

Radioaktivní ukazatele v povrchových vodách povodí řeky Ploučnice

PAVEL STIERAND, LIBOR MIKL

Klíčová slova: radioaktivní ukazatele – povrchové vody – povodí Ploučnice – ložisko uranu – Stráž pod Ralskem – trendy časových řad – Mann-Kendallův test

ABSTRAKT

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) se zabývá systematickým sledováním a hodnocením radiologických ukazatelů v povrchových vodách. V příspěvku jsou popsány změny hodnot radiologických ukazatelů v povrchových vodách v časové řadě od roku 1967 do současnosti. Vývoj celkové objemové aktivity alfa i beta, koncentrace uranu a aktivity radia (^{226}Ra) je popsán na charakteristických profilech v místě těžby surovin s obsahem uranu, v okolí Stráže pod Ralskem, kde těžba radioaktivních surovin již byla utlumena. Řeka Ploučnice protéká tímto dobývacím územím a ústí do řeky Labe v Děčíně nedaleko hraničního přechodu Hřensko, kde jsou aktivity radiologických ukazatelů též sledovány a dokumentovány. Po ukončení těžby uranu na ložisku Stráž pod Ralskem poklesly koncentrace uranu o dva řády a povrchové vody na profilu Ploučnice – Mimoň v posledních pěti letech jsou řazeny do třídy I – neznečištěná voda. Hodnoty Kendallova korelačního koeficientu τ pro hodnocené profily na vybraných profilech v období těžby charakterizují rostoucí trend (+0,7) pro ukazatel celkové objemové aktivity beta, po ukončení těžby je indikován trend klesající (-0,5).

ÚVOD

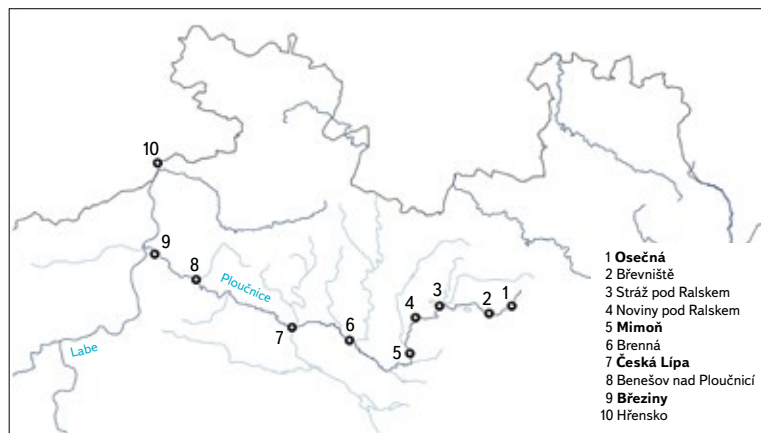
V příspěvku jsou prezentovány výsledky dlouhodobého sledování radiologických ukazatelů v povrchových vodách v povodí řeky Ploučnice. V této oblasti povodí v okolí Stráže pod Ralskem probíhala v minulosti těžba uranu. Zjištěné hodnoty radiologických ukazatelů jsou předurčeny geologickou stavbou území s výskytem uranového zrudnění a způsobem těžby surovin s obsahem uranu.

Cílem příspěvku je prezentovat vývoj aktivity radiologických ukazatelů v povrchových vodách za celé sledované období 1967–1989 a po roce 1990 s využitím archivních dat uložených ve sběrné databázi informačního systému Monitoringu kvality vod na území ČR (IS ARROW), který zajišťuje a vyhodnocuje ČHMÚ [1, 17].

Charakteristika ložiska

Uranové zrudnění v sedimentech české křídové pánve bylo prozkoumáno v první polovině šedesátých let. Ložiskové akumulace uranu jsou spojeny se sedimenty spodního (sladkovodního) a svrchního (mořského) cenomanu. Metodou hlubinného hornického dobývání byla těžena ložiska Hamr a Břevniště, ložisko Stráž bylo těženo metodou podzemního vyluhování vrty z povrchu. Dobývací prostor „Stráž“ byl postupně rozšířen až na 24,1 km² [11].

Popisné údaje o uranovém ložisku jsou uvedeny v řadě zpráv organizace provádějící těžbu (DIAMO, s. p.) a dalších publikací [8, 10, 11, 13, 16, 27]. Usnesením vlády z roku 1990 se změnila koncepce těžby energetické suroviny a na základě následných vládních rozhodnutí a usnesení [23–26] nastal útlum těžby uranu, k zastavení chemické těžby na ložisku Stráž došlo k 1. dubnu 1996, v dalším období byl uran získáván ze sanace chemické těžby.



Obr. 1. Mapa zájmového území s vyznačenými profily v povodí Ploučnice (detailně hodnocené jsou zvýrazněny)

Fig. 1. Map of the area of interest with marked profiles in Ploučnice basin (those assessed in detail are highlighted)

METODIKA

Radiologické ukazatele ve vzorcích povrchové vody v oblasti povodí Ploučnice jsou laboratorně analyzovány od roku 1967, shodně se zahájením těžby uranu v okolí Stráže pod Ralskem, které se nachází v tomto povodí.

V dílčím povodí Ploučnice jsou dokumentovány odběry vzorků povrchové vody na profilech vodních toků Ploučnice, Ještědského potoka, Plouznického potoka, Mlýnského náhonu, Robečského potoka, Dobranovského potoka a Svitávky. Vzorky důlních vod byly odebírány v době aktivní těžby uranu na ložisku Stráž pod Ralskem.

Obsahy uranu jsou stanoveny jako koncentrace kovu v rozpuštěných látkách (RL), v nerozpuštěných látkách (NL) a ve veškerých látkách podle ČSN 75 7614 [6].

Sledování radioaktivní zátěže je provedeno na základě stanovení radioaktivních ukazatelů, tj. celkové objemové aktivity beta v rozpuštěných (RL) i nerozpuštěných látkách (NL). V RL je provedena korekce celkové objemové aktivity

beta na obsah izotopu ^{40}K . Sledování radiologických ukazatelů je též rozšířeno a doplněno o stanovení celkové objemové aktivity alfa (RL, NL) a aktivity izotopu ^{226}Ra (RL, NL) [4, 5, 7].

Zatřídění profilů do tříd jakosti je provedeno podle ČSN 75 7221 [2] z října 1998, tato norma byla v roce 2017 aktualizována [3]. Charakteristická hodnota pro zařazení do tříd jakosti, případně kvality dle aktualizované normy, je hodnota s pravděpodobností nepřekročení 90 %. Četnost odběru vzorků za celé období více než 55 let se měnila v intervalu od 1x týdně až 1x měsíčně, výjimečně 1x za dva měsíce. Pro statistické zpracování byla použita charakteristická hodnota definovaná v uvedené normě, která představuje reprezentativní hodnotu pro jednotlivé roky. Pro výpočet byly použity hodnoty těch ukazatelů, jež byly na reprezentativních profilech analyzovány po celé hodnocené období v souvislé řadě.

Vzhledem k charakteru statistického rozdělení hodnot radioaktivních ukazatelů je při popisu roční hodnoty aktivity vypočtena střední hodnota výsledků měření aktivity a při zobrazení v grafech též znázorněna hodnota spodního (25%) a horního (75%) kvartilů.

Pomocí neparametrického Mann-Kendalova testu [12, 14] byly spočítány hodnoty korelačního koeficientu τ a míry pravděpodobnosti pro určení trendu zjištěných hodnot radiologických ukazatelů na vybraných profilech.

VÝSLEDKY A DISKUZE

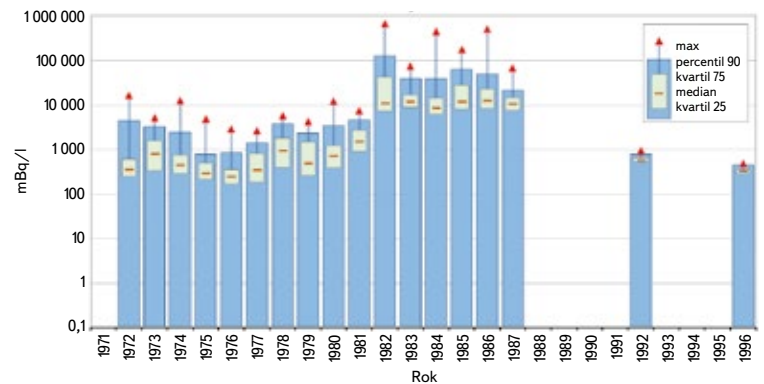
Přehled sledovaných profilů v povodí řeky Ploučnice (obr. 1) a časové rozmezí jejich sledování je uveden v tab. 1. U řady profilů nebyly v některém období (1 až max. 5 let) vzorky analyzovány.

Tab. 1. Časové rozmezí sledovaných profilů

Tab. 1. Time range of monitored profiles

Vodní tok	Profil	Rozsah sledování
Ploučnice	Osečná	1970–současnost
Ploučnice	Břevniště	1976–současnost
Ploučnice	Horka	1970–současnost
Ploučnice	Stráž pod Ralskem	1967–1991
Ploučnice	Noviny pod Ralskem	1992–současnost
Ploučnice	Mimoň	1967–současnost
Ploučnice	nad Svitavami	1967
Ploučnice	Brenná	2007–současnost
Ploučnice	Česká Lípa	1967–současnost
Ploučnice	Stružnice	1967
Ploučnice	Benešov nad Ploučnicí	1967–2000
Ploučnice	Březiny	1966–současnost
Ještědský potok	Stráž pod Ralskem	1971–současnost
Mlýnský náhon	Hamr	1971–1997
Mlýnský náhon	Stráž pod Ralskem	2007–současnost
Ploužnický potok	Ploužnice	1971–současnost
Panenský potok	Mimoň	1971–současnost
Svitavka	Brenná	1971–současnost
Dobranovský potok	Dobranov	1975–1997
Robečský potok	Dubice	2007–současnost
důlní voda	Břevniště	1976–1981
důlní voda	Hamr 3	1972–1996

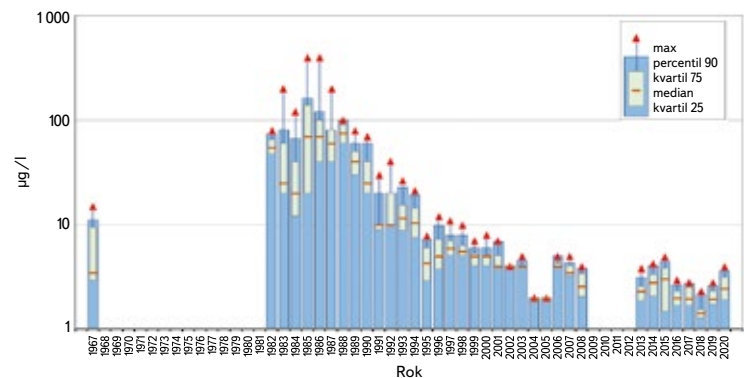
Nejvyšší obsahy uranu až 15 mg/l byly zjištěny v důlní vodě v osmdesátých letech 20. století, kdy nejvyšší celková objemová aktivita beta byla až 684,5 Bq/l (obr. 2). Nejvyšší objemová aktivita beta na sledovaných profilech byla dokumentována v osmdesátých letech na Ploučnici na profilu Mimoň (81,64 Bq/l), ve Stráži pod Ralskem (19,1 Bq/l) a na Mlýnském náhonu na profilu Hamr (47,25 Bq/l). Zřetelné snížení celkové objemové aktivity beta, popř. tohoto ukazatele korigovaného na aktivitu izotopu ^{40}K , bylo zaznamenáno od devadesátých let minulého století. Např. na již zmíněném profilu Mimoň na Ploučnici se v osmdesátých letech střední hodnoty celkové objemové aktivity beta pohybovaly v rozmezí 1,04–1,88 Bq/l, popřípadě v rozmezí 0,9–1,7 Bq/l po korekci na ^{40}K . Po zastavení těžby v devadesátých letech se střední hodnota pro zmíněné ukazatele snížila na 0,22–0,4 Bq/l a na 0,05–0,29 Bq/l v případě korekce na ^{40}K . Začátkem 21. století se hodnoty celkové objemové aktivity beta snížily, dle klasifikace podle normy ČSN 75 7221 kvalita povrchové vody již vyhovuje zařazení do třídy I (neznečištěných vod) až do třídy II (mírně znečištěných vod) v celé řadě po sobě jdoucích roků. V posledních letech se charakteristická hodnota aktivity beta pro zařazení do třídy kvality i střední hodnota sledovaného ukazatele již výrazně nesnižují.



Obr. 2. Celková objemová aktivita beta v důlní vodě (ložisko Hamr 3)

Fig. 2. Total volumetric beta activity in mine water (Hamr 3 deposit)

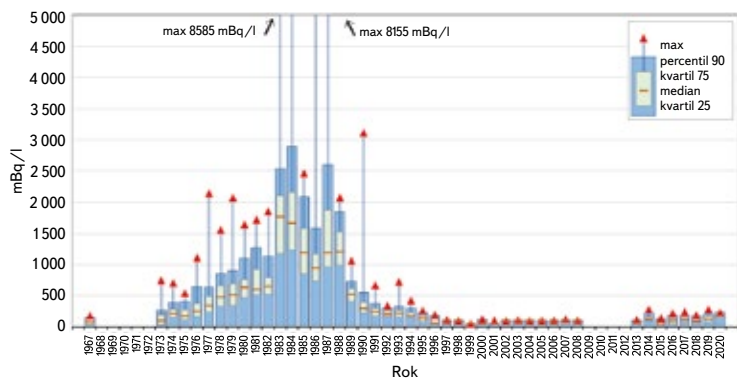
Dle ČSN 75 7221 charakteristická hodnota uranu řadí kvalitu povrchových vod na profilu Mimoň na řece Ploučnici v průběhu osmdesátých let do třídy V – velmi silně znečištěné vody. V průběhu devadesátých let, po změně využívání uranových ložisek, bylo i na tomto profilu zaznamenáno zlepšení o 1 kvalitativní třídu na třídu IV – silně znečištěné vody. Koncentrace uranu se snížily o 1 řád a v posledních 20 letech na tomto profilu nepřevyšily hodnotu 10 $\mu\text{g/l}$ (obr. 3). Jen ve Stráži pod Ralskem na Mlýnském náhonu byla ještě po roce 2000 zjištěna koncentrace uranu ve výši 54,5 $\mu\text{g/l}$.



Obr. 3. Obsah uranu na profilu Ploučnice – Mimoň

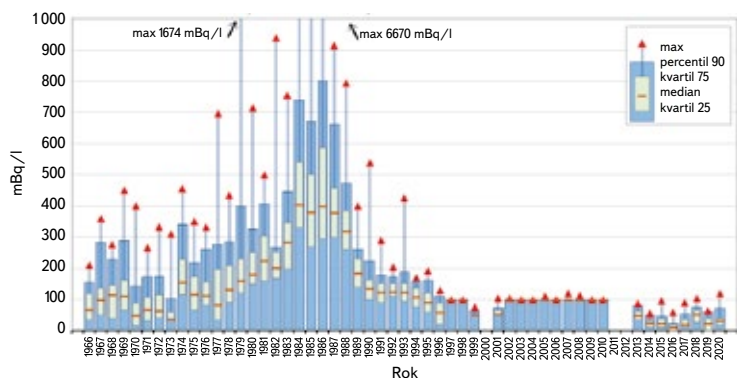
Fig. 3. Uranium content, Ploučnice – Mimoň profile

Prokazatelné je snížení aktivity radiologických ukazatelů na profilech položených níže ve směru toku řeky Ploučnice. Na výše položeném profilu Mimoň na řece Ploučnici je v osmdesátých letech střední hodnota celkové objemové aktivity beta po korekci na ^{40}K v rozmezí 0,6–1,66 Bq/l, na základě charakteristické hodnoty připadá do třídy V – velmi silně znečištěné vody (obr. 4). Na níže položeném profilu v Březinách je povrchová voda zařazena do třídy IV – silně znečištěné vody, střední hodnota je 0,182–0,405 Bq/l (obr. 5). Na hraničním profilu Hřensko pod vyústěním Ploučnice do Labe je střední hodnota 0,053–0,092 Bq/l a vody jsou v osmdesátých letech 20. století řazeny na základě charakteristické hodnoty do třídy III – znečištěné vody, v posledních 10 letech charakteristická hodnota vyhovuje pro zařazení do třídy I – neznečištěná voda (obr. 6).



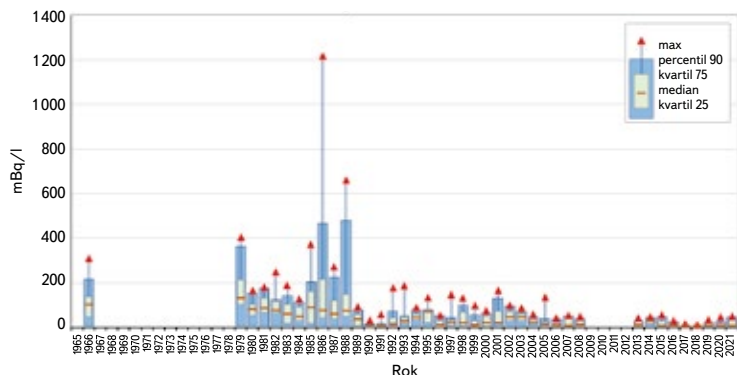
Obr. 4. Celková objemová aktivity beta cor. ^{40}K na profilu Ploučnice – Mimoň

Fig. 4. Total volume activity of beta cor. ^{40}K , Ploučnice – Mimoň profile



Obr. 5. Celková objemová aktivity beta cor. ^{40}K na profilu Ploučnice – Březiny

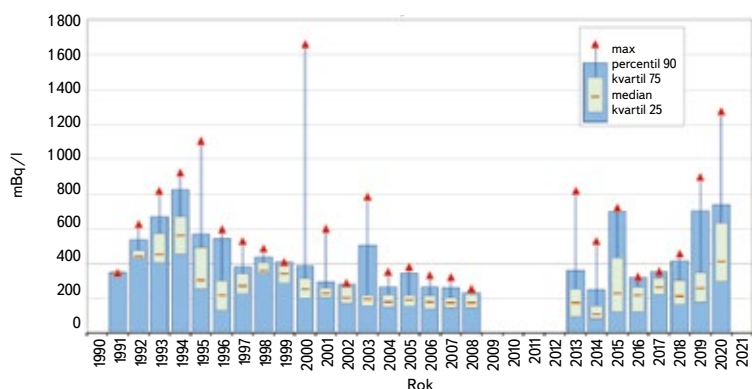
Fig. 5. Total volume activity of beta cor. ^{40}K , Ploučnice – Březiny profile



Obr. 6. Celková objemová aktivity beta cor. ^{40}K na profilu Labe – Hřensko

Fig. 6. Total volume activity of beta cor. ^{40}K , Labe – Hřensko profile

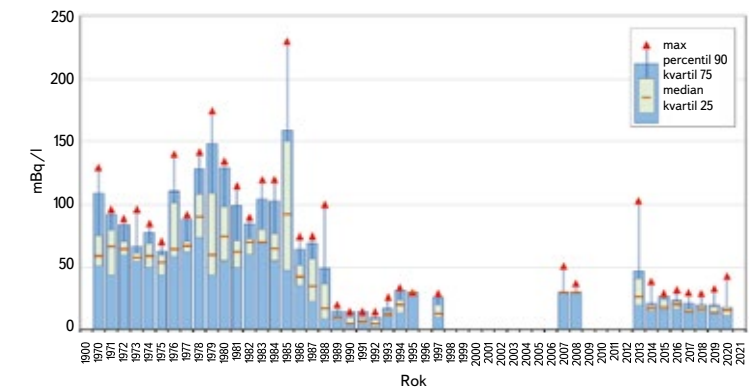
Hodnota celkové objemové aktivity alfa nebyla před rokem 1990 zjišťována. Od cca poloviny devadesátých let aktivity alfa klesala, v posledních 10 letech jsou zaznamenány např. na profilu Ploučnice – Mimoň zvyšující se hodnoty objemové aktivity alfa (obr. 7).



Obr. 7. Celková objemová aktivity alfa na profilu Ploučnice – Mimoň

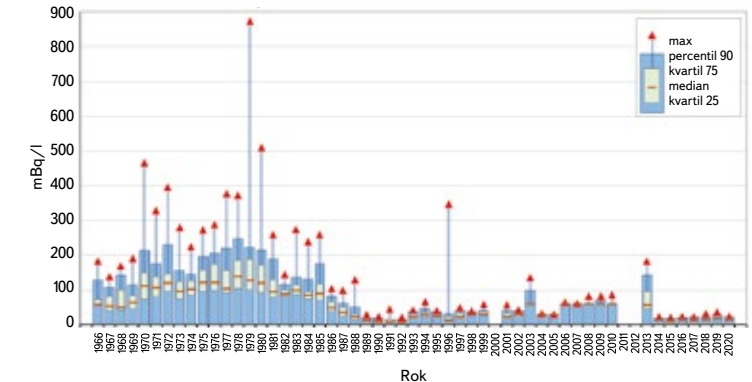
Fig. 7. Total alpha volume activity, Ploučnice – Mimoň profile

Aktivita izotopu ^{226}Ra na sledovaných profilech v období intenzivní těžby dosahovala vysokých hodnot, na profilu Ploučnice – Mimoň až 9 104 mBq/l, dle zařazení odpovídala kvalita povrchové vody tříd V jako velmi silně znečištěná voda. Po ukončení intenzivní těžby se aktivity v devadesátých letech významně snížily. Po krátkém období přerušení sledování a po obnovení před zhruba 10 lety se aktivita izotopu radia ^{226}Ra zvýšila a v posledních několika letech je kvalita vody na základě zjištění aktivity tohoto izotopu řazena do třídy II – mírně znečištěná voda (obr. 8, 9).



Obr. 8. Aktivita ^{226}Ra na profilu Ploučnice – Osečná

Fig. 8. Activity of ^{226}Ra , Ploučnice – Osečná profile



Obr. 9. Aktivita ^{226}Ra na profilu Ploučnice – Březiny

Fig. 9. Activity of ^{226}Ra , Ploučnice – Březiny profile

Tab. 2. Výsledky Mann-Kendallova testu
Tab. 2. Mann-Kendall test results

Profil (Ploučnice)	Celk. obj. aktivita beta			Celk. obj. aktivita beta kor 40K			Radium 226		
	tau	trend	2-sided pvalue	tau	trend	2-sided pvalue	tau	trend	2-sided pvalue
období do r. 1989									
Mimoň	0,708	R	< 0,001	0,721	R	< 0,001	0,163		0,36
Česká Lípa	0,768	R	< 0,001	0,705	R	< 0,001	-0,095		0,54
Březiny	0,780	R	< 0,001	0,642	R	< 0,001	-0,217		0,14
období po r. 1990									
Mimoň	-0,140		0,317	-0,151		0,297	0,159		0,26
Česká Lípa	-0,543	K	< 0,001	-0,596	K	< 0,001	0,023		0,88
Březiny	-0,544	K	< 0,001	-0,602	K	< 0,001	0,166		0,23

R = rostoucí, K = klesající

U vybraných profilů byla pro sledované ukazatele provedena trendová analýza. Výsledky Mann-Kendallova testu a hodnoty Kendallova korelačního koeficientu τ pro hodnocené profily a vybrané ukazatele jsou uvedeny v tab. 2.

Jako bod zvratu byl na základě předchozího vyhodnocení analytických dat zvolen rok 1990, kdy na základě celospolečenských změn došlo i ke změně využití zdrojů energetických surovin. Pro ukazatel celková objemová aktivita beta a celková objemová aktivita beta korigovaná na ^{40}K byl před rokem 1990 potvrzen rostoucí trend na každém ze tří hodnocených profilů. Po roce 1990 byl u výše zmíněných ukazatelů potvrzen klesající trend, ale pouze u dvou profilů je možno potvrdit trend statistickým výpočtem s vysokou pravděpodobností. Pro izotop ^{226}Ra klesající ani rostoucí trend v žádném z definovaných období nebyl potvrzen.

ZÁVĚR A HODNOCENÍ

Na základě monitoringu radioaktivních ukazatelů za období let 1967–2021 lze z výsledků laboratorních stanovení vzorků povrchových vod na profilech v povodí řeky Ploučnice vyhodnotit:

- významný vliv výskytu uranového zrudnění dobývaného v ložisku Stráž pod Ralskem na kvalitu povrchových vod;
- v době aktivní těžby v letech 1967–1996 byly zjištěny zvýšené hodnoty radioaktivních ukazatelů v povrchových vodách klesající ve směru toku;
- vzdálený profil Hřensko na řece Labi vykázal ovlivnění radioaktivními ukazateli v době aktivní těžby uranových rud;
- na základě statistického výpočtu byl potvrzen klesající trend pro ukazatel celková objemová aktivita beta a celková objemová aktivita beta po korekci na ^{40}K po ukončení těžby uranových rud;
- v posledních 10 letech jsou zaznamenány zvyšující se hodnoty objemové aktivity alfa na profilu Mimoň na řece Ploučnici;
- směrodatný trend nebyl potvrzen pro aktivitu izotopu radia ^{226}Ra .

Literatura

- [1] ČHMÚ (1999–2017). *Hydrologická ročenka České republiky* (jednotlivé ročníky 1999 až 2020). Dostupné z: <https://www.chmi.cz/informace-a-sluzby/rocní-vyhodnoceni/hydrologicke-rocenky>
- [2] ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod, říjen 1998
- [3] ČSN 75 7221 Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod, listopad 2017

- [4] ČSN 75 7611 Jakost vod – Stanovení celkové objemové aktivity alfa
- [5] ČSN 75 7612 Jakost vod – Stanovení celkové objemové aktivity beta
- [6] ČSN 75 7614 Jakost vod – Stanovení uranu
- [7] ČSN 75 7622 Jakost vod – Stanovení radia 226
- [8] GRMELA, A. a kol. 2012. *Důlní vody uranových ložisek předplatformních formací České republiky*. MONTANEX. ISBN 978-80-7225-372-2.
- [9] HANSLÍK, E. 2008. *Vyjádřování výsledků stanovení uranu ve vzorcích vod*. In: zborník XV. Konzultační dny pracovníků vodohospodářských radiologických laboratorií, VÚVH, Červený Kláštor, 2008, s. 15–19.
- [10] HANSLÍK, E. a kol. 2012. *Radioaktivní látky v životním prostředí*. Vodní Zdroje Ekomonitor, Chrudim 2012. ISBN 978-80-86832-64-7.
- [11] Kolektiv autorů, 2003. *Rudné a uranové hornictví České republiky*, DIAMO, Anagram. ISBN 80-86331-67-9.
- [12] KENDALL, M. G. 1975. *Rank Correlation Methods*, 4th edition, Charles Griffin, London.
- [13] LEPKA, F. *Český uran. Neznámé hospodářské a politické souvislosti*. 1945–2002. Liberec, 2003, 101 s. ISBN: 80-86660-05-2.
- [14] MANN, H. B. 1945. *Non-parametric tests against trend*, *Econometrica* 13, s. 163–171.
- [15] Nařízení vlády č. 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
- [16] NEUŽIL, M. *Vliv těžby uranové rudy na životní prostředí*. Spirax-Sarco, s. r. o., Praha. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/50F08392ADB9DC2EC1256FC0004125BD/\\$file/E-01.htm](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/50F08392ADB9DC2EC1256FC0004125BD/$file/E-01.htm)
- [17] RIEDER, M. a kol. 1999. *Sít' komplexního sledování jakosti vody v tocích*. Závěrečná zpráva. ČHMÚ, Praha 1999.
- [18] Směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky
- [19] Směrnice Rady 76/464/EHS o znečištění způsobeném určitými nebezpečnými látkami, vypouštěnými do vodního prostředí Společenství
- [20] HAVEL, B., JELIGOVÁ, H., KOŽÍŠEK, F., PUMAN, P. Stanovisko Státního zdravotního ústavu – Národního referenčního centra pro pitnou vodu k limitní hodnotě uranu v pitné vodě [On-line] SZÚ. Praha. 2013. [Vid. 25. 3. 2014]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/uran_12032013.pdf
- [21] STIERAND, P. 2009. *Sledování radiochemických ukazatelů v jednotlivých složkách hydrosféry v rámci monitorovací sítě*. In: sborník Radiologické metody v hydrosféře 09, EKOMONITOR, Ždár nad Sázavou, 2009, s. 42–45. Dostupné z: <http://www.ekomonitor.cz/publikace/sborniky/radiologicke-metody-v-hydrosfere-09>
- [22] STIERAND, P., HANSLÍK, E. 2018. *Vývoj koncentrace uranu v povrchových vodách po ukončení těžby uranových rud*. (Progress of uranium concentration in surface water after closure mining uranium ore) – In: sborník Radionuklidy a ionizující záření ve vodním hospodářství, XXV. konference České Budějovice: ČVTVHS, VÚV TGM Praha, s. 86–92. ISBN 978-80-02-02806-2.
- [23] Usnesení vlády ČSFR č. 894/1990 Sb., ze dne 17. 12. 1990 o změně koncepce útlumu těžby uranu v ČSFR ve vazbě na potřeby jaderné energetiky státu
- [24] Usnesení vlády ČR k výsledkům komplexního posouzení chemické těžby uranu na Českolipsku a dalšímu postupu prací pro stanovení způsobu dotěžení a sanace ložiska č. 366 ze dne 20. května 1992. Dostupné z: https://kormoran.odok.cz/usneseni/usneseni_webtest.nsf/0/3226CE6EE81528E5C12571B6006EE660

[25] Usnesení vlády ČR k realizaci útlumu těžby a úpravy uranových rud v České republice č. 244 ze dne 26. dubna 1995. Dostupné z: https://kormoran.odok.cz/usneseni/usneseni_webtest.nsf/0/453CB902A6463E2EC12571B6006D9009

[26] Usnesení vlády ČR ke zprávě o postupu sanace chemické těžby uranu ve Stráži pod Ralskem č. 170 ze dne 6. března 1996. Dostupné z: https://albatros.odok.cz/usneseni/usneseni_webtest.nsf/0/5E47337F9025220AC12571B6006F9E55

[27] Výroční zpráva, 2019. Diamo, státní podnik. Stráž pod Ralskem. Dostupné z: <https://www.diamo.cz/storage/app/media/VZ/VZ-2019.pdf>

Autoři

RNDr. Pavel Stierand

✉ pavel.stierand@chmi.cz

ORCID: 0009-0004-6899-8556

Mgr. Libor Mikl, Ph.D.

✉ libor.mikl@chmi.cz

ORCID: 0009-0000-0593-5225

Český hydrometeorologický ústav, Praha

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.01.004

RADIOACTIVE INDICATORS IN SURFACE WATERS OF THE PLOUČNICE RIVER BASIN

STIERAND, P.; MIKL, L.

Czech Hydrometeorological Institute, Prague

Keywords: radioactive indicators – surface waters – Ploučnice river basin – uranium deposit – Stráž pod Ralskem – the trends of the time series – Mann-Kendall test

The CHMI is engaged in systematic monitoring and evaluation of radiological indicators in surface waters. The paper describes changes in the values of radiological indicators in surface waters in the time series from 1967 to the present. The evolution of total volume alpha and beta activity, uranium concentration, radium activity (^{226}Ra) is described on characteristic profiles in the area of uranium-containing raw materials mining, in the vicinity of Stráž pod Ralskem, where the mining of radioactive raw materials has already been suppressed. The Ploučnice river flows through this mining area and flows into the Elbe river in Děčín near the Hřensko border crossing, where activities of radiological indicators are also monitored and documented. Following the cessation of uranium mining at the Stráž pod Ralskem uranium deposit, uranium concentrations have decreased by 2 orders of magnitude and surface waters on the Ploučnice – Mimoň profile have been classified as Class I – unpolluted water for the last 5 years. The values of Kendall's correlation coefficient τ for the profiles evaluated on the selected profiles during the mining period are characterized by an increasing trend (+0.7) for the indicator of total volumetric activity beta, after the mining is indicated by a decreasing trend (-0.5).