovacia štatistika pre Hampelov test bola v nasledujúcom tvare:

$$\hat{H}_i = \frac{|x_i - \tilde{x}|}{5,06 \cdot MAD}$$

kde:

$|x_i - \tilde{x}|$ predstavuje príslušný absolútny mediánový rozdiel

MAD je medián mediánových rozdielov

Hodnota väčšia ako jedna indikuje extrémnu hodnotu s pravdepodobnosťou 95 %. Odľahlé výsledky sú väčšinou zo štatistického súboru vylúčené. Hampelov test bol použitý len pre hodnotenie ukazovateľov: celková objemová aktivita alfa, celková objemová aktivita beta a objemová aktivita ^{222}Rn , kde počet účastníkov bol vyšší ako 5.

Hampelov test označil ako odľahlú hodnotu jeden výsledok v prípade ukazovateľa celková objemová aktivita alfa (rk 8), jeden výsledok v prípade ukazovateľa celková objemová aktivita beta (rk 8). Vzhľadom na malý počet zúčastnených laboratórií pre ukazovatele hmotnostná koncentrácia Unat, objemová aktivita ^{226}Ra , ^3H , ^{238}U a ^{234}U Hampelov test nebol použitý. Prehľad štatistických parametrov pre základný súbor a súbor po eventuálnom vylúčení odľahlých hodnôt je uvedený v *tab. 1*. Pre každý ukazovateľ je tu uvedený počet účastníkov (n), referenčná hodnota (X), priemerná hodnota (x_p), smerodajná odchýlka reprodukovateľnosti (sR) vyjadrená v jednotkách daného ukazovateľa, relatívna hodnota smerodajnej odchýlky reprodukovateľnosti (CVR) v percentách, interval vyhovujúcich výsledkov (DM a HM), výťažnosť (V) priemernej hodnoty (po vylúčení odľahlých hodnôt) vo vzťahu k referenčnej hodnote a dosiahnutá úspešnosť (U) podľa kritéria posudzovania, čiže v rámci dolných a horných medzí, bez vylúčenia odľahlých hodnôt.

Laboratória zaslali dve hodnoty pre každý ukazovateľ, z ktorých bol vypočítaný aritmetický priemer, a táto hodnota bola ďalej posudzovaná. Neistota priemernej hodnoty bola vypočítaná podľa vzťahu:

$$u = \frac{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}}{2}$$

Tab. 1. Štatistické parametre súborov a medze vyhovujúcich výsledkov

MPS-RR-10/2023		Základný súbor			Súbor po vylúčení odľahlých hodnôt podľa Hampela								
Ukazovateľ	Merná jednotka	n	x _p	CV _R [%]	n	x _p	X	S _R	CV _R [%]	DM	HM	V [%]	U [%]
Celk. obj. akt. alfa	Bq . l ⁻¹	7	0,751	14,1	6	0,715	0,697	0,052	7,2	0,488	0,906	103	86
Celk. obj. akt. beta	Bq . l ⁻¹	8	0,257	7,1	7	0,262	0,280	0,012	4,8	0,224	0,336	94	88
Obj. akt. ²²² Rn	Bq . l ⁻¹	6	25,1	3,6	6	25,1	24,8	0,892	3,6	19,8	29,8	101	100
Obj. akt. ²²⁶ Ra	Bq . l ⁻¹	3	0,230	19,0	-	-	0,200	-	-	0,160	0,240	-	67
Obj. akt. ³ H	Bq . l ⁻¹	4	578	5,2	-	-	564	-	-	451	677	-	100
Hmot. konc. Unat	mg/l	3	0,079	7,7	-	-	0,081	-	-	0,065	0,097	-	100
Obj. akt. ²³⁸ U	Bq . l ⁻¹	1	1,045	-	-	-	0,997	-	-	0,798	1,196	-	100
Obj. akt. ²³⁸ U	Bq . l ⁻¹	1	0,993	-	-	-	1,009	-	-	0,807	1,211	-	100
n – počet laboratórií							DM – dolná medza vyhovujúcich výsledkov						
x _p – priemerná hodnota							HM – horná medza vyhovujúcich výsledkov						
X – referenčná hodnota							V – výťažnosť						
S _R – smerodajná odchýlka reprodukovateľnosti							U – úspešnosť						
CV _R – relatívna S _R													

Kritériá hodnotenia

Prijatou referenčnou hodnotou pre modelové vzorky bola overená hodnota použitého certifikovaného referenčného materiálu. Pre objemovú aktivitu alfa bolo zvolené kritérium posudzovania výsledkov ± 30 % z prijatej referenčnej hodnoty. Pre ostatné ukazovatele bolo použité kritérium ± 20 % z prijatej referenčnej hodnoty.

Relatívna odchýlka D názorne ukazuje odľahlosť výsledku od referenčnej hodnoty. Počíta sa podľa nasledovného vzťahu:

$$D = \frac{(x - X)}{X} \cdot 100$$

kde:

x je hodnota laboratória (aritmetický priemer dvoch hodnôt)

X referenčná hodnota

Ďalším sledovaným parametrom je z-skóre. Hodnota z-skóre je vypočítaná z nameranej hodnoty x, referenčnej hodnoty X a cieľovej smerodajnej odchýlky σ:

$$z = \frac{(x - X)}{\sigma}$$

Hodnota σ je daná koeficientom spôsobilosti k_s pre daný ukazovateľ a jeho prijatou referenčnou hodnotou:

$$\sigma = \frac{k_s \cdot X}{2}$$

z-skóre interpretujeme nasledovne:

- $|z| \leq 2,0$ výsledok považujeme za uspokojivý,
- $2,0 < |z| < 3,0$ výsledok indikuje výstražný signál,
- $|z| \geq 3,0$ výsledok považujeme za neuspokojivý.

4. Stručné zhodnotenie výsledkov

Prehľad štatistických parametrov súborov a medzí vyhovujúcich výsledkov sú uvedené v *tab. 1*. Úspešnosť stanovenia celkovej objemovej aktivity alfa bola 86 %, celkovej objemovej aktivity beta bola 88 %, objemovej aktivity ^{222}Rn bola 100 % a objemovej aktivity ^{226}Ra v tomto MPS bola 67 %. Parameter objemová aktivita ^{226}Ra stanovovali tri laboratória, z toho jednému laboratóriu z troch zúčastnených sa nepodarilo stanoviť aktivitu v rozmedzí ± 20 % od referenčnej hodnoty. V prípade objemovej aktivity ^3H sa zúčastnilo iba jedno laboratórium a stanovilo správny výsledok. Celková úspešnosť v tohtoročných MPS bola 95,2 %.

5. Záver

Účasť laboratórií v MPS je jedným z prvkov vonkajšieho kontrolného systému kvality. Laboratória majú možnosť porovnať si svoje výsledky s výsledkami iných laboratórií, ako aj s prijatou referenčnou hodnotou a zistiť prípadnú systematickú chybu stanovenia. Účasť laboratórií v MPS sa stáva samozrejmosťou nielen pre akreditované, ale aj pre ostatné laboratória. Poskytuje im objektívny dôkaz o úrovni spoľahlivosti nimi produkovaných výsledkov. Účastníci MPS si na základe dosiahnutých výsledkov overujú alebo vylepšujú už zavedený systém kvality v laboratóriu. Rovnako znalosť neistoty výsledku merania sa považuje za samozrejmosť. Podľa normy STN ISO 11352 [8] je možné stanovovať neistoty merania na základe údajov z validácie a kontroly kvality.

Úspešná účasť laboratórií v MPS im dáva možnosť preukázať svoje schopnosti aj navonok osvedčením, ktoré deklaruje, že laboratórium dosiahlo požadovanú úroveň kvality stanovenia jednotlivých ukazovateľov kvality vody.

Literatúra

- [1] STN EN ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment – General requirements for proficiency testing.
- [2] Vyhláška MZ SR č. 100/2018 Z. z., o obmedzovaní ožiarenia obyvateľov z pitnej vody, z prírodnej minerálnej vody a z pramenitej vody.
- [3] Nariadenie vlády SR č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd, v znení neskorších predpisov.
- [4] Vyhláška MZ SR č. 91/2023 Z. z., ktorou sa ustanovujú ukazovatele a limitné hodnoty kvality pitnej vody a kvality teplej vody, postup pri monitorovaní pitnej vody, manažment rizík systému zásobovania pitnou vodou a manažment rizík domových rozvodných systémov.

- [5] STN EN ISO 5667-3:2019 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 3: Pokyny na konzerváciu vzoriek vody a manipuláciu s nimi.
- [6] STN ISO 5725-1:2000,+C1:2006, STN ISO 5725-2:2000,+C1:2010 a STN ISO 5725-3:2000,+C1:2006 Presnosť (správnosť a zhodnosť) metód a výsledkov merania.
- [7] REICHENBÄCHER, M., EINAX, J. W. 2011. Challenges in Analytical Quality Assurance. New York: Springer, 2011. 356 s. ISBN 978-3-642-16594-8.
- [8] STN ISO 11352:2014 Kvalita vody. Odhad neistoty merania na základe údajov z validácie a kontroly kvality.

THE EVALUATION OF THE RESULTS OF PROFICIENCY TEST MPS-RR-10/2023

Keywords: Proficiency test; radiochemistry; water

The contribution informs about the evaluation of the results of Proficiency test MPS-RR-10/2023.

POROVNÁNÍ TŘÍ METOD STANOVENÍ RN-222 VE VODÁCH: PODTLAKOVÁ SCINTILAČNÍ EMANOMETRIE, GAMASPEKTROMETRIE SE STUDNOVÝM NAI(TL) KRYSTALEM A METODA LSC

Tomáš Bouda

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

e-mail: Tomas.Bouda@ALSglobal.com

Klíčová slova: Radon-222; scintilační emanometrie; gamaspektrometrie se studnovým krystalem NaI(Tl); kapalinová scintilační spektrometrie; doba zdržení od odběru radonu do začátku analýzy (Holding Time)

Abstrakt

V laboratořích firmy ALS Czech Republic, s. r. o., jsou ke stanovení radonu-222 ve vodách zavedeny tři metody. Nejstarší dosud používaná metoda je podtlaková scintilační emanometrie dle ČSN 75 7624, kap. 5., jež se nyní volí již jen výjimečně pro některé klienty, kteří trvají na kontinuitě svých výsledků. Když vzrostl počet vzorků na stanovení radonu ve vodách, byla zavedena produktivnější gamaspektrometrická metoda se studnovým krystalem NaI(Tl) dle ČSN 75 7624 kap. 6. Před cca osmi lety vzrostl počet vzorků natolik, že jsme začali používat metodu dvoufázové kapalinové scintilační spektrometrie dle ČSN 75 7525. Vzhledem k tomu, že bylo obtížné dodržet dobu zdržení (anglicky „Holding Time“, HT) čtyři dny od odběru vzorku k vlastnímu měření, jež je v normách závazně uvedena, provedli jsme rozsáhlé testování, o kolik je možno tuto dobu HT prodloužit, aniž by byla ovlivněna kvalita výsledků. V článku je uveden stručný přehled všech těchto metod stanovení radonu. Jsou v něm také shrnuty výsledky rozsáhlého testování doby zdržení HT.

1. Úvod

Radon-222 je velmi důležitý radionuklid z radiohygienického hlediska. Jeho stanovení v životním prostředí je proto velice důležité.

Radon-222 s poločasem radioaktivní přeměny 3,8235 dne je vzácný plyn, který vzniká radioaktivní přeměnou radia-226. V podzemních vodách je jeho aktivita mnohem vyšší (20–X000 Bq/l) než aktivita jeho mateřského Ra-226 (0,02–0,X Bq/l).

V tomto článku je uveden přehled principů a parametrů tří metod používaných v ALS Czech Republic, s. r. o., pro stanovení Rn-222 ve vodách:

- **CZ_SOP_D06_07_363.A (ČSN 75 7624 kap. 5) – podtlaková scintilační emanometrie** [1, 4];
- **CZ_SOP_D06_07_363.B (ČSN 75 7624 kap. 6) – gamaspektrometrie se studnovým krystalem NaI(Tl)** [2, 4];

- **CZ_SOP_D06_07_367.C (ČSN 75 7625) – dvoufázová kapalinová scintilační spektrometrie (LSC) [3, 5].**

Velmi důležitým parametrem při stanovení Rn-222 ve vodách je Doba zdržení před analýzou – HT, zejména v našem případě, kdy analyzujeme převážně vzorky vod dodávaných z našich zahraničních poboček a v normách uvedená maximální doba HT čtyři dny je často velmi krátká [4–6, 10]. Jsou uvedeny experimentálně ověřené doby HT pro nejčastěji používané vzorkovnice a pro stanovení Rn-222 těmito metodami.

Jsou uvedena také naměřená data, která potvrzují „prodlouženou“ hodnotu doby HT až 12 dnů.

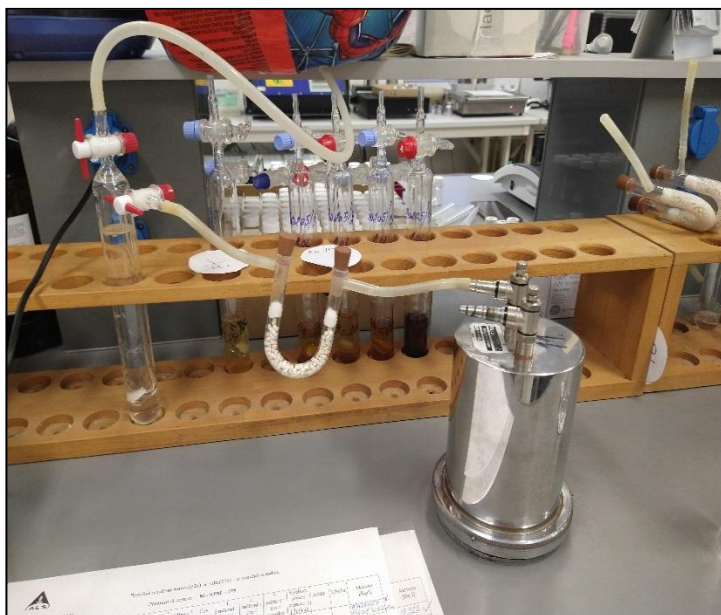
Pro informaci jsou v *tab. 1* uvedeny počty analýz Rn-222 ve vodách, které byly v našich laboratořích provedeny za posledních 18 měsíců. Dominuje stanovení Rn-222 metodou LSC, především díky vyšší produktivitě a též proto, že ze zahraničí se dodávají vzorky v tzv. 40ml EPA vialkách, jež významně snižují náklady na dopravu. Zbylé dvě metody se snažíme eliminovat, ale někteří konzervativní klienti na těchto metodách trvají, zejména z důvodů historické kontinuity výsledků.

Tab. 1. Přehled počtu stanovení Rn-222 ve vodách, provedených v laboratořích ALS Czech Republic, s. r. o., za posledních 1,5 roku

Metoda stanovení Rn-222	Počet vzorků týdně	Podíl vzorků týdně [%]	Počet vzorků měsíčně	Počet vzorků za 1,5 roku
Rn-222 – Všechny metody za období 03/2023–09/2024	245	100,0 %	1 062	19 124
Rn-222 – Metoda LSC	231	94,1 %	1 000	17 999
Rn-222 – Scintilační gamaspektrometrie	11	4,7 %	50	893
Rn-222 – Podtlaková scintilační emanometrie	3	1,2 %	13	232

2. Stanovení Rn-222 ve vodách podtlakovou scintilační emanometrií

Nejstarší dosud používaná metoda stanovení Rn-222 ve vodách je podtlaková scintilační emanometrie dle ČSN 75 7624, kap. 4 [1, 4]; *obr. 1* a *2*. Nejprve se z odebraného vzorku vody převede pomocí podtlaku cca 100ml objem do emanační baňky s fritou a se dvěma kohouty (viz *obr. 1*). Poté se pomocí „mrtvého vzduchu“ převede veškerý Rn-222 10 min probubláváním do evakuované nerezové Lucasovy komory o objemu 1 l, jejíž stěny jsou pokryty luminoforem ZnS(Ag), který při interakci s částicí alfa emituje fotony světla. Po dosažení radioaktivní rovnováhy se svými krátkodobými rozpadovými produkty (2,5–4 hod) se měří aktivita Rn-222 jedнокanálovým analyzátozem (NP 420, MéV Pecz, Maďarsko, s měničem komor, ve kterém holý fotonásobič měří intenzitu světelných záblesků vyvolaných emitovanými částicemi alfa; *obr. 2*).



Obr. 1. Převedení Rn-222 z emanační baňky do Lucasovy komory



Obr. 2. Analyzátor NP 420 s měničem vzorků

V tab. 2 je uvedeno vyhodnocení nejistot měření stanovení Rn-222 ve vodách scintilační emanometrií z měření laboratorních duplikátů za období let 2014–2024. Celkem bylo provedeno 269 duplicitních stanovení, z toho 43 stanovení bylo pod mezí detekce (16 %). Hodnoty v tab. 2 jsou v [Bq/l], pokud není uvedeno jinak. Doporučení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) **DR-RO-5.1(Rev. 0.0)** [11] pro pitné vody požaduje, aby rozšířená nejistota měření NM pro objemové aktivity Rn-222 vyšší než 60 Bq/l byla nižší než 20 %, což tato metoda bohatě splňuje již od objemové aktivity 10 Bq/l.

Metoda scintilační emanometrie se v současnosti pro stanovení Rn-222 používá spíše výjimečně pro klienty, kteří trvají na kontinuitě výsledků. Je málo produktivní a pro stanovení Rn-222 ve vodách jsou vhodnější další dvě metody. Scintilační emanometrie je využívána hlavně pro stanovení Ra-226 ve vodách.

Tab. 2. Vyhodnocení nejistot měření NM pro stanovení Rn-222 ve vodách metodou podtlakové scintilační emanometrie [1, 4]; údaje v Bq/l, pokud není uvedeno jinak

Koncentrační interval		Počet duplikátů	Aritmetický průměr	Odhad σ	Relativní σ [%]	Rozšířená NM [%]
od	do					
1	10	63	5	0,69	14,6 %	29 %
10	20	33	15	1,20	8,2 %	16 %
20	50	32	32	1,97	6,2 %	12 %
50	100	31	72	2,47	3,5 %	7 %
100	200	29	136	6,06	4,4 %	9 %
200	500	29	306	18,8	6,1 %	12 %
500	1 000	9	708	39,6	5,6 %	11 %

3. Stanovení Rn-222 ve vodách scintilační gamaspektrometrií se studnovým krystalem NaI(Tl)

Vzhledem k dominantní přítomnosti Rn-222 oproti dalším radionuklidům ve vodách (zejména podzemních) je k jeho radiometrickému stanovení používána scintilační gamaspektrometrie se studnovým krystalem NaI(Tl) dle ČSN 75 7624, kap. 5 [2, 4]; viz *obr. 3* a *4*. Vzorek musí být odebrán do 340ml PET vzorkovnice, bez vzduchových bublin („zero headspace“), řádně uzavřená. Vzorkovnice se vloží do „studny“ detektoru a změří se integrální četnost impulzů v energetické oblasti 210–400 keV, resp. 210–650 keV na analyzátoru FASA G (DIRAM). Detekční limit této metody je sice „jen“ 5 Bq/l, ale vzhledem k legislativním limitům (referenční úroveň 100 Bq/l pro veřejné zásobování v ČR; v zahraničí i 500–1 000 Bq/l) a ke skutečné objemové aktivitě Rn-222 ve vodách, je více než dostatečný.



Obr. 3. Studnový NaI(Tl) krystal s PET vzorkovnicí 340 ml vloženou do „studny“ detektoru



Obr. 4. Olověný kryt s 10cm olověným stíněním, uvnitř kterého je umístěn NaI(Tl) krystal

V *tab. 3* je uvedeno vyhodnocení nejistot měření stanovení Rn-222 ve vodách scintilační gamaspektrometrií z měření laboratorních duplikátů za období let 2014–2024. Celkem bylo provedeno 20 duplicitních stanovení, z toho jedno stanovení bylo pod mezí detekce (5 %). Hodnoty v *tab. 3* jsou v [Bq/l], pokud není uvedeno jinak. Doporučení SÚJB **DR-RO-5.1 (Rev. 0.0)** [11] pro pitné vody požaduje, aby rozšířená nejistota měření NM pro objemové aktivity Rn-222 vyšší než 60 Bq/l byla nižší než 20 %, což tato metoda též splňuje.

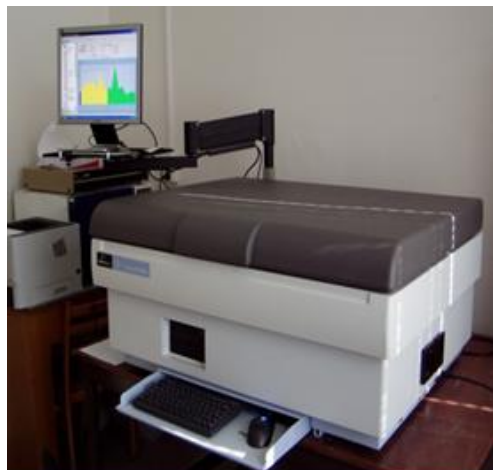
Tab. 3. Vyhodnocení nejistot měření NM pro stanovení Rn-222 ve vodách metodou scintilační gamaspektrometrie [2, 4]; údaje v Bq/l, pokud není uvedeno jinak

Koncentrační interval		Počet duplikátů	Aritmetický průměr	Odhad σ	Relativní σ [%]	Rozšířená NM [%]
od	do					
5	50	13	17	1,3	7,7 %	16 %
50	1 100	6	610	17	2,8 %	6 %

4. Stanovení Rn-222 ve vodách dvoufázovou kapalinovou scintilační spektrometrií

Ke stanovení Rn-222 v pitných vodách používáme nyní převážně dvoufázovou kapalinovou scintilační spektrometrii (LSC) dle ČSN 75 7625 [3, 5]; viz *obr. 5* a *6*. Analyzovaný vzorek

vody o objemu 17 ml se opatrně převede pod hladinu 5 ml scintilátoru Opti-Fluor O v scintilační měřicí nádobce. Scintilační vialky se vloží se do LSC analyzátoru po předchozím důkladném protřepání (extrakce Rn-222 do organického scintilátoru nemísitelného s vodou). Měření se zahájí do tří hodin od protřepání, nejpozději do 18 hodin. Detekční limit je cca 1 Bq/l.



Obr. 5. Kapalinový scintilační analyzátor Quantulus GCT 6220 od firmy Canberra-Packard



Obr. 6. Příprava vzorků pro stanovení Rn-222 metodou LSC (pipetování vzorku vody do scintilační lahvičky s 5 ml scintilátoru Opti-Fluor O; protřepání obsahu lahviček před měřením)

V tab. 4 je uvedeno vyhodnocení nejistot měření stanovení Rn-222 ve vodách dvoufázovou kapalinovou scintilační spektrometrií z měření laboratorních duplikátů za období let 2014–2024. Celkem bylo provedeno 3 621 duplicitních stanovení, z toho 1 817 stanovení bylo pod mezí detekce (50 %). Hodnoty uvedené v tab. 4 jsou v [Bq/l], pokud není uvedeno jinak. Doporučení SÚJB **DR-RO-5.1(Rev. 0.0)** [11] pro pitné vody požaduje, aby rozšířená nejistota měření NM pro objemové aktivity Rn-222 vyšší než 60 Bq/l byla nižší než 20 %, což tato metoda splňuje již od objemové aktivity 30 Bq/l.

Tab. 4. Vyhodnocení nejistot měření NM pro stanovení Rn-222 ve vodách metodou kapalinové scintilační spektrometrie [3, 5]; údaje v Bq/l, pokud není uvedeno jinak

Koncentrační interval		Počet duplikátů	Aritmetický průměr	Odhad σ	Relativní σ [%]	Rozšířená NM [%]
od	do					
5	10	97	7,5	0,9	12 %	24 %
10	20	278	15	1,5	10 %	20 %
20	30	182	25	2,5	10 %	20 %
30	50	227	39	3,3	8,5 %	17 %
50	80	196	66	4,1	6,2 %	12 %
80	140	221	107	6,3	5,9 %	12 %
140	240	208	184	8,0	4,3 %	9 %
240	500	214	351	12	3,3 %	7 %
500	1 000	132	657	29	4,4 %	9 %
1 000	10 000	49	1 740	53	3,1 %	6 %

5. Validační charakteristiky metod stanovení Rn-222 ve vodách, používaných v laboratořích ALS Czech Republic, s. r. o.

V následující *tab. 5* je uveden přehled nejdůležitějších parametrů všech tří metod používaných v naší laboratoři ke stanovení Rn-222 ve vodách. Nejproduktivnější metodou, a současně metodou, jež vyžaduje nejmenší objem vzorků, je metoda dvoufázové kapalinové scintilační spektrometrie, jak bylo uvedeno už v *tab. 1*.

Tab. 5. Přehled validačních charakteristik metod stanovení Rn-222 ve vodách

Validační parametr	Rn-222 – Metoda LSC	Rn-222 – NaI(Tl) gamaspektrometrie	Rn-222 – Scintilační emanometrie
Detekční účinnost [s^{-1}/Bq]	3,08	0,30	1,85
Nejmenší významná objemová aktivita	0,50 Bq/l	5 Bq/l	0,50 Bq/l
Nejmenší detekovatelná objemová aktivita	1,0 Bq/l	10 Bq/l	1,0 Bq/l
Preciznost – opakovatelnost u_r relativní kombinovaná standardní nejistota	4–30 %	4–30 %	4–30 %
Pravdivost – výtěžnost (měřením RM)	93,6–103,2 %	101,6–105,1 %	96,5–107 %
Rozšířená nejistota měření NM ($k = 2$)	8–60 %	8–60 %	8–60 %
Typická doba měření vzorků/pozadí	2 x 4 min/2 x 4 min	1 800 s/1 000 s	400–1 000 s/1 000 s

6. Problematika doby zdržení HT při stanovení Rn-222 ve vodách

Když jsme začali před rokem 2016 ve větším měřítku provádět analýzy Rn-222 ve vodách pro naše zahraniční klienty v Portugalsku, potýkali jsme se s problémem překračování doby zdržení HT, která uplynula od času odběru vzorku pitné vody do zahájení měření Rn-222. V normách na stanovení Rn-222 ve vodách *tab. 6*, je uvedena doba HT od 1–4 dnů. V naší laboratoři se stanovení Rn-222 ve vodách provádí více než 50 let a věděli jsme, že při odběru vod do skleněných vzorkovnic (buď „kyslíkovky“ se zábrusem, nebo přímo do skleněných emanačních nádobek předem evakuovaných) může být HT delší. Tyto skleněné nádoby se však kvůli dopravě nedají použít k zasílání odebraných vzorků vod ze zahraničí, a proto jsme museli možnost delší HT pro přijatelné vzorkovnice objektivně prokázat. I proto jsme v roce 2016 provedli poměrně rozsáhlou studii [12] za účelem prokázání možnosti prodloužení doby HT alespoň na osm dnů. V této kapitole uvádíme nejdůležitější závěry této studie.

Tab. 6. Přehled dob zdržení HT uvedených v normách pro stanovení Rn-222 ve vodách

Norma	Doba HT [den]	Poznámka
ČSN EN ISO 5667-3:2018 [10]	1	Skleněná vzorkovnice; chladit na 3 ± 2 °C, bez vzduchové bubliny, nemíchat; uchovávat v chladu
ČSN 75 7624 [4] ČSN 75 7625 [5]	Do 4	Pro gamaspektrometrii PET vzorkovnice, únik Rn-222 max. 0,1 % za 1 den
ISO 13164-1 [6]	Do 3	Popsány též způsoby odběru z kohoutku, ze stojaté vody a z tekoucí vody

Na obr. 7 je uveden přehled vzorkovnic používaných v naší laboratoři k odběrům vzorků pitných vod pro stanovení Rn-222 [13]. EPA vialky jsme zvolili proto, že jejich plynotěsnost je prokázána tím, že se běžně celosvětově používají pro stanovení volatilních organických sloučenin (VOC) ve vodách. A také proto, že objem cca 42 ml je dostatečný pro metodu LSC. PET vzorkovnice jsme již dříve používali ke gamaspektrometrickému stanovení. Z důvodu nedostatku původních vzorkovnic (které jsme obdrželi od Ing. J. Vlčka, SÚRO Hradec Králové) jsme začali používat nový typ PET vzorkovnic D27 a chtěli jsme dokázat, že únik Rn-222 je přijatelný, a hlavně jsme chtěli též prokázat možnost pozdějšího měření vzorku, než jsou v normě uváděné čtyři dny [4].

Prakticky jsme při testování doby zdržení na ČMI IIZ (Český metrologický institut, Inspektorát pro ionizující záření v Praze) od každého typu vzorkovnice odebrali několik vzorků pitných vod s obsahem Rn-222 cca 1 600 Bq/l [12]. Testovali jsme přímý únik radonu ze vzorkovnic a také únik radonu-222 opakovaným gamaspektrometrickým měřením několika vzorkovnic po dobu 12 dní. Vzorkovnice byly skladovány při laboratorní teplotě.

Ke stanovení maximálního úniku Rn-222 ze vzorkovnic byly poté umístěny v exsikátoru s objemem volného vzduchu cca 1,5 l po dobu cca sedm dní. V případě EPA vialek byly najednou vloženy do exsikátoru tři vialky, v případě PET vzorkovnice D27 vždy jedna vzorkovnice. Po uplynutí této doby byla stanovena objemová aktivita Rn-222 ve vzduchu kolem vzorkovnic metodou podtlakové scintilační emanometrie a byl vypočten maximální únik Rn-222 v procentech. Výsledky jsou uvedeny v tab. 7.

- EPA vialky z hnědého skla (WHEATON® amber sample vial with PTFE faced rubber lined cap packed in partitioned tray), s vnitřním objemem 41,4 ml, když jsou naplněné bez vzduchové bubliny (*zero headspace*).
- Speciální „radonové“ PET vzorkovnice s vnitřním objemem 340 ml (D27, D+K Drmela, s.r.o.), když jsou naplněné bez vzduchové bubliny.



D+K Drmela, s.r.o.
Nádražní 1844/153
702 00 Ostrava-Moravská Ostrava

Obr. 7. Přehled používaných vzorkovnic pro odběry vzorků pitných vod ke stanovení Rn-222 [13]

Tab. 7. Stanovený maximální únik Rn-222 z používaných vzorkovnic

Vzorkovací nádoba	Maximální únik Rn v % za den	Maximální únik Rn v % pro HT = 8 dní	Maximální únik Rn v % pro HT = 12 dní
40ml EPA vialka (hnědé sklo)	0,17 %	1,4 %	2,1 %
340ml PET láhev D27 (průměr 60 mm)	0,08 %	0,6 %	0,9 %

Poznámka: Jde o konzervativní odhad úniku Rn-222 ze vzorkovnic, skutečný únik je nižší, což vyplývá z údajů v následujících tab. 8–11.

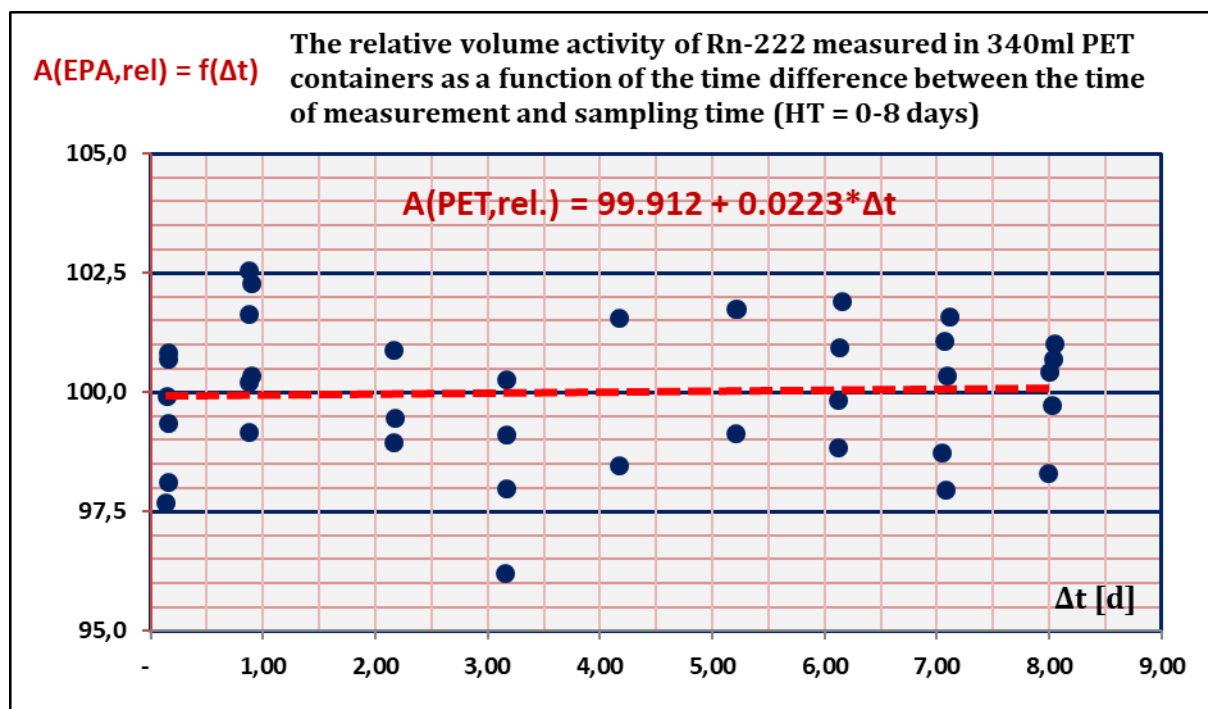
Potvrzení doby HT pro 340ml PET vzorkovnice D27

Do několika PET 340ml vzorkovnic D27 [13] byla odebrána v ČMI IIZ radonová voda se známou objemovou aktivitou Rn-222. Některé vzorkovnice byly pravidelně měřeny gamaspektrometrickou metodou [2, 4] po dobu cca 12 dní. Na obr. 8 a 9 jsou uvedena naměřená data pro dobu zdržení HT 1–8 dní a pro HT 1–12 dní.

Jak je vidět z obr. 8 a 9, během periody 8/12 dní nedošlo ke statisticky významnému poklesu měřené objemové aktivity Rn-222 (korekce na rozpad k datu a času vzorkování a během měření byla samozřejmě provedena). Rozptyl naměřených hodnot je mnohem nižší, než je rozšířená nejistota měření, jež je v tomto případě 9 %. Z celkového počtu 38/55 individuálních měření mělo pouze 5/7 měření relativní odchylku v rozsahu 2–3 % a jen 1/3 měření měla relativní odchylku v rozsahu 3–4 %.

Pokles korigované objemové aktivity Rn-222 během 8/12 dní činí $8(12) \cdot 0,0734 = 0,6/0,9 \%$, což velmi dobře souhlasí s měřením úniku Rn-222 uvedeným v Tab. 7.

To je potvrzením toho, že doba zdržení HT 8/12 dní je pro 340ml PET vzorkovnici D27 použitelná.



Obr. 8. Relativní objemová aktivita Rn-222 měřená v 340ml PET vzorkovnicích jako funkce časového rozdílu mezi dobou měření a dobou vzorkování (HT = 0–8 dní)

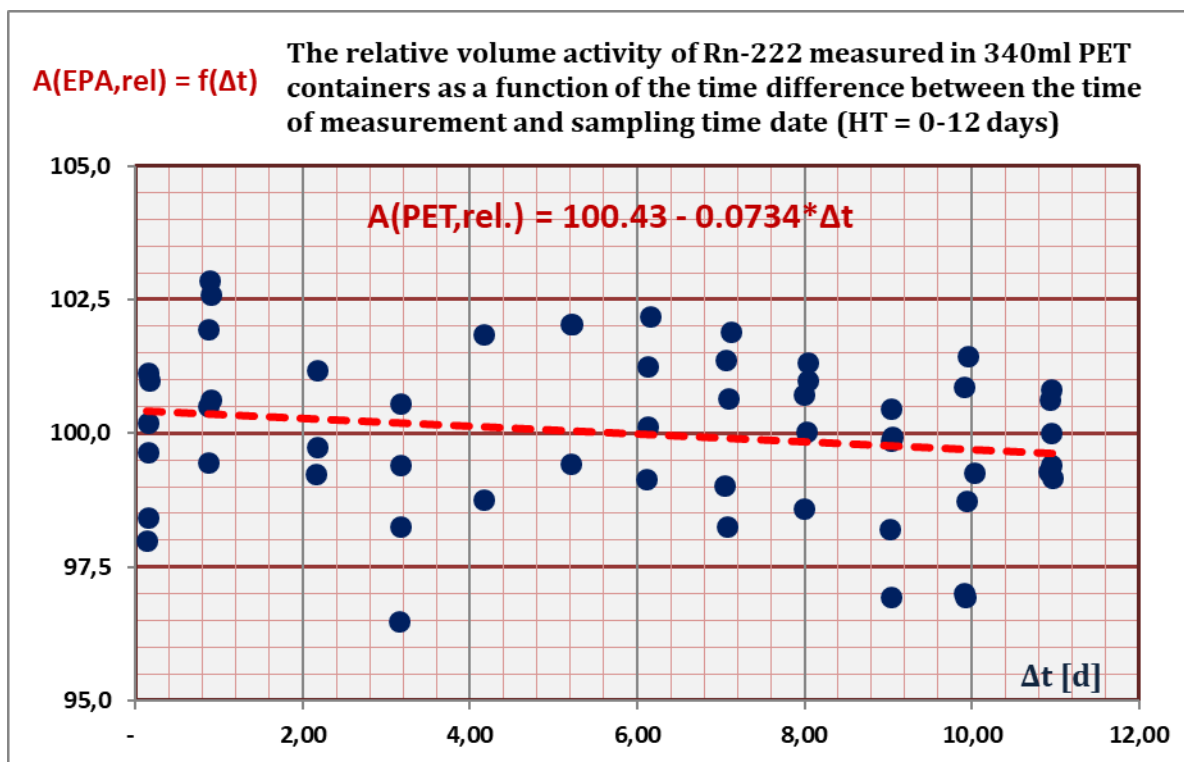
Potvrzení doby HT pro 40ml EPA vialky

Do několika 40ml EPA vialek (přesný objem kompletně zaplněné vialky je 41,5 ml) byla odebrána v ČMI IIZ radonová voda se známou koncentrací Rn-222. Některé vzorkovnice byly pravidelně měřeny gamaspektrometrickou metodou [2, 4] po dobu cca 12 dní. Na obr. 10 a 11 jsou uvedena naměřená data pro období HT 1–8 dní a pro období HT 1–12 dní.

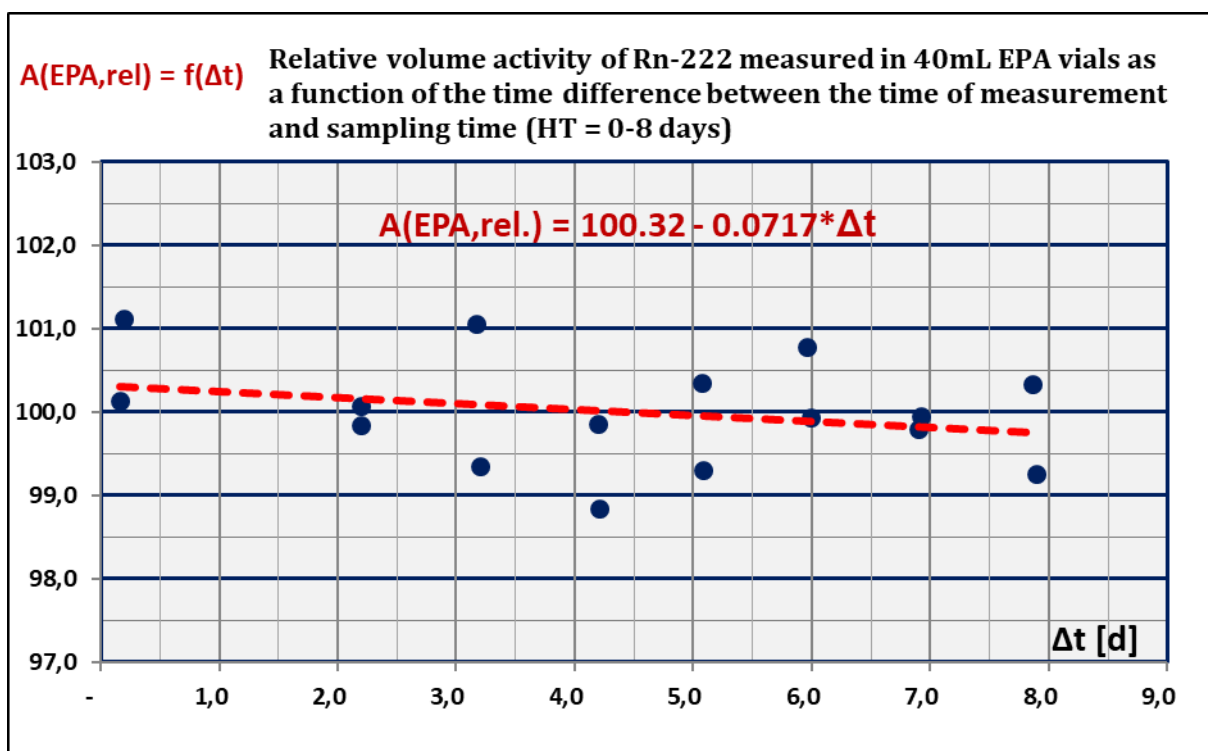
Jak je vidět z obr. 10 a 11, během periody 8/12 dní nedošlo ke statisticky významnému poklesu měřené objemové aktivity Rn-222 (korekce na rozpad k datu a času vzorkování a během měření byla samozřejmě provedena). Rozptyl naměřených hodnot je mnohem nižší, než je rozšířená nejistota měření, která je v tomto případě cca 10 %. Z celkového počtu 16/22 měření nemělo ani jedno individuální měření odchylku od průměru vyšší než 2 %.

Pokles korigované objemové aktivity Rn během 8/12 dní je pouze $8(12) * 0,0977 = 0,8 / 1,2$ %, což je v soulase s měřením úniku Rn uvedeným v tab. 7.

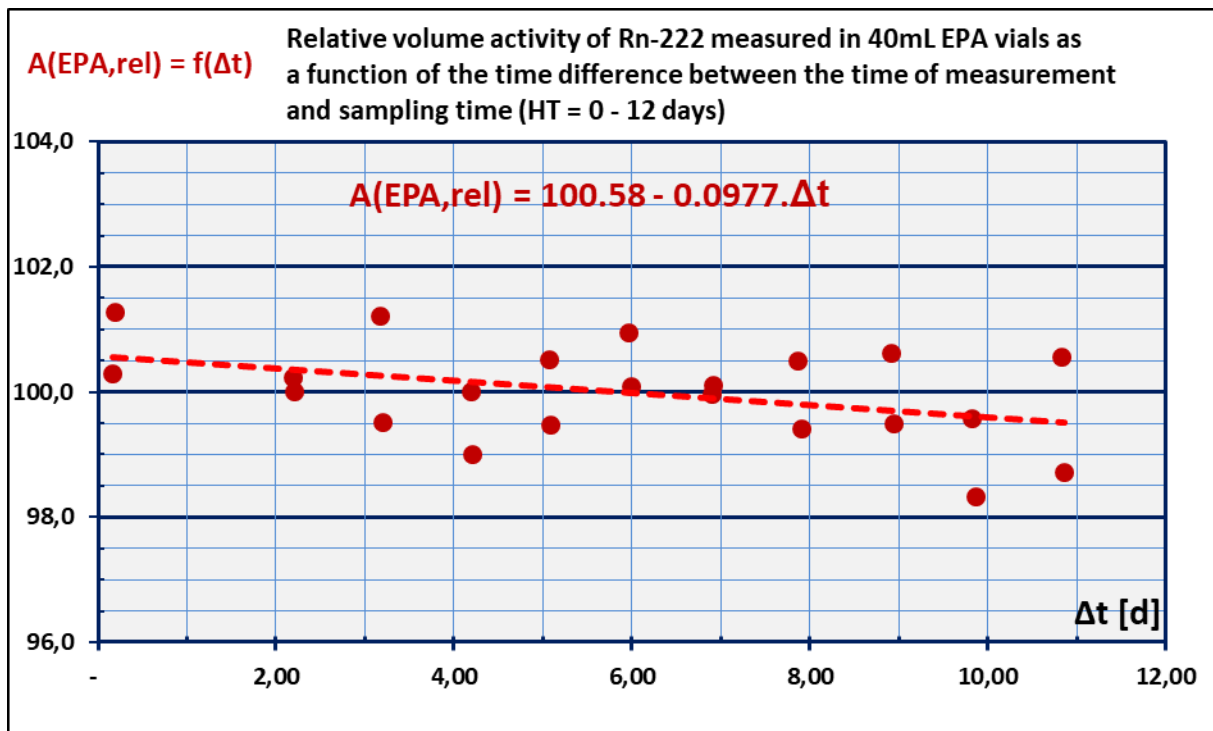
To je potvrzením toho, že doba zdržení HT 8/12 dní je pro 40ml EPA vialky (z hnědého skla) přijatelná.



Obr. 9. Relativní objemová aktivita Rn-222 měřená v 340ml PET vzorkovnicích jako funkce časového rozdílu mezi dobou měření a dobou vzorkování (HT = 0–12 dní)



Obr. 10. Relativní objemová aktivita Rn-222 měřená v 40ml EPA vialkách jako funkce časového rozdílu mezi dobou měření a dobou vzorkování (HT = 0–8 dní)



Obr. 11. Relativní objemová aktivita Rn-222 měřená v 40ml EPA vialkách jako funkce časového rozdílu mezi dobou měření a dobou vzorkování (HT = 0–12 dní)

7. Závěr

V článku jsou popsány principy a parametry tří metod stanovení objemové aktivity Rn-222 ve vodách, které jsou používány v našich laboratořích: podtlaková scintilační emanometrie, scintilační gamaspektrometrie se studnovým krystalem NaI(Tl) a dvoufázová kapalinová scintilační spektrometrie (LSC). Nově jsme vyhodnotili u všech tří metod naměřené hodnoty duplicitních stanovení za období 2014–2024. Vypočítané hodnoty rozšířených nejistot měření NM byly v soulase s validačními charakteristikami těchto metod.

Důležitým faktorem při stanovení Rn-222 ve vodách je doba zdržení HT, jež uplyne od okamžiku odběru vzorku pitné vody do počátku měření objemové aktivity Rn-222. Hodnoty HT uvedené v normách [4–6, 10] nám totiž neumožňovaly provádět stanovení Rn-222 pro naše zahraniční klienty.

Prokázali jsme, že HT pro stanovení Rn-222 ve vodách je přinejmenším osm dní, jestliže jsou použity testované vzorkovnice a jsou-li dodržena pravidla pro vzorkování a pro transport vzorků. Maximální ztráta Rn-222 během osmi dní je menší než 1,5 %.

Doba zdržení HT až 12 dní je akceptovatelná, pokud jsou přijatelné ztráty Rn-222 do 2 % (většinou ano, protože rozšířená nejistota stanovení Rn-222 je 10–15 %).

V důsledku radioaktivního rozpadu Rn-222 samotného se limit detekce (LoD) zvyšuje faktorem 2 pro každé 4 dny po dni, k němuž je uváděn standardní LoD, někdy nazývaný LoR (reportovací limit), který je používán obvykle pro HT = 4 dny.

Literatura

- [1] CZ_SOP_D06_07_367.A Stanovení radonu 222 ve vodách metodou scintilační emanometrie po převedení radonu do scintilační komory s použitím podtlaku (vychází z ČSN 75 7624, kap. 5).
- [2] CZ_SOP_D06_07_367.B Stanovení radonu 222 ve vodách metodou scintilační gamaspektrometrie se studnovým krystalem NaI(Tl) (vychází z ČSN 75 7624, kap. 6).
- [3] CZ_SOP_D06_07_367.C Stanovení radonu 222 kapalinovou scintilační měřicí metodou (LSC) (vychází z ČSN 75 7625).
- [4] ČSN 75 7624 (2019) Kvalita vod – Stanovení radonu 222 (scintilační emanometrie a gamaspektrometrie s nízkým rozlišením) / Water quality – Determination of radon 222 (scintillation emanometry and low resolution gamma ray spectrometry).
- [5] ČSN 75 7625 (2010) Jakost vod – Stanovení radonu 222 kapalinovou scintilační měřicí metodou / Water quality – Determination of radon 222 by liquid scintillation counting method.
- [6] ISO 13164-1 Water quality – Radon-222 – Part 1: General principles.
- [7] ISO 13164-2 Water quality – Radon-222 – Part 2: Test method using gamma-ray spectrometry.
- [8] ISO 13164-3 Water quality – Radon-222 – Part 3: Test method using emanometry.
- [9] ISO 13164-4 Water quality – Radon-222 – Part 4: Test method using two-phase liquid scintillation counting.
- [10] ČSN EN ISO 5667-3:2018 Water quality – Sampling – Part 3: Preservation and handling of water samples / Kvalita vod – Odběr vzorků – Část 3: Konzervace vzorků vod a manipulace s nimi.
- [11] SÚJB (2017): DOPORUČENÍ SÚJB „Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě pro veřejnou potřebu a v balené vodě“, DR-RO-5.1(Rev. 0.0) č. j. SÚJB/OS/19078/2017, Praha 2017, 40 s.
- [12] BOUDA, T. Stanovení Rn-222 ve vodách – problematika odběru vzorků a doba zdržení před analýzou. Sborník z XXIV Konference „Radionuklidy a ionizující záření ve vodním hospodářství“, České Budějovice, květen 2016.
- [13] PET vzorkovnice a víčka (např. PET lahve D27 a víčko 4007) od firmy D+K Drmela, s. r. o., Nádražní 153, 702 00 Ostrava (www.dk-drmela.cz).

COMPARISON OF THREE METHODS FOR THE DETERMINATION OF RN-222 IN WATERS: VACUUM SCINTILLATION EMANOMETRY, GAMA SPECTROMETRY WITH A WELL NAI(TL) CRYSTAL, AND THE LSC METHOD

Keywords: Radon-222; scintillation emanometry; gamma spectrometry with NaI(Tl) well crystal; liquid scintillation spectrometry; holding time from radon sampling to the start of analysis

In the laboratories of ALS Czech Republic, Ltd., three methods are used to determine radon-222 in water. The oldest method used so far is vacuum scintillation emanometry according to ČSN 75 7624, chap. 5., which is now used only exceptionally for some clients who insist on the continuity of their results. When the number of samples for the determination of radon in water increased, we began to use the more productive gamma spectrometric method with a NaI(Tl) well crystal according to ČSN 75 7624, chap. 6. About

8 years ago, the number of samples increased so much that we started using the two-phase liquid scintillation spectrometry method according to ČSN 75 7525. Since it was difficult to comply with the holding time (HT) of 4 days from sample collection to the actual measurement, which is mandatory in the standards, we carried out extensive testing to see how much this HT time could be extended without affecting the quality of the results. The article provides a brief overview of all these methods for determining radon. The results of extensive testing of the HT holding time are also summarized.

MEZILABORATORNÍ POROVNÁNÍ V RADIOAKTIVNÍ LÁTCE UVOLŇOVANÉ Z PRACOVIŠTĚ S MOŽNOSTÍ ZVÝŠENÉHO OBSAHU Z PŘÍRODNÍHO ZDROJE ZÁŘENÍ: Z POHLEDU ZÚČASTNĚNÉ LABORATOŘE

Barbora Sedlářová, Irena Pohlová

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

e-mail: barbora.sedlarova@vuv.cz

Klíčová slova: mezilaboratorní porovnání; radiační ukazatele; odpadní voda;

Abstrakt

V roce 2024 Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) ve spolupráci se Státním ústavem radiační ochrany (SÚRO) zorganizovaly mezilaboratorní porovnání v oblasti stanovení a hodnocení přírodních radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného obsahu z přírodního zdroje záření (NORM). Byly distribuovány tři pevné matrice – filtrační písek, úletový popílek, zirkonová moučka – a jeden vzorek odpadní vody. Porovnávacího měření se zúčastnilo sedm laboratoří. V rámci semináře byl diskutován postup měření a hodnocení vzorku odpadní vody.

PROFICIENCY TEST IN RADIOACTIVE SUBSTANCE RELEASED FROM A WORKPLACE WITH THE POSSIBILITY OF INCREASED CONTENT FROM A NATURAL RADIATION SOURCE: PARTICIPATING LABORATORY'S VIEWPOINT

Keywords: Proficiency test; radiation indicators; wastewater

As part of the seminar, the procedure for measuring and evaluating the waste water sample distributed as part of the Proficiency test organized by State Office for Nuclear Safety was discussed.

JADROVÉ MIMORIADNE UDALOSTI, VÝZVA PRE RÁDIOLOGICKÉ LABORATÓRIA

Lubomír Mátel, Silvia Dulanská¹

¹Katedra rádiologickej techniky FO ZOŠ, Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave

Limbová 12, 833 03 Bratislava

e-mail: matel.lubomir@gmail.com; silvia.dulanska@szu.sk

Kľúčová slová: mimoriadna udalosť; umelé radionuklidy; jadrové nehody; rádiologické laboratórium; rádioaktívna kontaminácia

Abstrakt

Voda je nevyhnutná pre život a môže obsahovať prírodné (napr. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) aj umelé radionuklidy. Jadrové a rádiologické mimoriadne udalosti (NREEs), ako napr. udalosť na atole Bikini (1954), havária v Černobyli (1986) a havária vo Fukušime (2011), poukazujú na dôležitosť rýchlej identifikácie a analýzy kľúčových radionuklidov (^{137}Cs , ^{90}Sr) a celkovej alfa/beta aktivity. Rádiologické laboratóriá musia čeliť výzvam spojeným s veľkoobjemovým skrútingom vzoriek, kontrolou kontaminácie a poskytovaním včasných výsledkov na usmernenie ochranných opatrení. Príprava formou pravidelného tréningu, zavedenie rýchlych metód gama spektrometrie a dodržiavanie protokolov – v súlade so štandardmi, ako sú ASTM (American Society for Testing and Materials) a ISO (Medzinárodná organizácia pre normalizáciu) – sú kľúčové pre efektívne reakcie na jadrové a rádiologické mimoriadne udalosti.

1. Úvod

Voda predstavuje najdôležitejšiu látku v našom živote a jej efektívne hospodárenie je kľúčovou národnou aj medzinárodnou otázkou. Môže pôsobiť ako faktor zvyšujúci vystavenie ľudí nielen prírodnému, ale aj umelému žiareniu. Rádioaktivita prítomná vo vodách môže pochádzať z viacerých zdrojov: radionuklidy v sériách premeny ^{238}U a ^{232}Th , ^{40}K , kozmické žiarenie, povolené vypúšťanie z jadrových zariadení a iných licencovaných zariadení, spad z testov jadrových zbraní, náhodné úniky radionuklidov z jadrových zariadení a havárií na jadrových zariadeniach. Na základe všeobecne známych faktov o vplyve rádioaktivity na človeka bola stanovená medzná hodnota efektívnej dávky v priemere 0,1 mSv/rok, pri ročnom objeme prijatej vody ingesciou 730 l (1 l = 1 dm³). Maximálna povolená/indikačná hodnota celkovej objemovej alfa a beta aktivity v pitnej vode je 0,10 a 0,50 Bq · l⁻¹. Medzná hodnota, pre umelý radionuklid ^{137}Cs je 7,20 Bq · l⁻¹, ^{90}Sr je 4,90 Bq · l⁻¹ a $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ 0,60 Bq · l⁻¹.

2. Jadrové a rádiologické mimoriadne udalosti

Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) uvádza v literatúre mimoriadnu radiačnú udalosť, ako nie bežnú, ktorá si vyžadujú okamžité opatrenia, predovšetkým na zmiernenie nebezpečenstva, alebo nepriaznivých dôsledkov na ľudský život, zdravie, majetok alebo životné prostredie [1]. Zahŕňa jadrové a rádiologické mimoriadne udalosti, ako aj situácie vyžadujúce rýchlu reakciu na zmiernenie účinkov vnímaných ako jadrové nebezpečenstvo. Jadrová mimoriadna udalosť je definovaná ako mimoriadna udalosť zahŕňajúca ožiarenie ionizujúcim žiarením, ktoré vzniká z jadrovej reťazovej reakcie, z jadrového paliva alebo z premeny štiepných produktov reťazovej štiepnej reakcie. Rádiologická mimoriadna udalosť

je definovaná ako mimoriadna udalosť zahŕňajúca vystavenie ionizujúcemu žiareniu, či už náhodné alebo úmyselné, ktoré nepochádza z jadrovej štiepnej reakcie ani z produktov premeny tejto reakcie. Je spôsobená inými rádioaktívnymi látkami alebo zdrojmi žiarenia. Medzi rádiologické mimoriadne udalosti patria: stratený rádioaktívny zdroj, prepravné nehody s rádioaktívnym zdrojom, nadmerné expozície v lekárskom, výskumnom alebo priemyselnom zariadení, teroristické činnosti (rádiologické rozptyľové zariadenie – špinavú bombu, rádiologické expozičné zariadenie).

3. Prečo je v názve slovo „výzva“?

Slovo „výzva“ v názve odráža komplexnosť určenia zdroja kontaminácie pri jadrovej mimoriadnej udalosti. Pri analýze takýchto udalostí sa opierame o historické prípady, kde kľúčovým indikátorom pôvodu je zloženie rádionuklidov a ich charakteristické doby polpremeny. Tieto „podpisy“ rádionuklidov nám môžu napovedať o type a pôvode jadrovej udalosti.

Prvý prípad

Tragický prípad posádky rybárskej lode na lov tuniakov – Fukuryu Maru (Šťastný drak), ktorá bola vzdialená asi 390 km na východ od atolu Bikini, testovacieho miesta termojadrovej zbrane (H-bomba; 15 M TNT), pri operácii Castle (Hrad). Dňa 1. marca 1954 okolo tretej hodiny ráno spozorovala posádka lode pri svojej každodennej práci záblesk oslnivého svetla na západnej strane a počula výbuch. Asi po troch hodinách začal na loď s 23člennou posádkou padať drobný dážď, ktorý bol zmiešaný s rádioaktívnym „popolom“/spadom. V tab. 1 sú uvedené rádionuklidy, ktoré boli identifikované na rybárskej lodi Fukuryu Maru.

Tab. 1. Identifikované rádionuklidy v popole na rybárskej lodi Fukuryu Maru 5 [2]

Rádionuklid	Doba polpremeny	Rádionuklid	Doba polpremeny
^{103}Ru	45 d	^{140}Ba	12,8 d
^{106}Ru	1,02 r	^{90}Y	64,8 h
^{106}Rh	30 s	^{91}Y	57 d
^{127}Te	9,3 h	^{140}La	40,2 h
$^{129\text{m}}\text{Te}$	33 d	^{141}Ce	32,5 d
^{129}Te	74 m	^{144}Ce	285 d
^{132}I	2,3 h	^{143}Pr	13,7 d
^{95}Zr	65 d	^{144}Pr	17,3 m
^{95}Nb	35 d	^{147}Nd	11,1 d
$^{95\text{m}}\text{Nb}$	90 h	^{147}Pm	2,6 r
^{45}Ca	160 d	^{156}Eu	14,6 d
^{89}Sr	50,5 d	^{237}U	6,75 d
^{90}Sr	28 r	^{239}Pu	24 110 r

Druhý prípad**Černobyľská havária** – Obsah štiepnych produktov v aktívnej zóne a percentuálne množstvo úniku*Tab. 2. Obsah štiepnych produktov v aktívnej zóne a percentuálne množstvo úniku [3, 4]*

Rádionuklid	$T_{1/2}$ [deň]	Aktivita [PBq]	Relatívny únik [%]
⁸⁵ Kr	3 930	33	~ 100
¹³³ Xe	5,27	6 500	~ 100
¹³¹ I	8,05	1 200–1 700	50–60
¹³² Te	3,25	100	10–60
¹³⁴ Cs	750	44–48	23–43
¹³⁷ Cs	$1,1 \cdot 10^4$	70–85	23–43
⁹⁵ Zr	65,5	170	3,5–3,6
⁹⁹ Mo	2,67	210	3,5–6
¹⁰⁶ Ru	368	30	3,5–6
¹⁰³ Ru	45	170	3,5–6
¹⁴⁰ Ba	12,8	170	3,5–6
¹⁴⁴ Ce	284	140	3,5
¹⁴¹ Ce	32,5	200	3,5
⁸⁹ Sr	53	81	3,5–4,5
⁹⁰ Sr	$1,02 \cdot 10^4$	8	3,5–4,5
²³⁹ Np	2,35	1 700	3,5
²³⁸ Pu	$8,15 \cdot 10^4$	0,03	3,5
²³⁹ Pu	$8,9 \cdot 10^6$	0,026	3,5
²⁴⁰ Pu	$2,4 \cdot 10^6$	0,037	3,5
²⁴¹ Pu	4 800	5,9	3,5
²⁴² Cm	164	0,93	3,5

Tretí prípad

Havária vo Fukušime

Tab. 3. Percentuálne množstvá uvoľnených a vypúšťaných rádionuklidov vo Fukušime v porovnaní s haváriou v Černobyle [5]

Rádionuklid	Uvoľnené množstvo do atmosféry [%]	Uvoľnené množstvo do podzemnej vody [%]	Priame vypúšťanie do oceánu [%]	Černobyľská havária [%]
⁸⁵ Kr	100			100
⁸⁹ Sr	0,033	1,2		4–6
⁹⁰ Sr	0,027	1,6	0,00001	4–6
^{129m} Te	1,8			
¹³¹ I	2,6	32		50–60
¹³² Te	1,0			25–60
¹³³ I	8,0			
¹³³ Xe	100			100
¹³⁴ Cs	2,4	20	0,49	20–40
¹³⁷ Cs	2,2	20	0,50	20–40
¹⁴⁴ Ce	0,00019		0,0003	3,5
²³⁸ Pu	0,00013			3,5
²³⁹ Pu	0,00012			3,5
²⁴⁰ Pu	0,0001			3,5

Počas prvých týždňov po jadrovej mimoriadnej udalosti hodnoty koncentrácie aktivity vo vodách/životnom prostredí pomerne rýchlo klesajú v dôsledku krátkej fyzikálnej doby polpremeny rádionuklidov (tab. 1–3) a tiež absorpčných procesov, napr. na sedimentoch, pôde, atď. Z dlhodobého hľadiska sa stávajú dominantnými rádionuklidmi ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu a ²⁴¹Am. Tieto rádionuklidy s väčšou hodnotou $T_{1/2}$, ako má ⁹⁰Sr, budú významné aj po skončení vyhlásenia mimoriadnej jadrovej udalosti.

4. Čo je dobré si v tejto súvislosti zapamätať/nezabudnúť?

- **Pravidlo 7/10 na odhad radiačného rizika**

Okamžitý spad sa skladá z častíc, ktoré sú kontaminované prevažne – nie však výlučne – produktmi štiepenia. Znižovanie príkonu dávky/aktivity z pevného množstva tejto zmesi v čase možno popísať jednoduchým pravidlom: pri každom sedemnásobnom predĺžení času po výbuchu dôjde k desaťnásobnému zníženiu príkonu dávky/aktivity. Napríklad, ak vezmeme ako referenčný bod dávku žiarenia 1 hodinu po výbuchu, potom 7 hodín po výbuchu sa dávkový príkon zníži na jednu desatinu; v $7 \times 7 = 49$ hodín (alebo zhruba 2 dni) to bude jedna stotina; a pri $7 \times 7 \times 7 = 343$ hodín (alebo zhruba 2 týždne) bude dávkový príkon/aktivity jedna tisícina.

- **Desať krát doba polpremeny** (najmä z hľadiska aktivity ^{131}I) aktivita limituje k „nulovej“ hodnote.

5. Načo je dobré sa pripraviť pre vyhlásenie mimoriadnej jadrovej udalosti?

Popri bežných rádionuklidov, ktoré sa sledujú pri rutinnom monitorovaní životného prostredia, treba bezpodmienečne počítať s ďalšími rádionuklidmi už pri prvom gama spektrometrickom meraní – nutné použiť knižnicu obsahujúcu štiepne rádionuklidy.

V núdzových situáciách je akceptovaná vyššia úroveň kontaminácie na krátke časové obdobie (dni alebo týždne). Úrovne objemových aktivít sa môžu pohybovať až do $500 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ pre izotopy jódu a do $1\ 200 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ pre izotopy emitujúce gama žiarenie, ako sú ^{134}Cs a ^{137}Cs . Rýchle metódy stanovenia celkovej objemovej alfa a beta aktivity vo vode, dopĺňujúce gama spektrometrické meranie, musia rýchlo (napr. do 1 hodiny) stanoviť oveľa vyššie hodnoty, ako sú za bežnej situácie.

Mnoho z nás si pamätá Černobyľ, Fukušimu, ale nikto (aspoň si myslím) si nevie dobre predstaviť vojnový konflikt s použitím jadrových zbraní a ešte k tomu vykonávať rýchle rádiochemické analýzy na mnohopočetných a rôznorodých vzorkách. Bude potrebné prispôbiť prácu v samotnom rádiologickom laboratóriu pre možnú/veľmi pravdepodobnú radiačnú kontamináciu (kontaminované pracovné pomôcky, jednoznačne označovanie vzoriek odkladať na zvlášť vyhradené, primerane označené a zabezpečené miesto, zabezpečenie dekontaminačných a osobných ochranných prostriedkov, dostatočné množstvo laboratórnych pomôcok atď.). V počiatočných štádiách mimoriadnej udalosti by sa mala použiť už pripravená príručka kvality s prihliadnutím na skutočnosť, že nie je možné použiť časovo náročné metódy odberu, spracovania, merania, vyhodnocovania vzoriek na zabezpečenie presnosti ako v normálnych situáciách. Príručka by mala byť zrozumiteľná a mať vypracované a odskúšané rýchle metódy, ktoré sa zvyčajne používajú na stanovenie špecifickej a objemovej aktivity v rozmedzí $2\cdot 10^3$ – $4\cdot 10^4 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ (kg^{-1}). Je potrebné počítať aj s možnosťou dočasného výpadku mediálnej techniky. Preto je kľúčové absolvovať odborné kurzy, prednášky, cvičenia a tréningy zamerané na pripravenosť pri mimoriadnych udalostiach. Hoci existuje množstvo odborných publikácií a usmernení o správnom postupe a reakciách na tieto udalosti, teória sa často líši od praxe. V reálnej situácii môžeme pracovať pod značným stresom, pociťovať obavy z vysokých aktivít žiarenia či nožnej kontaminácie. Napr. testovacia metóda ASTM D 7283-06, resp. ASTM D7283-17 Standard Test Method for Alpha and Beta Activity in Water By Liquid Scintillation Counting zahŕňa meranie celkovej objemovej alfa a beta aktivity v homogénnej vzorke vody. Je použiteľná pre alfa rádionuklidy s úrovnami koncentrácie aktivity nad $0,11 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ($3 \text{ pCi}\cdot\text{l}^{-1}$) a beta rádionuklidy s úrovnami koncentrácie aktivity nad $0,15 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ($4 \text{ pCi}\cdot\text{l}^{-1}$). Metóda nie je použiteľná pre vzorky obsahujúce rádionuklidy, ktoré sú prchavé v podmienkach analýzy.

Testovacia metóda sa môže použiť aj na priame meranie koncentrácií sumárnej/celkovej aktivity alfa a beta v homogénnych vzorkách vody s úrovnami koncentrácie aktivity alfa zdrojov nad $1,8 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ($50 \text{ pCi}\cdot\text{l}^{-1}$) a úrovnami koncentrácie aktivity beta zdrojov nad $3,7 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ($100 \text{ pCi}\cdot\text{l}^{-1}$).

Vzorka vody obsahujúca najviac 400 mg hmotnostného odparku sa preniesie do čistej kadičky. Vzorka sa odparí na približne 4 až 5 ml. Nasledovne sa kvantitatívne preniesie do scintilačnej sklenenej liekovky pomocou 0,1 M kyseliny dusičnej a pomaly sa odparí do sucha. Po pridaní 5 ml 0,1 M kyseliny dusičnej sa pevné zložky vzorky rozpustia opatrným zahriatím sklenenej scintilačnej liekovky. Po dokončení rozpustenia sa pridá scintilačný roztok, napr. Ultima Gold LLT. Vzorky sa odmeria na LSC, ktoré bolo predtým kalibrované na určenie celkovej objemovej alfa (^{230}Th) a celkovej objemovej beta aktivity (^{137}Cs).

Metóda LSC má vyššiu účinnosť ako metóda odparovania EPA 900.0. Má rozsah koncentrácie rozpustených pevných látok vo vzorkách siahajúci až do 400 mg, zatiaľ čo

metóda odparovania EPA 900.0 sa používa len do 100 mg pre sumárnu alfa a 200 mg pre sumárnu beta aktivitu.

Zavedenie nových metód nie je jednoduchý a rýchly proces. Výhodne je použitie primerane upravených už zaužívaných postupov. Primárne výsledky zo vzoriek, ktorých bude viac ako dosť, môžu byť zaťažené až 50percentnou chybou. Dobrú službu poskytnú tiež medzinárodne uznávané metodiky/odborná literatúra, ako napr. [6–11].

Literatúra

- [1] National stockpiles for radiological and nuclear emergencies: policy advice. World Health Organization 2023. [on-line]. ISBN 978-92-4-006787-5 (electronic version), ISBN 978-92-4-006788-2 (printversion), 48s. Dostupné z: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/365681/9789240067875-eng.pdf?sequence=1>
- [2] NIŠIWAKI, Y., NEUSTUPNÝ, J., WINKEHÖFER, J., HOLUBEC, K. Případ Bikini: práce japonských autorů o následcích radioaktivního záření. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1959.
- [3] DEVELL, L., GÜNTAY, S., POWERS, D. A. The Chernobyl Reactor Accident Source Term. Development of a consensus view. Nuclear Energy Agency/CSNI/R(95)24 [on-line]. 1996, 0–32. Dostupné z: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/025/41025214.pdf?r=1
- [4] YABLOKOV, A. V., NESTERENO, V. B., NESTERENKO, A. V. Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment [on-line]. New York: New York Academy of Sciences, 2015. Dostupné z: http://independentwho.org/media/Documents_Autres/Chernobyl_Consequences_of_the_catastrophe_for_people_and_the_environment.pdf
- [5] POVINEC, P., HIROSE, K., MICHIO, A. M. Radionuclide Releases into the Environment. Fukushima Accident [on-line]. 2013. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-408132-1.00004-8 In book: Fukushima Accident (pp.103–130).
- [6] ISO 22017:2020(en) Water quality — Guidance for Rapid Radioactivity Measurements in Nuclear or Radiological Emergency Situation.
- [7] ASTM D7283-17 Standard Test Method for Alpha and Beta Activity in Water By Liquid Scintillation Counting.
- [8] LI, X., WANG, S., LOU, H. et al. Simultaneous determination of gross alpha/beta activities in water by liquid scintillation counting and its applications in the environmental monitoring. Sci Rep 12, 8281 (2022). Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12245-x>
- [9] CARVALHO, F. P., FAJGELJ, A. Radioactivity in Drinking Water: Routine Monitoring and Emergency Response. Water Air Soil Pollut 224, 1597 (2013). Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1597-y>
- [10] ABDELLAH, W. M. Optimization Method to Determine Gross Alpha-Beta in Water Samples Using Liquid Scintillation Counter. Journal of Water Resource and Protection, 2013, 5, 900-905. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2013.59092>
- [11] STOJKOVOČ, I. Optimizacija tečnog scintilacionog spektrometra za ispitivanje alfa i beta emitera u vodama. Thesis, University of Novi Sad (Serbia), October 2015. ISBN:978-1-6584-3405-8.

NUCLEAR EMERGENCY EVENTS, CHALLENGE FOR RADIOLOGICAL LABORATORIES

Keywords: Emergency event; artificial radionuclides; nuclear accidents; radiological laboratory; radioactive contamination

Water is essential for life and can carry both natural (e.g., ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) and artificial radionuclides. Nuclear and Radiological Emergency Events (NREEs), such as Bikini Atoll (1954), the Chernobyl disaster (1986), and the Fukushima accident (2011), demonstrate the importance of rapid identification and analysis of key radionuclides (^{137}Cs , ^{90}Sr) and total alpha/beta activity. Radiological laboratories must address challenges in large-scale sample screening, contamination control, and providing timely results to guide protective measures. Preparation through regular training, implementation of rapid gamma spectrometry, and adherence to protocols—aligned with standards such as ASTM (American Society for Testing and Materials) and ISO (International Organization for Standardization)—are essential for effective responses to Nuclear and Radiological Emergency Events.

SPOLUPRÁCE SUBJEKTŮ V PŮSOBNOSTI MINISTERSTVA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NA MONITOROVÁNÍ RADIAČNÍ SITUACE: 2004–2023

Diana Marešová, Barbora Sedlářová, Irena Pohlová

*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha
e-mail: diana.maresova@vuv.cz*

Klíčová slova: radiační monitorování; radionuklidy; Národní program monitorovací; Národní radiační havarijní plán

Abstrakt

Príspevek uvádí aktuální přehled základních právních předpisů a smluvních vztahů upravujících spolupráci Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., a státního podniku Povodí v rámci radiačního monitorování, dále přehled sledovaných profilů a požadavky na četnost odběru vzorků, jejich předúpravu a výsledky monitorování.

1. Úvod

Pravidelné sledování radiační situace v České republice (ČR) bylo zahájeno v dubnu 1986 těsně před havárií v jaderné elektrárně (JE) v Černobylu, kdy byla zřízena Radiační monitorovací síť. Proces systematického zajišťování činnosti a vybavení Celostátní radiační monitorovací sítě (RMS) v podobě požadované evropskou legislativou byl zahájen přijetím usnesení vlády č. 478 ze dne 14. července 2001. Právní základ pro činnost RMS byl přijat v roce 2002 novelizací atomového zákona č. 18/1997 Sb. (zákon č. 13/2002 Sb.) [1], a vyhláškou Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) č. 319/2002 Sb. [2]. V závěru roku 2016 proběhla v oblasti radiačního monitorování významná změna legislativy – byl vydán nový atomový zákon č. 263/2016 Sb. [3], a související vyhlášky SÚJB č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace [4], č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje [5] a č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události [6]. Změna reagovala na požadavky evropské legislativy [7–8]. Financování monitorování se i nadále řídí usnesením vlády č. 522 z roku 2011 [9]. Na monitorování se podílejí jednotlivé subjekty, s nimiž má SÚJB uzavřeny rámcové a prováděcí smlouvy [10]. Ministerstvo životního prostředí ČR (dále jen MŽP) potvrdilo dopisem adresovaným SÚJB platnost dříve uzavřené rámcové smlouvy mezi MŽP a SÚJB [11, 12].

V současnosti je připravována další novelizace atomového zákona a souvisejících vyhlášek [13]. V oblasti monitorování radiační situace by se měla novelizace promítnout v požadavku na zahrnutí i výsledků monitorování od subjektů z jiných resortů. V navazujících vyhláškách dojde k upřesnění požadavků na předávání dat z monitorování dle požadavků v národním programu monitorování. Dále budou specifikovány požadavky na monitorování povrchových vod potenciálními znečišťovateli radioaktivními látkami [14]. V září 2024 proběhlo 2. čtení návrhu v Poslanecké sněmovně [13]. Předpokládá se účinnost k 1. červenci 2025.

V roce 2019 vstoupil v platnost Národní program monitorování [15] vydaný SÚJB na základě požadavků atomového zákona [3] a vyhlášky o monitorování radiační situace [4]. Účelem národního programu monitorování je stanovit rozsah zajištění monitorování radiační situace na území ČR a upřesnit požadavky na předávání dat do datového střediska SÚJB, včetně datových formátů a datových rozhraní. V jednotlivých kapitolách specifikuje hlavní cíle monitorování a prostředky jejich dosažení; formy monitorování, osoby, které zajišťují monitorování, monitorovací síť a monitorovací místa, monitorované položky a měřené fyzikální veličiny; postupy, podle nichž se

provádějí činnosti při monitorování; měřicí a odběrová zařízení; měřicí laboratoře; datové formáty, datový přenos a datová rozhraní; vzorky, pro které může být požadováno opakované měření; činnosti jednotlivých osob; monitorovací úrovně. Podrobnosti jsou uvedeny v přílohách, některé jejich části však nejsou veřejné. Revizi programu provádí SÚJB každých pět let. První revize se uskutečnila v roce 2021, v platnost vstoupila 1. ledna 2022.

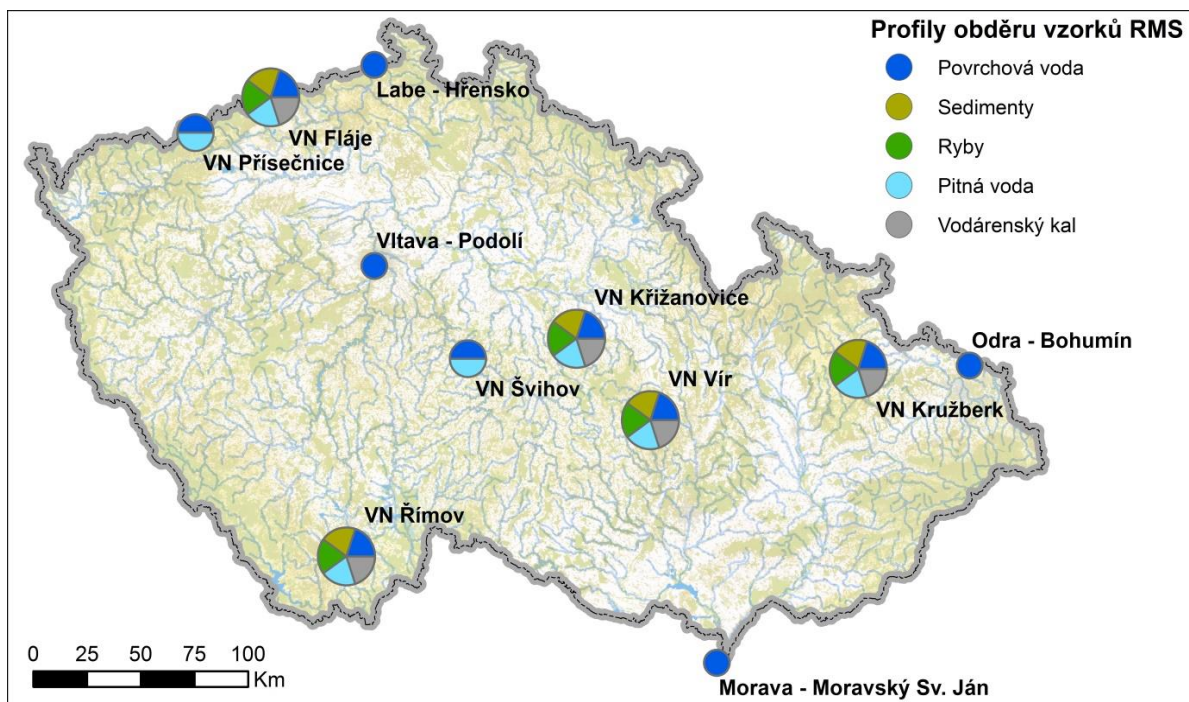
V závěru roku 2020 byl vydán Národní radiační havarijný plán [16], který bude závazný pro dotčené osoby do dvou let od vydání. Jde o plán zpracovaný pro území ČR vně areálu jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie – pro přípravu a řízení a provádění odezvy na radiační havárii, jež může mít dopad i mimo zónu havarijního plánování, případně na radiační havárii, k níž může dojít v zahraničí nebo kdekoli na území ČR. Nezbytnou součástí připravenosti k odezvě na radiační havárii je zajištění monitorování radiační situace.

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. (dále jen VÚV TGM), se ve spolupráci se státními podniky Povodí podílí na monitorování radiační situace na území ČR, které zajišťuje SÚJB od roku 2004. Na konci roku 2017 byla mezi SÚJB a VÚV TGM uzavřena nová smlouva o činnostech při monitorování radiační situace na území ČR prováděných VÚV TGM na dobu neurčitou. Monitorování VÚV TGM provádí prostřednictvím sítě odběrů vzorků životního prostředí a potravního řetězce. Ve Zkušební laboratoři technologií a složek životního prostředí VÚV TGM jsou sledovány radioaktivní látky v povrchových a pitných vodách, sedimentech, rybách a vodárenských kalech.

2. Metodika

Do monitoringu byly vybrány lokality tak, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení profilů po celé ČR a zapojení všech podniků Povodí. Jedná se o tři závěrové profily na hlavních tocích (Labe Hřensko, Odra Bohumín a Morava Moravský Sv. Ján) a sedm profilů na vodních nádržích (VN Švihov, VN Římov, VN Fláje, VN Přísečnice, VN Křižanovice, VN Vír, VN Kružberk) a dále profil Praha Podolí, kde je sledována objemová aktivita tritia s vyšší četností. Upravená pitná voda je sledována z vybraných pěti nádrží. Přehled odběrových míst je na *obr. 1*.

Monitorování má dvě formy: normální monitorování za obvyklé radiační situace a havarijní monitorování za nehodové expoziční situace. Za obvyklé radiační situace jsou na jednotlivých profilech odebírány vzorky vod v návaznosti na legislativu a národní program monitorování s četností čtyřikrát ročně. Jsou sledovány ukazatele obsahu radioaktivních látek v povrchových vodách (celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku draslíku-40, objemová aktivita tritia, objemová aktivita stroncia-90 a objemová aktivita cesia-137), ve dnových sedimentech (hmotnostní aktivita cesia-137), v biomase ryb (hmotnostní aktivita cesia-137), v pitných vodách (objemová aktivita tritia, objemová aktivita stroncia-90 a objemová aktivita cesia-137) a v kalech z úpravy vody (hmotnostní aktivita cesia-137). Objemová aktivita cesia-137 a stroncia-90 je analyzována ze vzorků vody o objemu 20 l; postihuje tyto radionuklidy ve veškerých látkách. Stanovení v pevných matricích je prováděno jedenkrát ročně, a to v sušině (105 °C). V případě ryb je výsledná hmotnostní aktivita cesia-137 vztažena na čerstvou hmotnost. Odběr, předúpravu vzorků a stanovení ukazatele celková objemová aktivita beta provádějí jednotlivé státní podniky Povodí, analýzy ostatních ukazatelů (tritia, cesia-137 a stroncia-90) zajišťuje Zkušební laboratoř technologií a složek životního prostředí VÚV TGM.



Obr. 1. Mapa odběrových míst

Jsou uváděny výsledky vztažené k nejmenší významné aktivitě (c_{NV}). Hodnoty $< c_{NV}$ byly do průměrných hodnot (aritmetický průměr) započteny na úrovni c_{NV} .

Získávaná data jsou předávána do informačního systému MonRaS. Jejich publikování zajišťuje SÚJB v současnosti prostřednictvím webových stránek. V letech 2004 a 2005 byly výsledky součástí Zprávy o radiační situaci na území České republiky [17, 18], od roku 2006 jsou výsledky součástí výročních zpráv SÚJB [19–34]. Zveřejňování dat z radiačního monitorování v rámci Evropy a některých dalších míst světa je zajišťováno prostřednictvím evropské databáze EURDEP (The European Radiological Data Exchange Platform). Jde o evropskou platformu pro výměnu dat mezi většinou evropských zemí.

3. Výsledky

Výsledky sledování radioaktivních látek v povrchových vodách za období 2006–2023 jsou shrnuty v *tab. 1*.

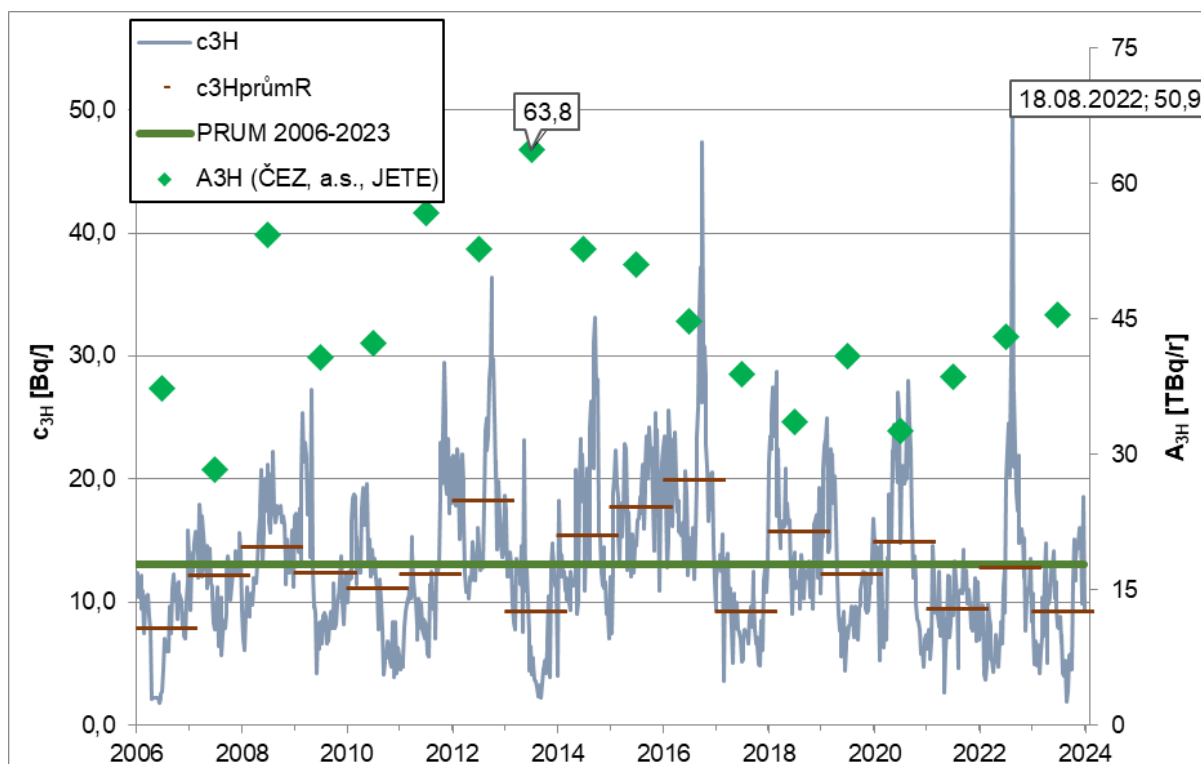
Průměrná hodnota celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku ^{40}K vyhodnocená ze všech profilů za celé období byla 0,028 Bq/l. Ve sledovaném období nebyly zaznamenány žádné extrémní hodnoty. Toto stanovení provádějí laboratoře státních podniků Povodí podle ČSN 75 7612 [35]. Jedná se o screeningový ukazatel možného obsahu radionuklidů s přeměnou beta. Zjištěná hodnota postihuje radionuklidy vysílající záření beta, a to různou měrou; některé nepostihuje vůbec. Slouží především jako podklad k rozhodování o potřebě stanovení objemových aktivit jednotlivých radionuklidů ve vodě. Za obvyklé radiační situace charakterizuje zejména úroveň přírodního pozadí. Za havarijní situace by ukazatel sloužil k rychlé klasifikaci kontaminace vzorků z odběrových míst. Pro tyto účely byla ve spolupráci se Státním ústavem pro radiační ochranu zavedena metoda rychlého stanovení celkové objemové aktivity beta (ČSN 75 7613) [36]. Zjišťované celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku ^{40}K v povrchové vodě jsou významně menší, než je přípustné znečištění povrchových vod podle nařízení vlády 401/2015 Sb., kde je uvedena pro tento ukazatel hodnota ročního průměru i maximálního znečištění 0,5 Bq/l [37]. Ostatní stanovení, tj. stanovení tritia, cesia-137 a stroncia-90, provádí vzhledem k nárokům na přístrojové

Tab. 1. Průměrné hodnoty celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku ^{40}K , ^3H , ^{90}Sr a ^{137}Cs v povrchové vodě v profilech RMS za období 2006–2023

Povrchová voda	Celk. obj. akt. beta ^{40}K [Bq/l]	^3H [Bq/l]	^{90}Sr [mBq/l]	^{137}Cs [mBq/l]
VN Kružberk	0,016 ± 0,006	0,8 ± 0,2	2,2 ± 1,0	0,8 ± 0,1
Odra – Bohumín	0,033 ± 0,013	0,9 ± 0,2	2,3 ± 1,2	2,0 ± 0,7
VN Přísečnice	0,016 ± 0,008	0,8 ± 0,1	2,2 ± 1,6	0,8 ± 0,1
VN Fláje	0,027 ± 0,018	0,8 ± 0,2	2,2 ± 1,5	1,3 ± 0,4
VN Vír	0,024 ± 0,013	0,9 ± 0,2	2,7 ± 2,0	0,8 ± 0,2
VN Křižanovice	0,018 ± 0,008	0,9 ± 0,2	3,4 ± 3,1	0,8 ± 0,1
VN Římov	0,022 ± 0,018	0,9 ± 0,2	2,1 ± 1,1	0,8 ± 0,1
VN Švihov	0,023 ± 0,017	0,9 ± 0,2	2,6 ± 2,0	0,8 ± 0,1
Morava – M. Sv. Ján	0,070 ± 0,058	3,0 ± 1,3	1,6 ± 1,0	0,9 ± 0,4
Labe – Hřensko	0,033 ± 0,013	5,6 ± 2,2	1,9 ± 1,0	0,9 ± 0,1
Průměr	0,028 ± 0,027	1,6 ± 1,7	2,3 ± 1,8	1,0 ± 0,5
Neovlivněné profily	0,022 ± 0,014	0,9 ± 0,2	2,5 ± 1,9	1,0 ± 0,5
Ovlivněné profily	0,052 ± 0,046	4,3 ± 2,5	1,7 ± 1,0	0,9 ± 0,3

vybavení (kapalinová scintilační spektrometrie, gamaspektrometrie) a časovou náročnost (radiochemická separace) Zkušební laboratoř technologií a složek životního prostředí VÚV TGM ve vzorcích odebraných laboratořemi státních podniků Povodí, jež jsou zodpovědné za předúpravu (zakoncentrování velkoobjemových vzorků).

Všechny tyto radionuklidy jsou sledovány zejména v souvislosti s provozem JE nejen na našem území. S výjimkou tritia jde o antropogenní radionuklidy, které se do prostředí dostávají v důsledku využívání jaderné energie. Tritium vzniká i přirozenými procesy v atmosféře. V případě tritia byly v profilech pod zaústěním odpadních vod z JE Temelín a JE Dukovany zjištěny hodnoty zvýšené oproti ostatním profilům, což odpovídá výpočtově odvozeným hodnotám za předpokladu vypouštění tritia na úrovni limitu aktivity, resp. dávky podle povolení vydaných SÚJB. Zatímco průměrná objemová aktivita tritia v povrchových vodách neovlivněných výpustmi z jaderných zařízení a v pitných vodách byla za hodnocené období 2006–2023 0,9 Bq/l, na ovlivněných profilech činila 4,6 Bq/l (Labe – Hřensko 5,6 Bq/l, Morava – Mor. Sv. Ján 3,0 Bq/l). Samostatně je na obr. 2 uveden vývoj objemové aktivity tritia $c_{3\text{H}}$ v profilu Vltava, Praha – Podolí spolu s ročními průměry a průměrem (13,0 Bq/l) za celé období včetně ročních kapalných výpustí tritia $A_{3\text{H}}$ podle údajů ČEZ, a. s., JETE [38]. Tento profil je sledován podrobněji, vzorky jsou odebírány jednou týdně. Zjišťované aktivity tritia v povrchové vodě odpovídají celkovým výpustem podle údajů provozovatele a splňují přípustné znečištění povrchových vod podle nařízení vlády 401/2015 Sb., kde je uvedena pro tritium hodnota ročního průměru 1 000 Bq/l (při využití povrchové vody jako zdroje pro pitné účely 100 Bq/l) a maxima 3 500 Bq/l [37]. Obsah cesia-137 a stroncia-90 v povrchových vodách je i při zpracování vzorků o objemu 20 l na hranicích měřitelnosti (většina výsledků je menší než nejmenší významná aktivita) a odpovídá reziduálnímu znečištění po atmosférických testech jaderných zbraní a havárii jaderného reaktoru v Černobyli v osmdesátých letech 20. století. Na profilech ovlivněných provozem JE nebyly zaznamenány žádné zvýšené hodnoty. Zatímco v případě tritia můžeme detekovat prokazatelný vliv našich jaderných elektráren na povrchové vody ovlivněné jejich výpustmi (jež splňují požadované limity), v případě cesia-137 a stroncia-90 je teoretický vliv elektráren



Obr. 2. Vývoj objemové aktivity tritia (c_{3H}), ročních průměrných objemových aktivit tritia ($c_{3HprůmR}$) v povrchové vodě v Praze – Podolí a ročních kapalných výpustí tritia (A_{3H}) podle údajů ČEZ, a. s., JETE [38]

významně menší než doznívající znečištění umělými radionuklidy z minulého století. Zjišťované objemové aktivity jsou o tři řády nižší než hodnoty pro přípustné znečištění – maximum podle NV 401/2015 Sb. (2, resp. 1 Bq/l), a dva řády nižší, než je norma environmentální kvality – roční průměr (0,5, resp. 0,2 Bq/l) [37].

Průměrné hodnoty radioaktivních látek v pitných vodách za období 2006–2023 jsou uvedeny v tab. 2. V případě pitných vod nebyly zjištěny v žádném ukazateli zvýšené hodnoty. Hodnoty jednotlivých radionuklidů odpovídají přirozenému, resp. antropogennímu pozadí.

Cesium-137 v pevných maticích je měřeno spolehlivě (měřené aktivity jsou vyšší než nejmenší významná aktivita). Průměrné hodnoty cesia-137 v sedimentech a vzorcích ryb z jednotlivých sledovaných vodních nádrží a v kalech z příslušných úpraven pitných vod jsou

Tab. 2. Průměrné hodnoty objemové aktivity 3H , ^{90}Sr a ^{137}Cs v pitné vodě v profilech RMS za období 2006–2023

Pitná voda	3H [Bq/l]	^{90}Sr [mBq/l]	^{137}Cs [mBq/l]
ÚV Podhradí	0,8 ± 0,1	2,7 ± 0,8	0,8 ± 0,1
ÚV Švarec	0,9 ± 0,4	3,1 ± 1,2	0,8 ± 0,1
ÚV Meziboří	0,8 ± 0,2	2,7 ± 1,0	1,3 ± 0,3
ÚV Hradiště	0,8 ± 0,2	3,2 ± 1,0	0,9 ± 0,1
ÚV Hulice	0,9 ± 0,3	2,7 ± 0,8	0,8 ± 0,1
ÚV Plav	0,8 ± 0,2	2,7 ± 0,8	0,8 ± 0,1
ÚV Monaco	0,8 ± 0,2	3,1 ± 1,2	0,8 ± 0,1
Průměr	0,9 ± 0,3	2,9 ± 1,0	0,9 ± 0,2

Tab. 3. Průměrné hodnoty hmotnostní aktivity ^{137}Cs v pevných maticích v profilech RMS za období 2004–2023

^{137}Cs (Bq/kg)	Sedimenty	Ryby		Kaly
VN Kružberk	27 ± 38	0,6 ± 0,2	UV Podhradí	5,7 ± 3,3
VN Fláje	58 ± 25	0,4 ± 0,3	UV Meziboří	7,1 ± 6,3
VN Křižanovice	8,2 ± 7,9	0,4 ± 0,3	ÚV Monako	7,0 ± 10,1
VN Římov	90 ± 34	0,4 ± 0,1	ÚV Plav	4,3 ± 2,4
VN Vír Svratka	24 ± 14	3,7 ± 2,1	UV Švarec	6,8 ± 2,9
Průměr	41 ± 39	1,1 ± 1,6	Průměr	6,2 ± 5,9

uvedeny v tab. 3. Nejvyšší hmotnostní aktivita cesia-137 byla zjištěna ve vzorcích sedimentů VN Římov (90 Bq/kg, průměr za období 2004–2023), v rybách VN Fláje (3,7 Bq/kg, průměr 2004–2023) a ve vzorcích vodárenských kalů ÚV Švarec a Meziboří (7,1 Bq/kg, resp. 7,0 Bq/kg, průměr 2004–2023). I v případě pevných matic je hlavním zdrojem cesia-137 reziduální znečištění po atmosférických testech jaderných zbraní a havárii jaderného reaktoru v Černobyli v minulém století.

V září 2023 se konala verifikační mise Evropské komise, která byla zaměřena na ČR a zejména pak na monitorování radiační situace prováděné na našem území. V rámci verifikačního procesu proběhla kontrola laboratoře VÚV TGM, a to jak provozu, tak jejího zapojení do monitorování radiační situace.

4. Závěr

VÚV TGM se od roku 2004 podílí ve spolupráci s podniky Povodí na monitorování radiační situace v ČR, jež zajišťuje SÚJB. Laboratoře státního podniku Povodí provádějí odběr vzorků a screeningové stanovení celkové objemové aktivity beta. Stanovení dalších ukazatelů obsahu radioaktivních látek – tritia, cesia-137 a stroncia-90 – probíhá ve VUV TGM. Tato spolupráce je významná zejména v kontextu zajištění havarijního monitorování během nehodové expoziční situace. Pro tyto účely jsou v SÚJB pravidelně pořádána porovnávací měření a zátěžová cvičení v jednotlivých laboratořích.

Literatura

- [1] Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů.
- [2] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 319/2002 Sb., o funkci a organizaci radiační monitorovací sítě.
- [3] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů.
- [4] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace.
- [5] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.
- [6] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události.
- [7] Směrnice Rady 2013/59/Euratom, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření.

- [8] Doporučení Komise 200/473/Euratom o uplatňování článku 36 Smlouvy o založení Euratomu.
- [9] Usnesení vlády č. 522 ze dne 13. července 2011 ke Zprávě o zajištění činnosti a vybavení Celostátní radiační monitorovací sítě v letech 2006 až 2010.
- [10] ŠINDELKOVÁ, E., BÍLKOVÁ, H. Monitorování na území ČR z pohledu legislativy platné od 1. 1. 2017. In: HANSLÍK, E., PETRÁKOVÁ KÁNSKÁ, K. (edits) Radiologické metody v hydrosféře 17, Vodní zdroje Ekomonitor, Chrudim 2017.
- [11] Rámcová smlouva o činnosti složek celostátní radiační monitorovací sítě v působnosti Ministerstva životního prostředí, č. j. 10642/5/03/St.
- [12] Dopis Richarda Brabce, ministra životního prostředí, ze dne 21. 2. 2017, č. j. 10381/ENV/17.
- [13] Návrh zákona, kterým se mění zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon [on-line]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/monitor/7798403.htm>
- [14] HORT, M. Tritium ve vodách, novela atomového zákona a vyhlášek státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Sborník z konference Radionuklidy a ionizující záření ve vodním hospodářství, VUV TGM, v. v. i. Praha, 2024. ISBN 978-80-88484-08-0.
- [15] Národní program monitorování, SÚJB, Praha, 2018.
- [16] Národní radiační havarijný plan, SÚJB, Praha, 2020.
- [17] Zpráva o radiační situaci na území České republiky v roce 2004, SÚJB, ÚRMS ČR, SÚRO, Praha 2005.
- [18] Zpráva o radiační situaci na území České republiky v roce 2005, SÚJB, ÚRMS ČR, SÚRO, Praha 2006.
- [19] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou v roce 2007, SÚJB, 2008.
- [20] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou v roce 2008, SÚJB, 2009.
- [21] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou v roce 2009, SÚJB, 2010.
- [22] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2010, SÚJB, 2011.
- [23] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2011, SÚJB, 2012.
- [24] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2012, SÚJB, 2013.
- [25] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2013, SÚJB, 2014.
- [26] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2014, SÚJB, 2015.

- [27] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2015, SÚJB, 2016.
- [28] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2016, SÚJB, 2017.
- [29] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2017, SÚJB, 2018.
- [30] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2018.
- [31] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2019.
- [32] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2020.
- [33] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2021.
- [34] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2022.
- [35] ČSN 75 7612 Jakost vod – Stanovení celkové objemové aktivity beta, ČAS, 2020.
- [36] ČSN 75 7613 Kvalita vod – Rychlá metoda stanovení celkové objemové aktivity beta, ÚNMZ, 2014.
- [37] Nařízení vlády 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů.
- [38] LYSÁČEK, F. a kol. Zpráva o životním prostředí za rok 2006–2022. ČEZ, a. s. Jaderná elektrárna Temelín, 2007–2023.

COOPERATION OF INSTITUTIONS WITHIN THE COMPETENCE OF MINISTRY OF THE ENVIRONMENT OF THE CZECH REPUBLIC ON ENSURING THE RADIATION MONITORING: 2004–2022

Keywords: Radiation monitoring; radionuclides; National monitoring programme

The paper sums up the current legislative overview and relating contracts regulating cooperation of T. G. Masaryk Water Research Institute, p. r. i., and Povodí, State Enterprises, on radiation monitoring in the Czech Republic. Further, summary of monitored items and profiles is given.

STN EN ISO 13165-1
KVALITA VODY. RÁDIUM-226.
ČASŤ 1: KVAPALINOVÁ SCINTILAČNÁ SKÚŠOBNÁ METÓDA
(ISO 13165-1:2022)

Ivana Petránová, Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Mária Vojtková
Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nár. arm. gen. L. Svobodu 5, 81249 Bratislava
e-mail: radiochemia@vuvh.sk

Kľúčové slová: rádium-226; kvapalinová scintilačná spektrometria

Abstrakt

Príspevok informuje o norme, ktorá špecifikuje stanovenie hmotnostnej aktivity ^{226}Ra vo vzorkách neslanej vody extrakciou jeho dcérskeho ^{222}Rn použitím kvapalinovej scintilačnej spektrometrie.

1. Úvod

Táto norma bola oznámená vo Vestníku ÚNMS SR č. 05/24. Obsahuje normy EN ISO 13165-1:2024 a ISO 13165-1:2022. Oznámením tejto normy sa ruší STN EN ISO 13165-1 (757629) z júna 2020. Norma v jednotlivých kapitolách popisuje odber vzoriek, prípravu vzoriek a blanku, použité chemikálie, zariadenia, optimalizáciu podmienok, stanovenie účinnosti a samotné meranie. V norme je popísané nepriame stanovenie hmotnostnej aktivity ^{226}Ra izoláciou jeho dcérskeho ^{222}Rn . Medzi ^{226}Ra a jeho dcérsym rádionuklidom ^{222}Rn dochádza po 30 dňoch k rovnováhe (99,6 %). Po 30 dňoch sa vzorky merajú kvapalinovou scintilačnou spektrometriou.

2. Záver

V závere norma ponúka prehľad štatistických výpočtov, ako sú výpočty hmotnostnej aktivity ^{226}Ra , štandardnej neistoty a tiež validačné charakteristiky tejto metódy.

Literatúra

[1] STN EN ISO 13165-1, Kvalita vody. Rádium-226. Časť 1: Kvapalinová scintilačná skúšobná metóda (ISO 13165-1:2022).

WATER QUALITY – RADIUM-226 – PART 1: TEST METHOD USING LIQUID SCINTILLATION COUNTING (ISO 13165-1:2022)

Keywords: Radium-226; liquid scintillation spectrometry

The article informs about the norm which specifies the determination of ^{226}Ra activity concentration in non-saline water samples by extraction of its progeny ^{222}Rn and its measurement using liquid scintillation counting.

VÝVOJ A VERIFIKÁCIA RÝCHLEJ METÓDY STANOVENIA STRONCIA-90 VO VODE V PRÍPADE HAVARIJNEJ SITUÁCIE

Enrique Mariaca, Gabriela Wallová, Mária Vojtková

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5 (7), 812 49 Bratislava
e-mail: enrique.mariaca@vuvh.sk

Kľúčové slová: havarijná situácia; Sr-90; Sr-85; extrakčná chromatografia; Sr-Resin; LSC; gamaspektrometria

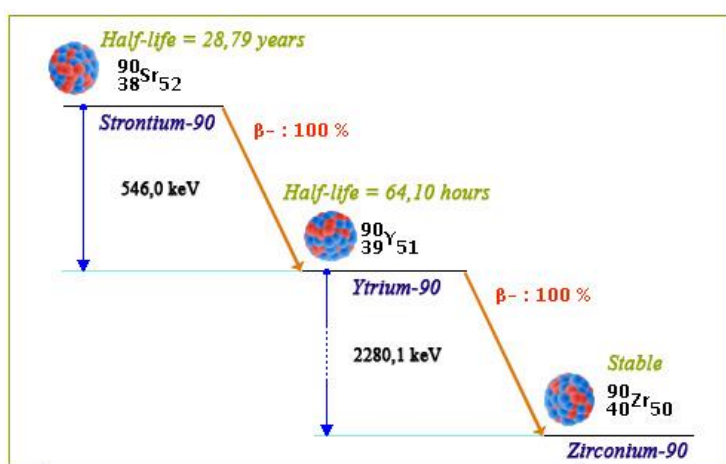
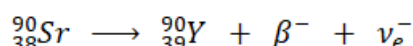
Abstrakt

Príspevok sa venuje príprave k zavedeniu rýchlej metódy stanovenia Sr-90 vo vode v prípade havarijnej situácie. Popisuje princíp separácie Sr-90 extrakčnou chromatografiou. V experimentálnej časti sa venuje prvotným nastaveniam pre meranie na kvapalinovom scintilačnom spektrometri (LSC) a následne meraniu samotných modelových vzoriek s koncentračným rozsahom 50–100 Bq/l. Popisuje vyhodnotenie rádiochemickej výťažnosti separácie, ktorá bola analyzovaná gamaspektrometricky pomocou pridaného stopovača Sr-85.

1. Úvod

Stroncium patrí medzi kovy alkalických zemín, a tak má podobné chemické vlastnosti ako vápnik a bárium. Stroncium je pôdami slabo zadržované a má vysokú schopnosť migrácie, preto môže byť ľahko prijímané rastlinami a prenášané do potravinového reťazca. Nahradzuje vápnik v kostiach a chrupavkách, kumuluje sa v organizme a dlhodobo ožaruje kostnú dreň. Sr-90 je antropogénny rádionuklid, ktorý sa do životného prostredia dostal pri testovaní jadrových zbraní v 20. storočí, pri haváriách jadrových zariadení a tiež sa nachádza v rádioaktívnom odpade z jadrových elektrární. Pre svoj dlhý polčas rozpadu sa zaraďuje za jeden z najnebezpečnejších rádionuklidov.

Rovnica 1. Rovnica rozpadu Sr-90:



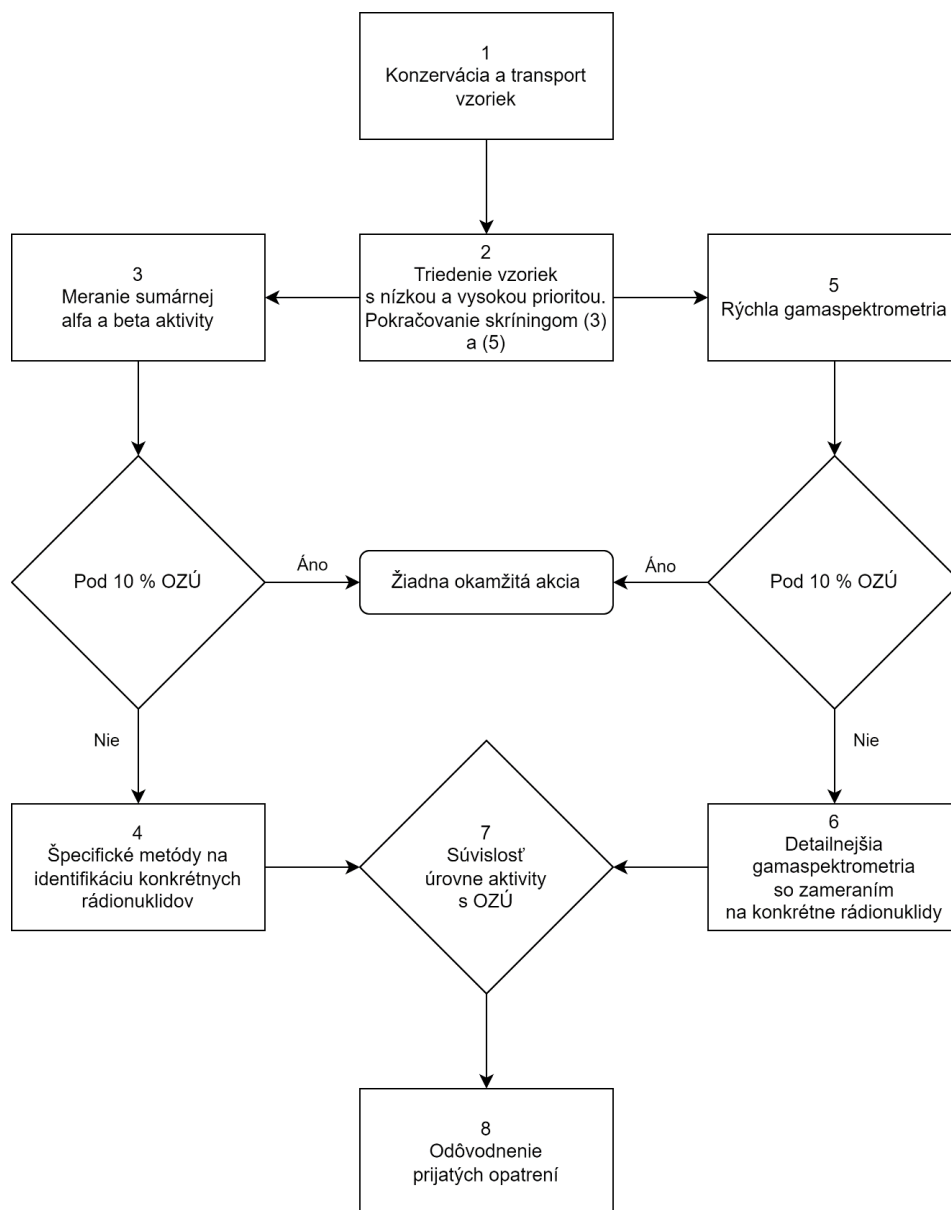
Obr. 1. Schéma rozpadu Sr-90 [1]

2. Legislatívne požiadavky

V prípade havarijnej situácie podľa **Zákona 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov § 162 odsek 3 zákona**: Ministerstvo zdravotníctva Slovenskej republiky vydá všeobecne záväzný právny predpis, ktorý ustanoví podrobnosti o činnosti radiačnej monitorovacej siete (RMS).

Podľa **vyhlášky 96/2018 Z. z. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky**, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o činnosti radiačnej monitorovacej siete **§ 2 odsek 4 písmeno g**, je Výskumný ústav vodného hospodárstva NRL laboratórium rádiochémie vyhlásená ako pohotovostná zložka RMS.

Norma **STN EN ISO 22017 (75 7631) Kvalita vody. Usmernenie pre rýchle meranie rádioaktivity v jadrovej alebo rádiologickej havarijnej situácii (ISO 22017:2020)** popisuje postup v prípade havarijnej situácie (obr. 2).



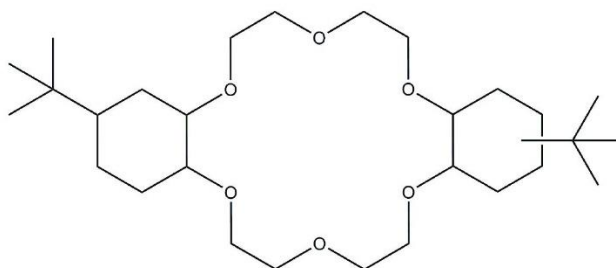
Obr. 2. Postup v prípade jadrovej alebo rádiologickej havarijnej situácie [2]

3. Princíp separácie extrakčnou chromatografiou (EX. CH)

Extrakčný systém pozostáva z troch hlavných komponentov:

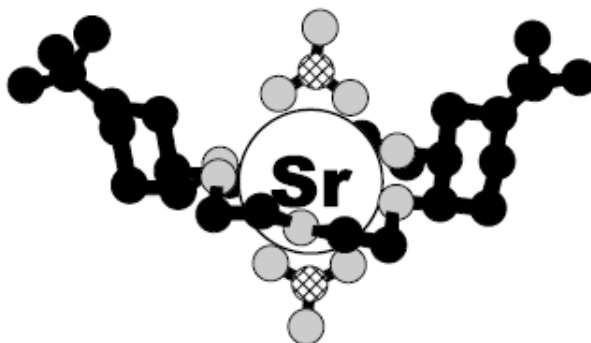
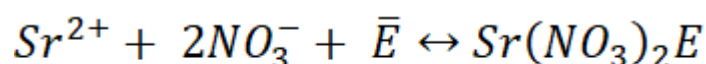
- Inertný nosič
- Stacionárna fáza
- Pohyblivá fáza

Inertný nosič je obvykle z pórovitého organického polymérneho materiálu, ktorého veľkosť sa pohybuje medzi 50–150 μm . Stacionárnu fázu tvoria kvapalné extraktanty, ktoré sú naviazané na inertný nosič. Pohyblivú fázu tvorí obvykle roztok kyseliny (v našom prípade roztok HNO_3) a tiež komplexotvorné činidlá (v našom prípade $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), ktoré sú používané na zlepšenie selektivity alebo odstránenie silno viazaných kovových iónov z extrakčných kolón. Pre separáciu stroncia sa používa sorbent Sr-Resin, vyvinutý spoločnosťou Eichrom Technologies Inc. Ide o crown éter DtBuCH₁₈C₆ (obr. 3) sorbovaný na inertnom polymérnom nosiči.



Obr. 3. Molekula 4,4'(5')-di-(t-butylcyclohexano)-18-crown-6 (crown éter) v 1-oktanolé [3]

Rovnica 2. Rovnováha prebiehajúca v extrakčno-chromatografickom systéme [4]:



Obr. 4. Schematická štruktúra komplexu $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2\bar{E}$ [4]

Tab. 1. Vlastnosti použitého Sr-Resin

Veľkosť kavity	$\approx 2,6 - 3,2 \text{ \AA}$ ($\varnothing \text{ Sr}^{2+} = 2,24 \text{ \AA}$)
Maximálna absorpčná kapacita	$\approx 12 \text{ mg Sr/2 ml sorbentu}$
Veľkosť častíc	$= 100-150 \text{ \mu m}$

4. Experimentálna časť

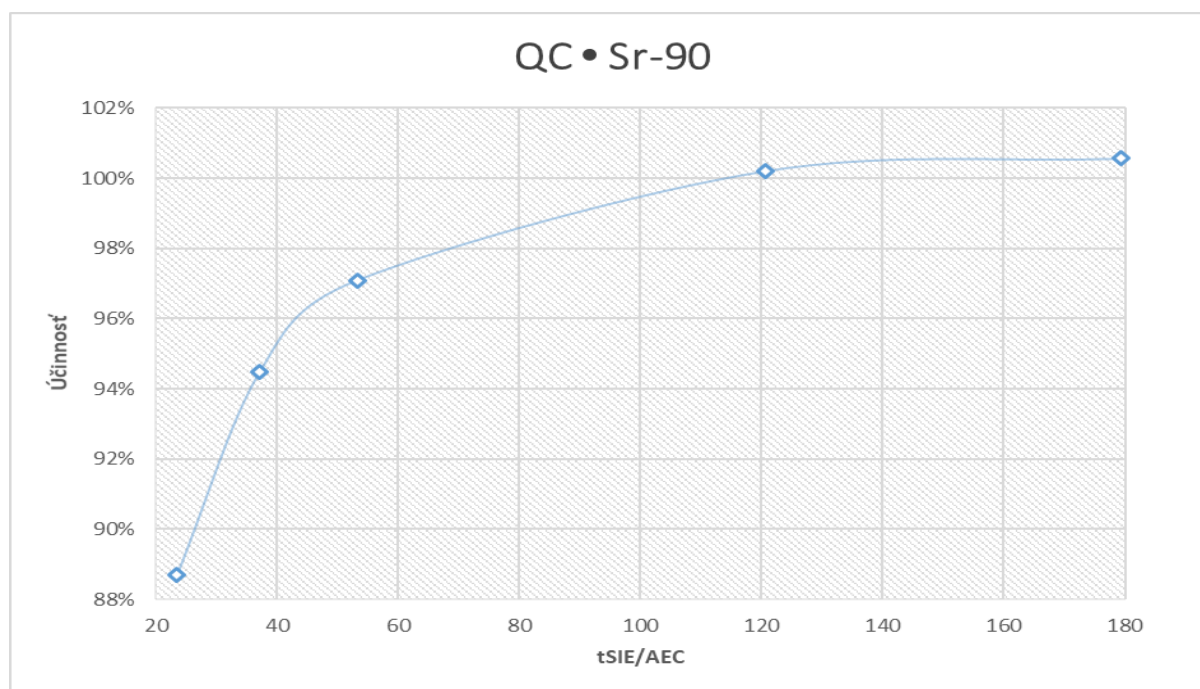
Prvotné meranie bolo zamerané na vytvorenie zhášacej krivky. Pomocou zhášadla CCl_4 sa pripravilo 5 vialiek s 5 rôznymi koncentraciami zhášadla (tab. 2 a obr. 5).

Druhé meranie bolo zamerané na stanovenie MDA (tab. 3, rovnica 2. a obr. 6).

Tretie meranie na výpočet aktivity modelových vzoriek (tab. 4).

Tab. 2. Namerané hodnoty pre zostrojenie zhášacej krivky

Vzorka	Príprava			Výsledky	
	CCl_4 [μl]	$V_{\text{sc UG AB}}$ [ml]	$A_{\text{Sr-90}}$ [Bq]	$t_{\text{SIE/AEC}}$	Účinnosť [%]
QC-001	300	10	111,1	23,5	88,7
QC-002	200	10		37,1	94,5
QC-003	150	10		53,2	97,1
QC-004	50	10		120,6	100,2
QC-005	20	10		179,4	100,6



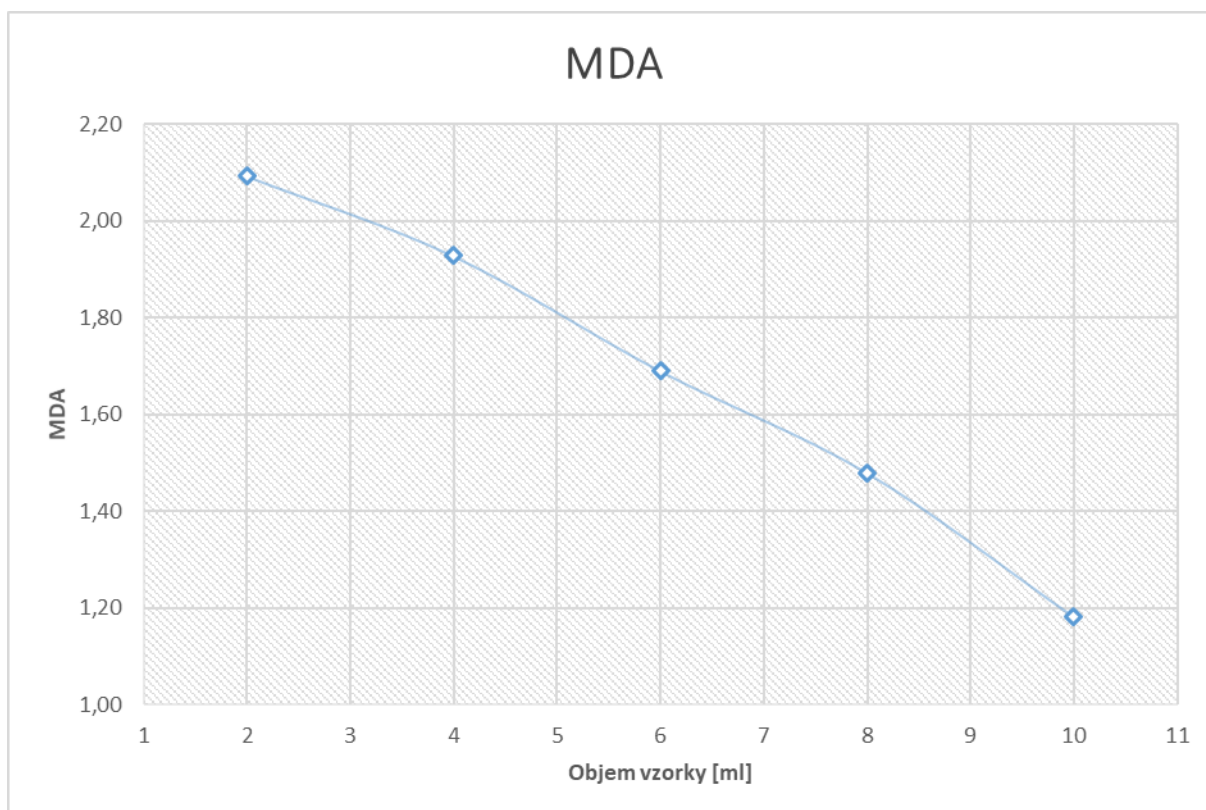
Obr. 5. Zhášacia krivka pre Sr-90

Tab. 3. Namerané hodnoty pre optimalizáciu objemu

Vzorka	Príprava			Výsledky		
	V _{vzorky} [ml]	V _{sc UG AB} [ml]	A _{Sr-90} [Bq]	CPM _{poz} [imp/min]	t [min]	MDA [Bq/l]
FM-001	10	10	111,1	20,08	10	1,18
FM-002	8	12		32,76		1,48
FM-003	6	14		42,91		1,69
FM-004	4	16		56,56		1,93
FM-005	2	18		70,43		2,09

Rovnica 3. Curie formula pre výpočet minimálnej detekovateľnej aktivity [5]:

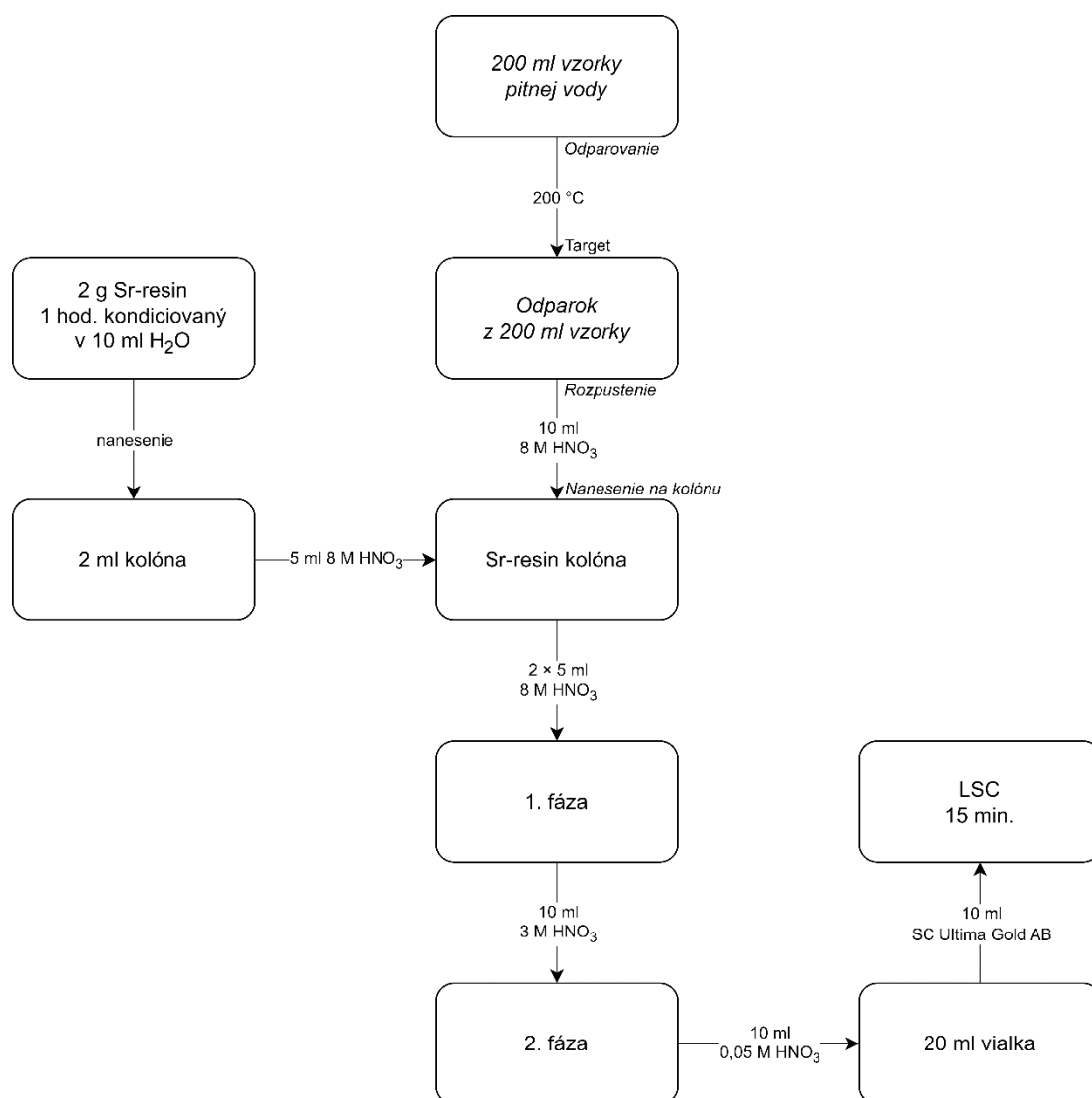
$$MDA = \frac{2,71 + 2 * u * \sqrt{(CPM_{poz} * t) * 2}}{t * 60 * Y_{Sr-85} * V_{vz} * \epsilon}$$



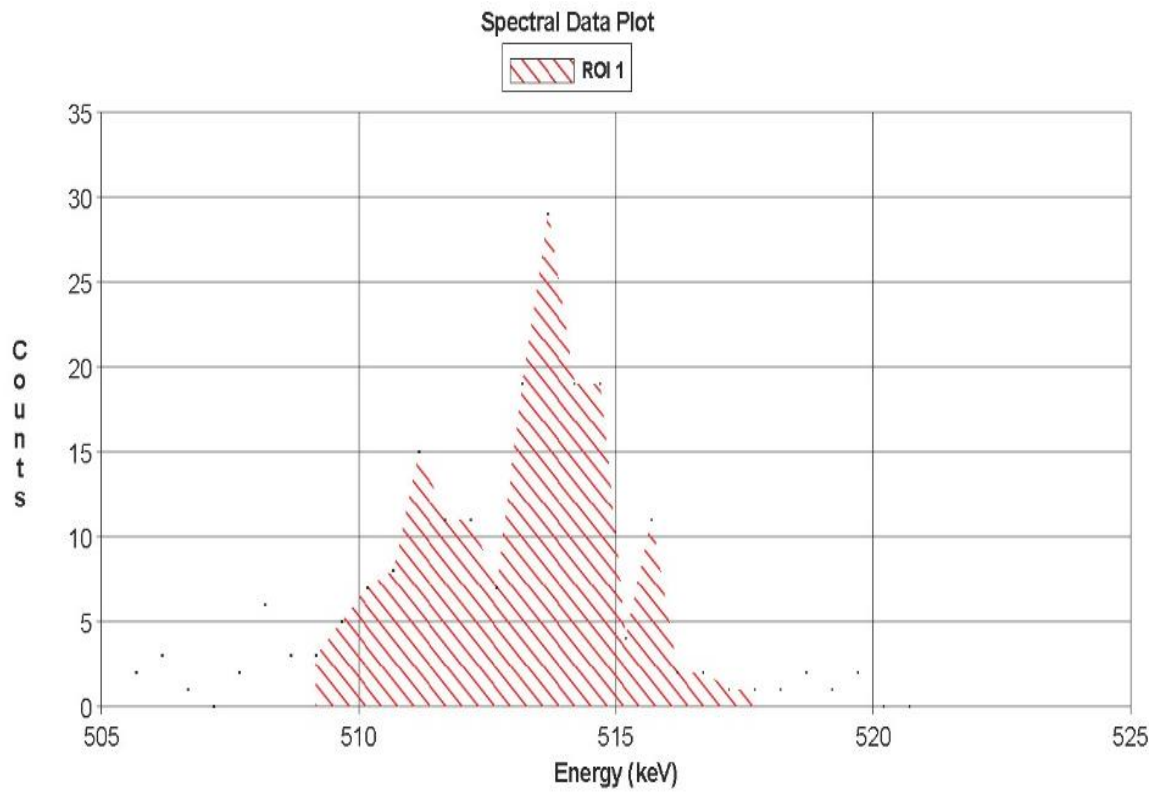
Obr. 6. Minimálna detegovateľná aktivita v závislosti od objemu vzorky vo vialke

Tab. 4. Príprava modelových vzoriek

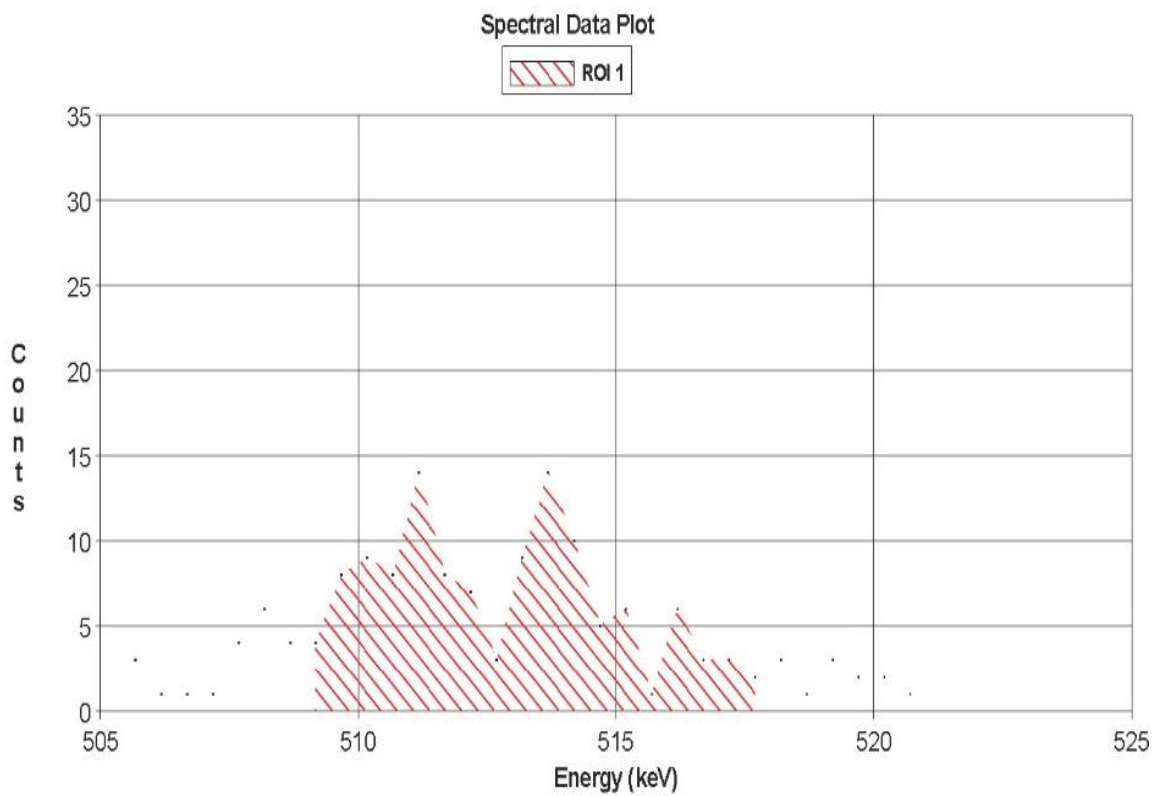
Vzorka	V _{vzorky} [ml]	ASr-90 [Bq/l]	ASr-85 [Bq]	V _{0,05 M HNO₃} [ml]	V _{SC UG AB} [ml]	Príprava
BKG-000	-	-	1	10	10	20ml plastová vialka
SPK-001	200	20	1	-	-	11 kadička
SPK-002	200	50	1	-	-	11 kadička
SPK-003	200	50	1	-	-	11 kadička
SPK-004	200	50	1	-	-	11 kadička
SPK-005	200	100	1	-	-	11 kadička



Obr. 7. Postup procesu extrakčnej chromatografie [6, 7]



Obr. 8. Gamaspektrometria: Spektrum Sr-85 pre pozadie BKG-000



Obr. 9. Gamaspektrometria: Spektrum Sr-85 pre vzorku SPK-003

Výsledky

Aktivity boli vypočítane podľa Rovnice 3 a minimálna detekovateľná aktivita podľa Rovnice 2.

Tab. 5. Vyhodnotenie nameraných výsledkov

Vzorky		LSC				Gamaspektrometria	Vyhodnotenie	
#	Referenčná A_{Sr-90} [Bq/l]	CPM_{brutto} [imp/min]	CPM_{poz} [imp/min]	$T_{vz \& poz}$ [min]	A_{Sr-90} [Bq/l]	Y_{Sr-85} [%]	MDA [Bq/l]	Nameraná A_{Sr-90} [Bq/l]
SPK-001	20	129,44	34,02	15	8,95	49	1,39	18,39
SPK-002	50	282,10	34,02		23,27	52	1,30	44,87
SPK-003	50	299,39	36,62		24,61	46	1,52	53,51
SPK-004	50	294,36	36,62		24,18	51	1,37	47,17
SPK-005	100	436,98	36,62		37,55	38	1,85	98,96
Priemer:						47	1,49	

Rovnica 4. Vzťah na výpočet aktivity:

$$A_{Sr-90} = \frac{CMP_{brutto} - CPM_{poz}}{\varepsilon * V_{vz} * 60 * Y_{Sr-85}}$$

5. Záver

Pri vyhodnocovaní rádiochemického výťažku gamaspektrometrickým stanovením nastal problém s analyzovaním plochy píkovej stopovača Sr-85 vo vzorkách spracovaných extrakčnou chromatografiou (obr. 9). Preto bude potrebné pri ďalších meraniach navýšiť aktivitu stopovača z Sr-85 z pôvodných 1 Bq/vialka na 2 Bq/vialka.

Rádiochemické výťažky boli vyhodnotené na úrovni $\approx 47\%$. Celková doba analýzy bola stanovená na cca 8 hod.

Plánujeme pokračovať v optimalizácii tejto metódy upravením a aplikovaním nasledovných krokov:

- Navýšiť aktivitu stopovača Sr-85 na 2 Bq/vzorka, prípadne zväžiť jeho stanovenie cez ICP MS
- Vytvoriť novú zhasiaciu krivku pre Sr-90 pre väčší koncentračný rozsah CCl_4
- Pri separácii v kroku s 3 M HNO_3 použiť aj kyselinu šťavel'ovú

Literatúra

[1] https://www.researchgate.net/figure/Decay-diagram-of-90-Sr_fig1_333679400

[2] Kvalita vody • Usmernenie pre rýchle merania rádioaktivity v prípade jadrovej alebo rádiologickej havarijnej situácii (ISO 22017: 2020).

- [3] <https://www.eichrom.com/products/sr-resin/>
- [4] https://www.triskem-international.com/scripts/files/5f463447ad4026.94629022/PS_SR-Resin_EN_160927.pdf
- [5] https://www.triskem-international.com/scripts/files/5f463447ad4026.94629022/PS_SR-Resin_EN_160927.pdf
- [6] VACA, F., MANJÓN, G., CUÉLLAR, S., GARCÍA-LEÓN, M. Factor of merit and minimum detectable activity for ^{90}Sr determinations by gas-flow proportional counting or Cherenkov counting, Applied Radiation and Isotopes Volume 55, Issue 6, November 2001, Pages 849–851.
- [7] Kvalita vody • Stroncium-90 a stroncium-89. Skúšobné metódy využívajúce kvapalinovú scintilačnú spektrometriu alebo proporcionálny detektor (ISO 13160: 2021).
- [8] https://www.eichrom.com/wp-content/uploads/2018/02/srw01-15_sr-water.pdf

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF A RAPID METHOD FOR THE DETERMINATION OF STRONTIUM-90 IN WATER IN THE EVENT OF AN EMERGENCY SITUATION

Keywords: Emergency situation; Sr-90; Sr-85; extraction chromatography; Sr-Resin; LSC; gamma spectrometry

The article deals with preparation of the rapid method for the determination of Sr-90 in water in the case of emergency situation. It describes the principle of Sr-90 separation by extraction chromatography. The experimental part deals with the initial settings for measurement by a liquid scintillation counter (LSC) and subsequently with the measurement of the model samples with a concentration range of 50–100 Bq/l. Describes the evaluation of separation efficiency, which was analyzed by gamma spectrometry using the added tracer Sr-85.

STANOVENIE IZOTOPOV URÁNU VO VZORKÁCH VÔD A SEDIMENTOV DUNAJA

Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová, Mária Vojtková

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava
e-mail: gabriela.wallova@vuvh.sk.

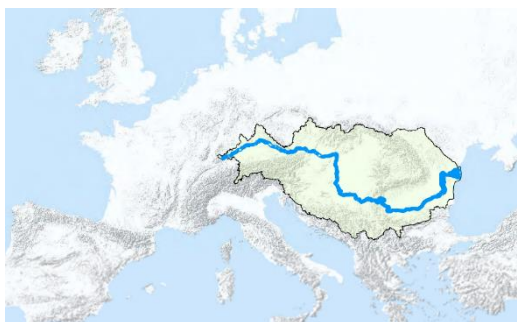
Kľúčové slová: urán; sedimenty; Dunaj

Abstrakt

Medzinárodná komisia pre ochranu Dunaja je organizátorom Spoločných prieskumov Dunaja (JDS). Príspevok informuje o plánovanej účasti laboratórií rádiochémie Výskumného ústavu vodného hospodárstva v piatom Spoločnom prieskume Dunaja – JDS 5.

1. Úvod

Dunaj je po Volge druhá najdlhšia rieka Európy. Pramení v Nemecku (Čierny les) a ústi do Čierneho mora. Jeho dĺžka je 2 857 km. Rieka Dunaj má viac ako 300 prítokov. Povodie Dunaja zahŕňa 19 krajín, ktorými Dunaj preteká, alebo nimi tečú prítoky, ktoré sa vlievajú do Dunaja. Na obr. 1 je znázornené povodie Dunaja a na obr. 2 povodie Dunaja s prítokmi.



Obr. 1. Povodie Dunaja



Obr. 2. Povodie Dunaja s prítokmi

Dunaj sa charakterizuje nielen ako rieka, ale aj ako chránená krajinná oblasť, ktorá vytvára podmienky na uchovanie pôvodného živočíšstva tejto oblasti [1]. Má vysokú environmentálnu aj ekonomickú a sociálnu hodnotu. Dunaj vo veľkej miere slúži ako zdroj pitnej, úžitkovej a závlahovej vody. Jeho vody sa využívajú v odvetviach poľnohospodárstva, priemyslu, v rybolove, v cestovnom ruchu a na rekreáciu. Rieka Dunaj slúži aj na výrobu energie, plavbu a konečnú likvidáciu odpadových vôd. Dunaj ako jedna z najdôležitejších riek v Európe je hlavným recipientom odpadových vôd z viacerých jadrových energetických zariadení. Už pri vstupe na územie Slovenska je Dunaj ovplyvnený odpadovými vodami jeho prítokov z jadrových elektrární (ďalej „JE“). V Nemecku je to JE Gundremmingen (rieka Dunaj) a JE Isar (prítok rieky Isar). V Rakúsku sú v prevádzke tri reaktory používané na výskum. V Českej republike je len JE Dukovany (prítok rieky Morava) a na našom území JE Jaslovské Bohunice (prítok rieky Váh) a JE Mochovce (prítok rieky Hron) [2]. Monitorovanie Dunaja preto zohráva kľúčovú úlohu pre stabilitu kvality životného prostredia. Voda v určitej miere obsahuje množstvo rádioaktívnych látok, ktoré nie sú vo všeobecnosti viazané na molekuly vody (s výnimkou trícia), ale na soli vo vode rozpustené, na suspendované látky a vo vode sa nachádzajúcej flóry a fauny [3].

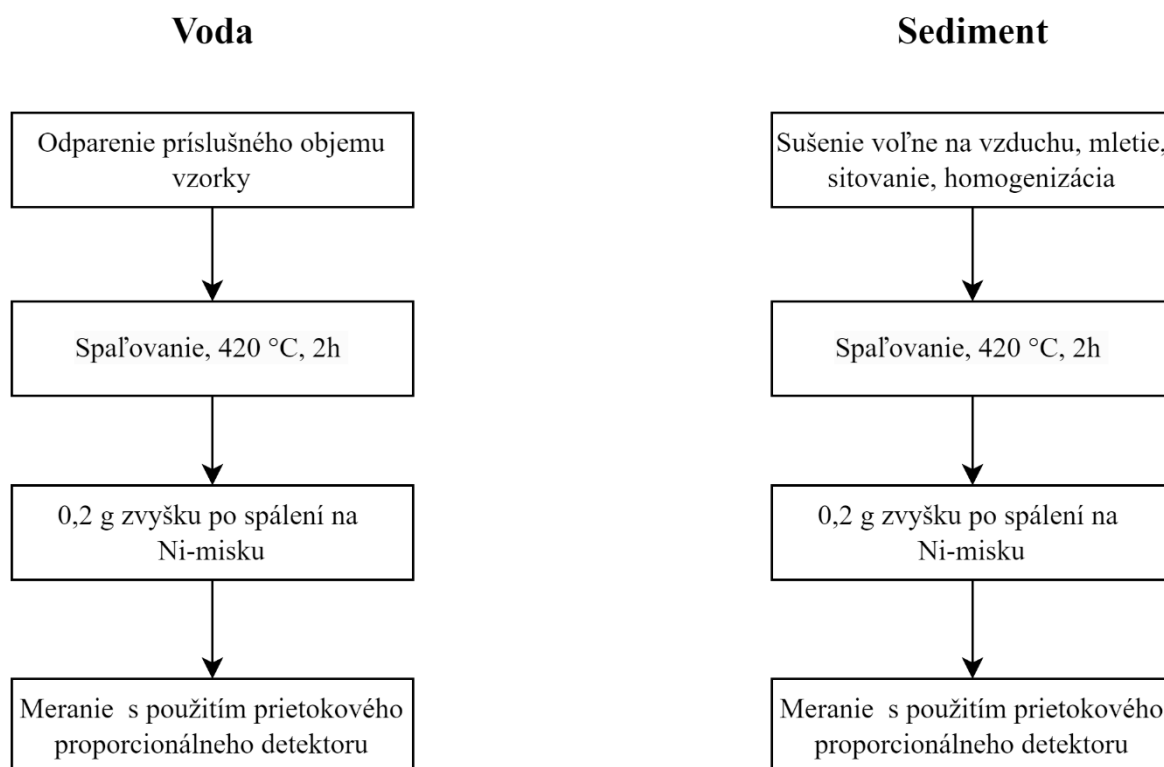
Medzinárodná komisia pre ochranu Dunaja (ICPDR) je platforma pre implementáciu Dohovoru o ochrane Dunaja, Rámcovej smernice EÚ o vode a Smernice EÚ o povodniach v povodí Dunaja. Pracuje na zabezpečení udržateľného a rovnocenného využívania vôd v celom povodí Dunaja. ICPDR je vlastníkom rozsiahlych databáz o Dunaji. Z celkového počtu 19 krajín, ktorými Dunaj preteká, alebo nimi tečú prítoky, ktoré sa vlievajú do Dunaja, len 13 krajín, ktoré tvoria povodie Dunaja sú plnoprávnymi zmluvnými stranami ICPDR. Hlavnými cieľmi ICPDR je dosiahnuť čistejší, zdravší a bezpečnejší Dunaj. ICPDR je organizátorom Spoločných dunajských prieskumov. Jedná sa o najkomplexnejší výskum v oblasti monitorovania povrchových vôd na svete, ktorý sa koná raz za šesť rokov. Účelom JDS je harmonizovať postupy monitorovania vody v podunajských krajinách na podporu Rámcovej smernice o vode, ktorá zaväzuje členské štáty EÚ k dosiahnutiu dobrého stavu všetkých vôd.

2. Piaty Spoločný dunajský prieskum – JDS 5

Národné referenčné laboratórium pre oblasť vôd na Slovensku sa pravidelne zúčastňuje na Spoločných prieskumoch Dunaja. Doteraz sa uskutočnili štyri Spoločné dunajské prieskumy v rokoch 2001, 2007, 2013 a 2019. Laboratórium rádiochémie Výskumného ústavu vodného hospodárstva (VÚVH) bolo prizvané do 5. etapy Spoločných dunajských prieskumov (JDS 5), ktoré sa uskutoční v roku 2025. Úlohou laboratória rádiochémie VÚVH bude stanovenie ^{238}U , ^{234}U , sumárnej alfa a beta aktivity vo vzorkách vôd a sedimentov Dunaja. Vzorky budú odoberané na 32 odberových miestach pozdĺž Dunaja, od prameňa až po deltu v Čiernom mori. Odbery sú plánované na tri kampane – jar, leto a jeseň 2025.

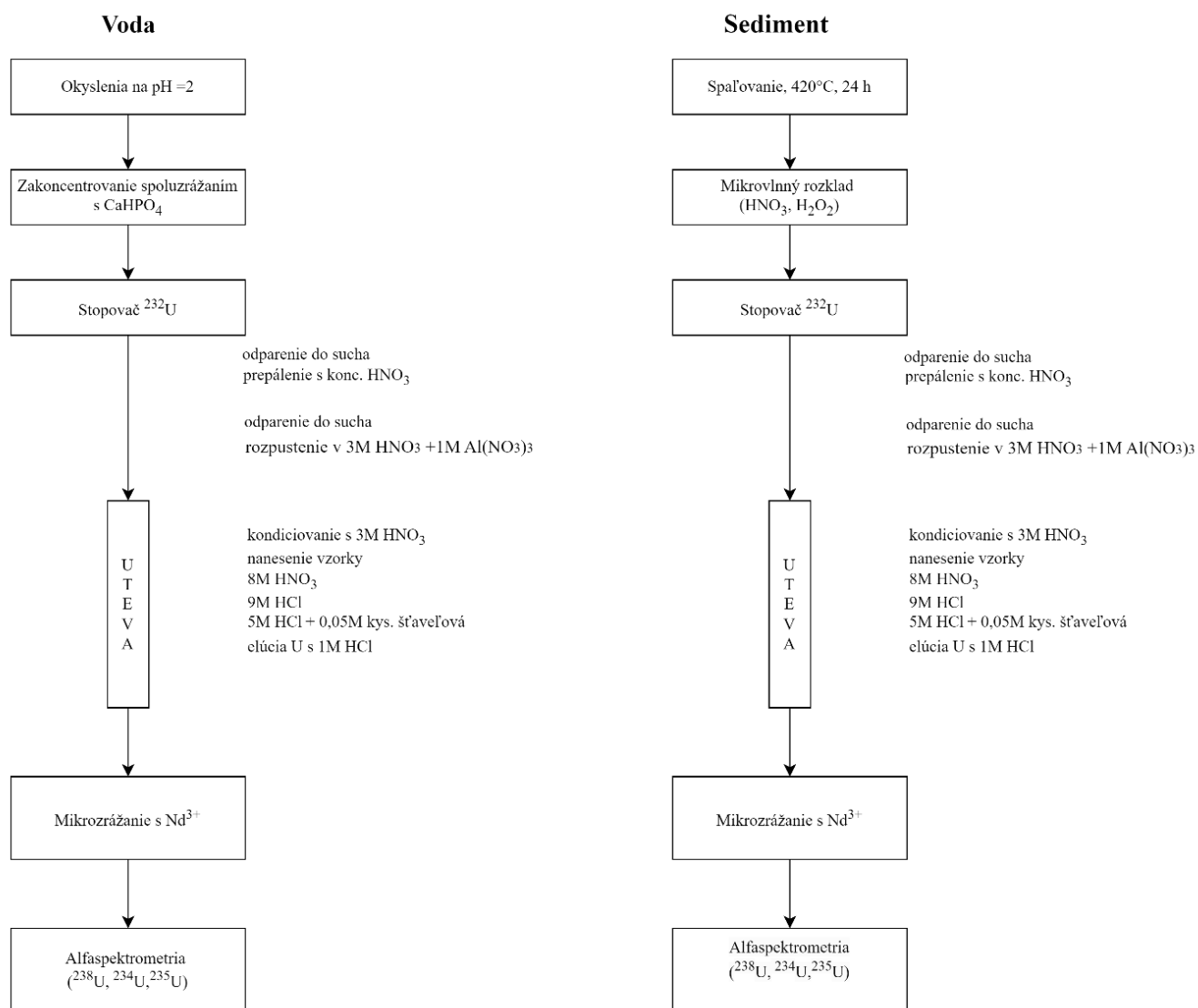
3. Použitie rádioanalytické metódy

Stanovenie sumárnej alfa a beta aktivity vo vode a sedimentoch bude prebiehať podľa *obr. 3*



Obr. 3. Stanovenie sumárnej alfa a beta aktivity vo vode a sedimentoch

Stanovenie izotopov ^{238}U a ^{234}U vo vode a sedimentoch bude prebiehať podľa obr. 4



Obr. 4. Stanovenie objemovej aktivity ^{238}U a ^{234}U vo vode a sedimentoch

4. Záver

Národné referenčné laboratórium pre oblasť vôd na Slovensku sa pravidelne zúčastňuje na Spoločných prieskumoch Dunaja. Doteraz sa uskutočnili štyri Spoločné dunajské prieskumy v rokoch 2001, 2007, 2013 a 2019. Laboratórium rádiochémie VÚVH bolo prizvané do 5. etapy Spoločných dunajských prieskumov. V rámci 5. etapy plánujeme stanovovať ^{238}U , ^{234}U , sumárna alfa a beta aktivita vo vodách a sedimentoch. Analyzované budú vzorky z 32 odberových miest. Poznatky o pomere aktivity $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ v ekosystéme poskytujú informácie o mechanizmoch a procesoch transportu a pôvodu uránu. Získané východiskové údaje by mohli byť referenčnými údajmi pre budúce výskumy súvisiace s rádiologickým mapovaním alebo monitorovaním životného prostredia v oblasti.

Literatúra

[1] WALLOVÁ, G., KULICHOVÁ, Z., BELANOVÁ, A. Monitorovanie rádionuklidov v povrchových vodách, ISBN 978-80-89062-97-3, s. 177, 2014.

[2] VRŠKOVÁ, M., BELANOVÁ, A., KULICHOVÁ, Z. Monitorovanie Dunaja a jeho prítokov, 2007.

[3] WALLOVÁ, G., MARIACA, E., ZVACHOVÁ, S., PETRÁNOVÁ, I. Monitorovanie rádionuklidov v hraničných tokoch Slovenska, 2022.

DETERMINATION OF URANIUM ISOTOPES DANUBE WATER AND SEDIMENT SAMPLES

Keywords: Uranium; sediments; Danube

The International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR) is the organizer of the Joint Danube Surveys (JDS). The article informs about the planned participation of the radiochemistry laboratories of the Water Research Institute in the fifth Joint Danube Survey – JDS 5.

VYHODNOCENÍ MEZILABORATORNÍHO POROVNÁNÍ U VZORKU VODY ODEBRANÉHO V RÁMCI KONZULTAČNÍCH DNÍ 2024

Barbora Sedlářová, Irena Pohlová

*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 30, 160 00 Praha 6
e-mail: barbora.sedlarova@vuv.cz, irena.pohlova@vuv.cz*

Klíčová slova: celková objemová aktivita alfa; celková objemová aktivita beta; podzemní voda; mezilaboratorní porovnání

Abstrakt

V rámci Konzultačních dní byl odebrán vzorek podzemní vody pro mezilaboratorní porovnání zkoušky na stanovení celkové objemové aktivity alfa, beta a beta po odečtení příspěvku draslíku-40.

1. Úvod

Porovnávací měření uspořádal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. (VÚV TGM). Hodnocenými ukazateli byla celková objemová aktivita alfa (COAA), celková objemová aktivita beta (COAB) a celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku draslíku-40 (COAB-40K). Přírodní vzorek vody byl odebrán v rámci XXX. Konzultačních dní pro pracovníky radiologických vodohospodářských laboratoří. Porovnávacího měření se zúčastnilo celkem osm laboratoří.

Pro potřeby vyhodnocení výsledků byl každé z laboratoří přiřazen číselný kód v rozmezí od L1 do L8.

2. Příprava vzorku

Vzorek podzemní vody byl postupně odebírán do jednotlivých vzorkovnic v průběhu 40 minut dne 9. října 2024. Vzorkovnice byly polyethylenové lahve o různém objemu 2–25 litrů. Vzorkovnice byly plněny se vzduchovou bublinou a byly okyseleny až po přijetí do laboratoře kyselinou dusičnou na pH ~ 2.

Stanovení COAA provedly laboratoře podle ČSN 75 7611 [1] a stanovení COAB podle ČSN 75 7612 [2] ve dnech v rozmezí 18.–25. října 2024.

3. Zpracování výsledků

Hodnocení úspěšnosti laboratoří bylo převzato z hodnocení, které provádí ASLAB Středisko pro posuzování laboratoří při VÚV TGM v rámci Zkoušek způsobilosti OR-RA pomocí z-skóre. To je definováno dle ISO 13 528 [3] a „The International Harmonized Protocol For The Proficiency Testing Of Analytical Chemistry Laboratories“ (2006).

$$\text{z-skóre} = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sigma_{pt}}$$

kde: x_{pt} je vztažná hodnota
 x_i výsledek účastníka

$$\sigma_{pt} \quad \text{směrodatná odchylka}$$

$$\sigma_{pt} = \frac{u_{ref}}{k}$$

kde: u_{ref} je toleranční mez
 k koeficient pokrytí 95,5 % při $k = 2$

Za úspěšné jsou považovány výsledky, jejichž hodnoty z-skóre byly v intervalu $\langle -2, 2 \rangle$.

ζ -skóre je definováno dle ISO 13 528:2015:

$$\zeta\text{-skóre} = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sqrt{u_{x_i}^2 + u_{x_{pt}}^2}}$$

kde: x_i je výsledek účastníka
 x_{pt} vztažná hodnota
 u_{pt} standardní nejistota vztažné hodnoty
 u_{x_i} standardní nejistota výsledku účastníka

Za úspěšné jsou považovány výsledky, jejichž hodnoty ζ -skóre byly v intervalu $\langle -2, 2 \rangle$. Toleranční mez (R) pro COAA, COAB a COAB-40K je 30 %. Kritéria pro vyhodnocení úspěšnosti jsou: $R \leq 30$ % vyhovuje; $R \leq 40$ % vyhovuje s výhradou; $R > 40$ % nevyhovuje.

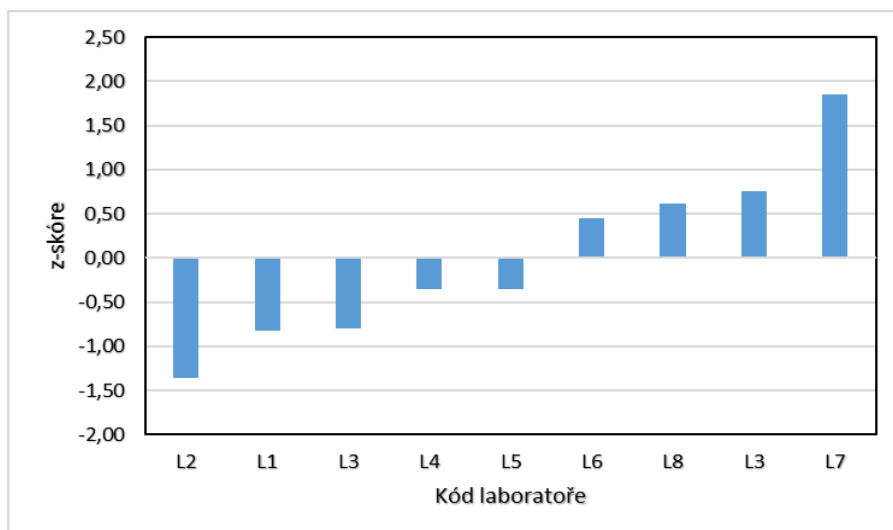
4. Výsledky

Odlehlost výsledků byla ověřena Deanovým-Dixonovým testem. Nebyla stanovena žádná odlehlá hodnota pro stanovení COAA, COAB a COAB-40K. Výsledky naměřených hodnot pro stanovení COAA jsou uvedeny v *tab. 1*. Průměrná hodnota COAA je 0,405 Bq/l, medián 0,390 Bq/l, v rozmezí hodnot (0,347–0,485) Bq/l. Na *obr. 1* je uveden graf z-skóre COAA a na *obr. 2* je zobrazen graf rozšířené nejistoty pro měření COAA. Laboratoř L3 uvedla výsledek COAA stanovený metodou scintilačního srážení se ZnS(Ag) a měřením vyžíhaného odparku pomocí proporcionálního detektoru. Oba výsledky byly zahrnuty do vyhodnocení.

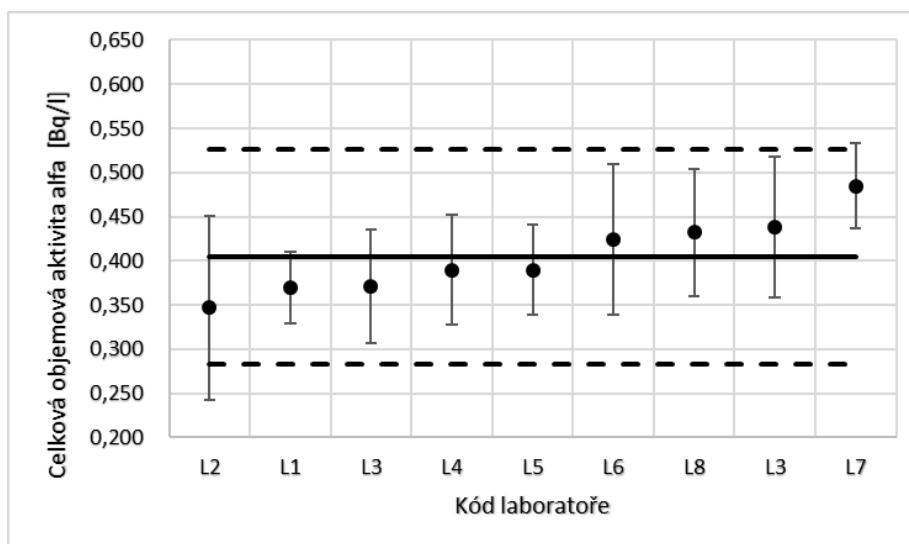
Tab. 1. Výsledky celkové objemové aktivity alfa

Laboratoř	COAA ± nejistota [Bq/l]		z-skóre	ζ -skóre	R [%]
L2	0,347	0,104	-1,35	-0,53	-17,8
L1	0,370	0,041	-0,82	-0,35	-12,4
L3*	0,371	0,064	-0,80	-0,16	-8,4
L4	0,390	0,062	-0,35	-0,07	-3,8
L5	0,390	0,051	-0,35	-0,07	-3,8
L6	0,425	0,085	0,44	0,08	4,6
L8	0,432	0,072	0,62	0,12	6,6
L3**	0,438	0,080	0,76	0,15	8,1
L7	0,485	0,048	1,86	0,37	19,7

Poznámka: *scintilační metodou; **měřením vyžíhaného odparku proporcionálním detektorem



Obr. 1. Graf z-skóre pro měření celkové objemové aktivity alfa

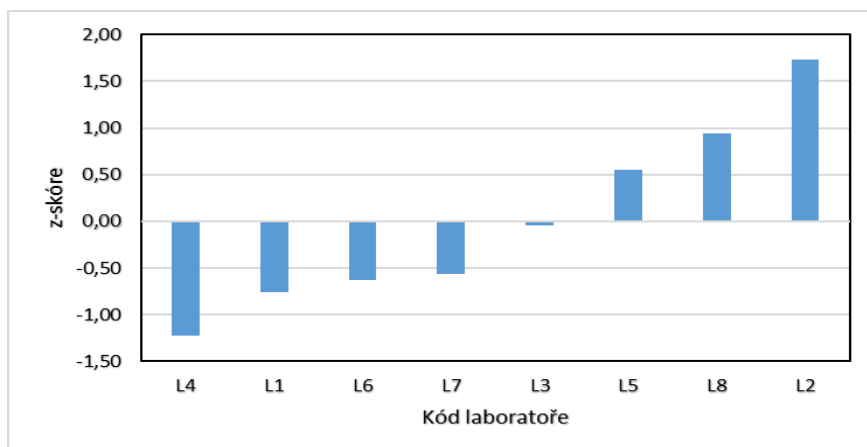


Obr. 2. Graf rozšířené nejistoty pro měření celkové objemové aktivity alfa

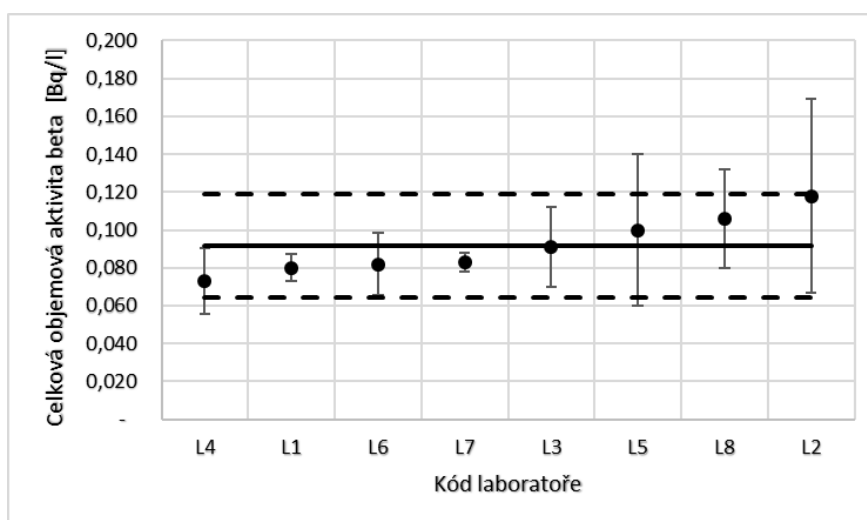
Výsledky naměřených hodnot pro stanovení COAB jsou uvedeny v tab. 2. Průměrná hodnota COAB je 0,092 Bq/l, medián 0,087 Bq/l, v rozmezí hodnot (0,073–0,118) Bq/l. Na obr. 3 je zobrazen graf z-skóre COAB a na obr. 4 graf rozšířené nejistoty pro měření COAB.

Tab. 2. Výsledky celkové objemové aktivity beta

Laboratoř	COAB ± nejistota [Bq/l]		z-skóre	ζ-skóre	R [%]
L4	0,073	0,018	-1,22	-0,24	-20,3
L1	0,080	0,007	-0,76	-0,15	-12,7
L6	0,082	0,016	-0,63	-0,12	-10,5
L7	0,083	0,005	-0,57	-0,11	-9,4
L3	0,091	0,021	-0,04	-0,01	-0,7
L5	0,100	0,040	0,55	0,10	9,1
L8	0,106	0,026	0,94	0,18	15,7
L2	0,118	0,051	1,73	0,28	28,8



Obr. 3. Graf z-skóre pro měření celkové objemové aktivity beta

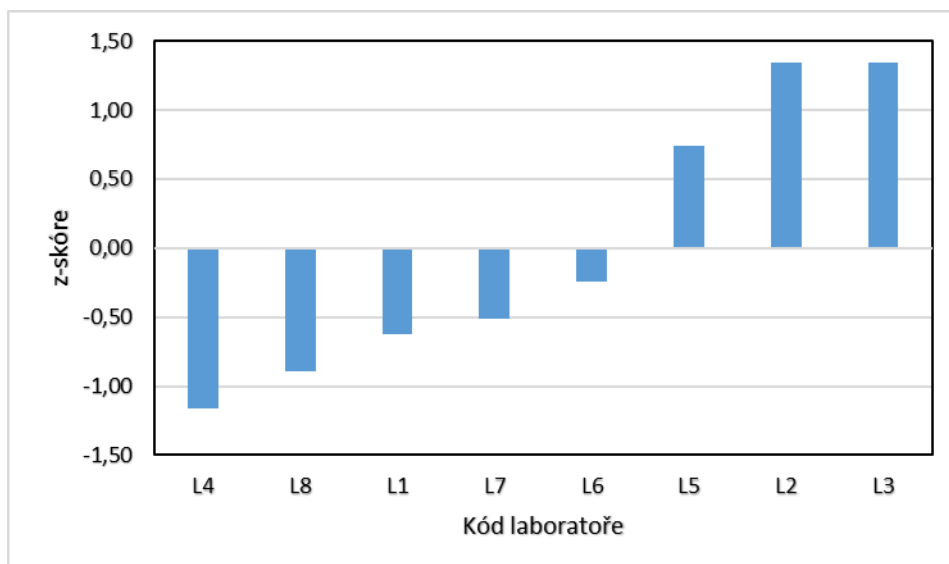


Obr. 4. Graf rozšířených nejistot pro měření celkové objemové aktivity beta

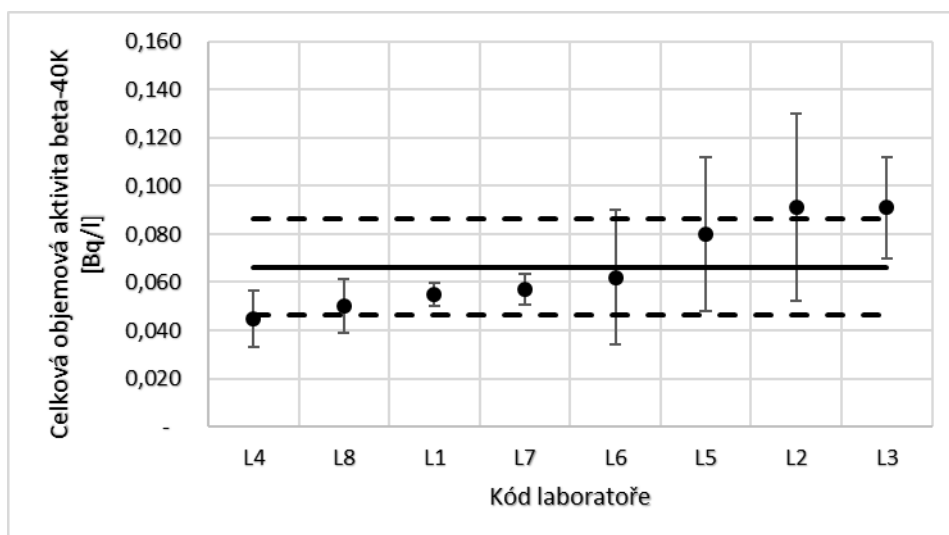
Výsledky naměřených hodnot pro stanovení COAB-40K jsou uvedeny v *tab. 3*. Průměrná hodnota COAB je 0,066 Bq/l, medián 0,060 Bq/l, v rozmezí hodnot (0,045–0,091) Bq/l. V *tab. 3* jsou dále znázorněny hodnoty hmotnostní koncentrace draslíku a objemové aktivity draslíku-40 pro jednotlivá stanovení. Na *obr. 5* je zobrazen graf z-skóre COAB-40K a na *obr. 6* graf rozšířené nejistoty pro měření COAB-40K.

Tab. 3. Výsledky celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku draslíku-40

Laboratoř	COAB-40K±nejistota [Bq/l]		z-skóre	ζ-skóre	R [%]	K [mg/l]	K-40 [Bq/l]
	COAB-40K	nejistota					
L4	0,045	0,012	-1,16	-0,33	-32,2	1,00	0,028
L8	0,050	0,011	-0,89	-0,25	-24,7	0,93	0,026
L1	0,055	0,005	-0,62	-0,18	-17,1	0,89	0,025
L7	0,057	0,007	-0,51	-0,15	-14,1	0,86	0,024
L6	0,062	0,028	-0,24	-0,06	-6,6	0,71	0,020
L5	0,080	0,032	0,74	0,19	20,5	0,71	0,020
L2	0,091	0,039	1,34	0,33	37,1	0,96	0,027
L3	0,091	0,021	1,34	0,37	37,1	< 1	< 0,028



Obr. 5. Graf z-skóre pro měření celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku draslíku-40



Obr. 6. Graf rozšířených nejistot pro měření celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku draslíku-40

5. Závěr

V rámci XXX. Konzultačních dní pro pracovníky radiologických vodohospodářských laboratoří byl odebrán vzorek podzemní vody pro mezilaboratorní porovnání ukazatelů celkové objemové aktivity alfa, beta a beta po odečtení příspěvku draslíku-40. Celkem se porovnání zúčastnilo osm laboratoří.

Úspěšnost laboratoří v měření celkové objemové aktivity alfa a celkové objemové aktivity beta byla 100 %. U stanovení celkové objemové aktivity beta po odečtení draslíku-40 tři laboratoře nesplnily toleranční mez 30 %. U těchto laboratoří výsledky celkové objemové aktivity beta po odečtení draslíku-40 s ohledem na nejistotu měření vyhovují s výhradou. U analyzovaného vzorku se celková objemová aktivita beta blížila hodnotě nejmenší detekovatelné aktivity a také koncentrace draslíku byla na úrovni meze stanovitelnosti. Proto pro mezilaboratorní porovnání pro ukazatel celkové objemové aktivity beta po odečtení

draslíku-40 by bylo vhodnější příště zvolit vzorek vody s vyšší aktivitou beta a hmotnostní koncentrací draslíku.

Literatura

- [1] ČSN 75 7611 Kvalita vod – Stanovení celkové objemové aktivity alfa, ÚNMZ, 2021.
- [2] ČSN 75 7612 Kvalita vod – Stanovení celkové objemové aktivity beta, ÚNMZ, 2020.
- [3] ISO 13528:2005 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.

PROFICIENCY TEST KD2024

Keywords: Total alpha volumetric activity; total beta volumetric activity; groundwater; interlaboratory comparison

As part of the seminar KD2024, a groundwater sample was sampling for interlaboratory comparison of tests for determining the total volumetric activity of alpha, beta and beta after subtracting the contribution of potassium-40.

**XXX. KONZULTAČNÍ DNY PRO PRACOVNÍKY VODOHOSPODÁŘSKÝCH
RADIOLOGICKÝCH LABORATOŘÍ**

Termín konání: 8.–10. října 2024

Sborník konference, kolektiv autorů

Počet stran: 62

Termín vydání: prosinec 2024

Vydal: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha 2024

1. vydání

ISBN 978-80-88484-11-0