

# **XXIX. KONZULTAČNÉ DNI PRACOVNÍKOV VODOHOSPODÁRSKYCH RÁDIOLOGICKÝCH LABORATÓRIÍ**

Editor: RNDr. Gabriela Wallová, PhD.  
Recenzent: doc. RNDr. Silvia Dulanská, PhD.

**ISBN 978 – 80 – 89740 – 38 – 3**



Vydal: Výskumný ústav vodného hospodárstva



## Obsah

|  |    |
|--|----|
| <i>Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová</i><br>MEDZILABORATÓRNA POROVNÁVACIA SKÚŠKA STANOVENIA CELKOVEJ<br>OBJEMOVEJ AKTIVITY ALFA V PRÍRODNEJ VZORKE VODY.....  | 05 |
| <i>Barbora Sedlářová, Irena Pohlová</i><br>HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK ZPŮSOBILOSTI OR-RA-23.....   | 08 |
| <i>Eva Juranová, Diana Marešová, Barbora Sedlářová, Josef V. Datel</i><br>NÁSTROJ PRO HODNOCENÍ ZRANITELNOSTI VODÁRENSKÉHO OBJEKTU K<br>PRŮNIKU RADIOAKTIVNÍCH LÁTEK.....  | 09 |
| <i>Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová</i><br>VALIDÁCIA A VERIFIKÁCIA SKÚŠOBNÝCH METÓD V RÁDIOCHEMICKÝCH<br>LABORATÓRIÁCH.....  | 13 |
| <i>Michal Novák, Barbora Sedlářová, Diana Marešová</i><br>ČSN 75 7623 KVALITA VOD – STANOVENÍ RADIA 226 EMANOMETRICKY BEZ<br>KONCENTROVÁNÍ.....  | 18 |
| <i>Barbora Sedlářová, Michal Novák</i><br>VYHODNOCENÍ VLIVU PŘÍTOMNOSTI VYŠŠÍCH OBJEMOVÝCH AKTIVIT<br>RADONU PŘI STANOVENÍ RADIA 226 EMANOMETRICKY BEZ KONCENTROVÁNÍ<br>.....  | 19 |
| <i>Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová</i><br>VPLYV POZADIA NA STANOVENIE NÍZKYCH AKTIVÍT TRÍCIA VO VODÁCH.....   | 21 |
| <i>Mariaca, E., Wallová, G., Petránová, I.</i><br>SLEDOVANIE OBSAHU TRÍCIA V ZRÁŽKACH.....   | 25 |
| <i>Diana Marešová, Barbora Sedlářová</i><br>SPOLUPRÁCE SUBJEKTŮ V PŮSOBNOSTI MŽP NA MONITOROVÁNÍ RADIAČNÍ<br>SITUACE: 2004 – 2022.....   | 37 |
| <i>Barbora Sedlářová, Diana Marešová</i><br>INFORMACE KE KURZŮM ZVLÁŠTNÍ ODBORNÉ ZPŮSOBILOSTI V NÁVAZNOSTI<br>NA MĚŘENÍ A HODNOCENÍ PŘÍTOMNOSTI PŘÍRODNÍCH RADIONUKLIDŮ V<br>PITNÉ VODĚ A RADIOAKTIVNÍ LÁTKY UVOLŇOVANÉ Z PRACoviŠTĚ NORM...45 |    |
| <i>Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová</i><br>ODBER VZORIEK PRE RÁDIOCHEMICKÚ ANALÝZU.....  | 47 |



# MEDZILABORATÓRNA POROVNÁVACIA SKÚŠKA STANOVENIA CELKOVEJ OBJEMOVEJ AKTIVITY ALFA V PRÍRODNEJ VZORKE VODY

**Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová**

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

*KLúčové slová: medzilaboratórne porovnanie, celková objemová alfa aktivita, vzorka vody*

*Cieľom príspevku je vyhodnotenie medzilaboratórneho porovnania v rámci ktorého bol hodnotený parameter celková objemová aktivita alfa.*

## 1. Úvod

Výskumný ústav vodného hospodárstva usporiadal medzilaboratórne porovnávacie meranie (MPS), v rámci ktorého bol hodnotený jeden parameter: celková objemová aktivita alfa. Vzorky vody boli odoberané v rámci XXIX. Konzultačných dní pre pracovníkov rádiologických vodohospodárskych laboratórií, ktoré sa uskutočnili v dňoch 18. až 21. septembra v Ružomberku. Porovnávaná sa zúčastnilo 8 laboratórií:

- INGEO-ENVILAB s.r.o., ŽILINA
- Povodí Labe s.p., Hradec Králové
- Povodí Moravy s.p., Brno
- Severoslovenské vodárne a kanalizácie a.s., Horný Hričov
- VÚV T.G.M. v.v.i., Praha
- VÚVH, Bratislava
- VVS a.s., Košice
- ZsVS, a.s., Nitra

Pre potreby vyhodnotenia výsledkov bol každému laboratóriu priradený číselný kód od 1 do 9. Priradenie nesúviselo s vyššie uvedeným abecedným poradím.

## 2. Odber vzorky

Vzorky boli odobraté dňa 21. septembra 2023 zo studničky označenej ako 278C +9V, Ružomberok – Biely potok. Studnička sa nachádzala pri miestnej komunikácii vedúcej z Bieleho Potoka smerom k osade Vlkolínec. Teplota vzduchu bola 16,5 °C, teplota vody 12 °C. Pracovníci jednotlivých laboratórií v náhodnom poradí odoberali vodu do vzorkovníc, ktoré si sami priniesli zo svojich laboratórií.

### 3. Metódy merania

Účastníci MPS boli vyzvaní, aby stanovili objemovú aktivitu alfa pomocou štandardných metód používaných v ich laboratóriu a aby pri spracovaní postupovali rovnakým spôsobom ako pri bežných vzorkách. Spolu s výsledkami účastníci zaslali aj vyplnený dotazník, na základe ktorého sme vyhodnotili celkové výsledky tohto MPS.

Pre stanovenie celkovej objemovej aktivity alfa všetky laboratória použili normované metódy STN 75 7611 (1), respektíve ČSN 75 7611 (2). Jedno laboratórium zaslalo dva výsledky, jeden s použitím metódy merania zmesi odparku vody so scintilátorom ZnS(Ag) (scintilačná metóda) a jeden s použitím metódy merania zvyšku po vyžíhaní okienkovým proporcionálnym detektorom (proporcionálna metóda). Zúčastnené laboratória na meranie celkovej objemovej aktivity alfa použili rôzne prístroje: LB 4200, EMS3, EMS 6, NRR 610.

### 4. Výsledky

V Tabuľke č. 1 sú uvedené výsledky celkovej objemovej aktivity alfa jednotlivých laboratórií. Všetky laboratória stanovili celkovú objemovú aktivitu alfa pod úrovňou detekčných limitov. Z tohoto dôvodu neboli výsledky jednotlivých laboratórií štatisticky hodnotené. Pre celkovú objemovú aktivitu alfa nebolo možné stanoviť referenčnú hodnotu, ako priemer všetkých výsledkov.

**Tabuľka č. 1:** Výsledky celkovej objemovej aktivity alfa jednotlivých laboratórií.

| Kód laboratória | objemová aktivita alfa (Bq/l) |
|-----------------|-------------------------------|
| 1               | < 0,04                        |
| 2               | < 0,04                        |
| 3               | < 0,02                        |
| 4               | < 0,05                        |
| 5               | < 0,03                        |
| 6               | < 0,04                        |
| 7               | < 0,04                        |
| 8               | < 0,04                        |

### 5. Záver

V rámci XXIX. Konzultačných dní pre pracovníkov rádiologických vodohospodárskych laboratórií jednotliví účastníci odobrali vzorku podzemnej vody do vlastných vzorkovníc na stanovenie celkovej objemovej aktivity alfa. Celkovo sa zúčastnilo 8 laboratórií.

Vzhľadom na to, všetky laboratória stanovili celkovú objemovú aktivitu alfa pod úrovňou detekčných limitov, pre tento parameter nebolo možné stanoviť referenčnú hodnotu. Na základe získaných údajov možno konštatovať, že všetky laboratória boli úspešné.

## 6. LITERATÚRA

- [1] STN EN ISO/IEC 17025 Všeobecné požiadavky na kompetentnosť skúšobných a kalibračných laboratórií
- [2] STN ISO 5725-1 Presnosť (správnosť a zhodnosť) metód a výsledkov merania. Časť 1: Všeobecné zásady a definície
- [3] STN 01 0115 Terminológia v metroológii
- [4] STN ISO 3534-1 Štatistika, slovník a značky. Časť 1: Všeobecné štatistické termíny a termíny používané v teórii pravdepodobnosti
- [5] ISO 100 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)
- [6] STN ISO 11352 Kvalita vody — Odhad neistoty merania na základe údajov z validácie a kontroly kvality
- [7] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

*Interlaboratory comparison test for the determination of gross alpha activity in a nature water sample*

*Key words: interlaboratory comparison, gross alpha activity, water sample*

*The aim of the paper is to point out the difference between validation and verification of test methods in radiochemistry, to describe the working characteristics of the methods, as well as the validation/verification procedure.*

*The aim of the paper is to evaluate an interlaboratory comparison in which the gross alpha activity was evaluated.*

# HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK ZPŮSOBILOSTI OR-RA-23

**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: zkouška způsobilosti, radiační ukazatele, umělý a přírodní vzorek, voda, zemina, filtrační písky*

*Příspěvek informuje o vyhodnocení výsledků zkoušek způsobilosti OR-RA-23 pořádaných ASLAB, VÚV TGM, v.v.i..*

Byla podána informace o vyhodnocení zkoušek způsobilosti OR-RA-23 stanovení radioaktivních látek ve vodě a pevných vzorcích (zemín a filtrační náplň úpravny vod) pořádané střediskem ASLAB při VÚV TGM, v.v.i.. Vzorky byly připraveny ve Zkušební laboratoři technologií a složek životního prostředí VÚV TGM, v.v.i. v oddělení Radioekologie. Byly distribuovány uměle připravené vzorky vod a přírodní vzorky vod, půdy a filtrační náplně úpravny vod. Uměle připravené vzorky byly připraveny z certifikovaných standardů pro stanovení ukazatelů celková objemová aktivita alfa, celková objemová aktivita beta, objemové aktivity  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , objemová aktivita radionuklidů metodou spektrometrie záření gama ( $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ), objemová aktivita  $^{137}\text{Cs}$  (stanovení pomocí LSC), hmotnostní koncentrace uranu ve vzorcích vod a nově byla zařazena objemová aktivita izotopů uranu  $^{238}\text{U}$  a  $^{234}\text{U}$  ve vzorcích vod. Přírodní vzorky byly distribuovány na stanovení ukazatelů celkové objemové aktivity alfa, celkové objemové aktivity beta, objemové aktivity  $^{222}\text{Rn}$ , objemové aktivity  $^{226}\text{Ra}$ , objemové aktivity tritia a hmotnostní koncentrace uranu a dále byly připraveny přírodní vzorky zeminy a filtrační náplně pro gamaspektrometrické stanovení. Celkem se zúčastnilo 31 laboratoří. U většiny stanovení radiochemických ukazatelů prokázaly laboratoře 100% úspěšnost. Vyjíměčně byly některé laboratoře neúspěšné ve stanovení ukazatelů celková objemová aktivita alfa, celková objemová aktivita beta, objemové aktivity  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{241}\text{Am}$  v uměle připravených vzorcích vod, dále v ukazateli  $^{210}\text{Pb}$  ve vzorku zeminy. Podrobná zpráva je uvedena na webových stránkách VÚV TGM [1].

## Reference

[1] VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, V. V. I.

*Výsledky zkoušení způsobilosti, Stanovení radioaktivních látek ve vodě a v pevných vzorcích OR-RA-23* [online]. 10. listopadu 2023. Dostupné online z:

[https://www.aslab.cz/administrator/components/com\\_zkouseni\\_zpusobilosti/files/zpravy/zprava-ra-23kompr..pdf](https://www.aslab.cz/administrator/components/com_zkouseni_zpusobilosti/files/zpravy/zprava-ra-23kompr..pdf)

*The Evaluation of the Results of Proficiency test OR-RA-23*

*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-23 organized by ASLAB, VÚV TGM, v.v.i..*



# NÁSTROJ PRO HODNOCENÍ ZRANITELNOSTI VODÁRENSKÉHO OBJEKTU K PRŮNIKU RADIOAKTIVNÍCH LÁTEK

**Eva Juranová, Diana Marešová, Barbora Sedlářová, Josef V. Datel**

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

*Klíčová slova: umělý radionuklid, podzemní voda, vodní zdroj, radiační havárie*

*Abstrakt: Příspěvek seznamuje s výzkumným projektem IMDUKR - Inovativní metody detekce ultranízkyých koncentrací radionuklidů k hodnocení zranitelnosti zdrojů pitné vody při jaderné havárii (VI20192022142), zejména představuje výsledky projektu - nástroje pro hodnocení zranitelnosti vodárenského objektu k průniku radioaktivních látek při radiační havárii.*

## 1. Úvod

Radiační havárie, ať už na našem území nebo mimo něj, je událost značně nepravděpodobná. Následky takové události však mohou být velmi závažné, proto je třeba se připravit i na takové scénáře.

Jedním z kritických momentů při radiační havárii by bylo zajištění dodávky nezávadné pitné vody pro obyvatelstvo. V České republice je přibližně polovina pitné vody zajišťována z povrchových zdrojů (podzemní voda – 49,7 %, povrchová voda – 50,3 % [1]), které by v případě radiační havárie mohly být kontaminovány v zásadní míře a téměř okamžitě. Oproti tomu předpokládáme, že podzemní zdroje mohou být v takovém případě ochráněny mnohem lépe, jejich zranitelnost ale zásadně závisí na konkrétních podmínkách. Aby tedy mohly být v situaci radiační havárie využívány, a to třeba i jako náhrada odstavených povrchových zdrojů, je nezbytná znalost zranitelnosti u konkrétních podzemních zdrojů pitné vody.

Touto problematikou se zabýval výzkumný projekt IMDUKR. Projekt IMDUKR - Inovativní metody detekce ultranízkyých koncentrací radionuklidů k hodnocení zranitelnosti zdrojů pitné vody při jaderné havárii (VI20192022142) byl podpořen Ministerstvem vnitra prostřednictvím programu Bezpečnostní výzkum České republiky 2015-2022. Byl řešen Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka, v. v. i. (VÚV TGM, v. v. i.) spolu se Státním ústavem radiační ochrany, v. v. i. (SÚRO, v. v. i.). Práce na projektu byly zahájeny v červenci 2019 a byly podle plánu dokončeny v prosinci roku 2022.

Cílem projektu bylo přispět ke zvýšení havarijní připravenosti na radiační událost, a to především zlepšením znalostí o ochráněnosti zdrojů pitné vody před radioaktivní kontaminací v případě havárie jaderného zařízení a vytvoření nástroje pro zvládnutí radiační mimořádné události v oblasti zásobování pitnou vodou z podzemních zdrojů.

## 2. Zranitelnost podzemních vod

V prvním kroku řešení projektu byla vyhodnocena obecná zranitelnost podzemních vod jako multikriteriální parametr, který byl vytvořen syntézou informací o vlastnostech horninového

prostředí a hydrologických vlastností půd. Zranitelnost podzemních vod byla kategorizována do čtyř tříd:

- I. třída – velmi vysoká zranitelnost,
- II. třída – vysoká zranitelnost,
- III. třída – zvýšená zranitelnost,
- IV. třída – nízká zranitelnost.

Údaje o zranitelnosti podzemních vod byly poté zobrazeny ve dvou mapách, a to pro okolí v okruhu 30 km od Jaderné elektrárny Dukovany a Jaderné elektrárny Temelín. Tyto mapy jsou ke stažení na stránkách VÚV TGM, v. v. i. [2], a mají především preventivní využití. Předpokládá se, že mohou být využity pro rychlý a jednoduchý odhad zranitelnosti podzemních vod v dané lokalitě, a to nejen provozovateli vodovodů, ale také např. veřejností v případě soukromých studen.

Údaje o zranitelnosti podzemních vod byly dále využity jako podklad pro hodnocení zranitelnosti podzemního zdroje.

### **3. Specifická zranitelnost vodárenského objektu**

Po obecné zranitelnosti podzemních vod bylo připraveno vyhodnocení specifické zranitelnosti vodárenského objektu. Na rozdíl od zranitelnosti podzemních vod je zranitelnost vodárenského objektu vztažena ke konkrétnímu zdroji. Zranitelnost vodárenského objektu byla také hodnocena jako multikriteriální ukazatel, který v sobě zahrnuje nejen obecnou zranitelnost podzemních vod a další hydrogeologické charakteristiky lokality zdroje, ale i charakteristiky konkrétního odběru podzemní vody včetně vybavení daného objektu. Pro ohodnocení zranitelnosti vodárenského objektu byly, stejně jako u zranitelnosti podzemních vod, vytvořeny 4 třídy zranitelnosti:

- I. třída – velmi vysoká zranitelnost,
- II. třída – vysoká zranitelnost,
- III. třída – zvýšená zranitelnost,
- IV. třída – nízká zranitelnost.

Pro modelování odhadu zranitelnosti vodárenského objektu byl ve VÚV TGM, v. v. i., vytvořen software, který je volně dostupný na webových stránkách organizace [3]. Je určen především pro provozovatele vodárenských objektů. Jeho použití je možné bez předchozí instalace přímo v on-line prostředí, není nutné ani přihlášení uživatele.

Software na základě údajů zadávaných uživatelem ohodnotí zranitelnost objektu a zařadí jej do jedné z výše uvedených 4 tříd zranitelnosti vodárenského objektu. Software je z hlediska uživatele rozdělen na část preventivní, tedy využitelnou v běžné situaci mimo radiační havárii pro zjištění rizikovosti daného vodárenského objektu. V této části zadává uživatel do jednoduchého formuláře údaje o vodárenském objektu, které by mu měly být známy:

- Lokalita
- Hladina podzemní vody (charakter a hloubka pod terénem)
- Charakter nadložních vrstev (mocnost izolátoru)
- Riziko krátké komunikace s terénem
- Riziko břehové infiltrace povrchových vod
- Indikátory povrchové kontaminace v podzemní vodě
- Hloubka odběru
- Zabezpečení jímacího objektu proti znečištění

V této fázi již software vyhodnotí „preventivní“ zranitelnost vodárenského objektu a zařadí objekt do jedné ze 4 tříd zranitelnosti. Některá rizika je možné v rámci prevence snížit vhodnou technickou úpravou odběrného objektu, pokud se o nich provozovatel prostřednictvím tohoto software včas dozví.

Další část softwaru je již zaměřena na situaci, kdy skutečně dojde k radiační havárii. V této situaci lze pokračovat ve vyplňování formuláře zadáním aktuálních údajů o havárii:

- Aktuální srážková situace
- Aktuální radiační riziko

I v případě těchto údajů byl kladen důraz na jednoduchost zadání, aby formulář obsahoval jen údaje, které by byly provozovateli vodního zdroje v případě krizové situace dostupné a měl by je znát.

Po odhadu zranitelnosti, ať už v „preventivním stupni“ nebo ve fázi radiační havárie, může být vygenerována zpráva ve formátu .pdf a uživatelem stažena na vlastní počítač. Tvůrci softwaru si byli vědomi, že některé údaje o vodárenských objektech mohou být považovány za citlivé. Z tohoto důvodu software sám žádné z údajů neukládá, a to ani vygenerované zprávy, ani zadávané údaje.

Výstup softwaru - zpráva, kromě zařazení objektu do konkrétní třídy zranitelnosti, obsahuje i odhad doby, po kterou by v případě radiační havárie zůstal vodní zdroj ochráněn před kontaminací. Zde je nutno upozornit, že se jedná jen o odhad na základě modelování, který může podat předem užitečnou informaci, zcela jistě však v případě radiační havárie nenahradí odběry a analýzy vzorků, a pro zavádění opatření budou rozhodující pokyny krizového štábu.

#### **4. Shrnutí**

V rámci výzkumného projektu IMDUKR byly připraveny nástroje pro odhad zranitelnosti podzemní vody a pro odhad specifické zranitelnosti vodárenských objektů při radiační havárii. Oba tyto nástroje jsou zveřejněny na webových stránkách Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i. jako mapy zranitelnosti podzemních vod [2] a software Hodnocení zranitelnosti vodárenského objektu k průniku radioaktivních látek [3]. Tyto nástroje by měly umožnit nejen získat předběžné informace pro preventivní opatření, ale zejména je software připraven posloužit dodavatelům pitné vody i přímo v případě krizové situace radiační havárie.

#### **Poděkování**

Príspevek byl připraven za finančního přispění institucionální podpory Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka a byly využity výsledky projektu VI20192022142 s názvem „Inovativní metody detekce ultranízkých koncentrací radionuklidů k hodnocení zranitelnosti zdrojů pitné vody při jaderné havárii“ (IMDUKR), který byl spolufinancován státní podporou Ministerstva vnitra - Bezpečnostního výzkumu České republiky 2015-2022.

#### **Reference**

- [1] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Vodovody, kanalizace a vodní toky - 2022. *Vodovody, kanalizace a vodní toky - 2022* [online]. 2. květen 2023. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2022>
- [2] VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, V. V. I. *Mapy specifické zranitelnosti podzemních vod k průniku radioaktivních látek při radiační události v okolí JE Dukovany a JE Temelín* [online]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/imdukr/default.asp?>

- [3] VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, V. V. I.  
*Hodnocení zranitelnosti vodárenského objektu k průniku radioaktivních látek* [online].  
4. listopad 2022. Dostupné z: <https://www.vuv.cz/innovativni-metody-detekce-ultranizkych-koncentraci-radionuklidu/aplikovane-vysledky-x-inovativni-metody-detekce-ultranizkych-koncentraci-radionuklidu/hodnoceni-zranitelnosti-vodarenskeho-objektu-k-pruniku-radioaktivnich-latek/>

*TOOL FOR VULNERABILITY ASSESSING OF WATER SUPPLY FACILITIES TO THE PENETRATION OF RADIOACTIVE SUBSTANCES*

*Keywords: anthropogenic radionuclide, ground water, water source, nuclear accident*

*The paper introduces the research project IMDUKR - Innovative methods of detection of ultra-low concentrations of radionuclides for assessment of the drinking water sources vulnerability in case of a nuclear accident (VI20192022142), in particular it presents the results of the project - tools for assessing of the vulnerability of a water supply facility to the penetration of radioactive substances during a radiation accident.*

# VALIDÁCIA A VERIFIKÁCIA SKÚŠOBNÝCH METÓD V RÁDIOCHEMICKÝCH LABORATÓRIÁCH

Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava

e-mail: gabriela.wallova@vuvh.sk

*Kľúčové slová: validácia, verifikácia*

*Cieľom príspevku je poukázať na rozdiel medzi validáciou a verifikáciou skúšobných metód v rádiochemii, popísať pracovné charakteristiky metód, ako aj postup validácie / verifikácie.*

## 2. Úvod

Pre skúšobné metódy používané pri vedeckej a výskumnej činnosti platia rovnaké požiadavky na validáciu/verifikáciu ako v skúšobných laboratóriách. Pre neštandardné, vývojové a unikátne metódy treba pojem validácie interpretovať flexibilným spôsobom tak, aby požiadavky neobmedzovali vedecké bádanie a tvorivú činnosť. Pre skúšobné laboratóriá musia požiadavky tiež zohľadňovať účel a požiadavky zákazníka na výsledky skúšobného laboratória.

V skúšobníctve sa cestou verifikácie dokáže, že skúšobná metóda je vhodná na riešenie úloh a požiadaviek zákazníka v danej oblasti skúšania. Otvorenou otázkou ostáva, či skúšobné laboratórium je schopné dosiahnuť parametre, uvedené vo validovanej metóde. Táto otázka má byť zodpovedaná cestou overenia alebo implementácie metódy. Ide teda o experimentálne potvrdenie a objektívne dokázanie vhodnosti metódy na jej plánované využitie [1-7].

## 3. Všeobecné princípy

Každý subjekt, ktorý má zavedený systém v zmysle **STN EN ISO/IEC 17025** si pri zavádzaní nových metód musí v prvom kroku uvedomiť, že:

Laboratórium **musí validovať**:

- neštandardné metódy
- laboratóriom vyvinuté metódy
- modifikované štandardné metódy

Laboratórium **musí verifikovať**:

- štandardné metódy

Všeobecný postup:

- zváženie, či pôjde o **validáciu**, alebo **verifikáciu**;
- formulovanie požiadaviek, ktoré majú byť pre daný účel dosiahnuté;
- posúdenie a zváženie technických možností, rizík a nákladov;
- určenie rozsahu verifikácie/validácie, tzn. vybrať verifikačné/validačné parametre – základným kritériom je získať dostatok údajov, aby bolo možné posúdiť, či je metóda vhodná pre zamýšľaný účel, vypracovať plán;

- určenie obmedzenia metódy;
- vybrať vzorky na ktorých budú experimenty realizované;
- realizovať príslušné merania;
- vyhodnotiť výsledky;
- pokiaľ je to nutné, vykonať nápravné opatrenia k tomu, aby boli špecifikované požiadavky splnené;
- vypracovať verifikačnú/validačnú správu, kde je zdokumentovaný celý verifikačný/validačný proces.

Dôležité charakteristiky metódy, tzv. pracovné charakteristiky sú východiskom a kvantitatívne sa vyhodnocujú štatistickými metódami.

Na popísanie **verifikovanej** metódy je potrebné skúmať tieto pracovné charakteristiky:

- **minimálna detegovateľná aktivita;**
- **presnosť;**
- **správnosť;**
- **rozsah metódy;**
- **rozšírená neistota.**

Na popísanie **validovanej** metódy je potrebné skúmať rovnaké pracovné charakteristiky ako pri verifikovanej metóde (minimálna detegovateľná aktivita, presnosť, správnosť, rozsah metódy, neistota merania) a navyše určiť **robustnosť** validovanej metódy.

Verifikačný/validačný proces predstavuje:

- vytvorenie požiadaviek na kvalitu výsledkov;
- produkovanie pracovných charakteristík spoľahlivej kvality;
- zdokumentovanie verifikačného/validačného procesu;
- rozhodnutie o použiteľnosti metódy pre dané účely.

Hlavným cieľom **verifikácie** je experimentálne overenie, že použitá skúšobná metóda je vyhovujúca vzhľadom k vyššie uvedeným alebo ďalším stanoveným parametrom. Cieľom **validácie** je experimentálne potvrdenie objektívneho dokázania platnosti pre dané činnosti (metódy) pre jej plánované využitie. Požadovaná hĺbka procesu verifikácie/validácie závisí od skúšobnej metódy a od jej použitia. Je nutné zohľadniť, že pracovník vykonávajúci verifikáciu, alebo validáciu metódy pracuje s otvorenými rádioaktívnymi žiaričmi. Preto je nutné obmedziť merania na čo najmenší počet a čas, kedy je pracovník vystavený radiácii a zároveň získať dostatočný počet meraní na verifikáciu, alebo validáciu.

Laboratórium musí vždy opísať spôsob vykonanej verifikácie/validácie skúšobnej metódy a tento opis má byť súčasťou systému kvality alebo riadenej dokumentácie. Protokol o verifikácii/validácii metódy musí obsahovať záver, v ktorom je uvedené, či je verifikovaná/validovaná metóda vhodná na predpokladaný účel použitia.

#### **4. Verifikácia metód, Protokol o verifikácii**

Súčasťou verifikačného protokolu musí byť aj deklarovanie účasti v PT pre verifikovaný parameter.

##### **PROGRAM, PRIEBEH A VYHODNOTENIE VERIFIKÁCIE**

###### **Dôvod verifikácie**

Dôvodom verifikácie je poskytnúť objektívny dôkaz, že príslušná metóda spĺňa špecifikované požiadavky.

### **Požiadavky na metódu**

Príprava verifikácie metódy sa odvíja od špecifických požiadaviek a od všeobecných požiadaviek na pracovné charakteristiky verifikovanej metódy.

Sledované pracovné charakteristiky sú:

- MDA – by mala byť v súlade s požiadavkou zákazníka, ale aj platnej legislatívy (výpočet je uvedený v príslušnom štandardnom operačnom postupe pre danú metódu),
- presnosť vyjadrená ako štandardná odchýlka v rámci série  $s_w$ ,
- správnosť (ACC) vyjadrená ako relatívna hodnota rozdielu medzi získanými hodnotami - Bias, v %,
- rozsah - tvorí interval medzi MDA a hornou hranicou. Hornú hranicu intervalu si určí laboratórium na základe požiadaviek zákazníka a reálnych hodnôt meraných vzoriek,
- rozšírená neistota ( $U$ ) s koeficientom rozšírenia  $k=1,96$ .

### **Časový priebeh verifikácie**

V tejto časti správy o verifikácii je uvedený presný časový interval verifikácie metódy.

### **Prvky verifikácie**

Na verifikáciu sú pripravované vzorky CRM a reálne vzorky.

Súčasťou programu verifikácie je:

- zoznam použitých chemikálií a roztokov,
- postup prípravy roztokov,
- postup prípravy vzoriek,
- zoznam použitých meracích prístrojov (zariadení),
- nastavenie prístrojov, podmienky merania,
- prvotné záznamy z prístrojov,
- kópie certifikátov (overenie prístroja, certifikát z CRM atď.)

### **Vyhodnotenie verifikácie**

V prehľadnej tabuľke sú uvedené všetky výstupy verifikácie.

### **Záverečné zhodnotenie verifikácie**

Nevyhnutnou súčasťou záverečného hodnotenia je konštatovanie, či verifikovaná metóda vyhovuje alebo nevyhovuje v plnom rozsahu požiadavkám na metódu.

### **ŠTATISTICKÉ SPRACOVANIE VÝSLEDKOV VERIFIKÁCIE**

Štatistické spracovanie výsledkov verifikácie je zdokumentované v prehľadných tabuľkách, kde sú uvedené experimentálne získané výsledky verifikácie štatisticky spracované v programe MS Excel.

## **PROTOKOL O VERIFIKÁCIÍ SKÚŠOBNEJ METÓDY**

### **Názov metódy**

Uvedenie presného názvu verifikovanej metódy spolu s označením pracovného postupu, podľa ktorého sa postupuje pri stanovení ukazovateľa.

### **Zdroj vypracovania metódy**

Uvedenie normy, na základe ktorej je postup vypracovaný.

### **Stručná charakteristika metódy**

V tejto časti je popísaný:

*ANALYT* - ukazovateľ, na ktorý sa daná verifikácia vzťahuje,  
*MATRICA* - (sféra uplatňovania skúšania), v ktorej je daný ukazovateľ sledovaný,  
*PRINCÍP* - opisujúci podstatu skúšky, metódy.

### **Údaje o verifikácii metód**

Príprava verifikácie metódy sa odvíja od špecifických požiadaviek na metódu uvedených v príslušnej legislatíve a tiež zo všeobecných požiadaviek na pracovné charakteristiky verifikovanej metódy.

Požiadavky na metódu sú vyjadrené cez sledované pracovné charakteristiky spracované v prehľadnej tabuľke:

- limit stanovenia (MDA),
- presnosť – zhodnosť (PRE) za podmienok opakovateľnosti a reprodukovateľnosti, štandardná odchýlka série meraní (náhodná chyba merania),
- pravdivosť (TRU), vychýlenie, Bias, systematická chyba merania,
- rozsah metódy,
- neistota merania (*U*).

*Prvkami verifikácie* sú najmä použité vzorky:

- certifikovaný referenčný materiál (CRM) alebo referenčný materiál (RM) s priloženými certifikátmi.
- prírodné vzorky – vzorky reálnej vody (pitná, podzemná, povrchová voda).

### **Autorstvo**

V tejto kapitole je uvedený názov organizácie, kde sa verifikácia uskutočnila.

### **Mená a podpisy vedúcich a zodpovedných pracovníkov**

Tabuľka s funkciami, menami a podpismi vedúcich a zodpovedných pracovníkov za uvedenie údajov:

- vedúci Oddelenia,
- pracovník zodpovedný za výkon verifikácie (návrh verifikácie, vyhodnotenie verifikácie a vypracovanie správy o verifikácii),
- pracovník/pracovníci, ktorý metódu verifikoval/verifikovali,
- pracovník, ktorý verifikáciu odsúhlasil.

### **Miesto a dátum vyhotovenia protokolu**

Tu je zapísaný dátum a miesto vyhodnotenia protokolu.

### **Zoznam príloh**

Súčasťou správy o verifikácii je zoznam príloh a priložené prílohy. Prílohy ku protokolu o verifikácii sú nasledovné:

- Program, priebeh a vyhodnotenie verifikácie,
- Štatistické spracovanie výsledkov verifikácie,
- Podrobný popis verifikovanej metódy (štandardný operačný postup – ŠOP alebo odvolávka),
- Kópie certifikátov (použité CRM, overenie prístroja),
- Prvotné záznamy z prístroja,
- Kópie osvedčení o účasti v PT, ak sú k dispozícii.

## **6. Validácia metód**

Na popísanie **validovanej** metódy je potrebné skúmať rovnaké pracovné charakteristiky ako pri verifikovanej metóde (minimálna detegovateľná aktivita, presnosť, správnosť, rozsah metódy, neistota merania) a navyše určiť robustnosť validovanej metódy a linearita. Robustnosť je zistenie odolnosti analytického postupu na malé zmeny v experimentálnych podmienkach.



Testujú sa rôzni pracovníci, rôzni výrobcovia použitých chemikálií, rôzne podmienky prostredia a podobne. Robustnosť je potom vyjadrená ako relatívna smerodajná odchýlka.

## 7. Záver

V prvom kroku je potrebné si uvedomiť, či laboratórium bude metódu validovať, alebo verifikovať. Validáčna, alebo verifikačná správa by mala obsahovať všetky náležité informácie. Všetky získané údaje je potrebné štatisticky spracovať. Výsledkom je validačná, alebo verifikačná správa.

## 6. LITERATÚRA

- [1] STN EN ISO/IEC 17025 Všeobecné požiadavky na kompetentnosť skúšobných a kalibračných laboratórií
- [2] STN ISO 5725-1 Presnosť (správnosť a zhodnosť) metód a výsledkov merania. Časť 1: Všeobecné zásady a definície
- [3] STN 01 0115 Terminológia v metrologii
- [4] STN ISO 3534-1 Štatistika, slovník a značky. Časť 1: Všeobecné štatistické termíny a termíny používané v teórii pravdepodobnosti
- [5] ISO 100 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)
- [6] STN ISO 11352 Kvalita vody — Odhad neistoty merania na základe údajov z validácie a kontroly kvality
- [7] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

*Validation and verification of test methods in radiochemical laboratories*

*Key words: validation, verification*

*The aim of the paper is to point out the difference between validation and verification of test methods in radiochemistry, to describe the working characteristics of the methods, as well as the validation/verification procedure.*

# ČSN 75 7623 KVALITA VOD – STANOVENÍ RADIA 226 EMANOMETRICKY BEZ KONCENTROVÁNÍ

**Michal Novák, Barbora Sedlářová, Diana Marešová**

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

*Klíčová slova: česká technická norma, radium 226, podzemní voda, pitná voda*

*Příspěvek informuje o připravované normě pro stanovení objemové aktivity radia 226.*

V průběhu roku 2023 byla subkomisí č. 4 pro normalizaci radiologických metod v rámci TNK 104 Jakost vod připravena norma pro stanovení objemové aktivity radia 226 ve vodách scintilačně emanometrickou metodou bez koncentrování  $^{226}\text{Ra}$  srážením. Metoda je určena ke stanovení objemové aktivity  $^{226}\text{Ra}$  ve vzorcích s velmi nízkou koncentrací nerozpuštěných látek, např. ve vzorcích podzemních a pitných vod. Byl prezentován pracovní návrh normy a zaznamenány připomínky zástupců zúčastněných organizací. Po veřejném projednání bude norma vydána začátkem roku 2024.

*ČSN 75 7623 Water quality – Determination of radium 226 by emanometry without pre-concentration*

*Keywords: Czech technical standard, radium 226, ground water, drinking water*

*The contribution informs about the upcoming standard for determination of radium 226.*

# VYHODNOCENÍ VLIVU PŘÍTOMNOSTI VYŠŠÍCH OBJEMOVÝCH AKTIVIT RADONU PŘI STANOVENÍ RADIA 226 EMANOMETRICKY BEZ KONCENTROVÁNÍ

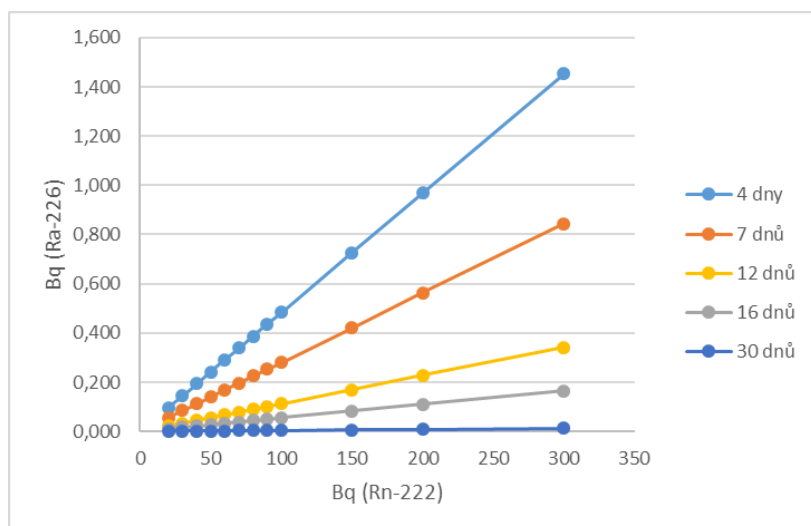
**Barbora Sedlářová, Michal Novák**

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

*Klíčová slova: radium 226, radon 222, rušivé vlivy*

*Příspěvek informuje o vlivu přítomnosti vyšších objemových aktivit radonu 222 při stanovení radia 226 emanometricky bez koncentrování.*

V návaznosti na revidovanou normu ČSN 75 7623 Kvalita vod – Stanovení radia 226 emanometricky bez koncentrování [1] byla podána informace k možnému rušivému vlivu vyšších objemových aktivit radonu 222 při stanovení radia 226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) v podzemních vodách emanometrickou metodou bez koncentrování. Jak uvádí norma, vzorek se převede do emanační nádoby. Pro vzdušněním se odstraní zůstatkový radon 222 ( $^{222}\text{Rn}$ ). Radioaktivní přeměnou  $^{226}\text{Ra}$  vzniká v emanační nádobě  $^{222}\text{Rn}$ , který je po uplynutí stanovené doby vytěšňován do cirkulačního okruhu se scintilačním detektorem. Změřený počet impulzů od  $^{222}\text{Rn}$  a jeho krátkodobých dceřiných produktů emitujících záření alfa se přepočítá na odpovídající objemovou aktivitu  $^{226}\text{Ra}$  [1]. V normě se dále uvádí, že doba uzavření vzorku v emanační nádobě u vzorků s neznámou objemovou aktivitou  $^{222}\text{Rn}$ , nebo u vzorků s objemovou aktivitou  $^{222}\text{Rn}$  vyšší než  $300 \text{ Bq.l}^{-1}$  musí být nejméně 30 dní. U vzorků s objemovou aktivitou  $^{222}\text{Rn}$  nižší než  $300 \text{ Bq.l}^{-1}$  se smí měřit nejdříve po 12 dnech. Byl proveden teoretický výpočet příspěvku obsahu původního  $^{222}\text{Rn}$  při jeho 99% účinnosti vytěšnění  $^{222}\text{Rn}$  provzdušněním vzorku.



Obr. 1 Příspěvek  $^{222}\text{Rn}$  při 99% účinnosti provzdušnění po 4, 7, 12, 16 a 30 dnech při stanovení  $^{226}\text{Ra}$  emanometricky bez koncentrování

Poločas přeměny  $^{222}\text{Rn}$  je 3,82 dne [2], tj. přeměnová konstanta ( $\lambda$ ) odpovídá hodnotě 0,181300267. Pro 1 % původní aktivity  $^{222}\text{Rn}$  ve vzorku byly vypočítány aktivity zůstatkového  $^{222}\text{Rn}$  (příspěvku ke stanovení  $^{226}\text{Ra}$ ). Výpočet byl proveden pro 1 % z původní aktivity  $^{222}\text{Rn}$  v rozmezí (20–300) Bq při měření  $^{226}\text{Ra}$  po 4, 7, 12, 16 a 30 dnech od provzdušnění vzorku. Výsledky jsou uvedeny na obr.1.

Z grafu vyplývá, že je zcela eliminován příspěvek  $^{222}\text{Rn}$  při stanovení  $^{226}\text{Ra}$  emanometricky bez koncentrování při měření po 30 dnech od provzdušnění. Při volbě kratší doby je nutné vyhodnotit možnost ovlivnění výsledku na stanovení objemové aktivity  $^{226}\text{Ra}$  ve vzorku.

Snížení obsahu  $^{222}\text{Rn}$  ve vzorcích pro stanovení  $^{226}\text{Ra}$  můžeme ovlivnit už při samotném odběru vzorku, například přítomností perlátoru na odběrovém kohoutu, intenzivějším proudem při odběru vzorku, odebíráním vzorku do vzorkovnice se vzduchovou bublinou a protřepáním vzorku po odběru vzorku.

## Reference

[1] ČSN 75 7623 Kvalita vod – stanovení radia 226 emanometricky bez koncentrování

[2] Atomic and nuclear data [online] 10. listopadu 2023. . Dostupné online z:

<http://www.lnhb.fr/nuclear-data/module-lara/>

*The evaluation of the influence of the presence of radon when determining of radium 226 by emanometric without concentration*

*Keywords: radium 226, radon 222, disturbing influences*

*The contribution informs about the evaluation of the influence of the presence of radon when determining of radium 226 by emanometric without concentration.*

# Vplyv pozadia na stanovenie nízkych aktivít trícia vo vodách

Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava

e-mail: gabriela.wallova@vuvh.sk

**Kľúčové slová:** trícium, mŕtva voda, pozadie

*Príspevok sa zaoberá problematikou hodnotenia pozadia pri meraní nízkych aktivít trícia. Popisuje vhodný spôsob výberu vody s nízkym obsahom trícia – mŕtvej vody.*

## 1. Úvod

Trícium ( $^3\text{H}$ ) sa vyskytuje v životnom prostredí v dôsledku prírodných procesov a ľudskej činnosti. V hydrológii je ideálny stopovač, prítomný vo všetkých fázach obehu vody. Možno pomocou neho skúmať súvis medzi zrážkami, povrchovými a podzemnými vodami. Často sa využíva na stanovenie veku vodných rezervoárov, veku zrážok v ľade, alebo na dátovanie agrikultúrnych produktov, napríklad vína [1, 2].

Termojadrové výbuchy boli veľmi intenzívnym zdrojom trícia, pričom jeho hlavným zdrojom sú jadrové reakcie  $^2\text{H}(\text{D},\text{p})^3\text{H}$  a  $^6\text{Li}(\text{n},\alpha)^3\text{H}$ . Už po odpálení prvých väčších termojadrových bômb v roku 1954 sa dostal do atmosféry niekoľkonásobok rovnovážneho množstva prírodného trícia. Po veľkých sériách atmosférických jadrových výbuchov, uskutočnených v rokoch 1961 a 1962, došlo k zvýšeniu koncentrácie trícia v dažďovej vode v stredných zemepisných šírkach severnej pologule približne na tisícnásobok prírodnej koncentrácie. Najvyššiu zvyškovú tríciovú aktivitu mali podzemné vody, ktoré pochádzali zo zrážok z obdobia rokov 1961 až 1963. V súčasnosti sú významnými lokálnymi zdrojmi trícia jadrové elektrárne. Vďaka rádioaktívnemu rozpadu, s dobou polpremeny 12,3 roka, je dnes koncentrácia trícia v atmosfére na pôvodnej prírodnej hodnote.

Pri meraní nízkych aktivít trícia v hydrosfére je jedným z najväčších problémov stanovenie hodnoty pozadia. Výber vody bez obsahu trícia, tzv. mŕtva voda, je kľúčovou záležitosťou, inak vzniká systematická chyba v stanovení koncentrácie trícia. Tento jav je markantný hlavne pri stanovení trícia v podzemných vodách, kde sú koncentrácie blízke nule.

## 2. Metódy stanovenia objemovej aktivity trícia

Často používanou metódou stanovenia objemovej aktivity trícia vo vodách je metóda kvapalinovej scintilačnej spektrometrie vychádzajúca z normy STN ISO 9698 [3]. Podľa tejto normy sú vzorky pred meraním destilované. Preddestilované vzorky sú zmiešané so scintilačným koktailom (Ultima Gold LLT) a merané pomocou kvapalinového scintilačného spektrometra. Metóda elektrolytického zakoncentrovania trícia je založená na princípe selektívneho izotopického obohacovania. Molekuly HTO majú silnejšie väzby ako molekuly obvyčajnej vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ) alebo ťažkej vody (HDO) a preto sa v oveľa menšej miere rozkladajú na ióny vodíka a kyslíka. Na elektrolytické bunky, v ktorých je vzorka vody so zásaditým prídavkom, sa aplikuje konštantný elektrický prúd. Počas 9 – 14 dní prebiehajúcej elektrolyzy sa objem vody redukuje na 8 – 5 % z pôvodného objemu vzorky. V dôsledku izotopickej frakcionácie ostáva vo

zvyškovej vode približne 90 % trícia. Zakoncentrovaná vzorka sa následne čistí destiláciou a meria pomocou kvapalinového scintilačného spektrometra [4].

### 3. Výber pozad'ovej vzorky

Pri meraní nízkych aktivít trícia v hydrosfére je jedným z najväčších problémov stanovenie hodnoty pozadia. Je kľúčové nájsť vzorku s nízkym obsahom trícia – mŕtvu vodu. Mŕtva voda je z pravidla voda zo zdrojov izolovaných od atmosférického vplyvu a bez prieniku povrchových vôd (hlboké vrty, horúce pramene, ľadovce atď.).

V modelovej vzorke je istá koncentrácia trícia  $A_{H-3}$ . Priamym meraním pomocou kvapalinovej scintilačnej spektrometrie (LSC) získame istú hodnotu odozvy detektora - početnosť  $C$ . Túto možno rozdeliť na príspevok od skutočného trícia  $C_{H-3}$  a tzv. pozad'ovú zložku  $C_P$  (elektronický šum, externá radiácia, ...).

$$C = C_{H-3} + C_P$$

Ak rovnakú modelovú vzorku elektrolyticky zakoncentrujeme ( $P$  je koeficient zakoncentrovania) meraná početnosť  $C_{el}$  má tiež dve zložky.

$$C_{el} = P \cdot C_{H-3} + C_P$$

Predpokladáme, že pozad'ová zložka je rovnaká v oboch prípadoch.

$$C_{el} - C = C_{H-3}(P - 1)$$

Teda ak je koncentrácia trícia vo vzorke nulová, potom  $C_{el} - C$  je tiež rovné nule.

Problematike hodnotenia pozadia pri meraní trícia sme sa už v minulosti venovali [5, 6]. Našli sme aj niekoľko vhodných zdrojov s minimálnym obsahom trícia.

**Tabuľka 1:** Porovnanie počtu impulzov za minútu vo vzorkách meraných priamo LSC a s elektrolytickým zakoncentrovaním. Použitý bol prístroj Tricarb 2900TR [6].

| Vzorka           | $C$ (imp.min <sup>-1</sup> ) | $C_{el}$ (imp.min <sup>-1</sup> ) | $C_{el} - C$ (imp.min <sup>-1</sup> ) |
|------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Demänovka        | 8,66                         | 9,83                              | 1,17                                  |
| Pod Bukovinou    | 8,58                         | 9,36                              | 0,78                                  |
| BS-1             | 8,66                         | 8,83                              | 0,16                                  |
| Tunežice         | 8,75                         | 9,33                              | 0,58                                  |
| Nedožery-Brezany | 8,81                         | 9,32                              | 0,51                                  |
| Medokýš          | 8,73                         | 8,76                              | 0,03                                  |
| ČH-1             | 8,94                         | 8,81                              | 0,05                                  |
| Vodovodná voda   | 8,76                         | 10,37                             | 1,43                                  |

Najmenšie rozdiely v početnostiach sme pozorovali pri vode z prameňa Medokýš a z vrtu ČH-1. Tieto dva vodné zdroje neobsahujú takmer žiadne trícium, čiže nie sú ovplyvnené zrážkami ani inými povrchovými tokmi.

Na základe výsledkov uvedených v Tabuľke 1 používame niekoľko rokov ako mŕtvu vodu vzorku odobratú z prameňa Medokýš. Nakoľko sa po spotrebovaní musela vzorka mŕtvej vody znovu odobrať (jún 2023), rozhodli sme sa overiť, či skutočne spĺňa nami kladené požiadavky. V Tabuľke 2 sú uvedené namerané hodnoty prístrojom Quantulus GCT 6220 a porovnané s hodnotami získanými predchádzajúcim starším meraním s použitím prístroja Tricarb 2900TR.

**Tabuľka 2:** Porovnanie počtu impulzov za minútu vo vzorkách meraných priamo LSC a s elektrolytickým zakoncentrovaním. Použitý bol Tricarb 2900TR (staršie meranie) a Quantulus GCT 6220.

| Vzorka/prístroj            | $C$ (imp.min <sup>-1</sup> ) | $C_{el}$ (imp.min <sup>-1</sup> ) | $C_{el} - C$ (imp.min <sup>-1</sup> ) | faktor obohatenia |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| Medokýš/Tricarb 2900TR     | 8,73                         | 8,76                              | 0,03                                  | 7                 |
| Medokýš/Quantulus GCT 6220 | 0,83                         | 1,17                              | 0,34                                  | 14                |

V prvom prípade, kedy početnosti boli merané s pomocou Tricarb 2900TR bolo na elektrolytické zakoncentrovanie použitých 250 ml vzorky a na priame meranie 10 ml vzorky. Faktor obohatenia v tomto prípade bol 7. Vzhľadom na faktor obohatenia (14) je rozdiel v početnostiach (0,34 imp.min<sup>-1</sup>) meraných pomocou Quantulus GCT 6220 uspokojivý a porovnateľný so starými hodnotami (0,03 imp.min<sup>-1</sup>) získanými meraním na Tricarbe 2900TR s.

#### 4. Záver

Prezentovaná metodika porovnávaním meraní bez a s elektrolytickým zakoncentrovaním je vhodná na identifikáciu tzv. mŕtvej vody. Týmto spôsobom sme v minulosti identifikovali vodu z prameňa (Medokýš) ako vhodný zdroj mŕtvej vody. Tento zdroj sme si po ďalšom odbere preverili, či spĺňa nami požadované kritériá čistoty.

Preukázali sme aj to, že metóda elektrolytického zakoncentrovania s následným LSC meraním je vhodná na stanovenie veľmi nízkych aktivít trícia.

#### 5. Literatúra

1. MAYER, J., KORTUS, J., KOPUNCOVÁ, T., VRANOVSKÝ, M., Mészáros, J. and Šáro, Š.: Kumulácia rádionuklidov v zložkách vodnej flóry a fauny. Rádioaktivita a životné prostredie. Alfa, Bratislava 1980
2. TÖLGYESSY, J., HARANGOZÓ, M.: Rádioekológia. 1. Vyd. Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica (2000)
3. STN ISO 9698 Kvalita vody. Stanovenie objemovej aktivity trícia. Kvapalinová scintilačná meracia metóda.
4. VRŠKOVÁ, M., BELANOVÁ, A., KULICHOVÁ, Z.: Stanovenie <sup>3</sup>H po elektrolytickom zakoncentrovaní. Radiologické metódy v hydrosféže 11, (2011)
5. VRŠKOVÁ, M., MEREŠOVÁ, J., BELANOVÁ, A.: Výber pozadovej vzorky pri stanovení aktivity trícia, Radionuklidy a ionizující záření ve vodním hospodářství, XXI. konference, 11.-12.5.2010, České Budějovice
6. Wallová, G., Kulichová, Z., Merešová, J.: Ohodnotenie pozadia pri meraní nízkych aktivít trícia. Radionuklidy a ionizující záření ve vodním hospodářství, XXIV. konference, 2.-4.5.2016, České Budějovice

*Background impact on the determination of low level tritium activitiesampling for radiochemical analysis*

*Key words: tritium, dead water, background*

*The paper summarizes the issue of background assessment in the measurement of low level tritium activities. It describes a suitable way to find a water with a low tritium content – dead water.*



# Sledovanie obsahu trícia v zrážkach

Mariaca, E., Wallová, G., Petránová, I.

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava

**Kľúčové slová:** trícium, elektrolyza, rádioaktivita, zrážky

*Cieľom príspevku je stručné podanie základných chemicko-fyzikálnych vlastností trícia, procesu vzniku prírodného a antropogénneho trícia a jeho využitiu v sledovaní hydrologických cyklov. Príspevok sa venuje metodike elektrolytického obohacovania trícia, spracovaniu a meraniu vzoriek. Záver príspevku sumarizuje získané výsledky a zistené skutočnosti.*

## 1 Úvod

Hydrologický cyklus je jednou z kľúčových zložiek dnešných klimatických modelov, ktoré predpovedajú vývoj klimatických parametrov vzhľadom na klimatické zmeny. Okrem výpočtových modelov môžu merania hydrochemických parametrov slúžiť na presnejšie opísanie modelov prenosu vlhkosti v atmosfére. Preto je ideálne priamo sledovať pohyb samotnej molekuly vody v hydrologickom cykle [1].

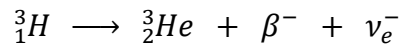
Jedným široko používaným stopovačom pre molekuly vody je trícium, ktoré vstupuje do hydrologického cyklu väčšinou vo forme tríciovej vody (HTO). Keďže prirodzená produkcia trícia, ako aj jeho rozpad je v priebehu času konštantná, existuje konštantná celosvetová zásoba prírodného trícia. Priemerná koncentrácia bez antropogénneho vplyvu je asi 5 TU (*viac o TU jednotkách vid' str. 4. kapitola 2.4*) v zrážkach pre severnú Európu [2]. Okrem tohoto prirodzeného pozadia priniesli do životného prostredia vysoké koncentrácie trícia testy jadrových bômb, ktoré sa vykonávali až do začiatku 60. rokov 20. storočia. Výsledkom boli maximálne koncentrácie trícia v hydrosfére v roku 1963. Táto skutočnosť bola využitá v rôznych štúdiách ako metóda na sledovanie a dátovanie podzemnej vody [3;4], na stanovenie množstva trícia v podzemných vodách [5;6], alebo na skúmanie cirkulácie zrážok v oceánoch [7;8]. Všeobecne pozorovaný pokles koncentrácie trícia v zrážkach od začiatkov 60. rokov 20. storočia je výsledkom viacerých procesov. V dôsledku rádioaktívneho rozpadu sa zvýšené koncentrácie trícia časom znižujú. Okrem toho kumulovanie trícia v podzemnej vode, absorpcia rastlinami a dlhodobé kumulovanie v hĺbinách oceánov znižuje množstvo trícia v aktívnejšej časti hydrologického cyklu. Súčasné antropogénne uvoľňovanie trícia do životného prostredia je vedľajším produktom jadrových zariadení, ako sú jadrové elektrárne a prepracovateľské závody. Emisie z týchto zdrojov sú niekoľko násobne nižšie ako historické koncentrácie trícia získaného z testov jadrových bômb. V minulosti bolo prirodzené množstvo trícia vo vodách ovplyvnené trícium generovaným jadrovými bombami [9]. Očakáva sa, že prirodzené úrovne trícia sa v životnom prostredí dosiahnu v priebehu nasledujúceho desaťročia, čo umožňuje skúmanie prírodného cyklu trícia [10]. Dôkladné posúdenie týchto variácií je preto potrebné na lepšie pochopenie distribúcie trícia v nedávnych a budúcich štúdiách s cieľom zmapovať prirodzené distribúcie trícia a vymedziť zdroje a záchyty v hydrologickom cykle [11;12].

## 2 Trícium - ${}^3_1\text{H}_2$

Trícium je jediný rádioizotop vodíka. Je slabý nízkoenergetický  $\beta$  žiarič. Jadro atómu trícia pozostáva z jedného protónu a dvoch neutrónov. Týmto sa odlišuje od obyčajného atómu vodíka (ktorý pozostáva výlučne s jedného protónu) a deutéria (ktorý pozostáva z jedného protónu a jedného neutrónu).

- Deutérium – obsahuje ~ 0,02 % všetkého prírodne sa vyskytujúceho vodíka
- Trícium – obsahuje ~ 10-18 % všetkého prírodne sa vyskytujúceho vodíka [15].

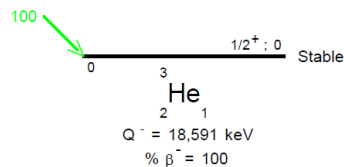
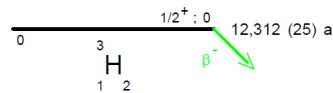
${}^3_1\text{H}$  sa rozpadá priamo na základný stav  ${}^3_2\text{He}$  za emisie  $\beta^-$  žiarenia:



$$T_{1/2} = 12,312 \pm 0,025 \text{ r,}$$

$$\beta_{0,0}^- = 18,564 \pm 0,003 \text{ keV}$$

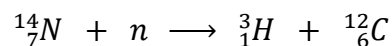
$$P_\beta = 100 \%$$



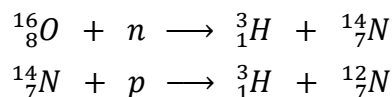
Obrázok 1 • Schéma rozpadu trícia [13]

### 2.1 Prírodné trícium

Vzniká predovšetkým v stratosfére interakciou rýchlych neutrónov kozmického žiarenia s atmosférickým dusíkom:



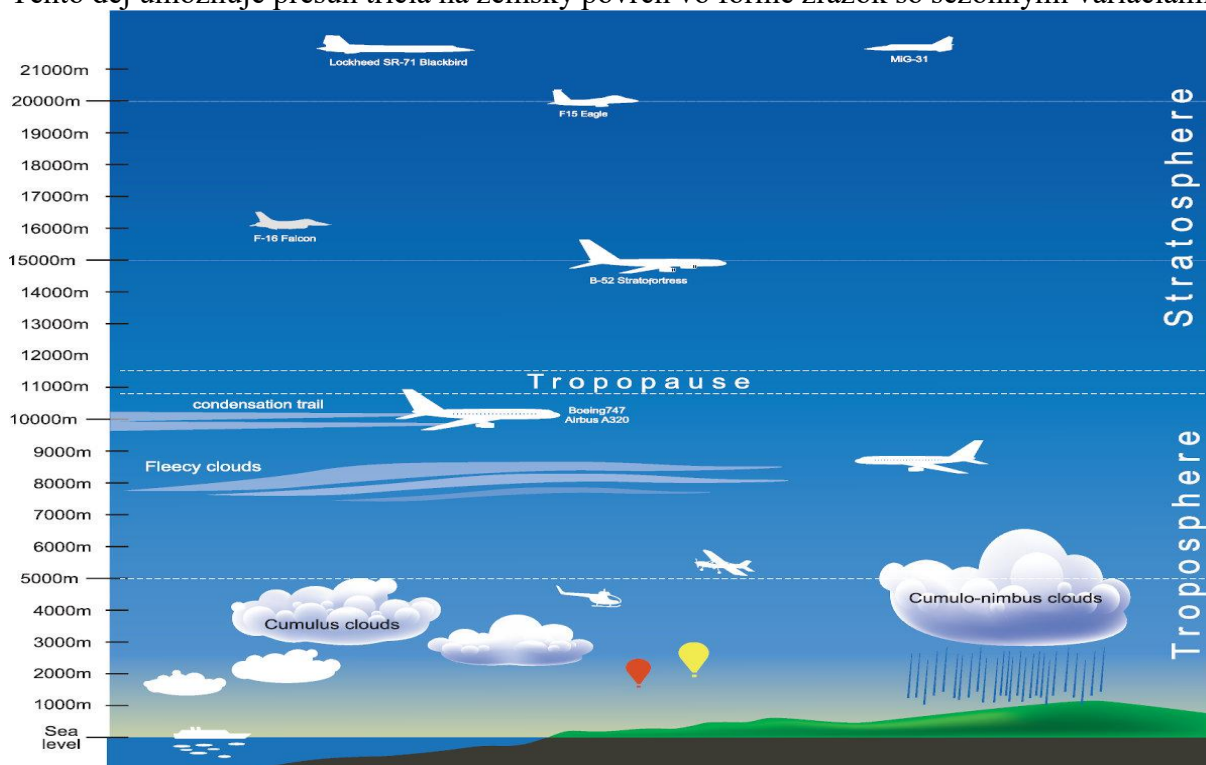
Najviac trícia vzniká v dolných vrstvách stratosféry, kde je najväčšia hustota neutrónov (s  $E > 4 \text{ MeV}$ ). Menšie množstvo je produkované v atmosfére aj prostredníctvom reakcií:



Trícium sa nachádza v atmosfére v trojakej chemickej forme. Ako vodné pary ( $HTO$ ,  $T_2O$ ), molekulárny vodík ( $HT$ ,  $T_2$ ) a metán ( $CH_3T$ ). Vzhľadom na rýchlu oxidáciu molekulárneho vodíka a veľmi nízku produkciu tríciového metánu jedinou významnou zložkou atmosféry, ktorá obsahuje atómy trícia, sú molekuly tríciovej vody  $HTO$ , zriedkavejšie  $T_2O$  [14].

Zo stratosféry sa trícium do troposféry dostáva v období kedy je tropopauza najtenšia. Vtedy sa dolné vrstvy stratosféry začínajú premiešavať s vrchnými vrstvami troposféry. Toto nastáva po jarnej rovnodennosti, kedy sa kontinenty po zimnom období začínajú viac zahrievať (na severnej pologuli je to koncom marca a na južnej koncom septembra).

Tento dej umožňuje presun trícia na zemský povrch vo forme zrážok so sezónnymi variáciami.



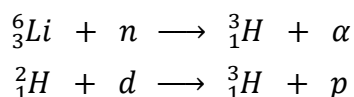
Obrázok 2 • Zobrazenie prvých atmosfér Zeme

## 2.2 Antropogénne trícium

Vzniká ako štiepny produkt pri testoch jadrových zbraní a v reaktoroch jadrových elektrárnach s výťažkom okolo 0,01% - 0,02 %.

### a) Termonukleárne explózie:

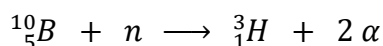
Od roku 1952 bola prírodná rovnováha vzniku a rozpadu tríciových atómov výrazne porušená jadrovými testami. Pri výbuchu bomby vzniká trícium reakciami:



Množstvo vytvoreného trícia je priamo úmerné celkovej energii uvoľnenej pri výbuchu. V roku 1963 došlo k výraznému obmedzeniu jadrových skúšok v atmosfére a koncentrácia trícia v dažďovej vode postupne klesá [14].

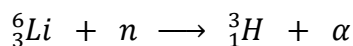
### b) Prevádzkou jadrových elektrární:

Ďalšími zdrojmi trícia v jadrových reaktoroch s ľahkou vodou je reakcia záchytu neutrónov na bóre tvoriace súčasť chladiacich médií či v regulačných tyčiach:

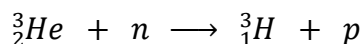


Taktiež aktiváciou deutéria vo vode, reakciami záchytu vysoko energetických neutrónov v konštrukčných materiáloch, či prepracovaním vyhoreného paliva.

Veľký komerčný jadrový reaktor vyprodukuje približne 2 g trícia za rok. Toto trícium je všeobecne súčasťou jadrového paliva a plášťa. Kvôli jeho nízkemu prirodzenému výskytu v prírode sa pre potreby komerčných účelov musí vyrábať. Je možné ho vyrobiť v jadrových reaktoroch navrhnutých na optimalizáciu výroby trícia a špeciálnych jadrových materiálov ako je  ${}^{239}\text{Pu}$ . Trícium sa vyrába aj absorpciou neutrónov lítiových terčikov:



Trícium sa môže vyrábať aj v urýchľovačoch bombardovaním  ${}^3_2\text{He}_1$  neutrónmi:



Trícium sa primárne používa v priemyselných hrúbko-meroch, samo-svietiacich svetelných zdrojov ako sú napr. označenia únikových ciest v budovách, svetiel letiskových dráh či osvetlenie ciferníkov hodínok. Používa sa pri výskume fúzie, termonukleárných zbraniach a ako rádioaktívny indikátor v chemických, biologických a environmentálnych štúdiách [15].

### 2.3 Biologické aspekty

Trícium sa považuje za jeden z najmenej nebezpečných rádionuklidov. Vo fyzikálnom a biologickom prostredí je veľmi mobilný, keďže môže nahradiť normálny vodík v chemických zlúčeninách nevyhnutných pre život.

Najbežnejšími formami sú plynné trícium a *HTO*. Chemické vlastnosti trícia sú v podstate rovnaké ako vlastnosti bežného vodíka. *HTO* je vo všeobecnosti na nerozoznanie od bežnej molekuly  $\text{H}_2\text{O}$  a môže sa prostredím pohybovať rovnakým spôsobom ako  $\text{H}_2\text{O}$ . Trícium je prirodzene prítomné v povrchových vodách v množstve približne 0,4 – 1,2 Bq/L (10 – 30 pCi/L) a je extrémne mobilné v systémoch podzemných a povrchových vôd. Môže sa dostať do tela pitím vody, jedlom, dýchaním vzduchu alebo kožou, hoci absorpcia kožou aj v horúcom a vlhkom prostredí asi polovičná v porovnaní s inhaláciou. Až 99 % inhalovaného *HTO* sa do tela dostane z pľúc a cirkulujúca krv ho potom rozvádza do všetkých tkanív. Požitý *HTO* sa takmer úplne absorbuje a rýchlo sa presúva z gastro-intestinálneho traktu do krvného obehu. V priebehu niekoľkých minút sa po požití trícia nachádza v rôznych koncentráciách v telesných tekutinách, orgánoch a iných tkanivách. Trícium sa rovnomerne distribuuje do všetkých biologických tekutín v priebehu 1–2 hodín a vylučuje sa z tela s biologickým polčasom 10 dní, rovnako ako v prípade vody. Malá časť trícia zostáva zabudovaná do ľahko vymeniteľných vodíkových miest v organických molekulách [15].

### 2.4 Nomenklatúra pre jednotky koncentrácie trícia v prostredí

Na určovanie koncentrácie trícia v atmosfére a vo vodách sa používa tríciová jednotka TU. Predstavuje približne rovnovážnu koncentráciu trícia v dažďovej vode nad oceánom, aká bola do začatia skúšok jadrových zbraní. Jedna tríciová jednotka je definovaná ako pomer 1 atómu trícia ku  $10^8$  atómom vodíka ( $1 \text{ TU} = 1 \cdot 10^{-18} \text{ T/H}$ ). Pre vodu je jedna TU ekvivalentná objemovej aktivite  $0,11919 \pm 0,00021 \text{ Bq/kg}$  [16]. Obsah trícia v zrážkach na severnej pologuli sa pohybuje od 10 do 20 TU. V oblasti rovníka a na južnej pologuli sa jeho obsah v zrážkach pohybuje pod 10 TU [17].

### 3 Experimentálna časť

Vzhľadom na skutočnosť, že potrebujeme stanoviť veľmi nízke objemové aktivity (tj. objemové aktivity veľmi blízke pozadiu), je potrebné vzorky izotopicky obohatiť. Počas izotopického obohacovania sa zvyšuje pomer atómov  $T$  voči  $H$  tak, aby objemová aktivita vzoriek dosiahla hodnotu nad detekčným limitom LSC. Na tento účel sa využíva fakt, že molekuly  $H_2O$  a  $HTO$  majú odlišné elektrochemické vlastnosti. Keďže  $T^+$  kation má o niečo negatívnejší elektródový potenciál ako  $H^+$  kation, tak  $T^+$  sa bude prednostne redukovať na katóde a tým sa molekuly  $HTO$  budú koncentrovať v elektrolyte. Takto možno zvýšiť objemovú aktivitu trícia vo vzorke nad hranicou merateľnosti.

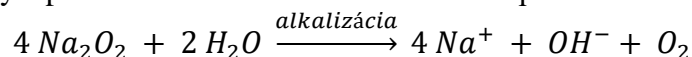
#### 3.1 Zber vzoriek

Lokalita pre zber vzoriek bola zvolená strecha Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave. Zrážky sa zberajú prostredníctvom kovového lievika so zberným povrchom  $1\text{ m}^2$  s mesačnou frekvenciou. Aby sa počas zberu zabránilo styku nazberaných zrážok s okolitým ovzduším, vzorky zrážok sa po každom daždi odoberajú zo zbernej nádoby pod lievikom každý pracovný deň do uzavretej nádoby. Tým sa zamedzí zmenám vlastností vzorky ako je jej odparovanie či kondenzácii vlhkosti ovzdušia do vzorky.

#### 3.2 Predúprava vzoriek

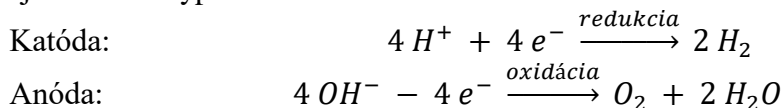
Pred samotnou elektrolýzou je potrebné vzorky predestilovať aby sa odstránili suspendované častice či interferenčné ióny. Ióny, ktoré by mali kladnejší elektródový potenciál, by sa mohli prednostne redukovať na katóde a tým by zamedzovali redukovaniu vodíkových kationov na katóde. Destiluje sa opakovane, dokiaľ sa nedosiahne vodivosť nižšia ako  $50\ \mu\text{S}/\text{cm}$  a do sucha, aby sa zabránilo frakcionácii jednotlivých izotopov vodíka ( $H, D, T$ ).

Pre zvýšenie vodivosti je nutné vzorky zalkalizovať vhodným elektrolytom. A to takým, ktorý nesmie obsahovať vodík a musí mať kation s negatívnejším elektródovým potenciálom ako vodík (napr.  $\text{Na}_2\text{O}_2$  alebo  $\text{PbCl}_2$ ). Do odmernej banky sa naváži  $1,5\text{ g Na}_2\text{O}_2$  do ktorého sa pridá  $500\text{ ml}$  vzorky a pomocou ultrazvuku sa dôkladne rozpustí.



#### 3.3 Elektrolýza

Keďže ohmické straty pri prechode prúdu elektrolytom spôsobujú zahrievanie elektrolytu, tak je potrebné elektrolytické bunky nepretržite chladiť, najlepšie na teplotu  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Týmto sa zabráni taktiež aj stratám z vyparovania.



Obrázok 3 • Zloženie elektrolytickej bunky a ich zapojenie do systému.

Z katód každej bunky je nutné odvádzať vznikajúci plyný vodík od uzavretej miestnosti laboratória von, aby sa zabránilo koncentrácii uvoľneného vodíka v miestnosti laboratória a tým možnému riziku explózie.

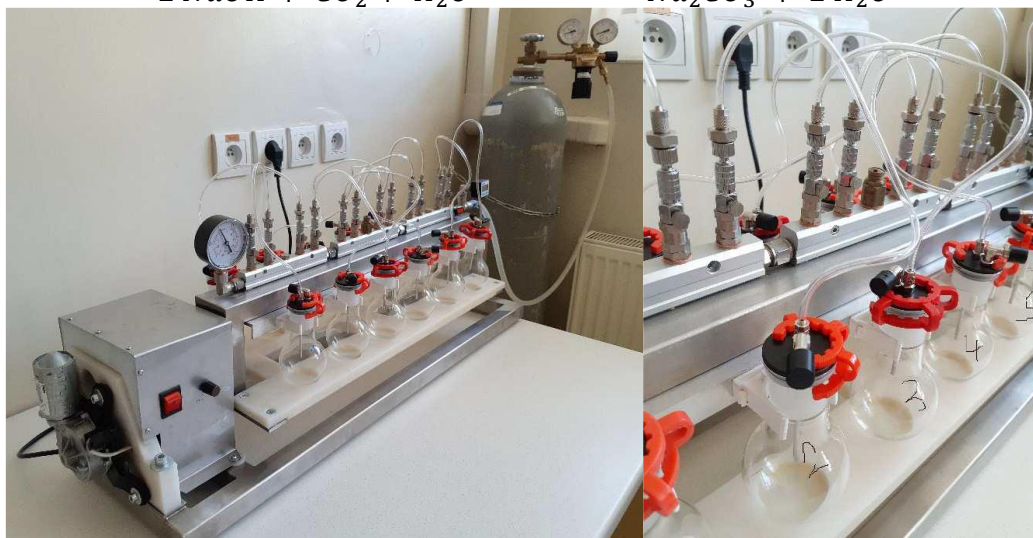
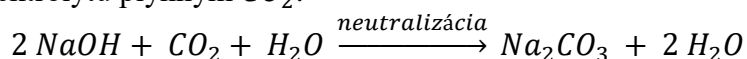
Pracujeme v rozmedzí prúdov od 3 do 10 A. Keďže plošná hustota prúdu sa musí obmedziť na  $100 \text{ mA/cm}^{-2}$  a zároveň na začiatku a konci elektrolýzy je treba plynule zvyšovať / znižovať hodnotu prúdu, tak elektrolýza prebieha niekoľko dní. Pre náš systém sa vykonáva podľa nasledujúceho plánu:

| Čas             | Prúd [A]                          | Náboj [Ah] | Akcia                 |
|-----------------|-----------------------------------|------------|-----------------------|
| Streda, 12:00   | 3,5                               | -          | Spustenie elektrolýzy |
| Štvrtok, 12:00  | 7,0                               | 84         | Zvýšiť prúd na 7,0 A  |
| Piatok, 12:00   | 10,0                              | 252        | Zvýšiť prúd na 10,0 A |
| Pondelok, 12:00 | 10,0                              | 914,4      | Sledovať parametre    |
| Utorok, 12:00   | 6,0                               | 1135,2     | Znížiť prúd na 6,0 A  |
| Streda, 12:00   | $(1414 - 1332) / 21^{**} = 3,9^*$ | 1332       | Znížiť prúd na 3,9 A  |
| Štvrtok, 9:00   | 0                                 | 1414       | Koniec elektrolýzy    |

Tabuľka 1 • Plán elektrolýzy

### 3.4 Úprava vzoriek po elektrolýze

Keďže elektrolyt po alkalizácii obsahuje cca 20 %  $\text{NaOH}$  a môže obsahovať aj trícium, tak je potrebné ho neutralizáciou previesť na molekulu vody. Neutralizácia sa vykonáva prebublávaním elektrolytu plyným  $\text{CO}_2$ :



Obrázok 4 • Proces neutralizácie

Nakoniec sa vykoná sekundárna destilácia aby sa odstránili suspendované častice z korodujúcich elektród, ďalej po neutralizácii vzniknutý  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  či ostatné interferenčné molekuly, ktoré by mohli spôsobiť zhášanie počas merania.

### 3.5 Meranie

Vzhľadom na malý dosah beta častíc trícia nie je možné merať aktivitu trícia v tuhej fáze. Preto je treba použiť metódu vnútornej detekcie, pri ktorej sa vzorka zavedie priamo do pracovného objemu detektora. Najvhodnejšou metódou je zavedenie vzorky do kvapalného scintilátora. Pri

prechode ionizujúceho žiarenia prostredím dochádza k excitácii atómov a molekúl scintilátora. Po ich prechode do základného energetického stavu dôjde k emisii fotónov rôznych vlnových dĺžok podľa zloženia scintilátora. Tieto fotóny následne dopadajú na fotokatódu odkiaľ vyraňujú elektróny a následne sú fotonásobičom mnohonásobne zosilnené. Na druhom konci fotonásobiča na anóde vzniká prúdový impulz, ktorý je po zosilnení zaznamenávaný ako CPM [14].

Scintilačný koktail Ultima Gold™ LLT je pre naše podmienky najvhodnejší. Je navrhnutý pre meranie nízkoaktívnych environmentálnych vzoriek. Má vysokú rozpúšťaciu kapacitu vzhľadom na vzorky vodných roztokov, až 54 % pre pitnú, riečnu, dažďovú a morskú vodu. Verifikáciou sa stanovil ako najoptimálnejší pomer 8 ml vzorky a 12 ml scintilačného koktailu. Pri tomto pomere je citlivosť LSC merania najvyššia.

Keďže máme v systéme 20 buniek tak sa vždy pripravuje 20 elektrolytov, z ktorých minimálne tri sa použijú na elektrolýzu štandardov (Spike) a minimálne tri na elektrolýzu mŕtvej vody. Takto vždy ostane 14 buniek na elektrolýzu samotných vzoriek.

Vzorky sa merajú na kvapalinovom scintilačnom spektrometri Quantulus GCT 6200. Meranie je nastavené na 18 cyklov a každý cyklus meria vzorky 30 minút.

## 4 Výpočty

Z jednotlivých cyklov sa vypočítajú aritmetické priemery nameraných  $CPM_{brut}$  pre každú vzorku.  $CPM_{brut}$  sa skoriguje na  $CPM_{net}$  zvlášť pre:

- Štandardy ( $STD_{bE-i}$ ) & spiky ( $SPK_{bE-i}$ ) bez elektrolýzy:  
tieto cez  $\emptyset$   $CPM$  mŕtvych vôd bez elektrolýzy –  $MV_{bE}$ :

$$CPM_{net\ STD_{bE-i}} = CPM_{brut\ STD_{bE-i}} - CPM_{MV_{bE-\emptyset}}$$

$$CPM_{net\ SPK_{bE-i}} = CPM_{brut\ SPK_{bE-i}} - CPM_{MV_{bE-\emptyset}}$$

- Spiky ( $SPK_{sE-i}$ ) & vzorky ( $VZ_{sE-k}$ ) s elektrolýzou:  
tieto cez  $\emptyset$   $CPM$  mŕtvych vôd s elektrolýzou –  $MV_{sE}$ :

$$CPM_{net\ SPK_{sE-i}} = CPM_{brut\ SPK_{sE-i}} - CPM_{MV_{sE-\emptyset}}$$

$$CPM_{net\ VZ_{sE-k}} = CPM_{brut\ VZ_{sE-k}} - CPM_{MV_{sE-\emptyset}}$$

Následne sa stanoví individuálny faktor obohatenia –  $E_{VZ-k}$  pre každú vzorku  $k$ :

$$= \exp \left\{ \frac{\left( \frac{\sum_{i=1}^n \left( M_{p\ SPK-i} - M_{k\ SPK-i} \right) \times \frac{\ln \left( \frac{CPM_{net\ SPK_{sE-i}}}{CPM_{net\ SPK_{bE-i}} \right)}{\ln \left( \frac{M_{p\ SPK-i}}{M_{k\ SPK-i}} \right)} \right)}{n} \right)}{M_{p\ VZ-k} - M_{k\ VZ-k}} \times \ln \left( \frac{M_{p\ VZ-k}}{M_{k\ VZ-k}} \right) \right\}$$



kde:

|                           |   |   |
|---------------------------|---|---|
| $CPM_{net\ SPK\_bE-i}$    | → | početnosť impulzov spiku- <i>i</i> bez elektrolýzy                |
| $CPM_{net\ SPK\_sE-i}$    | → | početnosť impulzov spiku- <i>i</i> s elektrolýzou                 |
| $M_p\ SPK-k / M_k\ SPK-k$ | → | počiatočná / konečná hmotnosť spiku- <i>k</i> v konkrétnej bunke  |
| $M_p\ VZ-k / M_k\ VZ-k$   | → | počiatočná / konečná hmotnosť vzorky- <i>k</i> v konkrétnej bunke |

| Elektrolýza<br>č. | ∅ EVZ | ∅ Mp / Mk |
|-------------------|-------|-----------|
| E002              | 10,56 | 17,74     |
| E005              | 11,02 | 14,37     |
| E006              | 15,49 | 18,03     |
| E007              | 4,28  | 12,29     |
| E008              | 9,47  | 12,82     |
| E009              | 7,12  | 10,92     |
| E010              | 15,70 | 20,19     |
| E011              | 15,98 | 20,83     |

Tabuľka 2 • Priemerné hodnoty faktorov obohatenia a redukcií hmotností vzoriek pre jednotlivé kolá elektrolýzy

Aktivita vzorky-*k* (korigovaná na čas odberu) –  $A_{VZ-k\_kor}$  sa vypočíta podľa nasledovného vzťahu:

$$A_{VZ-k\_kor} = \left( \frac{CPM_{net\ VZ\_sE-k} \times A_{STD\_kor}}{\emptyset CPM_{net\ STD\_bE-i} \times E_{VZ-k}} \right) \times \exp\{-\lambda \times t\}$$

kde:

|                                  |   |  |
|----------------------------------|---|--|
| $E_{VZ-k}$                       | → | individuálny faktor obohatenia vzorky- <i>k</i>                              |
| $CPM_{net\ VZ\_sE-k}$            | → | početnosť impulzov vzorky- <i>k</i> s elektrolýzou                           |
| $\emptyset CPM_{net\ STD\_bE-i}$ | → | aritmetický priemer početností impulzov štandardov- <i>i</i> bez elektrolýzy |
| $A_{STD\_kor}$                   | → | aktivita štandardu korigovaná k dátumu merania                               |
| $\lambda$                        | → | premenová konštanta trícia   |
| $t$                              | → | doba ktorá uplynula medzi odberom a meraním vzorky                           |

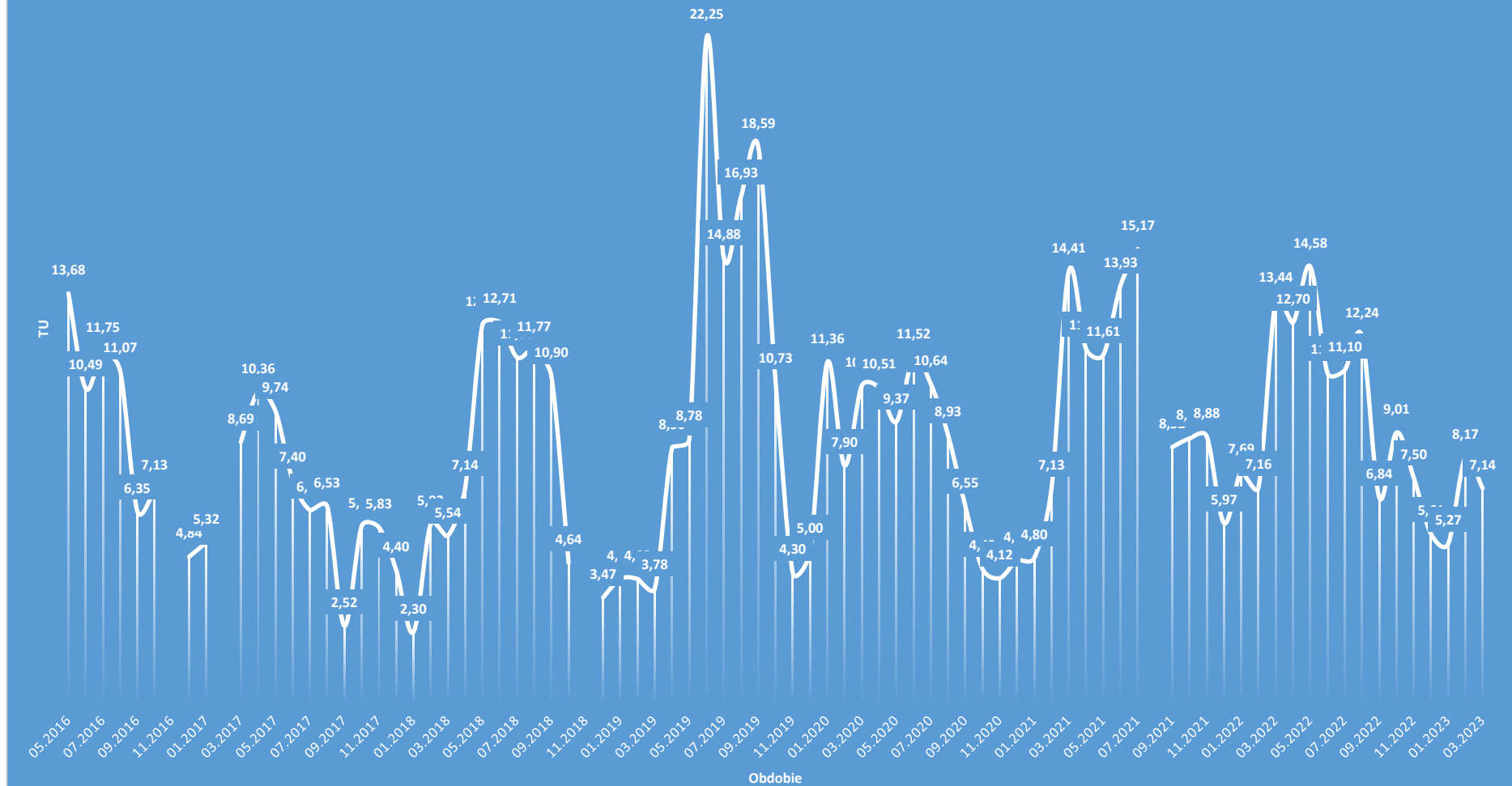
## 5 Vyhodnotenie

Výsledné aktivity boli prepočítané na TU jednotky a graficky vyhodnotené ako:

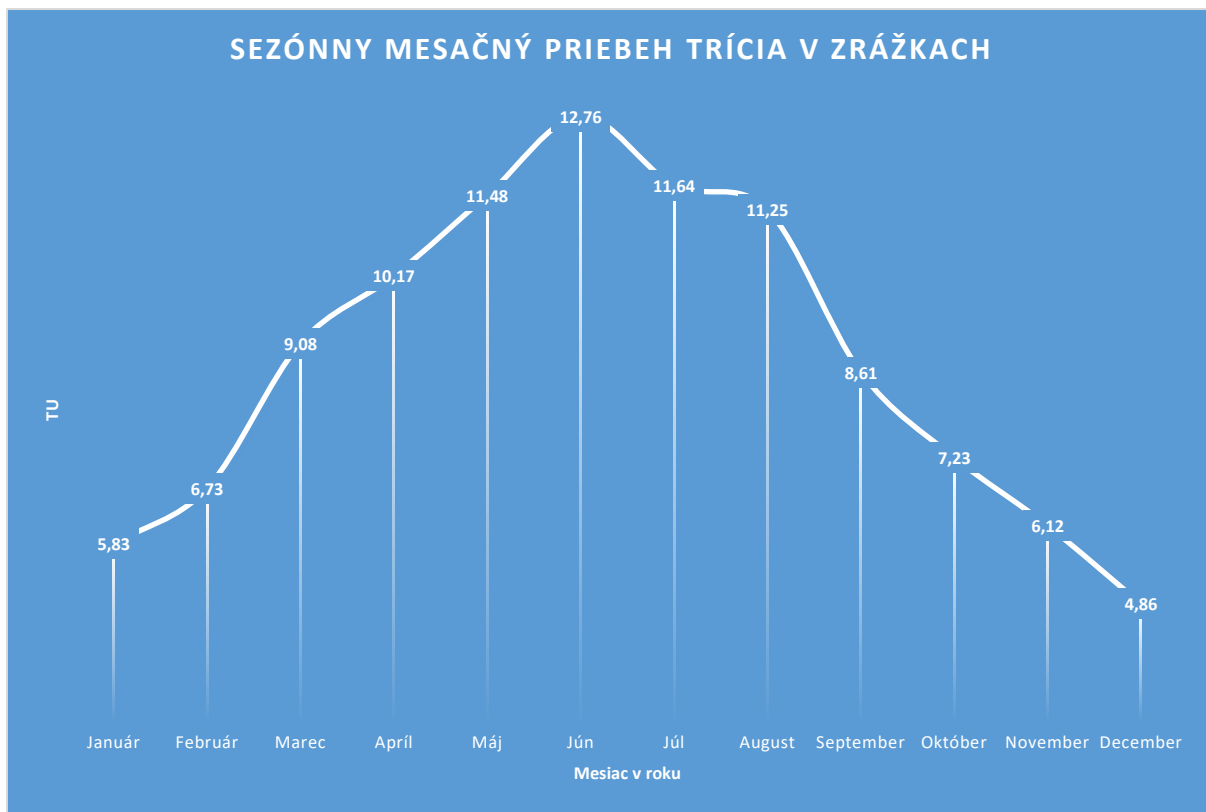
- celkový priebeh od 05.2016 do 03.2023 (viď. obrázok 5),
- sezónny mesačný priebeh od roku 2016 do roku 2023, kde boli pre každý mesiac vypočítané aritmetické priemery hodnôt rovnakého mesiaca za všetky sledované roky (viď obrázok 6),
- ročný priebeh od roku 2017 do roku 2022, kde boli pre každý rok vypočítané aritmetické priemery hodnôt všetkých mesiacov v daného roku (viď obrázok 7).



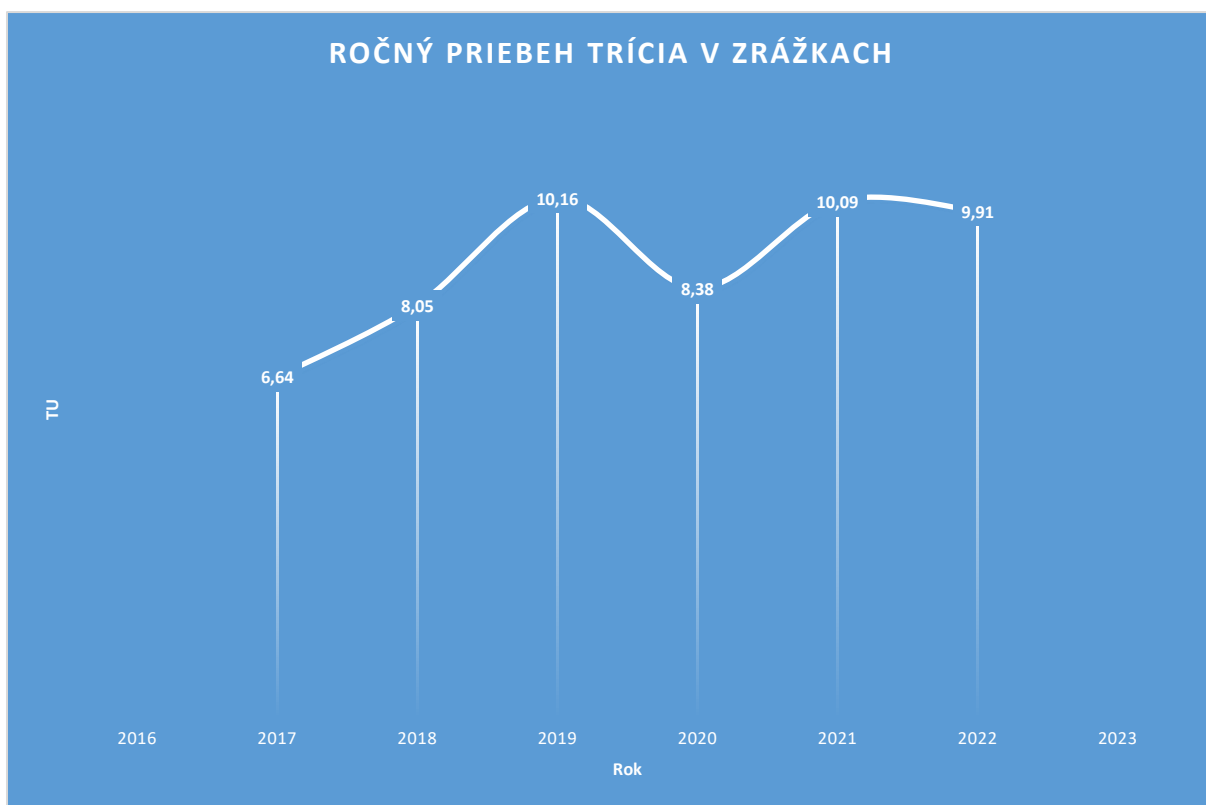
## CELKOVÝ PRIEBEH TRÍCIA V ZRÁŽKACH @ 2016-2023



Obrázok 5 • Celkový priebeh trícia v zrážkach @ 2016-2023



Obrázok 6 • Sezónny mesačný priebeh trícia v zrážkach



Obrázok 7 • Ročný priebeh trícia v zrážkach

## 6 Záver

Pre prístroj Quantulus GCT 6200 bol detekčný limit (LOD) pre meranie vzoriek spracovaných s elektrolytickým zakoncentrovaním stanovený na  $0,24 \text{ Bq.l}^{-1}$ . Pre vyhodnocovanie vzoriek spracovaných bez elektrolytického zakoncentrovania bol detekčný limit stanovený na  $6,0 \text{ Bq.l}^{-1}$ . Metóda elektrolytického zakoncentrovania je vhodná na stanovenie veľmi nízkych objemových aktivít trícia (menej ako  $6 \text{ Bq/l}$ ).

Hodnoty trícia v zrážkach sa blížia k úrovniam trícia z obdobia pred testovaním jadrových zbraní (5 – 20 TU).

Zo získaných hodnôt boli pozorované typické sezónne variácie s nárastom v neskorých jarných a letných mesiacoch a poklesom v neskorých jesenných a zimných obdobiach. Maximálna nameraná hodnota bola na úrovni 22,3 TU (za jún 2019) a minimálna na úrovni 2,3 TU (za január 2018). Priemerná ročná aktivita trícia v zrážkach mala od roku 2017 (s hodnotou 6,6 TU) stúpajúci trend do maxima v roku 2019 (s hodnotou 10,2 TU); od roku 2018 do roku 2021 mala sínusový priebeh s amplitúdou  $|8 - 10 \text{ TU}|$ .

## 7 Literatúra

- [1] Tobias R. Juhlke, Jürgen Sültenfuß, Katja Trachte, Frédéric Huneau, Emilie Garel, Sébastien Santoni, Johannes A. C. Barth, and Robert van Geldern: Tritium as a hydrological tracer in Mediterranean precipitation events, vol. 20, <https://acp.copernicus.org/articles/20/3555/2020/>, 2020
- [2] Roether, W.: Estimating the tritium input to groundwater from wine samples: Groundwater and direct run-off contribution to Central European surface waters, Symposium on isotopes in hydrology, Vienna, Austria, 1967
- [3] Von Buttlar, H. and Wendt, I.: Ground-water studies in New Mexico using tritium as a tracer, EOS T. Am. Geophys. Un., 39, 660–668, <https://doi.org/10.1029/TR039i004p00660>, 1958
- [4] Allison, G. B. and Holmes, J. W.: The environmental tritium concentration of underground water and its hydrological interpretation, J. Hydrol., 19, 131–143, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(73\)90075-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(73)90075-9), 1973
- [5] Vogel, J. C., Thilo, L., and Van Dijken, M.: Determination of groundwater recharge with tritium, J. Hydrol., 23, 131–140, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(74\)90027-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(74)90027-4), 1974
- [6] Allison, G. B. and Hughes, M. W.: The use of environmental tritium to estimate recharge to a South-Australian aquifer, J. Hydrol., 26, 245–254, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(75\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(75)90006-2), 1975
- [7] Jenkins, W. J. and Rhines, P. B.: Tritium in the Deep North-Atlantic Ocean, Nature, 286, 877–880, <https://doi.org/10.1038/286877a0>, 1980
- [8] Fine, R. A., Reid, J. L., and Östlund, H. G.: Circulation of Tritium in the Pacific Ocean, J. Phys. Oceanogr., 11, 3–14, [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1981\)011<0003:cotitp>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1981)011<0003:cotitp>2.0.co;2), 1981
- [9] Palcsu, L., Morgenstern, U., Sultenfuss, J., Koltai, G., Laszlo, E., Temovski, M., Major, Z., Nagy, J. T., Papp, L., Varlam, C., Faurescu, I., Turi, M., Rinyu, L., Czuppon, G., Bottyan, E., and Jull, A. J. T.: Modulation of Cosmogenic Tritium in Meteoric Precipitation by the 11-year Cycle of Solar Magnetic Field Activity, Sci. Rep.-UK, 8, 12813, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31208-9>, 2018
- [10] Eastoe, C. J., Watts, C. J., Ploughe, M., and Wright, W. E.: Future use of tritium in mapping pre-bomb groundwater volumes, Ground Water, 50, 87–93, <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2011.00806.x>, 2012

- [11] Cauquoin, A., Jean-Baptiste, P., Risi, C., Fourre, E., Stenni, B., and Landais, A.: The global distribution of natural tritium in precipitation simulated with an Atmospheric General Circulation Model and comparison with observations, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 427, 160–170, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.06.043>, 2015
- [12] Cauquoin, A., Jean-Baptiste, P., Risi, C., Fourré, É., and Landais, A.: Modeling the global bomb tritium transient signal with the AGCM LMDZ-iso: A method to evaluate aspects of the hydrological cycle, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 121, 12612–612629, <https://doi.org/10.1002/2016jd025484>, 2016
- [13] V.P. Chechev: Table de Radionucléides, [http://www.lnhb.fr/nuclides/H-3\\_tables.pdf](http://www.lnhb.fr/nuclides/H-3_tables.pdf), 10/07/1998 – 31/05/2006
- [14] P. Pospíšil, J. Hulla, Š. Šáro: Využitie nuklidov v hydrogeológii, str. 80-81 & 96, 1984
- [15] Michael I. Ojovan, William E. Lee, Stepan N. Kalmykov – An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation (Third Edition), Chapter 11.2, Short-Lived Waste Radionuclides Pages 145-154, <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/tritium>, 2019
- [16] M. Groning, K. Rozanski: Uncertainty assessment of environmental tritium measurements in water, [https://www.academia.edu/51951480/Uncertainty\\_assessment\\_of\\_environmental\\_tritium\\_measurements\\_in\\_water](https://www.academia.edu/51951480/Uncertainty_assessment_of_environmental_tritium_measurements_in_water), 2003
- [17] H. Von Buttlar, W.F. Libby: Natural distribution of cosmic-ray produced tritium. II, [https://doi.org/10.1016/0022-1902\(55\)80070-X](https://doi.org/10.1016/0022-1902(55)80070-X), 1955

*Keywords: tritium, electrolysis, radioactivity, precipitation*

*The aim of this article is a short preview of the basic chemical-physical properties of tritium, the process of the formation of natural and anthropogenic tritium and its use in monitoring hydrological cycles. The article deal with the methodology of electrolytic enrichment of tritium, processing and measurement of samples. The conclusion of the paper summarizes the results obtained and the facts found.*

# SPOLUPRÁCE SUBJEKTŮ V PŮSOBNOSTI MŽP NA MONITOROVÁNÍ RADIAČNÍ SITUACE: 2004 – 2022

**Diana Marešová, Barbora Sedlářová**

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

*Klíčová slova: radiační monitorování, radionuklidy, Národní program monitorovací, Národní radiační havarijní plán*

*Příspěvek uvádí přehled základních právních předpisů a smluvních vztahů upravujících spolupráci VUV TGM, v.v.i., a Povodí, státní podnik, v rámci radiačního monitorování, přehled sledovaných profilů a požadavky na četnost odběru vzorků, jejich předúpravu a výsledky monitorování.*

## 1. Úvod

Pravidelné sledování radiační situace v České republice bylo zahájeno v dubnu 1986 těsně před havárií v jaderné elektrárně 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. 7. 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 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]. Nová legislativa reaguje na požadavky evropské legislativy [7-8]. Financování monitorování se i nadále řídí usnesením vlády č. 522 z roku 2011 [9]. Na monitorování se podílí jednotlivé subjekty, se kterými má Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen 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].

1. 1. 2019 vstoupil v platnost Národní program monitorování [13] 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 České republiky 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 sítě a monitorovací místa, monitorované položky a měřené fyzikální veličiny; postupy, podle kterých se provádí 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 části příloh nejsou veřejné. Revizi programu provádí SÚJB každých 5 let. První revize byla provedena v roce 2021, v platnost vstoupila 1. 1. 2022.

V závěru roku 2020 byl vydán Národní radiační havarijní plán [14], který bude závazný pro dotčené osoby do 2 let od vydání. Jedná se o plán zpracovaný pro území ČR vně areálu jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie. Pro přípravu a řízení a provádění odezvy na radiační havárii, která může mít

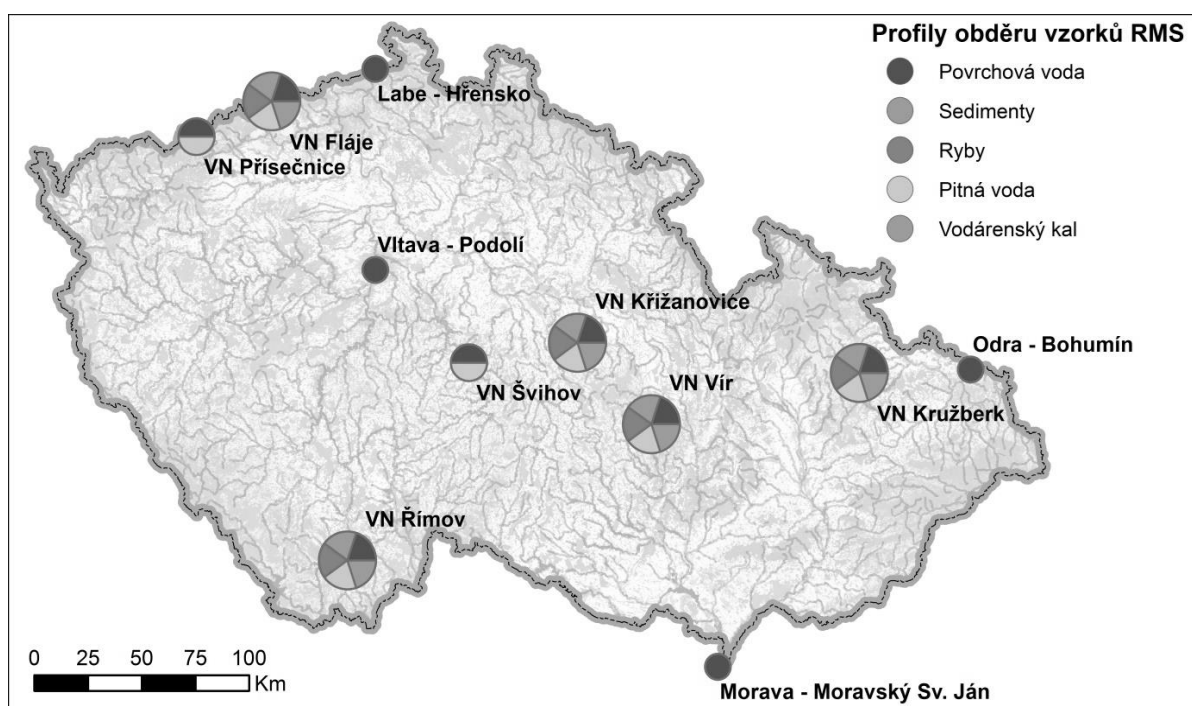
dopad i mimo zónu havarijního plánování případně na radiační havárii, která se může stát v zahraničí nebo kdekoli na území ČR. Nezbytnou součástí připravenosti k odezvě na radiační havárii je zajištění monitorování radiační situace.

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., (dále jen VÚV TGM, v.v.i.) se ve spolupráci se státními podniky Povodí podílí na monitorování radiační situace na území České republiky, které zajišťuje SÚJB od roku 2004. Na konci roku 2017 byla mezi SÚJB a VÚV TGM, v.v.i. uzavřena nová smlouva o činnostech při monitorování radiační situace na území ČR prováděných Výzkumným ústavem vodohospodářským T.G.M., veřejnou výzkumnou institucí, na dobu neurčitou. Monitorování provádí VÚV TGM, v.v.i. prostřednictvím sítě odběrů vzorků životního prostředí a potravního řetězce. Ve Zkušební laboratoři technologií a složek životního prostředí VÚV TGM, v.v.i., 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 České republice 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 5 nádrží. Přehled odběrových míst je na *obr. 1.*

Monitorování je prováděno formou normálního monitorování za obvyklé radiační situace a formou havarijního monitorování za nehodové expoziční situace. Za obvyklé radiační situace jsou odebírány na jednotlivých profilech vzorky vod v návaznosti na legislativu a národní program monitorování s četností 4x 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) a v pitných vodách (objemová aktivita tritia, objemová aktivita stroncia 90 a objemová



Obr. 1. Mapa odběrových míst

aktivita cesia 137) a kalech z úpravy vody (hmotnostní aktivita cesia 137). Stanovení objemové aktivity cesia 137 a stroncia 90 je prováděno ze vzorků vody o objemu 20 l, stanovení 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 provádí jednotlivá Povodí, s.p., stanovení ostatních ukazatelů (tritia, cesia 137 a stroncia 90) provádí Zkušební laboratoř technologií a složek životního prostředí VÚV TGM, v.v.i.

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 zveřejňování zajišťuje SÚJB v současnosti prostřednictvím webových stránek. V letech 2004 a 2005 byly výsledky zveřejněny ve Zprávě o radiační situaci na území České republiky [15, 16], od roku 2006 jsou výsledky součástí výročních zpráv SÚJB [17-32]. 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). Jedná se o evropskou platformu pro výměnu dat mezi většinou evropských zemí.

### 3. Výsledky

Výsledky sledování radioaktivních látek v povrchových vodách za období 2006-2022 jsou shrnuty v Tab. 1.

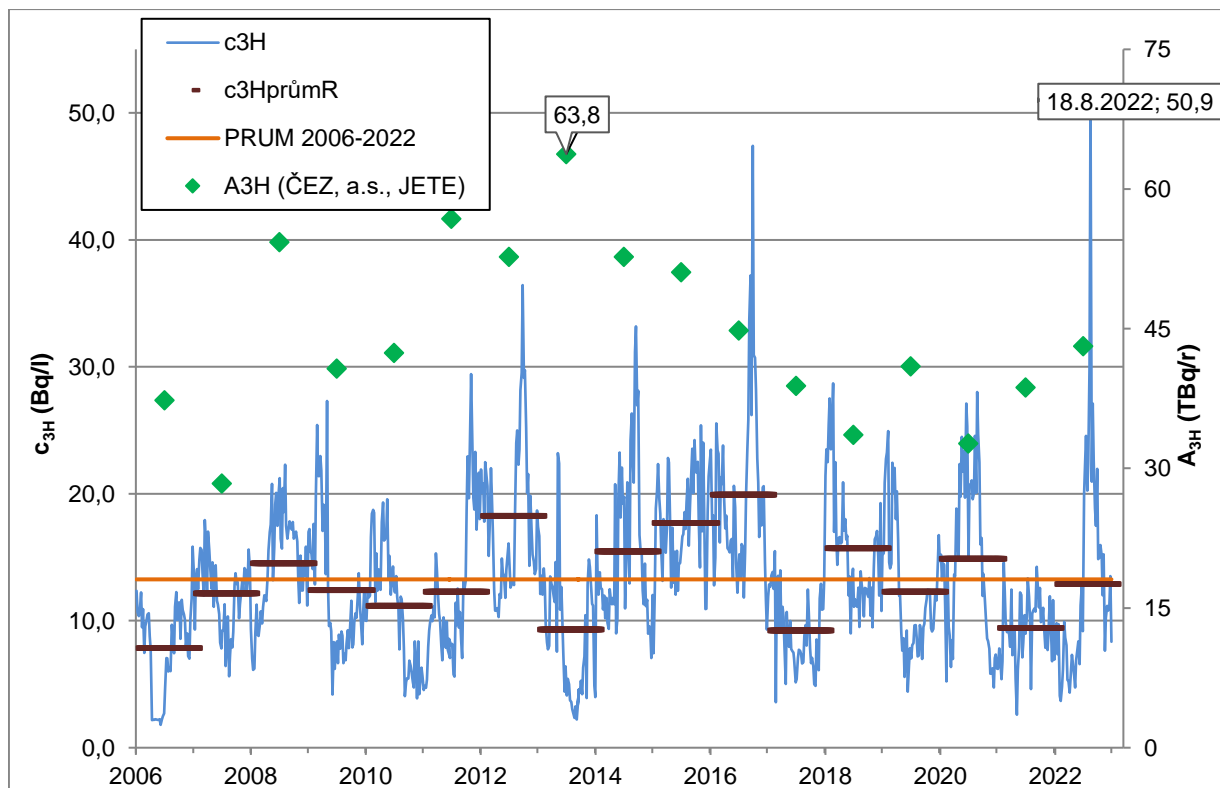
Průměrná hodnota celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku  $^{40}\text{K}$  vyhodnocená ze všech profilů za celé období byla 0,028 Bq/l. Ve sledovaném období nebyly zaznamenány žádné extrémní hodnoty. Toto stanovení provádí laboratoře státních podniků Povodí podle ČSN 75 7612 [33]. Jedná 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 zejména 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

Tab. 1 Průměrné hodnoty celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku  $^{40}\text{K}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^{137}\text{Cs}$  v povrchové vodě v profilech RMS za období 2006-2022

| Povrchová voda      | Celk.obj.akt.<br>beta- $^{40}\text{K}$ (Bq/l) | $^3\text{H}$<br>(Bq/l) | $^{90}\text{Sr}$<br>(mBq/l) | $^{137}\text{Cs}$<br>(mBq/l) |
|---------------------|---|------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| VN Kružberk         | 0,016 ± 0,006                                 | 0,8 ± 0,2              | 2,3 ± 1,0                   | 0,8 ± 0,1                    |
| Odra Bohumín        | 0,034 ± 0,013                                 | 0,9 ± 0,2              | 2,4 ± 1,2                   | 2,0 ± 0,7                    |
| VN Přísečnice       | 0,017 ± 0,008                                 | 0,8 ± 0,1              | 2,3 ± 1,6                   | 0,8 ± 0,2                    |
| VN Fláje            | 0,028 ± 0,018                                 | 0,8 ± 0,2              | 2,3 ± 1,5                   | 1,3 ± 0,3                    |
| VN Vír              | 0,025 ± 0,013                                 | 0,9 ± 0,2              | 2,8 ± 2,0                   | 0,8 ± 0,2                    |
| VN Křižanovice      | 0,018 ± 0,008                                 | 0,9 ± 0,2              | 3,6 ± 3,2                   | 0,8 ± 0,1                    |
| VN Římov            | 0,022 ± 0,018                                 | 0,9 ± 0,2              | 2,2 ± 1,1                   | 0,8 ± 0,1                    |
| VN Švihov           | 0,023 ± 0,018                                 | 0,9 ± 0,2              | 2,6 ± 2,1                   | 0,9 ± 0,1                    |
| Morava M. Sv. Ján   | 0,072 ± 0,059                                 | 3,1 ± 1,4              | 1,6 ± 1,0                   | 1,0 ± 0,4                    |
| Labe Hřensko        | 0,033 ± 0,013                                 | 5,7 ± 2,2              | 1,9 ± 1,0                   | 0,9 ± 0,1                    |
| průměr              | 0,028 ± 0,028                                 | 1,6 ± 1,8              | 2,4 ± 1,8                   | 1,0 ± 0,5                    |
| neovlivněné profily | 0,023 ± 0,015                                 | 0,9 ± 0,2              | 2,5 ± 1,9                   | 1,0 ± 0,5                    |
| ovlivněné profily   | 0,052 ± 0,047                                 | 4,6 ± 2,1              | 1,8 ± 1,0                   | 0,9 ± 0,3                    |

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) [34]. Zjišťované celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku  $^{40}\text{K}$  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 [35]. Ostatní stanovení, tj. stanovení tritia, cesia 137 a stroncia 90, provádí vzhledem k nárokům na přístrojové vybavení (kapalinová scintilační spektrometrie, gamaspektrometrie) a časovou náročnost (radiochemická separace) Zkušební laboratoř technologií a složek životního prostředí VÚV TGM, v.v.i. ve vzorcích odebraných laboratořemi státních podniků Povodí, které provádí předúpravu (zakoncentrování velkoobjemových vzorků).

Všechny tyto radionuklidy jsou sledovány zejména v souvislosti s provozem jaderných elektráren nejen na našem území. S výjimkou tritia se jedná 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. Zjištěné zvýšení objemové aktivity tritia 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 - 2022 0,9 Bq/l, na ovlivněných profilech to bylo 4,7 Bq/l (Labe Hřensko 5,7 Bq/l, Morava Mor. Sv. Ján 3,1 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, průměrem (13,3 Bq/l) za celé období včetně ročních kapalných výpustí tritia  $A_{3\text{H}}$  podle údajů ČEZ, a.s., JETE [36]. Tento profil je sledován podrobněji, vzorky jsou odebírány



Obr. 2. Vývoj objemové aktivity tritia ( $c_{3\text{H}}$ ), ročních průměrných objemových aktivit tritia ( $c_{3\text{HprůmR}}$ ) v povrchové vodě v Praze Podolí a ročních kapalných výpustí tritia ( $A_{3\text{H}}$ ) podle údajů ČEZ, a.s., JETE [36]



1x 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 1000 Bq/l (při využití povrchové vody jako zdroje pro pitné účely 100 Bq/l) a maxima 3500 Bq/l [35]. 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 Černobylu v minulém století. Na profilech ovlivněných provozem jaderné elektrárny nebyly zaznamenány žádné zvýšené hodnoty. Zatímco v případě tritia můžeme detekovat prokazatelný vliv našich jaderných elektráren na povrchové vody ovlivněné jejich výpustmi (které splňují požadované limity), v případě cesia 137 a stroncia 90 je teoretický vliv elektráren 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) [35].

Průměrné hodnoty radioaktivních látek v pitných vodách za období 2006-2022 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 uvedeny v Tab. 3. Nejvyšší hmotnostní aktivita cesia 137 byla zjištěna ve vzorcích sedimentů VN Římov (91

Tab. 2 Průměrné hodnoty objemové aktivity  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^{137}\text{Cs}$  v pitné vodě v profilech RMS za období 2006-2022

| Pitná voda  | $^3\text{H}$<br>(Bq/l) | $^{90}\text{Sr}$<br>(mBq/l) | $^{137}\text{Cs}$<br>(mBq/l) |
|-------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| ÚV Podhradí | 0,8 ± 0,1              | 2,7 ± 0,8                   | 0,8 ± 0,1                    |
| ÚV Švarec   | 0,9 ± 0,4              | 3,2 ± 1,2                   | 0,8 ± 0,1                    |
| ÚV Meziboří | 0,8 ± 0,2              | 2,8 ± 1,1                   | 1,2 ± 0,3                    |
| ÚV Hradiště | 0,8 ± 0,2              | -                           | 0,8 ± 0,1                    |
| ÚV Hulice   | 0,9 ± 0,3              | -                           | 0,8 ± 0,1                    |
| ÚV Plav     | 0,8 ± 0,2              | 3,2 ± 1,1                   | 0,8 ± 0,1                    |
| ÚV Monaco   | 0,8 ± 0,2              | 2,8 ± 0,7                   | 0,8 ± 0,1                    |
| průměr      | 0,9 ± 0,2              | 3,1 ± 1,0                   | 0,9 ± 0,2                    |

Tab. 3 Průměrné hodnoty hmotnostní aktivity  $^{137}\text{Cs}$  v pevných maticích v profilech RMS za období 2004-2022

| $^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg) | sedimenty | ryby      |             | kaly       |
|---------------------------|-----------|-----------|-------------|------------|
| VN Kružberk               | 27 ± 39   | 0,4 ± 0,3 | UV Podhradí | 5,8 ± 3,4  |
| VN Fláje                  | 57 ± 26   | 3,6 ± 2,1 | UV Meziboří | 7,3 ± 10,3 |
| VN Křižanovice            | 8,1 ± 8,1 | 0,4 ± 0,1 | ÚV Monako   | 7,1 ± 2,6  |
| VN Římov                  | 91 ± 34   | 0,6 ± 0,2 | ÚV Plav     | 4,3 ± 2,4  |
| VN Vír Svratka            | 24 ± 15   | 0,5 ± 0,3 | UV Švarec   | 7,4 ± 6,3  |
| průměr                    | 42 ± 40   | 1,1 ± 1,6 | průměr      | 6,4 ± 6,0  |

Bq/kg, průměr za období 2004 – 2022), v rybách VN Fláje (3,6 Bq/kg, průměr 2004 – 2022) a ve vzorcích vodárenských kalů ÚV Švarec a Meziboří (7,4 Bq/kg, resp. 7,3 Bq/kg, průměr 2004 – 2022). I v případě pevných matric je hlavním zdrojem cesia 137 reziduální znečištění po atmosférických testech jaderných zbraní a havárii jaderného reaktoru v Černobyli v minulém století.

V září 2023 proběhla verifikační mise Evropské komise, která byla zaměřena na Českou republiku a zejména pak na monitorování radiační situace prováděné na území ČR. V rámci verifikačního procesu proběhla kontrola laboratoře VÚV TGM, jednak provozu a jejího zapojení do monitorování radiační situace. Závěry verifikačních misí, které probíhají ve všech státech EU se pravděpodobně promítnou do národních legislativ.

#### **4. Závěr**

Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i. se od roku 2004 podílí ve spolupráci s podniky Povodí na monitorování radiační situace v České republice, které zajišťuje Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Laboratoře Povodí, státní podnik provádí odběr vzorků a screeningové stanovení celkové objemové aktivity beta. Stanovení dalších ukazatelů obsahu radioaktivních látek - tritia, cesia 137 a stroncia 90 je prováděno ve VUV TGM, v.v.i. Tato spolupráce je významná zejména v kontextu zajištění havarijního monitorování během nehodové expoziční situace. Pro tyto účely jsou Státním úřadem pro jadernou bezpečnost pravidelně pořádána porovnávací měření a zátěžová cvičení v jednotlivých laboratořích.

#### **Reference**

- [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 plané od 1.1.2017. In Hanslík Eduard, Petráková Klára (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 zed ne 21.2.2017, č.j. 10381/ENV/17
- [13] Národní program monitorováním SÚJB, Praha, 2018.
- [14] Národní radiační havarijní plan, SÚJB, Praha, 2020.
- [15] Zpráva o radiační situaci na území České republiky v roce 2004, SÚJB, ÚRMS ČR, SÚRO, Praha 2005.
- [16] Zpráva o radiační situaci na území České republiky v roce 2005, SÚJB, ÚRMS ČR, SÚRO, Praha 2006.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2010, SÚJB, 2011.
- [21] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2011, SÚJB, 2012.
- [22] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2012, SÚJB, 2013.
- [23] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2013, SÚJB, 2014.
- [24] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2014, SÚJB, 2015.
- [25] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2015, SÚJB, 2016.
- [26] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2016, SÚJB, 2017.
- [27] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností a radiační ochranou za rok 2017, SÚJB, 2018.
- [28] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2018
- [29] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2019
- [30] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2020
- [31] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2021

[32] Zpráva o výsledcích činnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a o monitorování radiační situace na území České republiky za rok 2022

[33] ČSN 75 7612 Jakost vod - Stanovení celkové objemové aktivity beta, ČAS, 2020.

[34] ČSN 75 7613 Kvalita vod - Rychlá metoda stanovení celkové objemové aktivity beta, ÚNMZ, 2014.

[35] 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.

[36] 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 legislative framework 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.*

# INFORMACE KE KURZŮM ZVLÁŠTNÍ ODBORNÉ ZPŮSOBILOSTI V NÁVAZNOSTI NA MĚŘENÍ A HODNOCENÍ PŘÍTOMNOSTI PŘÍRODNÍCH RADIONUKLIDŮ V PITNÉ VODĚ A RADIOAKTIVNÍ LÁTKY UVOLŇOVANÉ Z PRACOVIŠTĚ NORM

**Barbora Sedlářová, Diana Marešová**

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

*Klíčová slova: radioaktivita, radiační ochrana, kurz zvláštní odborné způsobilosti*

*Příspěvek informuje o kurzech zvláštní odborné způsobilosti v rámci radiační ochrany zaměřené na měření a hodnocení přítomnosti přírodních radionuklidů v pitné vodě a radioaktivní látky uvolňované z pracoviště NORM.*

Byla podána informace ke kurzům zvláštní odborné způsobilosti (ZOZ) v rámci radiační ochrany. V návaznosti na § 31 zákona č. 263/2016 Sb. [1] činnosti zvláště důležité z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany může vybraný pracovník vykonávat jen na základě oprávnění udělené Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (úřad). Úřad rozhodne o udělení oprávnění pokud má pracovník požadované vzdělání, je osobně a zdravotně způsobilý a úspěšně složil zkoušku ověřující zvláštní odbornou způsobilost. Činnosti zvláště důležité z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany a příprava osob zajišťující radiační ochranu jsou definovány ve vyhlášce č. 409/2016 Sb. [2]. Patří sem právě měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě a měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření. Požadavkem pro udělení oprávnění je odborná příprava zahrnující prezenční vzdělávací kurz v rozsahu 20 vyučovacích hodin a následné složení písemné a ústní zkoušky. Další odborná příprava je vzdělávací kurz formou distanční výuky v rozsahu 6 vyučovacích hodin každých 5 let. Termíny prezenčních kurzů a zkoušek ZOZ jsou uvedeny na webových stránkách úřadu [3]. Další odbornou přípravu s frekvencí 5 let je možné absolvovat pomocí platformy pro elektronické internetové vzdělávání v oblasti radiační ochrany pro laickou i odbornou veřejnost. Systém byl vytvořen Státním úřadem pro radiační ochranu [4].

## Reference

- [1] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů. [online]. 10. listopadu 2023. Dostupné online z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263\\_2016\\_AZ\\_20220201\\_01.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263_2016_AZ_20220201_01.pdf)
- [2] Vyhláška č. 409/2016 Sb., o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, zvláštní odborné způsobilosti a přípravě osoby zajišťující radiační ochranu registranta. [online] 10. listopadu 2023. Dostupné online z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/409\\_2016.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/409_2016.pdf)
- [3] Zkoušky ZOZ. 10. listopadu 2023. Dostupné online z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje-ionizujiciho-zareni>
- [4] Kurzy radiační ochrany: 10. listopadu 2023. Dostupné online z: <https://nabidka.radiacniochrana.cz/>

*The informs about the special professional qualification courses in the framework of radiation protection*

*Keywords: radioactivity, special professional qualification course*

*The contribution informs about the special professional qualification courses in the framework of radiation protection aimed at measuring and evaluating the presence of natural radionuclides in drinking water and radioactive substances released from the NORM workplace.*

# Odber vzoriek pre rádiochemickú analýzu

**Gabriela Wallová, Enrique Mariaca, Ivana Petránová**

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava

e-mail: gabriela.wallova@vuvh.sk

**Kľúčové slová:** odber vzoriek, voda, vzorkovnica

*Príspevok opisuje spôsoby odberov vzoriek vôd pre rádiochemickú analýzu, taktiež používanie správnych vzorkovníc, konzervačných činidiel, ochranných prostriedkov v zmysle platných noriem a súvisiacich predpisov.*

## 1. Úvod

Všetky činnosti založené na získavaní informácií o kvalite vody pozostávajú z procesov, ktoré na seba nadväzujú: odber vzoriek, analýzy, vyhodnotenie a interpretácia výsledkov. Na získanie reprezentatívnych vzoriek je nevyhnutný ich správny odber. Reprezentatívnosť vzorky je miera, do akej všetky odobraté vzorky odrážajú podmienky v skúšanej vzorke. Správny odber je preto hlavným predpokladom pre použiteľnosť výsledkov získaných rozborom každej vzorky. Odber vzoriek je jedinečný tým, že sa nedá zopakovať. V zásade môžeme opakovať analýzu vzoriek (konzervovaných), ale ak opakujeme odber, nezískame tú istú vzorku. Analýza nesprávne odobratej vzorky nevedie k správnej informácii. Potrebné je venovať pozornosť aj zabezpečeniu kvality pri odbere vzoriek.

Podľa druhu vôd môžeme odber vzoriek rozdeliť na odber pitných, podzemných vôd; odber povrchových vôd a odber odpadových vôd. Odberom vzoriek vôd sa venujú aktuálne znenia noriem radu STN (EN) ISO 5667 a ďalších súvisiacich noriem a predpisov [1-5]. Tento príspevok je zameraný na odber vzoriek vôd pre rádiochemickú analýzu.

## 2. Bezpečnosť práce pri odbere

Odber vzoriek je vždy spojený s určitými rizikami, ktoré môžu predstavovať ohrozenie bezpečnosti a zdravia pracovníkov odoberajúcich vzorky. Pracovníci zodpovední za činnosť pri odbere vzoriek musia zabezpečiť dodržiavanie nasledovných základných bezpečnostných predpisov a opatrení:

- odber vzoriek musia vždy vykonávať minimálne dvaja pracovníci,
- pri odbere je nutné používať všetky potrebné ochranné pomôcky - gumené rukavice, rybárske čizmy, ochranné okuliare, ochranné dýchacie masky, reflexné oblečenie,
- počas odberu je zakázané jesť a piť,
- pri odbere z vodných útvarov je potrebné používať záchrannú vestu a zabezpečiť sa záchranným lanom,
- použitie odberových alebo iných zariadení s elektrickým pohonom vo vode alebo v jej blízkosti môže predstavovať nebezpečenstvo zásahu elektrickým prúdom. Príslušné pracovné postupy sa musia navrhovať tak, aby riziko bolo minimalizované,
- po odbere vzoriek je potrebné zabezpečiť dôkladné umývanie rúk,
- dezinfekcia rúk je obzvlášť dôležitá po odbere vzoriek odpadovej vody a vzoriek neznámeho zloženia,
- narábanie s rádioaktívnymi vzorkami si vyžaduje špeciálne opatrenia a školených pracovníkov na odber daných typov vzoriek.

Najčastejšie sa odoberajú prírodné vzorky vôd, v ktorých sa hodnota aktivity nachádza na úrovni prírodného pozadia. Ak nastane situácia, že je nutné odobrať vysokoaktívne vzorky, alebo vzorky s podozrením na zvýšenú aktivitu, pracovníci musia dôsledne používať všetky potrebné ochranné pomôcky v závislosti od okolností a potrieb pri odbere vzoriek (gumené rukavice, ochranný odev, ochranné okuliare, ochranné dýchacie masky a pod.). V prípade odberu vzorky s podozrením na prítomnosť špecifického rádionuklidu (Pu-239, Co-60 a pod.), je odber potrebné konzultovať s pracovníkmi laboratória.

### 3. Vzorkovnice

V súvislosti s odberom vzoriek je dôležitý výber a príprava vzorkovnic podľa Plánu odberu, alebo Špecifikácie prác. Vzorkovnica a jej zátko nesmie spôsobovať znečistenie vzorky. Taktiež všetky odberové nádoby (vedrá a pod.) musia byť čisté, aby nespôsobili kontamináciu vzorky. Na odber sa odporúča zobrať aj náhradné vzorkovnice (hlavne sklenené), pre prípad že by sa v teréne poškodili, alebo rozbili. Nové vzorkovnice je pred prvým použitím potrebné umyť. Vzorkovnice sa vypláchnu kyselinou chlorovodíkovou zriedenou v pomere 1:1. Následne sa vypláchnu pitnou a destilovanou vodou. Vzorkovnice sa skladujú suché a uzavreté. Použitie vzorkovnice je potrebné vyčistiť rovnakým spôsobom. Pripravené vzorkovnice sa uložia do prepravných boxov, alebo autochladničky.

### 4. Odber vzoriek a manipulácia s nimi

Konzervácii a podmienkam skladovania vzoriek po odbere sa zaoberá norma STN EN ISO 5667 – 3:2019 [4]. Podľa tejto normy je konzervácia vzorky akýkoľvek postup, ktorý sa používa na stabilizáciu vzorky tak, aby boli jej vlastnosti stabilné od odberu až po prípravu analýzy. Skladovanie vzorky je proces uchovávanía vzorky za určených podmienok počas špecifikovaného intervalu medzi jej odberom a ďalšou úpravou.

Podľa Nariadenia Vlády 269/2010 [2] sa v **povrchových vodách** stanovujú nasledovné ukazovatele kvality vody (ukazovatele rádioaktivity):

- celková objemová aktivita alfa
- celková objemová aktivita beta
- objemová aktivita  $^{226}\text{Ra}$
- hmotnostná koncentrácia Unat
- objemová aktivita  $^3\text{H}$
- objemová aktivita  $^{90}\text{Sr}$
- objemová aktivita  $^{137}\text{Cs}$

V **podzemných a pitných vodách** sa v zmysle Vyhlášky MZ SR č. 91/2023 Z.z stanovujú nasledovné základné rádiologické ukazovatele kvality vody:

- celková objemová aktivita alfa
- celková objemová aktivita beta
- objemová aktivita  $^{222}\text{Rn}$



Po prekročení indikačných hodnôt sa stanovujú ďalšie rádionuklidy a to:

- objemová aktivita  $^{226}\text{Ra}$
- objemová aktivita  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$
- objemová aktivita  $^{210}\text{Po}$
- objemová aktivita  $^3\text{H}$ , atď.

Pokynmi na odber **odpadových vôd** sa zaoberá norma STN ISO 5667-10:2022 [6]. Táto norma definuje odpadovú vodu s obsahom rádioaktívnych látok ako vodu, alebo odpadovú vodu, ktorá obsahuje rádioaktívne látky pochádzajúce z procesu, a ktorá môže byť recyklovaná, čistená a/alebo vypúšťaná do recipientu. Norma ďalej uvádza, že pred vypustením odpadovej vody s obsahom rádioaktívnych látok do recipientu sa zvyčajne meria jej objemová aktivita, aby sa overilo, že je nižšia ako stanovené limitné hodnoty a zabezpečil sa tak súlad s platnou legislatívou (národnými predpismi), čím sa vlastne odvoláva na Nariadenie Vlády 269/2010, ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.

V Tabuľke 1 sú už zhrnuté spôsoby odberu a konzervácie vzoriek na rádiochemickú analýzu.

| Ukazovateľ                                   | Vzorkovnica                      | Spôsob plnenia   |
|--|----------------------------------|--|
| Celková objemová aktivita alfa               | 2 l PE                           | bez konz., doplna  |
| Celková objemová aktivita beta               |                                  |  |
| Objemová aktivita radónu-222, LSC            | 250 ml sklo so zrezaným zábrusom | bez bubliny doplna,  |
|  |                                  | zapísať čas odberu   |
| Objemová aktivita radónu-222, emanometricky  | 1000 ml sklenená prebublávačka   | Pomalým prúdom odobrať 500 ml, uzavrieť nástavcom s fritou, zapísať čas odberu |
| Objemová aktivita rádia-226                  | 2 l PE                           | bez konz., doplna  |
| Objemová aktivita izotopov uránu, alebo Unat | 1 l PE,                          | bez konz., doplna  |
| Objemová aktivita polónia-210                | 2 l PE                           | bez konz., doplna  |
| Objemová aktivita trícia – s elektrolýzou    | 2 l PE, sklo                     | bez konz., doplna  |
| Objemová aktivita trícia – bez elektrolýzy   | 250 ml PE, sklo                  | bez konz., doplna  |

**Tabuľka 1:** Vhodné spôsoby odberu a konzervácie vzoriek na rádiochemickú analýzu.

PE – polyetylén.

konz. – konzervácia

Vzorky na stanovenie rádiochemických ukazovateľov, ktoré treba konzervovať (všetky okrem trícia),

sa okyslia  $\text{HNO}_3$  na  $\text{pH} < 2$  až v prípade, že by sa vzorka nemohla spracovať v laboratóriu do 7 dní.

Vzorky sa transportujú a skladujú pri teplote od  $1\text{ }^\circ\text{C}$  do  $5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Cieľom riadenia kvality pri odbere je aby spoľahlivosť údajov o odbere vzoriek bola v súlade s požadovanými kritériami kvality. Na tento účel sa používajú regulačné diagramy. Najrozšírenejšou používanou formou regulačného diagramu je Shewhartov diagram. Má formu diagramu, do ktorého sa postupne zaznamenáva skúmaná premenná. Namerané hodnoty sa porovnávajú s regulačnou hodnotou. V procese riadenia kvality sa často používajú aj opakované odbery na kontrolu zhodnosti odberu vzoriek (deionizovaná voda obohatená prídavkom štandardu).

## 5. Záver

Na ceste k analýze vzorky je potrebné absolvovať niekoľko krokov (odber, konzervácia, transport a následná analýza). Na získanie správneho výsledku analýzy je nevyhnutný správny odber. Podmienky transportu vzoriek a ich skladovania taktiež zohrávajú dôležitú úlohu a majú vplyv na konečný výsledok analýzy. Pre to je procese odberov vzoriek nevyhnutné dodržiavať predpísané postupy.

## 6. Literatúra

7. Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 100/2018 Z. z. o obmedzovaní ožiarenia obyvateľov z pitnej vody, z prírodnej minerálnej vody a z pramenitej vody.
8. Nariadenie Vlády 269/2010, ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.
9. 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.
10. STN EN ISO 5667-3:2019 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 3: Pokyny na konzerváciu vzoriek vody a manipuláciu s nimi.
11. STN EN ISO 5667-14:2017 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 14: Pokyny na zabezpečenie kvality pri odbere environmentálnych vzoriek vody a manipulácii s nimi.
12. STN ISO 5667-10:2022 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 10: Pokyny na odber odpadových vôd.

*Sampling for radiochemical analysis*

*Key words: sampling, water, sample box,*

*The paper summarizes the methods of taking water samples for radiochemical analysis, as well as the use of the correct sample boxes, preservatives and protective agents in accordance with applicable standards and related regulations.*