

Stanovení velmi nízkých objemových aktivit tritia pro potřeby využití tritia jako stopovače

DIANA MAREŠOVÁ, EDUARD HANSLÍK, EVA JURANOVÁ, BARBORA SEDLÁŘOVÁ

Klíčová slova: tritium – srážky – povrchová voda – LSC – elektrolytické nabohacení

SOUHRN

V současnosti jsou hlavními zdroji tritia v životním prostředí přetrvávající dopady atmosférických testů jaderných zbraní v minulém století, tritium vypouštěné jadernými zařízeními a jeho přirozená produkce v atmosféře. Díky jeho všeobecné přítomnosti a příznivým vlastnostem je tritium ve formě HTO využíváno jako stopovač v podzemních a povrchových vodách. Od ukončení atmosférických jaderných testů obsah tritia ve srážkách klesá a postupně se blíží přirozeným koncentracím pod 1 Bq/l. V této souvislosti je třeba citlivé metody stanovení. Článek popisuje vývoj objemové aktivity tritia v povodí Labe v lokalitách bez přímého vlivu antropogenních emisí tritia v období 2001–2017. Vyhodnocené úrovně jsou výchozím podkladem pro využití tritia jako stopovače, např. v oblasti hydrogeologického modelování.

ÚVOD

Tritium (^3H) je radioaktivní izotop vodíku s poločasem přeměny 12,32 r, resp. $4\,500 \pm 8$ d [1], který se přirozeně vyskytuje v množství 1 atom na 10^{18} atomů vodíku. Tritium přirozeně vzniká jadernými reakcemi vyvolanými kosmickým zářením v horních vrstvách atmosféry, patří mezi tzv. kosmogenní radionuklidy [2]. Roční kosmogenní produkce tritia je odhadována na 72 PBq/r ($72 \cdot 10^{15}$ Bq), což odpovídá přirozenému konstantnímu výskytu tritia v atmosféře přibližně 1 275 PBq [3]. Přirozená úroveň tritia ve srážkách v oblasti střední Evropy je odhadována na 5 TU [4]. Tritiové jednotky (TU) jsou odvozeny z přirozené koncentrace tritia. Pro převod hodnot uvedených v TU platí vztah $1\text{ TU} = 0,11919 \pm 0,00021$ Bq/kg [5]; 5 TU je tedy přibližně 0,6 Bq/l. Hanslík [6] na základě dřívějších odhadů uvádí pro přirozenou úroveň tritia ve srážkách hodnotu 0,38 Bq/l.

Uměle je produkováno tritium zejména v důsledku využívání jaderné energie ať už pro mírové, nebo vojenské účely. V jaderném reaktoru vzniká tritium při štěpných procesech (ternární štěpení) a aktivačních procesech v konstrukčních materiálech, chladiivu a moderátoru. Doposud největším zdrojem tritia v atmosféře, který je stále měřitelný, však byly testy jaderných zbraní v padesátých a šedesátých letech minulého století. Množství tritia uvolněného v průběhu testů do atmosféry se odhaduje na 186 EBq ($186 \cdot 10^{18}$ Bq) [3]. Většina testů probíhala na severní polokouli. Jen asi 5 % uvolněného tritia se vlivem stratosférické cirkulace dostalo na jižní polokouli [7]. Objemová aktivita tritia ve srážkách v době kulminace atmosférických testů byla na severní polokouli přibližně 600 Bq/l [4]. Od zákazu atmosférických jaderných testů v roce 1963 dochází k postupnému poklesu globální úrovně tritia v životním prostředí. Z uváděných dat [3] můžeme odhadnout příspěvek tritia z jaderných testů v globálním inventáři pro rok 2016 na 9,6 EBq, po roce 2050 bude příspěvek srovnatelný

s množstvím tritia přirozeného původu (1,3 EBq). Ve srovnání s atmosférickými testy jaderných zbraní jsou ostatní antropogenní zdroje tritia v globálním měřítku minoritní a mají spíše lokální význam [8]. Například UNSCEAR uvádí roční celosvětovou výpusť tritia do ovzduší v devadesátých letech na úrovni jednotek PTBq (10^{15} Bq) a celosvětovou roční výpusť do vodotečí na úrovni 10 PTBq [3].

Tritium přirozeného původu i původem z jaderných testů se v atmosféře vyskytuje dominantně ve formě HTO. K zemskému povrchu se dostává nejvíce během jara a léta. Je to způsobeno jarním zeslabením tropopauzy, kdy dochází k průniku stratosférického vzduchu do troposféry. Tomu odpovídá i cyklický průběh koncentrací tritia ve srážkách. Na severní polokouli se jedná o zvýšené hodnoty v období jaro–léto a nejnižší v zimě [9].

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je tritium v chemické formě HTO využíváno jako stopovač pro podzemní a povrchové vody. Například pro modelování transportu polutantů v toku pod jadernou elektrárnou [10, 11], v podzemních vodách [12, 13], také se používá k určování stáří a původu podzemních vod. Pro všechny tyto účely je základním předpokladem přesné stanovení nízkých objemových aktivit tritia.

Objemová aktivita tritia ve srážkách je závislá především na zeměpisné šířce a vzdálenosti lokality od oceánu. Současná úroveň aktivity tritia ve srážkových vodách ve středním zeměpisném pásmu severní polokoule v kontinentálních podmínkách je přibližně 1 Bq/l. V podzemních vodách jsou ojediněle zjišťovány vyšší koncentrace až několik Bq/l původem ze srážek v období jaderných testů. Na jižní polokouli je to z důvodu omezené výměny vzduchu přes rovníkové pásmo v době vrcholících testů jaderných zbraní méně, přibližně 0,1–0,5 Bq/l [14].

Pro Českou republiku nebylo publikováno mnoho souhrnných údajů o objemových aktivitách tritia v životním prostředí, které by byly využitelné pro výše uvedené modely. Existuje celosvětová síť, která zveřejňuje údaje o izotopech včetně tritia ve srážkách a povrchových vodách (Global Network of Isotopes in Precipitation and Rivers, GNIP, resp. GNIR) [15, 16], kterou zajišťuje Mezinárodní atomová agentura se sídlem ve Vídni. Do této sítě přispěla údajmi z České republiky pouze jedna stanice srážkových a povrchových vod (stanice Uhlířská v Jizerských horách), a to za období 2006–2010, resp. 2006–2012. Údaje o objemové aktivitě tritia ve srážkách a povrchových vodách na území České republiky v lokalitách přímo neovlivněných provozem jaderných elektráren v předěšlém období publikovali například autoři viz [6, 17–19].

Tento příspěvek se zaměřil na vývoj aktivit tritia ve srážkách a povrchových vodách bez přímého vlivu jaderných zařízení v Čechách, resp. v povodí Vltavy a Labe. Hlavním cílem bylo vyhodnotit aktuální úroveň aktivity tohoto radionuklidu. Stanovení tritia bylo prováděno podle ČSN EN 9698 [20], od roku 2010 byly vzorky předupravovány elektrolytickým nabohacením.

Tabulka 1. Základní charakteristika odběrových míst
Table 1. Characteristics of sampling sites

| Povrchová voda | | Dlouhodobý průměrný průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) | Počet vzorků za rok |
|----------------|-------------------|---|---------------------|
| 1 | Vltava-Hluboká | 27,6 | 12 |
| 2 | Labe-Lysá | 74,1 | 12 |
| 3 | Vltava-Hněvkovice | 30,6 | 4 |
| 4 | Lužnice-Koloděje | 24,1 | 4 |
| 5 | Otava-Topělec | 23,3 | 4 |

| Srážky | Období sledování | Počet vzorků za rok |
|-----------------|------------------|---------------------|
| A Praha-Podbaba | 2001–2017 | 12 |
| B Kocelovice | 2006–2017 | 12 |
| C Přimda | 2001–2005 | 12 |
| D Lužnice | 2001–2012 | 12 |
| E Závíšíň | 2001–2005 | 12 |

METODIKA

Vzorky srážek byly odebírány jedenkrát měsíčně (směsný měsíční vzorek) v lokalitách Praha-Podbaba, Kocelovice, Přimda, Lužnice nad Lužnicí, Závíšíň, podrobnosti jsou uvedeny v *tabulce 1*. Vzorky povrchových vod byly odebírány jedenkrát měsíčně v profilech Vltava-Hluboká a Labe-Lysá a čtvrtletně v profilech Vltava-Hněvkovice, Lužnice-Koloděje a Otava-Topělec v období 2002–2017 (*tabulka 1, obr. 1*).

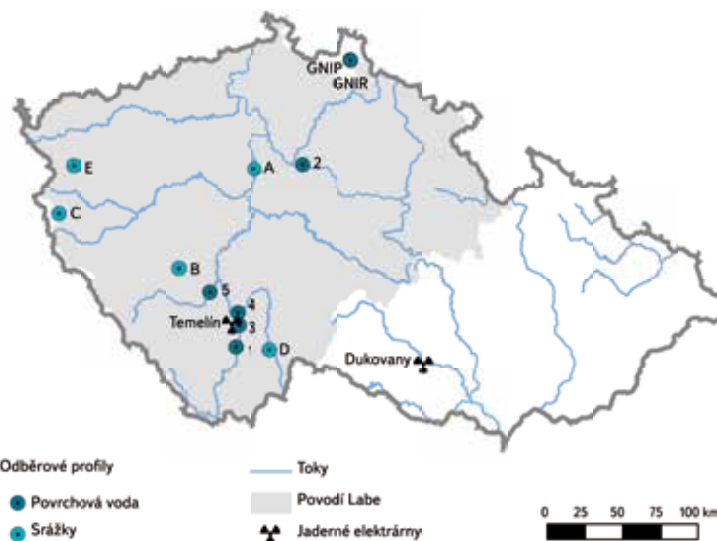
Tritium bylo stanoveno podle ČSN EN 9698 [20]. Vzorky byly předupraveny destilací a měřeny v přístroji Quantulus 1 220, od roku 2010 byly vzorky nejprve elektrolyticky nabohaceny (výchozí objem vzorku 0,5 l). Měřena byla směs 8 ml vzorku a 12 ml scintilačního koktejlu Ultima Gold LLT. K omezení chemiluminiscence byl vzorek před měřením uchovávan 12 hodin v temnu. Doba měření byla 800 minut, v případě nabohacených vzorků 300 minut. Ke kalibraci byl použit certifikovaný referenční materiál od ČMI. Jako slepý vzorek byla použita artézácká voda z dlouhodobě sledovaného zdroje s aktivitou menší než 0,07 Bq/l. Nejistota měření a nejmenší detekovatelná aktivita (c_{ND}) na hladině významnosti 95 % byla vyjádřena podle ČSN 75 7600 [21]. U vzorků bez elektrolytického nabohacení byla c_{ND} cca 1 Bq/l, pro vzorky nabohacené 0,07 Bq/l.

Hodnoty menší než c_{ND} byly do dalšího zpracování zahrnuty na úrovni c_{ND} . Průměrné hodnoty tritia ve srážkách byly vážené množstvím srážek na konkrétní stanici.

Pro popis poklesu objemových aktivit tritia byla použita rovnice prvního řádu:

$$\ln c_j = -\lambda_{ef} \cdot t + \ln c_0 \quad (1)$$

kde c_j je roční průměrná objemová aktivita tritia v povrchové vodě nebo srážkách v roce j (Bq/l),
 λ_{ef} efektivní (pozorovaná) konstanta ubývání ($1/r$),
 t doba sledování.



Obr. 1. Mapa odběrových míst vzorků v povodí Vltavy a Labe
Fig. 1. Map of sampling sites

Statistická významnost závislosti byla ověřena pomocí Pearsonova koeficientu. S použitím efektivní konstanty byl vypočten pozorovaný poločas poklesu aktivity $T_{ef}(r)$ [22]:

$$T_{ef} = \ln 2 / \lambda_{ef} \quad (2)$$

Pro zjištění sezonních změn tritia ve srážkách byly vypočteny průměrné hodnoty vážené množstvím srážek pro jednotlivá roční období. Pro výpočet byly jako jaro vzaty měsíce březen–květen, léto červen–srpen, podzim září–listopad a zima měsíce prosinec až únor [23].

VÝSLEDKY A DISKUSE

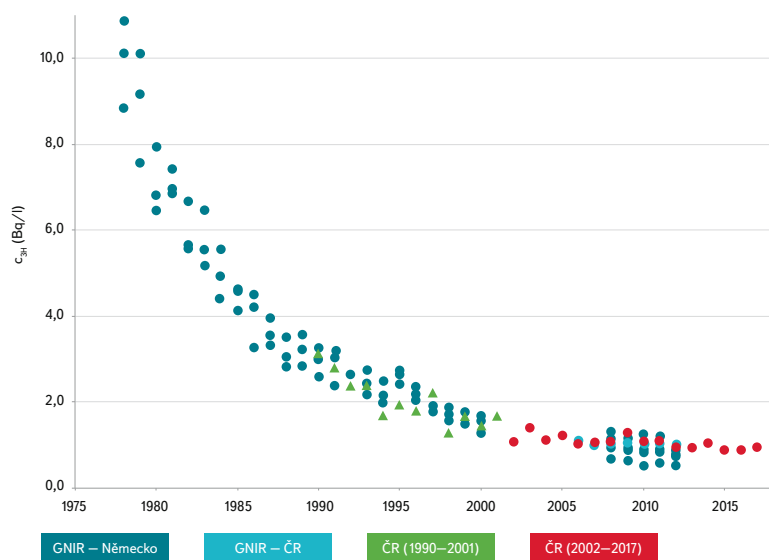
Vývoj objemové aktivity tritia v povrchové vodě vyhodnocené jako průměr z profilů neovlivněných přímými výpustmi jaderného zařízení je zachycen na *obr. 2*. Na obrázku jsou data porovnána s výsledky pro české území publikovanými dříve a dále s profilem uvedenými v databázi GNIR. Jednak byly použity profile v Německu, které svojí geografickou polohou a klimatickými podmínkami odpovídají našim podmínkám, a dále výsledky z jediné české stanice zapojené v GNIR.

Vyhodnocené roční průměrné objemové aktivity v povrchové vodě v hodnoceném území byly v období 2002–2017 v rozmezí 0,87–1,43 Bq/l.

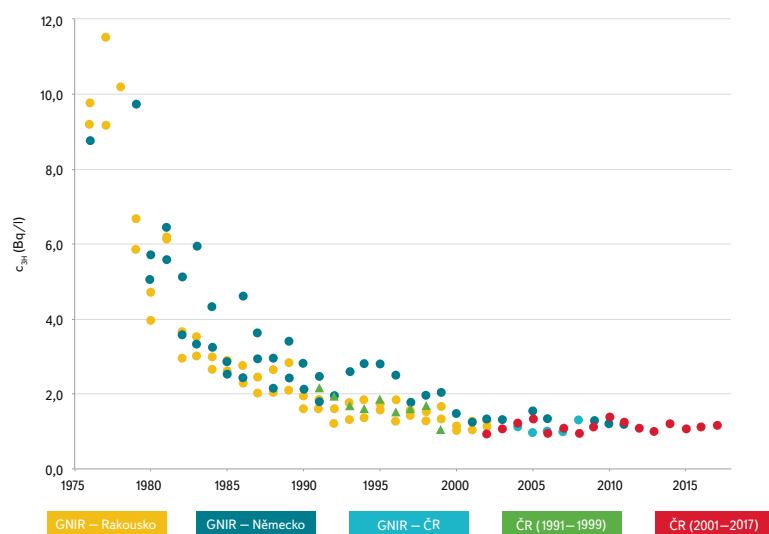
Vývoj vážených ročních průměrných objemových aktivit tritia ve srážkách v české části povodí Labe je uveden na *obr. 3*. V grafu je uvedeno i srovnání s výsledky publikovanými dříve pro české území a s daty uvedenými v GNIP. Vyhodnocené vážené roční průměrné aktivity v hodnoceném období 2001–2017 byly v rozmezí 0,94–1,38 Bq/l.

Pozorované roční průměrné objemové aktivity tritia ve srážkách a povrchové vodě jsou přibližně 1 Bq/l a jsou srovnatelné s výsledky uváděnými v databázích GNIR a GNIP pro stanice ve srovnatelných geografických podmínkách (severní polokoule, střední zeměpisná šířka, kontinentální charakter). Tyto aktivity jsou stále vyšší, než je úroveň tritia odpovídající přirozenému pozadí tritia a než aktivity pozorované na jižní polokouli, kde se úroveň tritia dostala přibližně na úroveň charakteristickou pro období před jadernými testy [7, 14, 24].

S použitím rovnice (1) byl hodnocen trend poklesu ročních průměrných objemových aktivit tritia v povrchových vodách i srážkách. V případě povrchových vod byl pro období 2001–2017 nalezen statisticky významný trend poklesu, ovšem s poločasem vypočteným podle rovnice (2) $28,3 \pm 9,0$ let, což je hodnota

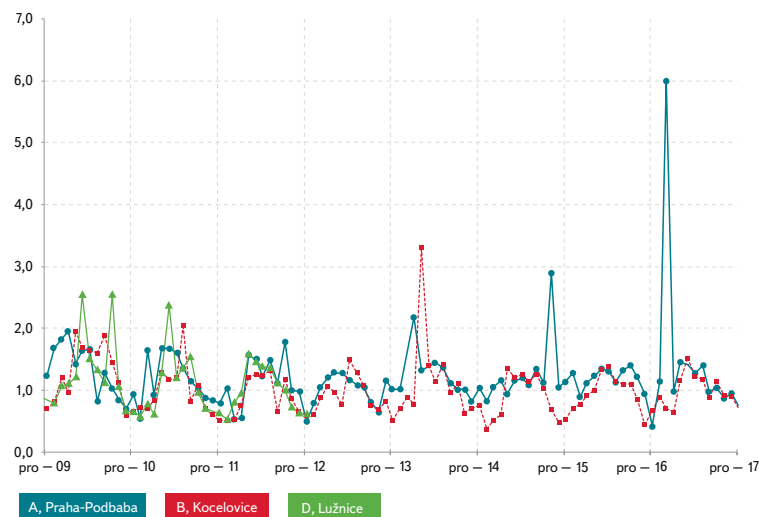


Obr. 2. Vývoj objemových aktivit tritia v povrchových vodách na území povodí Labe ve srovnání s dříve publikovanými výsledky pro ČR a s daty uvedenými v GNIR (Německo, ČR)
Fig. 2. Comparison of tritium concentrations in surface water in Elbe River Basin with data from GNIR and previously published data for the Czech Republic



Obr. 3. Vývoj objemových aktivit tritia ve srážkách na území povodí Labe ve srovnání s dříve publikovanými výsledky pro ČR a s daty uvedenými v GNIP (Německo, Rakousko, ČR)
Fig. 3. Comparison of tritium concentrations in precipitation in Elbe River Basin with data from GNIP and previously published data for the Czech Republic

významně vyšší, než je poločas přeměny tritia 12,32 let [1]. Důvodem mohou být současné zdroje tritia: a) antropogenní, zejména jaderné elektrárny v ČR a v zahraničí (ze kterých se k nám dostává atmosférickým přenosem), b) přirozená produkce tohoto radionuklidu. Korekce pro výpočet poločasů poklesu aktivity (odpovídající hodnotě objemové aktivity pro stabilní přísun tritia z těchto zdrojů) byla odhadnuta na základě publikovaných údajů. Podle autorů publikace [5] činila tato hodnota 0,48 Bq/l (0,38 Bq/l odhadovaná aktivita odpovídající přirozené produkci a 0,1 Bq/l aktivita odpovídající přenosu tritia z jaderných elektráren), podle údajů z publikace [4] byla použita hodnota 0,6 Bq/l (autoři uvádí pro odhad odpovídající pouze přirozené produkci). Vypočtené hodnoty efektivních poločasů poklesu aktivity pak byly $15,9 \pm 4,8$ let podle [6] a $12,7 \pm 3,7$ let podle [4], jak je uvedeno v tabulce 2. S přihlédnutím k nejistotám vypočtených poločasů jde v obou případech o hodnoty odpovídající přibližně poločasů přeměny tritia. Pro území České



Obr. 4. Vývoj objemové aktivity tritia ve srážkách na vybraných profilech v období 2010–2017
Fig. 4. Tritium concentrations in precipitation from selected monitoring sites in the period 2010–2017

republiky se jeví jako přesnější odhad vycházející z rovnovážné hodnoty objemové aktivity 0,6 Bq/l, jelikož je zatížen menší nejistotou. Z výpočtu vyplývá, že příspěvek jaderných elektráren na našem území je velmi malý a v rámci nejistot jej můžeme zanedbat. V budoucnu ovšem s rozvíjející se světovou jadernou energetikou a dalším poklesem „bombového“ tritia může jeho význam narůst.

Obdobně byl analyzován trend poklesu objemových aktivit tritia ve srážkách. V období po roce 2002 nebyl pozorován statisticky významný trend poklesu objemových aktivit tritia ve srážkách ani při analýze korigovaných hodnot jak postupem podle [6], tak i [4], který byl pozorován v předchozích obdobích (obr. 2 a 3), v České republice ještě v devadesátých letech [6].

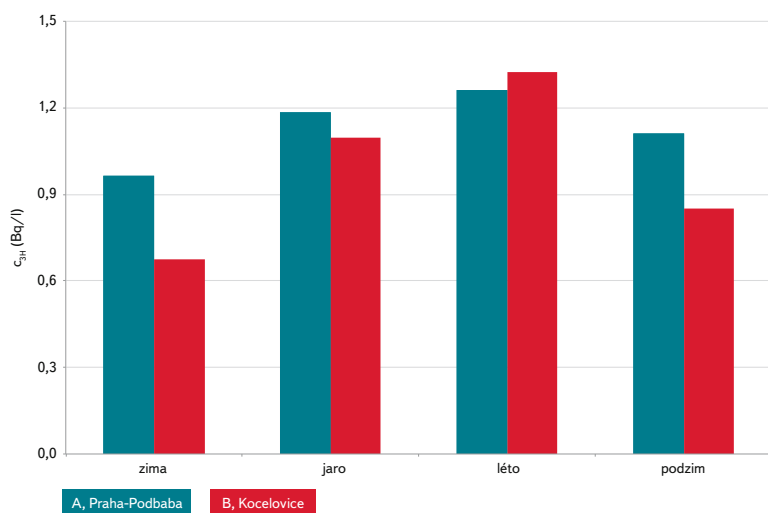
Dále byla hodnocena sezonní variabilita tritia ve srážkách v období 2010–2017, kdy byly vzorky ze stanic Praha-Podbaba, Kocelovice a Lužnice (sledování ukončeno 2012) elektrolyticky nabohaceny. Průběh objemových aktivit na těchto stanicích je uveden na obr. 4. U 85 % zjištěných hodnot bylo rozmezí 0,5–1,5 Bq/l, jen asi 4 % z celkového počtu hodnot přesáhlo 2 Bq/l (přesná příčina odlehlých hodnot nebyla zkoumána).

Byly hodnoceny průměrné hodnoty objemových aktivit (vážené srážkovými úhrny) pro jednotlivá roční období, které jsou zobrazeny na obr. 5. Vyšší průměrné hodnoty byly pozorovány v jarním a letním období, nejnižší v zimě. Sezonní variabilita tritia ve srážkách souvisí s pohyby vzdušných mas, kdy v důsledku ohřevu kontinentů dochází k vzestupu tropopauzy nejvíce v jarním období a k průniku stratosférického vzduchu s vyšším obsahem tritia k zemskému povrchu [25].

Tabulka 2. Vypočtené efektivní poločasy (bez a s korekcí o příspěvek tritia přirozeného původu, případně přenosem z jaderných zařízení jinde ve světě)

Table 2. Evaluated effective half-lives of tritium concentration decrease in surface water (without and with correction for the natural component and the contribution from nuclear facilities worldwide) in the period 2002–2017

| | Povrchová voda, průměr | 1, Vltava-Hluboká | 2, Labe-Lysá |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------|
| | (r) | | |
| T_{ef} | 28,3 ± 9,0 | 29,8 ± 13,1 | 26,7 ± 14,5 |
| T_{ef} (kor [5]) | 15,9 ± 4,8 | 16,9 ± 7,7 | 14,6 ± 9,1 |
| T_{ef} (kor [4]) | 12,7 ± 3,7 | 13,5 ± 6,4 | 11,7 ± 8,7 |



Obr. 5. Průměrné hodnoty (vážené) objemových aktivit tritia ve srážkách pro jednotlivá roční období v období 2010–2017

Fig. 5. Seasonal average tritium concentrations weighted by quantity of precipitation for the period 2010–2017

ZÁVĚR

S využitím citlivého stanovení včetně elektrolytického nabohacení je možné stanovit velmi nízké objemové aktivity tritia, které mají široké uplatnění např. v oblasti hydrogeologického modelování. Zpřesnění hodnot aktivity tritia přispělo i k redukci rozptylů pozorovaných hodnot objemových aktivit.

Hlavním cílem příspěvku bylo vyhodnotit aktuální úroveň tritia ve srážkách a povrchové vodě na území povodí Labe na profilech přímo neovlivněných výpustmi z jaderných zařízení (především JE Temelín a ÚJV Řež). Zjištěné objemové aktivity na úrovni přibližně 1 Bq/l odpovídají geografickým podmínkám. Tyto aktivity jsou stále vyšší, než je přirozená úroveň, ale příspěvek tritia ze současných zdrojů začíná převažovat nad tritiem pocházejícím z jaderných testů. Po roce 2001 už není patrný další pokles aktivity tritia ve srážkách tak, jak tomu bylo v předešlém období.

Literatura

- [1] LUCAS, L.L. and UNTERWEGER, M.P. Comprehensive review and critical evaluation of the half-time of tritium. *Journal of research of the National Institute of Standards and Technology*, 2000, 105, p. 541–549.
- [2] GREENWOOD, N.N. a EARNshaw, A. *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993.
- [3] UNSCEAR. Effects of ionizing radiation: Report to the general assembly, with scientific annexes, vol. ii: Effects. United Nations, New York, 2000.
- [4] GAT, J.R., MOOK, W.G., and MEIJER, H.A.J. Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. *Principles and Applications*, vol. 2. Atmospheric Water, IAEA, 2001.
- [5] ROZANSKI, K. and GRONING, M. Tritium assay in water samples using electrolytic enrichment and liquid scintillation spectrometry. *Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements*. IAEA-TECDOC-1401, IAEA, Vienna, 2004.
- [6] HANSLÍK, E., JEDINÁKOVÁ-KŘÍŽOVÁ, V., BRTVOVÁ, M., et al. Temelín nuclear power plant, South Bohemia – Reference level of hydrosphere, prediction of impact, results from pre-operation period. *RADIOPROTECTION*, vol. 37, C1, 2002. Proceeding of the International Congress ECORAD 2001, Aix-en-Provence, France.
- [7] MORGENSTERN, U., STEWART, M.K., and STENGER, R. Dating of streamwater using tritium in post nuclear bomb pulse world: continuous variation of mean transit time with streamflow. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2010, vol. 14, No. 11, p. 2289–2301.
- [8] PENZHORN, R.D. Natural and man-made sources of tritium: applications of tritium [Kap.] In: TOSTI, S. and GHIRELLI, N. (eds.) *Tritium: Production, Uses and Environmental Impact*. New York: Nova Publishers, 2013, p. 339–354, ISBN 978-1-62417-270-0.

[9] TADROS, C.V., HUGHES, C.E., CRAWFORD, J., HOLLINS, S.E., and CHISARI, R. Tritium in Australian precipitation: A 50 year record. *J. of Hydrol.*, 2014, 513, p. 262–273.

[10] PUJOL, L. and SANCHEZ-CABEZA, J. Use of tritium to predict soluble pollutants transport in Ebro river waters (Spain). *Environ Pol.*, 2000, vol. 108, No. 2, p. 257–269.

[11] JURANOVÁ, E., HANSLÍK, E., MAREŠOVÁ, D., KAŠPÁREK, L. a HANEL, M. *Doby dotoku tritia v proflech Vltava Kofensko, Solenice a Praha-Podolí a Labe Hřensko za období 2008–2015*. České Budějovice, 2016.

[12] COX, T., RUTHERFORD, J., KERR, S.C., SMEATON, D., and PALLISER, C. An integrated model for simulating nitrogen trading in an agricultural catchment with complex hydrogeology. *J. of environ. manag.*, 2013, 127, p. 268–277.

[13] GORUR, F.K. and GENC, E. The tritium, deuterium and oxygen-18 isotope levels determination in various waters in Rize and Trabzon. *Desalin and Water Treat.*, 2012, vol. 44, No. 1–3, p. 215–222.

[14] CHAU, N.D., DULINSKI, M., JODŁOWSKI, P., et al. Natural radioactivity in groundwater – a review. *Isot. Environ. Health Stud.*, 2011, 47, p. 415–437.

[15] Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Dostupné z: <http://www-naweb.iaea.org/naweb/gnip>

[16] Global Network of Isotopes in Rivers. The GNIR Database. Dostupné z: <http://www-naweb.iaea.org/naweb/gnir>

[17] TOMÁŠEK, M. a WILHELMOVÁ, L. Dlouhodobý trend a sezónní variace aktivity tritia v povrchových vodách před spuštěním JE Temelín. *Vodní hospodářství*, 1997, 11, s. 357–362.

[18] IVANOVOVÁ, D. and HANSLÍK, E. Temporal and spatial changes in tritium concentration in the Vltava River basin affected by the operation of Temelín Nuclear Power Plant. *Acta Universitatis Carolinae Environmentalica*, 2009, vol. 23, No. 1–2, p. 17–31. ISSN 0862-6529.

[19] HANSLÍK, E. and MAREŠOVÁ, D. Case study: Quantification of individual components of tritium balance in the Vltava and Elbe Rivers affected by the operation of Temelín Nuclear Power Plant (Czech Republic) [Kap.] In: TOSTI, S. and GHIRELLI, N. (eds.) *Tritium: Production, Uses and Environmental Impact*. New York: Nova Publishers, 2013, p. 339–354. ISBN 978-1-62417-270-0.

[20] ČSN EN ISO 9698 Kvalita vod – Stanovení objemové aktivity tritia – Kapalinová scintilační měřicí metoda. ÚNMZ, 2016.

[21] ČSN 75 7600 Kvalita vod – Stanovení radionuklidů – Obecná ustanovení. ÚNMZ, 2013.

[22] SMITH, J.T. and BERESFORD, N.A. *Chernobyl: catastrophe and consequences*. New York: Springer, 2005.

[23] MOMOSHIMA, N. and HAYASHI, Y. Meteorologically induced seasonal variation of tritium concentration in rain at Fukuoka, Japan. In: MÖBIUS, S., NOAKES, J.E., SCHÖNHOFER, F. (ed.) *Advances in Liquid scintillation spectrometry*, 2001, RADIOCARBON, Arizona.

[24] OSMAN, A.A., BISTER, S., RIEBE, B., et al. Radioecological investigation of ³H, ¹⁴C, and ¹²⁹I in natural waters from Fuhrberger Feld catchment, Northern Germany. *J. of Environ. Radioact.*, 2016, 165, p. 243–252.

[25] ZAHN, A., BARTH, V., PFEILSTICKER, K., and PLATT, U. Deuterium, oxygen-18, and tritium as tracers for water vapour transport in the lower stratosphere and tropopause region. *J. Atmos. Chem.*, 1998, vol. 30, No. 1, p. 25–47.

Autoři

RNDr. Diana Marešová, Ph.D.¹

✉ diana.maresova@vuv.cz

Ing. Eduard Hanslík, CSc.¹

✉ eduard.hanslik@vuv.cz

Ing. Eva Juranová^{1,2}

✉ eva.juranova@vuv.cz

Ing. Barbora Sedlářová¹

✉ barbora.sedlarova@vuv.cz

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

²Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DETERMINATION OF LOW LEVEL TRITIUM CONCENTRATIONS FOR TRITIUM TRACING APPLICATIONS

MARESOVA, D.¹; HANSLIK, E.¹; JURANOVA, E.^{1,2}; SEDLAROVA, B.¹

¹TGM Water Research Institute, p. r. i.

²Charles University in Prague, Faculty of Science, Institute for Environmental Studies

Keywords: tritium – precipitation – surface water – LSC – electrolytic enrichment

Past tests of nuclear weapons in the atmosphere, nuclear energy facilities and tritium of natural origin are main sources of tritium in the environment. Thanks to its presence in environment and its favourable properties, tritium is used as a radiotracer. Since stopping of atmospheric nuclear tests, tritium in precipitation has been decreasing towards natural levels below 1 Bq/L and precise analyses of low level tritium activities are necessary. This paper focuses on tritium development at sites not influenced by any technogenic releases of tritium in Elbe River Basin (Bohemia) in the Czech Republic using liquid scintillation measurement in the period 2001–2017, with electrolytic enrichment in the period 2010–2017.