

# MIGRACE RADIONUKLIDU $^{226}\text{Ra}$ V SEDIMENTECH RYCHVALDSKÉ STRUŽKY

Migration of radium-226 radionuclide in sediments of Rychvald Creek

Radek Morcinek ✉, Josef Zeman

Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno

**Key words:** The Hornoslezska basin, Rychvald creek, Mine water, Activity of radium, Bottom sediments

## Abstract

Large amounts of mining waters are discharged into waterstreams in the region of Ostrava-Karviná Mining District. This paper deals with discharged mine water from the Žofie watershaft, which is located in Petrvald basin in Czech part of Upper Silesian coal basin. Mine water may affect surface watercourses, especially their sediments, which may have increased activity of radium  $^{226}\text{Ra}$ . The aim of this work was to evaluate geochemical evolution of the Rychvald creek with regard to the mobility of radium  $^{226}\text{Ra}$  and estimate the degree of influence. From the results, it is evident that the mine waters significantly affect the composition of Rychvald creek. Increased equivalent dose was measured only up to the wastewater treatment plant, which probably considerably diluted the water, consequently diminishing migration abilities of radium. From the result of physicochemical parameters it is evident that discharged mine water from the Žofie watershaft affects mainly conductivity, due to high mineralization of discharged mine water. Increased doses of the gamma radiation equivalent, which are related to the increased mass activity of radium  $^{226}\text{Ra}$ , were found in the sediment of the first 1 200 m of the Rychvaldské creek. However the determined increased activities of radium  $^{226}\text{Ra}$  do not represent neither substantial risk for human health nor important risk for the environment.

## Úvod

Lokalita Žofie (N 49°50'42,767" E 18°25'8,663") a okolní území ovlivněné vypouštěním důlních vod leží v Moravskoslezském kraji, okresu Karviná, přibližně 10 km v. od Ostravy a 13 km na Z od hranic s Polskem. Dobývání uhlí má v oblastech těžby značný vliv na životní prostředí. Po ukončení těžby, zatopení dolů a remediaci dotčených areálů zůstávají jako dlouhodobý problém kontaminované důlní, povrchové a průsakové vody. Vodní jáma Žofie se od roku 1999 používá výhradně k odčerpávání důlních vod. Odčerpaná voda je vypouštěna do Rychvaldské stružky, odkud se postupně dostává až do řeky Odry. Důlní vody mohou obsahovat velké množství rozpuštěných látek. Na této lokalitě je pozornost věnována hlavně aktivitě radia a izotopům vznikajícím při jeho rozpadu. Zejména se jedná o dnové a břehové sedimenty, které mohou vykazovat zvýšenou aktivitu radia  $^{226}\text{Ra}$ . Tento příspěvek hodnotí geochemický vývoj v Rychvaldské stružce, v okolních povrchových tocích a rybnících s ohledem na mobilitu radia a vyhodnocuje fyzikálně-chemické parametry po vypouštění důlních vod. Monitoring důlních a povrchových vod, monitoring dnových sedimentů a řešení některých specifických problémů na této lokalitě probíhá již od roku 2005 (Grmela et al. 2005; Kalous et al. 2014). Nové výzkumy koncentrací radia v důlních vodách probíhají i v polské části Hornoslezské pánve (Bondaruk et al. 2015; Chałupnik et al. 2017).

## Důlní vody

Důlní vody se čerpají z důvodu udržení hladin podzemních vod pro zajištění ochrany ložiska a bezpečnosti při těžbě uhlí v činných částech ostravsko-karvinského re-

víru. Čerpání důlních vod na Ostravsku probíhá na dvou místech. Z ostravské dílčí pánve na lokalitě Jeremenko a z petrvaldské dílčí pánve na lokalitě Žofie (Grmela 2004). Důlní vody čerpané z vodní jámy Žofie odpovídají vodám bazálního kolektoru Na-Cl typu (vysoká salinita), pro které je charakteristická celková mineralizace v rozmezí 15 000–22 000 mg/l. Převážně se vyznačují velmi nízkým obsahem jodu a bromu (okolo 8 mg/l) a typický je velmi nízký obsah síranů. Objemová aktivita  $^{226}\text{Ra}$  v důlních vodách Vodní jámy Žofie se dlouhodobě pohybuje kolem 1 200 mBq/l (Kalous et al. 2014). Zvýšená radioaktivita, způsobená zvýšenou koncentrací  $^{226}\text{Ra}$ , je u solanek častá (Wiegand et al. 2002). U solanek obvykle dochází k pozitivní korelaci mezi salinitou a aktivitou  $^{226}\text{Ra}$ . V současné době je na vodní jámě Žofie čerpáno 37–48 l/s důlních vod. Po ukončení čerpání důlních vod budou obě jámy zlikvidovány.

## Geologické jednotky a jejich horninová náplň

Z geologického hlediska se lokalita Žofie nachází v ostravsko-karvinském revíru, konkrétně v Petrvaldské dílčí pánvi, která je součástí Hornoslezské pánve. Hornoslezská pánev představuje jednu z významných evropských paralických a limnických černouhelných pánvi. Omezení celé pánve je dosud neznámé, neboť její sedimenty jsou většinou zakryty mladšími uloženinami, na povrch vystupují jen v malých výchozech a z velké části jsou známy jen z hlubokých průzkumných nebo strukturálních vrtů nebo z důlních děl (Dopita et al. 1997). Podloží pánve tvoří brunovistulikum s pokryvem převážně devonských a spodnokarbonských uloženin, výplň pánve tvoří klastické svrchnokarbonské sedimenty se slojemi černého uhlí (Pešek et al. 2012).

✉ 426864@mail.muni.cz

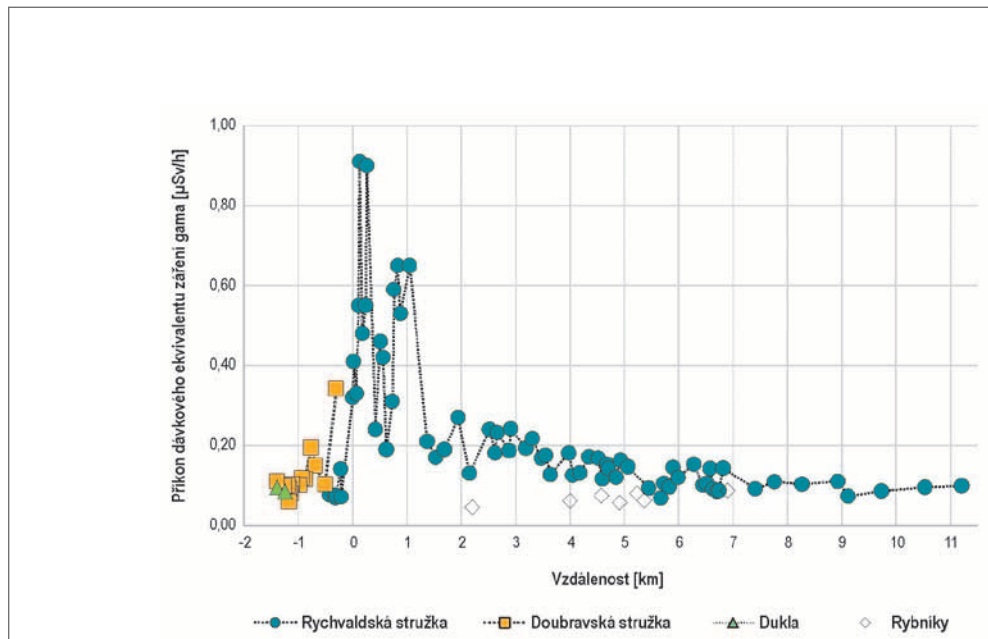
DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2018-1-2-119>

### Použitá metodika

Měření obsahu radia  $^{226}\text{Ra}$  v břehových sedimentech probíhalo pomocí spektrometru GR-135 (exploranium The Identifier), který měří příkon dávkového ekvivalentu záření gama (jednotka sievert Sv). Naměřené hodnoty ukazují, jaké budou biologické účinky daného záření. Spektrometr umožnil změřit data podél celého toku stružky a následně po zpracování hodnot zobrazit celý vývoj příkonu dávkového ekvivalentu záření gama v břehových sedimentech ve vzdálenosti od vypouštění důlních vod. Měření bylo prováděno v roce 2015 na břehu toku, který měl

v podzimním období nízké průtoky. Díky tomu bylo možné procházet těsně podél stružky a provádět měření. Procházel se celý průběh toku od části neovlivněné důlní vodou až k obci Vrbice, ve které je umístěn poslední měřicí bod. V částech, které sousedily se zaústěním vypouštěných důlních vod do Rychvaldské stružky byla zvolena relativně hustá vzorkovací síť tak, jak to dovolila místní situace (v okolí toku se nalézaly překážky v podobě porostů či oplocení), protože právě zde byly již dříve zjištěny zvýšené objemové aktivity radia (viz např. Kalous a Zeman 2015). Naopak ve vzdálenějších částech byla vzorkovací síť řidší, protože se hodnoty víceméně neměnily. Měřené břehové sedimenty měly převážně charakter hlíny (prachovité až jílovitoprachovité), objevovaly se také příměsi jemnozrnného písku. Vzhledem k tomu, že je tok stružky zvláště v částech po zaústění důlních vod různě zahluoben do terénu, byl spektrometr alespoň pro zachování srovnatelných podmínek měření vždy přiložen stejným způsobem na povrch sedimentu a bylo vyčkáno na ustálení měřené hodnoty (nejméně 20 vteřin). Tak bylo možné vyhodnotit alespoň relativní rozdíly v radioaktivitě sedimentu. Hodnota byla poté zapsána do terénního deníku. Zároveň byly při měření vždy zaznamenány GPS souřadnice.

Na Rychvaldské stružce bylo změřeno 74 bodů, na přítocích stružky a u rybníků bylo naměřeno dalších 19 bodů. V části nejvíce ovlivněné vypouštěním důlních vod do Rychvaldské stružky probíhalo také měření fyzikálně-chemických parametrů (teplota, elektrická vodivost, pH a Eh). Hodnoty pH, oxidačně-redukčního potenciálu



Obr. 1: Vývoj příkonu dávkového ekvivalentu záření gama v břehových sedimentech Rychvaldské stružky a okolních toků, měřený dne 18. 11. a 21. 11. 2015. Na vodorovné ose je vynesena vzdálenost podél toku, 0. km je v pozici vypouštění důlních vod z vodní jámy Žofie. Na svislé ose jsou hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu záření gama v mikrosievertch za hodinu.

Fig. 1: Development of an equivalent dose in sediments of Rychvald creek and surrounding streams, measured on 18. 11. and 21. 11. 2015. On the horizontal axis is the distance along the flow, 0. km is in the position of mine water discharge from the Žofie watershaft. On the vertical axis are the values of equivalent dose ionizing radiation in microsieverts per hour.

(ORP, Eh), elektrické vodivosti a teploty byly měřeny multimetrem WTW Multi 350i (s přesností  $\pm 0,01$  pro pH,  $\pm 0,5\%$  pro konduktivitu a  $\pm 0,1$  °C pro teplotu). Pro měření pH a teploty byla použita elektroda SenTix 41, pro měření Eh elektroda SenTix ORP a pro měření elektrické vodivosti byla použita elektroda WTW TetraCon 325.

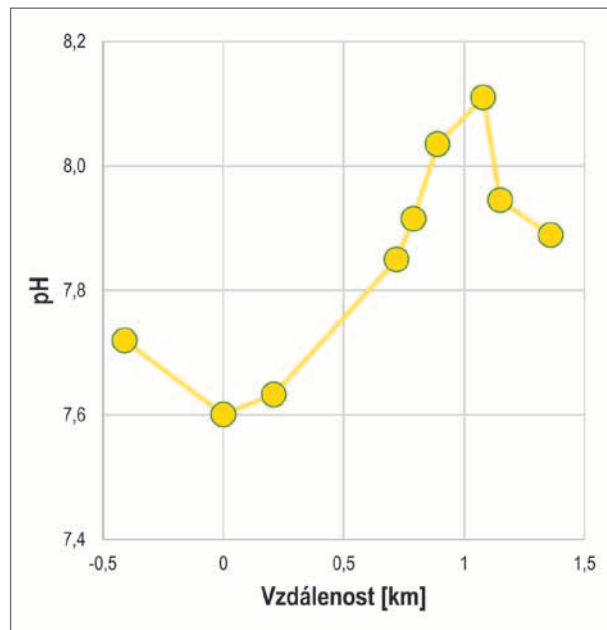
### Výsledky a jejich diskuze

Příkon dávkového ekvivalentu záření gama v břehových sedimentech podél toku stružky (obr. 1) dosahuje nejvyšších hodnot cca do 1 200 m od vypouštění důlních vod. Hodnoty v této vzdálenosti dosahují až  $0,91 \mu\text{Sv/h}$ . Vypouštěná důlní voda výrazně ovlivňuje vlastnosti toku. Celkový průměr příkonu dávkového ekvivalentu záření gama podél toku Rychvaldské stružky je  $0,23 \mu\text{Sv/h}$ , tyto hodnoty jsou ovlivněny zejména stavem v prvních 1 200 m toku od zaústění důlních vod, kdy se průměr naměřených hodnot pohybuje kolem  $0,50 \mu\text{Sv/h}$ . V této části toku dochází až ke čtyřnásobnému zvýšení příkonu dávkového ekvivalentu záření gama ve srovnání se vzdálenějšími částmi toku. Je zřejmé, že výrazný pokles příkonu dávkového ekvivalentu záření gama ve vzdálenosti cca 1 200 m od zaústění důlních vod má příčinu ve změně podmínek vnějšího prostředí. V této pozici toku se nachází místní čistírna odpadních vod, pod zaústěním čistírny ovlivnění břehových sedimentů důlními vodami klesá, resp. dostává se na úroveň pozadí oblasti (přirozené pozadí se pohybuje v hodnotách kolem  $0,1\text{--}0,2 \mu\text{Sv/h}$ ). Může to být způsobeno tím, že čistírka podstatně ředí vody toku Rychvaldské stružky, čímž ovlivňuje fyzikálně-chemické

parametry vody a mění podmínky záchytu radia v břehových sedimentech.

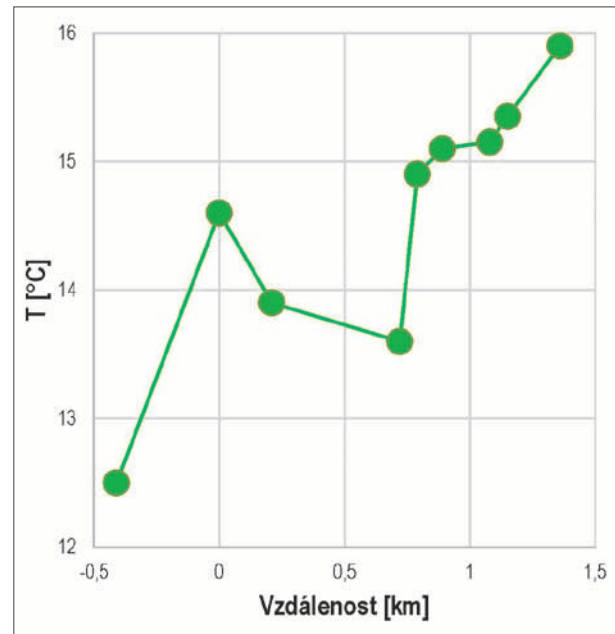
V roce 2013 provedla firma Georadis s.r.o. laboratorní měření hmotnostní aktivity izotopů  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$  a  $^{40}\text{K}$  u pěti vzorků břehových sedimentů Rychvaldské stružky. V oblasti zvýšených hodnot příkonu dávkového ekvivalentu záření gama v břehových sedimentech se  $^{226}\text{Ra}$  podílelo na celkové hmotnostní aktivitě až 50 %, v ostatních částech stružky se podíl radia na celkové hmotnostní aktivitě břehových sedimentů pohyboval mezi 8 a 17 %.

Měření příkonu dávkového ekvivalentu záření gama v břehových sedimentech v okolních rybnících Špice, Dub, Kališček I, Kališček II, Skučák, Podkostelní rybník a Velký Cihelník ukázalo, že břehový sediment v rybnících není ovlivněn důlní vodou, naměřené hodnoty se pohybovaly kolem  $0,1 \mu\text{Sv/h}$ . V okolních tocích tedy Doubravské stružce, Zimovůdce a ve vodách vytékajících z areálu bývalého dolu Dukla, které se vlévají do Rychvaldské stružky, rovněž nebyly s výjimkou jedné hodnoty naměřeny zvýšené hodnoty příkonu dávkového



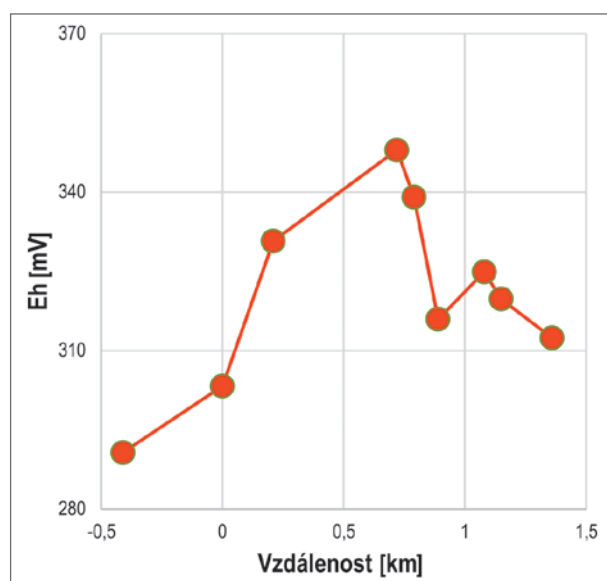
Obr. 2: Vývoj hodnot pH na měrných profilech Rychvaldské stružky.

Fig. 2: Development of pH values in the profiles of Rychvald creek.



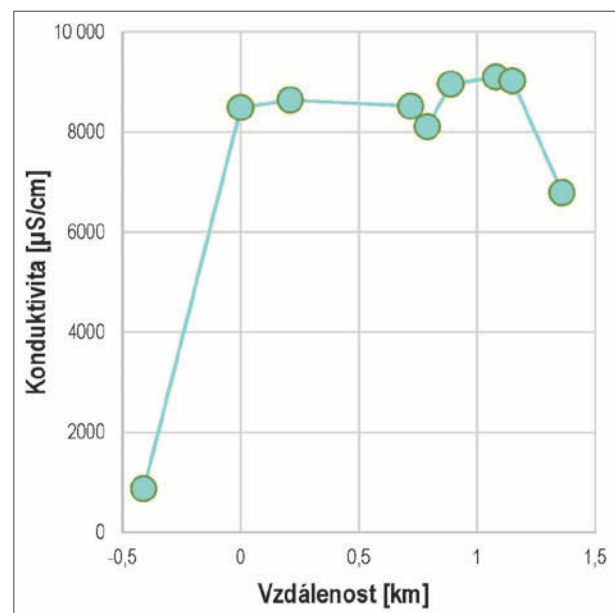
Obr. 4: Vývoj teplot na měrných profilech Rychvaldské stružky.

Fig. 4: Development of temperatures in the profiles of Rychvald creek.



Obr. 3: Vývoj hodnot oxidačně-redukčního potenciálu na měrných profilech Rychvaldské stružky.

Fig. 3: Development of oxidation reduction potential in the profiles of Rychvald creek.



Obr. 5: Vývoj elektrické vodivosti na měrných profilech Rychvaldské stružky.

Fig. 5: Development of electrical conductivity in the profiles of Rychvald creek.

ekvivalentu záření gama. Zvýšená hodnota 0,343  $\mu\text{Sv/h}$ , byla naměřena v blízkosti zaústění Doubravské stružky do Rychvaldské stružky, a má pravděpodobně souvislost s důlní vodou vypouštěnou do Rychvaldské stružky.

### Fyzikálně-chemické parametry

Měřením v roce 2015 nebyl prokázán významnější vliv důlních vod vypouštěných z vodní jámy Žofie na fyzikálně-chemické parametry vod Rychvaldské stružky s výjimkou elektrické vodivosti, která ukazuje na významné zvýšení mineralizace vod (obr. 2–5). Na vodorovné ose je vynesena vzdálenost podél toku, 0. km vyjadřuje pozici vypouštění důlních vod z vodní jámy Žofie do toku Rychvaldské stružky.

Hodnoty pH (obr. 2) podél toku rostou od 7,6 k 8,1 a pohybují se v mezích, které jsou pro povrchové vody obvyklé. Mírný růst je možné přičíst tomu, že je fugacita oxidu uhličitého rozpuštěného v důlních vodách vyšší, než odpovídá koncentraci oxidu uhličitého v atmosféře a postupně dochází k ustavení rovnováhy. Oxidačně-redukční potenciál (obr. 3) se nachází mezi hodnotami 295 až 353 mV. Hodnoty se mírně zvyšují, ale poté se opět vrací na průměrnou hodnotu kolem 325 mV. Naměřené teploty (obr. 4) se pohybují mezi 12 °C a 16 °C. K významnějšímu ovlivnění dochází pouze u elektrické vodivosti (obr. 5), která ukazuje na významné zvýšení mineralizace vod. V neovlivněné části se elektrická vodivost pohybuje kolem 879  $\mu\text{S/cm}$  a v ovlivněné oblasti důlní vodou jsou hodnoty mezi 6 790  $\mu\text{S/cm}$  až 9 100  $\mu\text{S/cm}$ .

### Závěr

Naměřené příkony dávkového ekvivalentu záření gama v břehových sedimentech Rychvaldské stružky ukazují, že důlní vody vypouštěné z vodní jámy Žofie do Rychvaldské stružky ovlivňují břehové sedimenty Rychvaldské stružky pouze do vzdálenosti cca 1 200 m

od zaústění, poté se hmotnostní aktivita  $^{226}\text{Ra}$  a příkon dávkového ekvivalentu záření gama s ní spojený postupně vrací na požadovanou hodnotu. Významný vliv vykazuje čistírna odpadních vod, která podstatně ředí vody Rychvaldské stružky a má vliv na migrační schopnosti radia, které se v břehových sedimentech stružky již významněji nesorbuje.

Přestože byly v prvních 1 200 m v Rychvaldské stružky zjištěny v břehových sedimentech zvýšené příkony dávkového ekvivalentu záření gama, které souvisí se zvýšenou hmotnostní aktivitou radia  $^{226}\text{Ra}$  v břehových sedimentech, nepředstavují naměřené hodnoty pro lidské zdraví významné riziko a ani významně neovlivňují životní prostředí. Nelze přímo srovnávat naměřené hodnoty s normou, která je dána Vyhláškou č. 422/2016, protože data naměřená z exteriéru reprezentují záření lokálního zdroje na úrovni terénu, nikoli skutečný příkon v objemu těla, kde lze očekávat nižší hodnoty, ale i tak nejvyšší naměřené hodnoty nepřekračují limit příkonu dávkového ekvivalentu pro pobytové místnosti (1  $\mu\text{Sv/h}$  podle Vyhlášky o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje č. 422/2016 Sb).

Břehové sedimenty dalších možných zdrojů, které by mohly potenciálně ovlivňovat naměřené hodnoty ve stružce, tedy rybníky Špice, Dub, Kališček I, Kališček II, Skučák, Podkostelní rybník, Velký Cihelník a přítoky Rychvaldské stružky, Doubravská stružka, Zimovůdka a vody vytékající z bývalého dolu Dukla, nevykazují zvýšené příkony dávkového ekvivalentu záření gama a nemají výrazný podíl na ovlivnění břehových sedimentů Rychvaldské stružky. Ovlivnění je pouze důlní vodou z vodní jámy Žofie.

Nebyl prokázán významnější vliv vypouštěných důlních vod na fyzikálně-chemické parametry vod tekoucích v Rychvaldské stružce s výjimkou elektrické vodivosti, která ukazuje na významné zvýšení mineralizace vod.

### Literatura

- Bondaruk, J., Janson, E., Wysocka, M., Chałupnik, S. (2015). Identification of hazards for water environment in the Upper Silesian Coal Basin caused by the discharge of salt mine water containing particularly harmful substances and radionuclides. – *Journal Of Sustainable Mining*, 14, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.01.001>
- Dopita, M., Aust, J., Brieda, J., Černý, I., Dvořák, P., Fialová, V., Foldyn, J., Grmela, A., Grygar, R., Hoch, I., Honěk, J., Kaštovský, V., Konečný, P., Kožušníková, A., Krejčí, B., Kumpera, O., Martinec, P., Müller, K., Novotná, E., Ptáček, J., Purkyňová, E., Řehoř, F., Strakoš, Z., Tomis, L., Tomšík, J., Valterová, P., Vašíček, Z., Vencl, J., Židková, S. (1997). *Geologie české části hornoslezské pánve*. – 278 s. Ministerstvo životního prostředí. Praha.
- Grmela, A. (2004). Studie zhodnocení dostupných informací o geologické a hydrogeologické situaci petřvaldské dílní pánve OKR z hlediska prognózy vývoje kvality a kvantity zdrojů důlních vod. – MS, Ostrava.
- Grmela, A., Rapantová, N., Jelínek, P. (2005). Dopady ukončení těžby na hydrochemické změny důlních vod čerpaných z vodní jámy Žofie v OKR. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava, Řada hornicko-geologická*. – s. 367–372. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- Chałupnik, S., Wysocka, M., Janson, E., Chmielewska, I., Wiesner, M. (2017). Long term changes in the concentration of radium in discharge waters of coal mines and Upper Silesian rivers. – *Journal Of Environmental Radioactivity* 171, 117–123. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.02.007>
- Kalous, J., Zeman, J., Kadlec, P. (2014). Návrh postupu řešení problematiky radiační ochrany spjaté s vypouštěním důlních vod z VJŽ v roce 2014. – MS, Separa-Eko, spol. s r. o. Brno.
- Kalous, J., Zeman, J. (2015). Souhrnné zpracování dat a analýza trendů vývoje chemického složení důlních vod vodní jámy Žofie a dnových sedimentů v Petřvaldské stružce v letech 2004–2014 včetně vyhodnocení rizik pro lidské zdraví a zasažené ekosystémy. – MS, Separa-Eko, spol. s r. o. Brno.

- Pešek, J., Sivek, M. (2012). Uhlonosné pánve a ložiska černého a hnědého uhlí České republiky. – 199 s. Česká geologická služba. Praha.
- Wiegand, J., Sebastian, F. (2002). Origin of radium in high-mineralised waters. – (IAEA-TECDOC-1271). International Atomic Energy Agency (IAEA).

**Editor:** Milan Geršl

**Doporučená citace článku:** Morcinek, R., Zeman, J. (2018). Migrace radionuklidu  $^{226}\text{Ra}$  v sedimentech Rychvaldské stružky. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 25, 1–2, 119–123.