

## Występowanie i geneza WWA w wodach podziemnych obszaru Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe* oraz ochrona tych wód przed zanieczyszczeniem

Jacek Rózkowski<sup>1</sup>, Kinga Ślósarczyk<sup>1</sup>, Sabina Jakóbczyk-Karpierz<sup>1</sup>, Hanna Rubin<sup>1</sup>

**Occurrence, sources of PAHs, and groundwater protection against pollution in the *Cieszyńskie Źródła Tufowe* Natura 2000 area.** Prz. Geol., 68: 249–255; doi: 10.7306/2020.12

*Abstract.* The paper deals with the problem of groundwater pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the “*Cieszyńskie Źródła Tufowe*” Natura 2000 area. The concentration of 16 PAHs was measured with the use of the GC-MS method in seven water samples collected from the area of four enclaves belonging to the nature reserve. The results of analyses were compared with both the hydrogeochemical background and the limit value of PAHs concentration in drinking water, defined in the Regulation of the Minister for Health. Additionally, in order to determine the origin of contamination, PAH ratios for selected compounds were calculated. The paper also highlights the importance of the PAHs monitoring in groundwater.

**Keywords:** PAH, groundwater protection, *Cieszyńskie Źródła Tufowe*

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) są zanieczyszczeniami organicznymi funkcjonującymi w środowisku przyrodniczym. Niektóre z WWA są niebezpieczne dla zdrowia człowieka, ponieważ wykazują zdolność do gromadzenia się w tkankach organizmów żywych (Alam i in., 2014). Ich obecność w wodzie może wynikać zarówno z działalności człowieka, głównie ze spalania paliw kopalnych (w warunkach polskich szczególnie znaczenie ma indywidualny, rozproszony systemem ogrzewania) oraz transportu drogowego, jak i procesów naturalnych. WWA emitowane do atmosfery mogą być swobodnie transportowane na duże odległości, opadać na powierzchnię ziemi i na drodze infiltracji zanieczyszczać wody gruntowe (Luo i in., 2004).

W Polsce dotychczasowe badania obecności WWA w wodach podziemnych odnosiły się głównie do obszaru Sudetów, zarówno do wód leczniczych (Bąbelek i in., 1986; Grochmalicka-Mikołajczyk i in., 1985), jak i zwykłych (Bąbelek i in., 1989). Reyman (2000) analizował zagrożenie wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego przez WWA, a Cieżkowski i Berbec (2003) dokonali przeglądu występowania WWA w wodach leczniczych Polski. W niniejszym artykule przedstawiono występowanie WWA w wodach źródeł drenujących pierwszy poziom wodonośny obszaru Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe*, prawdopodobną genezę występowania WWA w tych wodach i problemy ochrony źródeł przed tym zanieczyszczeniem.

### CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Specjalny obszar ochrony siedlisk (SOO) Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe* PLH240001 obejmuje 4 enklawy: *Morzyk*, *Skarpa Wiślicka*, *Las Grabiec* i *Las Kamieniec* (ryc. 1), z których dwie pierwsze są rezerwatami przyrody. Znajduje się on w Zewnętrznych Karpatach Zachodnich, w mezoregionie Pogórze Śląskie (Kondracki, 2002), w obszarze wododziałowym Wisły i Odry. W jego podłożu występują utwory fliszu karpackiego, a lokalnie intruzja cieszyńskich zaliczanych do gabroidów (Molenda, Nejfeld, 2012). Enklawa *Las Grabiec* znajduje się w dorzeczu Odry, w zlewni Olzy. Pozostałe enklawy leżą w dorzeczu Wisły.

Obszar enklawy *Las Kamieniec* należy do zlewni II rzędu Knajki, a enklawy *Morzyk* do zlewni II rzędu Hownicy, natomiast ciek, w którego zlewni leży enklawa *Skarpa Wiślicka*, zasila bezpośrednio Wisłę. System rzeczny na badanym obszarze jest dobrze rozwinięty.

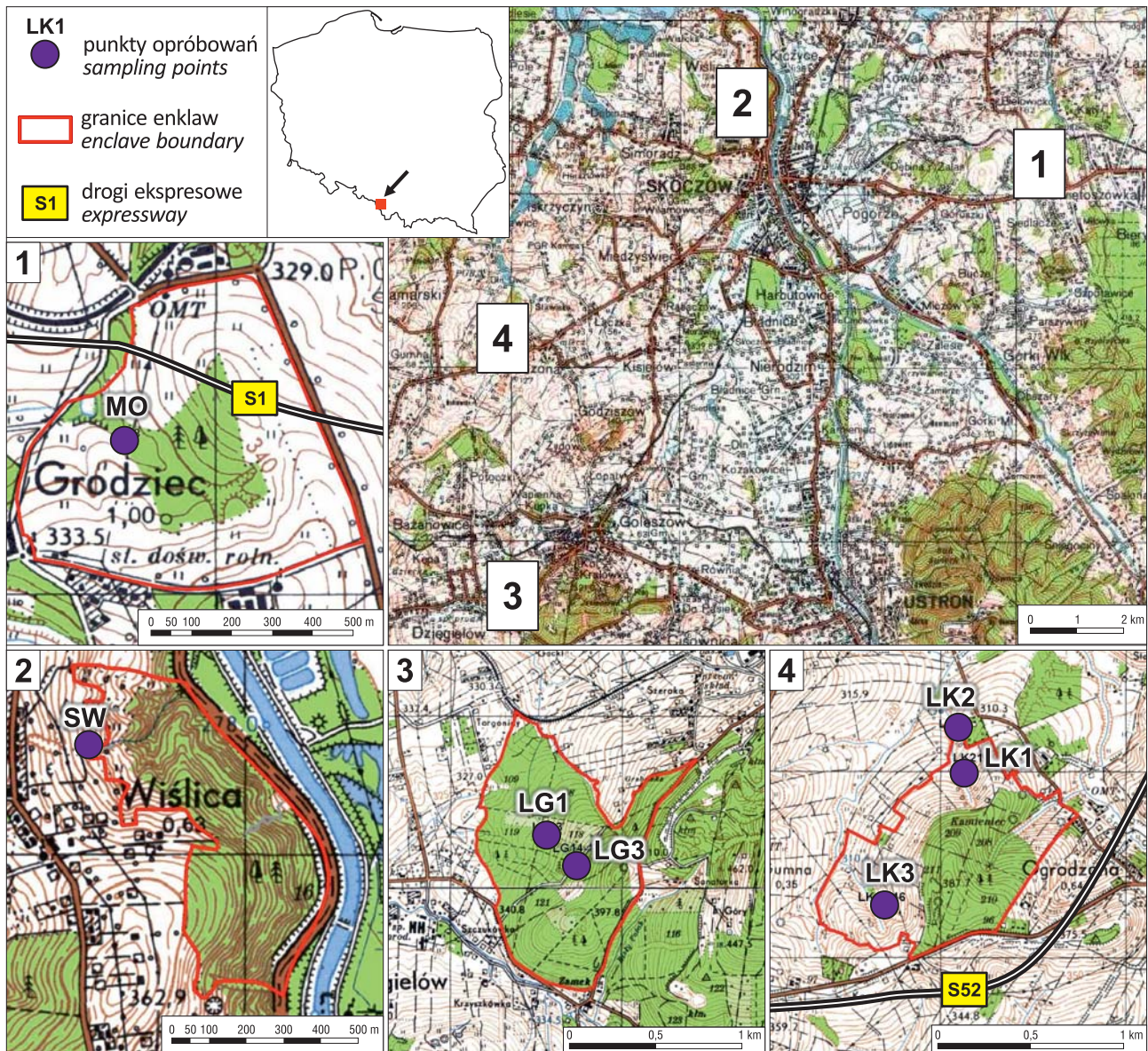
Badaniom poddano wody źródeł podzboczowych i descenzyjnych, drenujących pierwszy poziom wodonośny (PPW) w wapieniach cieszyńskich oraz piaskowcach i łupkach marglistych fliszu karpackiego (kredek i jurak). Poziom ten jest słabo izolowany od powierzchni terenu – dominuje w nim bardzo wysoki i wysoki stopień podatności na zanieczyszczenie. Przybliżony czas dotarcia zanieczyszczenia do wód podziemnych wynosi odpowiednio <5 lat i 5–25 lat (Siwek, Rózkowski, 2013; Siwek, Witkowski, 2013). Wzdłuż cieków rozwijają się siedliska przyrodnicze – źródła wapienne ze zbiorowiskami *Cratoneurion commutati* (Tyc, Jonderko, 2017). W 4 enklawach wyznaczono 7 punktów poboru próbek wód do badań (ryc. 1):

1) Enklawa *Morzyk* została wytyczona w miejscowości Grodziec i graniczy z drogą ekspresową S1. Wodę do badań pobierano ze źródła o symbolu MO, które wybija w wąwozie o głębokości ok. 5 m. Woda płynie nim w kierunku północnym. Wśród form użytkowania terenu dominują obszary rolnicze, łąki i tereny zajęte przez roślinność naturalną. W czterech seriach badań terenowych, przeprowadzonych w czerwcu, lipcu, sierpniu i październiku 2017 r., natężenie przepływu wody było bardzo zmienne, w granicach 0,008–0,820 l/s (średnio 0,320 l/s). Temperatura wody mieściła się w zakresie 9,4–9,8°C (średnio 9,6°C).

2) Enklawa *Skarpa Wiślicka* znajduje się we wsi Wiślica, na stoku nachylonym w kierunku wschodnim. Od zachodu sąsiaduje z obszarami o rozproszonej zabudowie. W enklawie tej badano wody okresowej młaki o symbolu SW, która wybija z niszy w zboczu skarpy, po czym stopniowo przechodzi w skoncentrowany przepływ wody na wschód. W pobliżu występuje inny wypływ, nieaktywny podczas badań terenowych w 2017 r. Obszar wokół wypływu porasta łąka, w kierunku Wisły przechodząca w las mieszany. W okresie badań przepływ wody w punkcie SW wynosił 0,400 l/s w dniu 16.06.2017 r. oraz 2,275 l/s w dniu 11.10.2017 r. W pozostałych okresach badawczych

<sup>1</sup> Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Przyrodniczych, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; jacek.rozkowski@us.edu.pl





Ryc. 1. Lokalizacja obszaru Natura 2000 Cieszyńskie Źródła Tufowe, jego enklaw: 1 – Morzyk, 2 – Skarpa Wiślicka, 3 – Las Grabicz i 4 – Las Kamieniec, oraz punktów badawczych

Fig. 1. Location of the Cieszyńskie Źródła Tufowe Natura 2000 area, its enclaves: 1 – Morzyk, 2 – Skarpa Wiślicka, 3 – Las Grabicz and 4 – Las Kamieniec, and sampling points

obserwowano sączenie (<0,05 l/s). Temperatura wody mieściła się w zakresie 12,3–18,6°C (średnio 15,0°C).

3) Enklawa *Las Grabicz* graniczy z miejscowościami Dziegiełłów i Goleiszów i jest otoczona przez obszary wiejskie oraz lasy. Wodę do badań pobierano ze źródła (o symbolu LG1), wypływającego z zachodniego stoku, oraz z ciekuponizżej źródła (o symbolu LG3) – w odległości ok. 280 m od punktu LG1. Woda ciekupogromadzi się w naturalnym korycie i płynie na północny zachód. Punkt opróbowań LG3 znajduje się w pobliżu drogi leśnej. W okresie badań natężenie przepływu wody w punkcie LG1 mieściło się w granicach 0,598–1,620 l/s (średnio 1,176 l/s), a w punkcie LG3 było zmienne – w przedziale 0,355–3,499 l/s (średnio 1,583 l/s). Temperatura wody w punkcie LG1 mieściła się w zakresie 8,7–8,8°C (średnio 8,7°C), natomiast w punkcie LG3 wynosiła 9,7–18,3°C (średnio 14,7°C).

4) Enklawa *Las Kamieniec* jest usytuowana na zachód od miejscowości Ogrodzona, ok. 5 km na północ od enklawy *Las Grabicz*. Dwa punkty badawcze (LK1 i LK2), oddalone od siebie o ok. 320 m, założono na strumieniu

odwadniającajpółnocne zbocze wzgórza znajdującego się w tej enklawie, a trzeci punkt na wypływie okresowym (o symbolu LK3). Wschodnią część tego obszaru zajmują lasy, a zachodnią – tereny rolnicze i zielone. Okresowe źródło LK3 bije w południowo-zachodniej części tego obszaru, w płytkiej dolinie strumienia (o głęb. do 3,5 m), w sąsiedztwie drogi ekspresowej S52, biegnącej na południe od strumienia. Koryto strumienia jest głęboko wcięte w zbocze wzgórza – do 9 m głębokości w górnym odcinku ciekup(LK2) i do 4 m w odcinku dolnym (LK1). Na wschód i na zachód od wąwozu występuje zabudowa rozproszona. W punkcie LK2 natężenie przepływu wody w okresie badań zmieniało się w przedziale 0,526–2,714 l/s (średnio 1,366 l/s). Temperatura wody mieściła się w zakresie 9,3–15,0°C (średnio 12,6°C). W punkcie LK1 natężenie przepływu wody było bardzo zmienne, w granicach 0,388–12,11 l/s (średnio 3,53 l/s), a temperatura wody mieściła się w zakresie 9,8–19,6°C (średnio 15,8°C). W punkcie LK3 w dniu 10.10.2017 r. stwierdzono przepływ o objętości 2,275 l/s. W poprzedzających okresach badawczych było



to sączenie <0,05 l/s. Temperatura wody wynosiła 10,8–16,9°C (średnio 14,2°C).

Wody źródeł i cieków badanego obszaru należą do wód słodkich typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  i  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$  (suma substancji rozpuszczonych wynosi 0,52–0,64 g/dm<sup>3</sup>), słabo zasadowych (pH 7,1–8,2), średnio twardych i twardych (tw. og. 220–500 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>). Przeobrażone antropogenicznie wody cieków SW i MO należą do typu hydrochemicznego  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca}$ , charakteryzują się wyższą sumą substancji rozpuszczonych – do 900 mg/dm<sup>3</sup>, tw. og. do 740 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>, stężeniem jonów Cl do 150 mg/dm<sup>3</sup> oraz obniżonym pH – do 6,7 (Róźkowski i in., 2019).

## MATERIAŁ I METODY

Podczas czterech serii badań terenowych, przeprowadzonych w czerwcu, lipcu, sierpniu i październiku 2017 r. w 4 enklawach obszaru Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe*, z 7 punktów badawczych pobrano do analizy próbki wody (z punktu LG1 dopiero w lipcu 2017 r.). Oznaczenia zawartości 16 wybranych WWA w próbkach wody, do których należały naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, flenzo(k)fluoroanten, benzo(a)piren, indeno(1,2,3-cd)piren, dibenzo(a,h)antrecen i benzo(g,h,i)perylen, przeprowadzono w laboratorium Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze, z zastosowaniem metody chromatografii gazowej – spektrometrii mas (GC-MS). Wyniki badań umożliwiły określenie całkowitego stężenia w badanych wodach sumy 4 WWA: benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(g,h,i)peryleny i indeno(1,2,3-cd)pirenu.

Podjęto próbę zidentyfikowania genezy WWA w wodach źródeł. W tym celu dokonano porównania stosunków stężeń wybranych WWA w badanych próbkach wód, zgodnie z interpretacją Nádudvari i Fabiańskiej (2015). W celu oceny jakości wody wyniki badań porównano z dopuszczalną zawartością sumy 4 WWA w wodach nadających się do spożycia przez ludzi, określoną w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Porównano również stężenia benzo(a)pirenu oraz sumę 6 WWA (benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(g,h,i)peryleny, dibenzo(a,h)antracenu i indeno-

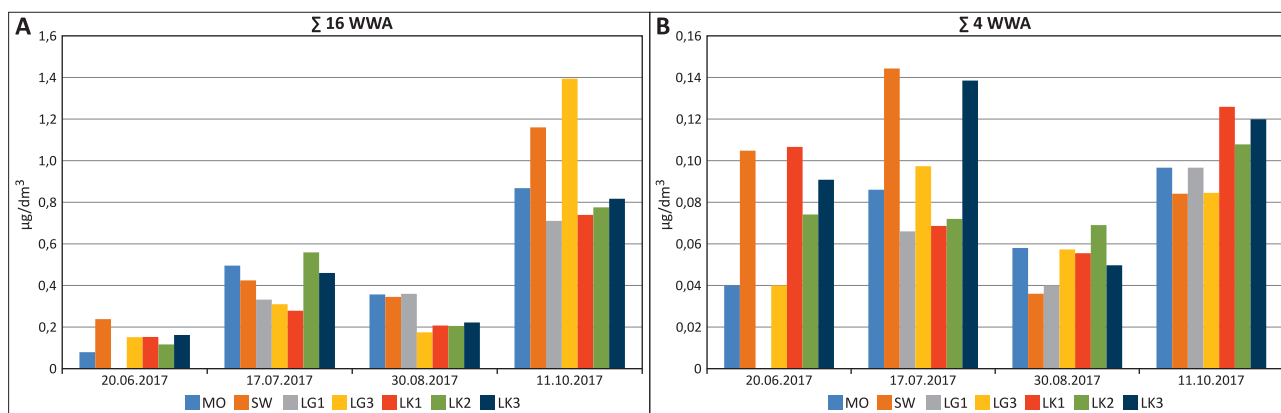
(1,2,3-cd)pirenu) w badanych wodach z tłem hydrogeochemicznym przyjętym w załączniku do Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych.

## WYNIKI I DISKUSJA

Suma stężeń 16 WWA w badanych wodach mieściła się w przedziale 0,079–1,3938 µg/dm<sup>3</sup>. Próbki wody wykazywały niskie stężenia oznaczanych WWA w sezonie letnim, maksymalnie do 0,5591 µg/dm<sup>3</sup> (LK2; czerwiec). Jesienią zawartość sumy 16 WWA w wodach wzrosła, zwłaszcza w wodach pobranych z punktów SW i LG3 – odpowiednio do 1,1599 µg/dm<sup>3</sup> i 1,3938 µg/dm<sup>3</sup> (ryc. 2). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi suma 4 WWA w wodzie do spożycia nie powinna przekraczać 0,1 µg/dm<sup>3</sup>. Wyniki badań wskazują na sezonowe przekroczenie dopuszczalnych wartości w wodach pobranych z 4 punktów – MO, SW, LK2 i LK1. W czerwcu 2017 r. największe stężenie sumy 4 WWA (0,1443 µg/dm<sup>3</sup>) zaobserwowano w próbce wody pobranej z punktu SW (ryc. 2). W większości badanych wód zawartość benzo(a)pirenu oraz suma 6 WWA (benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(g,h,i)peryleny, dibenzo(a,h)antracenu i indeno(1,2,3-cd)pirenu) przekraczała górne granice tła hydrogeochemicznego. Maksymalne stężenie WWA zanotowano w październiku w wodzie pobranej z punktu LK3 (ryc. 3), w której stężenie benzo(a)pirenu osiągnęło 0,0455 µg/dm<sup>3</sup> (przy górnej granicy tła 0,01 µg/dm<sup>3</sup>), a suma 6 WWA wynosiła 0,18897 µg/dm<sup>3</sup> (przy górnej granicy tła 0,1 µg/dm<sup>3</sup>).

W wodach źródeł w enklawach *Morzyk* i *Las Kamieniec* stwierdzono ponadto podwyższone stężenia innych badanych związków WWA (np. antracenu, fenantrenu, fluorantenu i pirenu), szczególnie w lipcu (ryc. 4). W próbce LK2 stężenie fenantrenu sięgało 0,1408 µg/dm<sup>3</sup>, a pirenu 0,114 µg/dm<sup>3</sup>.

Spaliny wydzielane przez pojazdy drogowe zawierają zanieczyszczenia, w tym WWA, które docierają do wód podziemnych, szczególnie podczas opadów deszczu. W efekcie transport drogowy wpływa na zanieczyszczenie powietrza, jakość wód powierzchniowych i płytkich wód podziemnych w pobliżu drogi (Sołtysiak i in., 2018). Enklawy

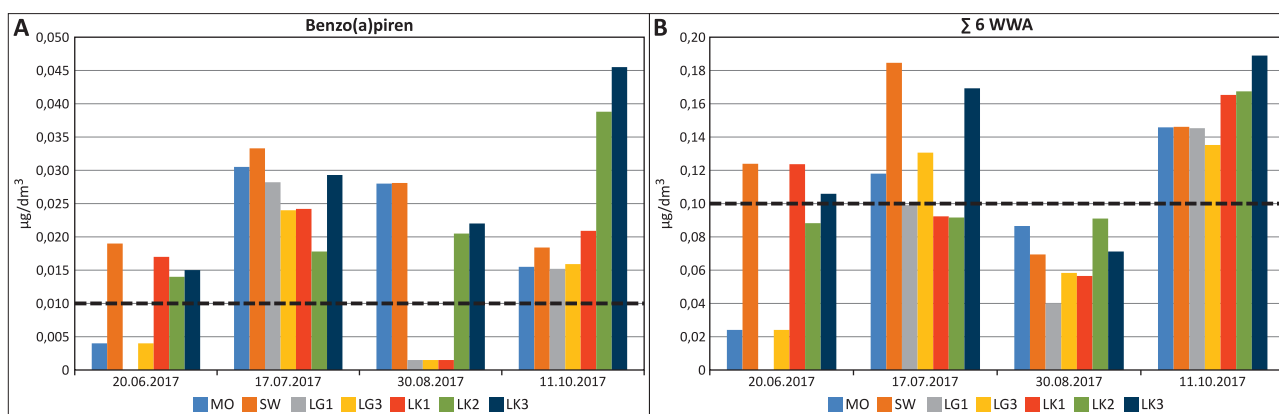


**Ryc. 2.** Suma stężeń 16 WWA i 4 WWA (benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(g,h,i)peryleny i indeno(1,2,3-cd)pirenu) w badanych wodach w okresie od czerwca do października 2017 r. Oznaczenia próbek wody: MO – *Morzyk*, SW – *Skarpa Wiślicka*, LG1, LG3 – *Las Grabiec* oraz LK1, LK2, LK3 – *Las Kamieniec*

**Fig. 2.** The sum of concentrations of 16 PAHs and 4 PAHs (benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene and indeno(1,2,3-cd)pyrene) in the examined water samples in the period of June–October 2017. Water sample marking: MO – *Morzyk*, SW – *Skarpa Wiślicka*, LG1, LG3 – *Las Grabiec* and LK1, LK2, LK3 – *Las Kamieniec*

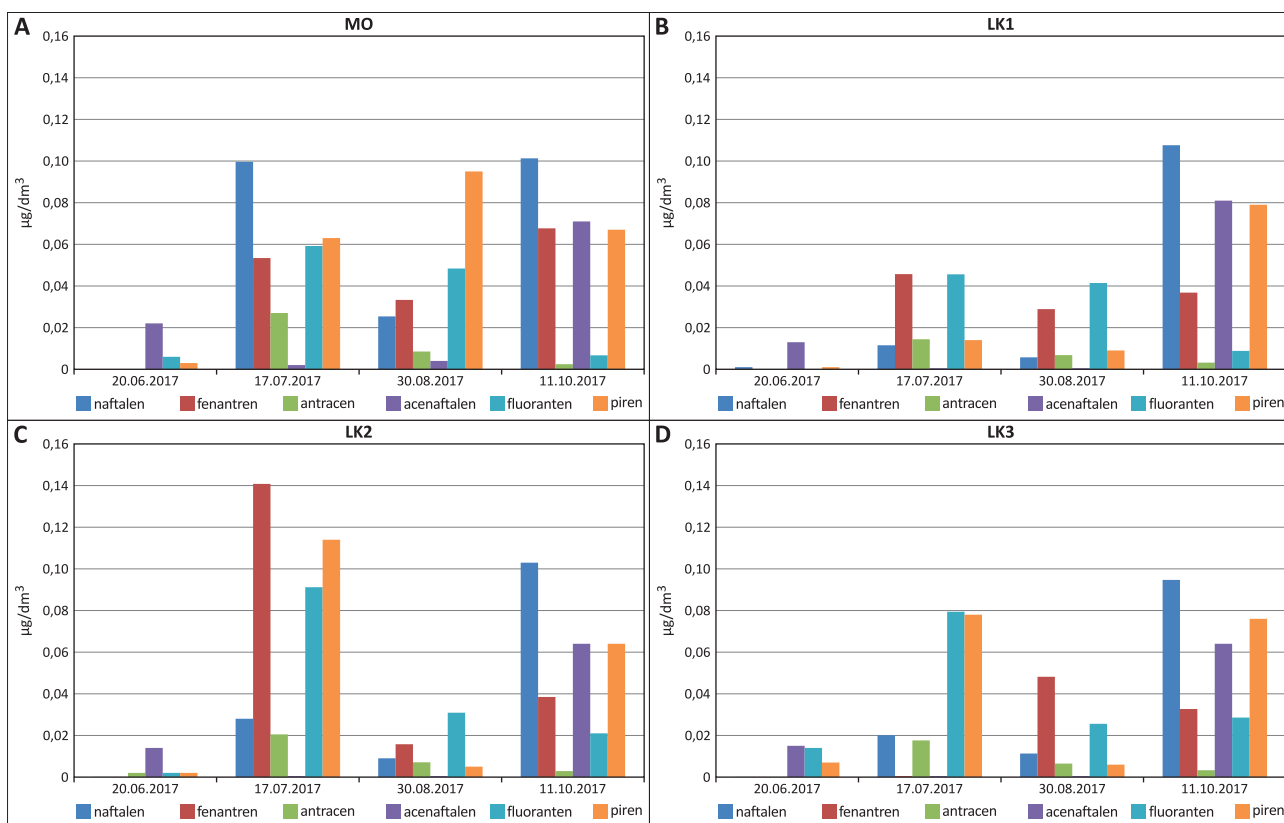
*Morzyk* (MO) i *Las Kamieniec* (LK1, LK2 i LK3) sąsiadują z drogami ekspresowymi. W celu potwierdzenia wpływu transportu drogowego na jakość wód w analizowanych enklawach porównano stężenia wybranych WWA w próbkach wód pobranych w sezonie letnim: fluoranten/(fluoranten + piren) [Fl/(Fl+Py)] i antracen/(antracen + fenantren) [A/(A+P)], a także fenantren/antracen [P/A] i fluoranten/piren [Fl/Py]. Uzyskane wyniki pozwoliły zidentyfikować genezę WWA w wodzie, które mogły pochodzić ze źródeł naturalnych (petrogenicznych) lub być efektem działalności antropogenicznej, w tym transportu drogowego albo spalania paliw kopalnych i drewna (Karcher, 1988).

Prawie wszystkie wyniki analiz stosunków zawartości WWA w wodach z enklaw *Morzyk* i *Las Kamieniec* (ryc. 5) wskazują na mieszane pochodzenie WWA lub związane wyłącznie z procesami spalania węgla w gospodarstwach domowych. Jedynym wyjątkiem była próbka wody pobrana w czerwcu z punktu MO, w której wartości stosunku Fl/(Fl+Py), A/(A+P) i Fl/(Fl+Py) były mniejsze od 0,4. Taki wynik świadczy o tym, że prawdopodobnym źródłem zanieczyszczenia wody był transport drogowy. Podobnych różnic w genecie WWA nie zauważono w wodach enklaw *Skarpa Wiślicka* i *Las Grabicz*, które znajdują się z dala od dróg o dużym natężeniu ruchu samochodowego.



**Ryc. 3.** Porównanie stężeń benzo(a)pirenu (A) i sumy 6 WWA (B) w badanych wodach w okresie od czerwca do października 2017 r. z wartościami tła hydrogeochemicznego. Oznaczenia próbek wody: MO – *Morzyk*, SW – *Skarpa Wiślicka*, LG1, LG3 – *Las Grabicz* oraz LK1, LK2, LK3 – *Las Kamieniec*. Linia przerywana obrazuje górną granicę tła hydrogeochemicznego

**Fig. 3.** The comparison of benzo(a)pyrene concentrations and the sums of 6 PAHs in the examined water samples in the period of June–October 2017 and the hydrogeochemical background values. values: MO – *Morzyk*, SW – *Skarpa Wiślicka*, LG1, LG3 – *Las Grabicz* and LK1, LK2, LK3 – *Las Kamieniec*



**Ryc. 4.** Zróżnicowanie stężeń wybranych WWA w próbkach wody w enklawach *Morzyk* (MO) i *Las Kamieniec* (LK1, LK2, LK3)

**Fig. 4.** Variations in concentrations of selected PAHs in sampled water in the *Morzyk* (MO) and *Las Kamieniec* (LK1, LK2, LK3) enclaves

Suma stężeń 16 WWA gwałtownie wzrosła we wszystkich próbkach wód pobranych na początku sezonu jesienno-letniego (ryc. 2). Analizując zagospodarowanie obszaru stwierdzono, że otoczenie źródeł i cieków stanowią obszary o naturalnej roślinności (lasy, łąki), pola uprawne albo rozproszona zabudowa wiejska – bez działalności przemysłowej. Sezonowe ogrzewanie rozproszonej zabudowy istotnie przyczynia się do wzrostu stężenia stałych cząstek zawieszonych w powietrzu i innych zanieczyszczeń. Jesienią i zimą niska emisja jest odpowiedzialna za znaczną część wysokich stężeń w powietrzu substancji niebezpiecznych dla zdrowia. Jednocześnie zanieczyszczenia obecne w powietrzu mogą być transportowane przez wiatr na dużą odległość. Toteż produkty spalania często są wykrywane z dala od punktów emisji. Analiza zagospodarowania terenu upoważnia do stwierdzenia, że niska emisja jest najbardziej prawdopodobnym czynnikiem odpowiedzialnym za dużą zawartość WWA w wodach badanych źródeł. W celu zweryfikowania tego założenia porównano stosunki stężeń: fluoranten/fluoranten i piren [Fl(Fl+Py)] oraz benzo(a)piren/benzo(g,h,i)perylene [B(a)P/B(ghi)P] (ryc. 6).

Stosunki stężeń WWA w próbkach wód pobranych do badań w październiku 2017 r. wskazują na to, że pochodzenie tych zanieczyszczeń jest mieszane. Wartości współczynników próbek jesiennych są inne niż próbek letnich, co sugeruje inne, ale wciąż antropogeniczne ogniska zanieczyszczenia. Wyniki badań świadczą o istotnej roli niskiej emisji w obniżaniu jakości wód pierwszego poziomu wodonośnego na badanym obszarze.

Problemem wymagającym wyjaśnienia w skali regionalnej jest wpływ na jakość wód w Polsce zanieczyszczonego powietrza docierającego z Republiki Czeskiej przez Bramę Morawską. W niewielkiej odległości od granicy z Polską, w Ostrawie, Havirzowie, Stonawie i Trzyńcu, znajdują się duże zakłady przemysłowe, które można uznać za potencjalne emitery zanieczyszczeń WWA (huty, kopalnie, zakłady przerobcze i elektrownie). Monitoring transgranicznego napływu zanieczyszczeń z obszaru Republiki Czeskiej jest realizowany przez stację Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) w miejscowości Godów k. Wodzisławia Śląskiego. W ramach monitoringu zanieczyszczenia powietrza na stacji tej jest mierzone stężenie tylko jednego ze związków WWA – benzo(a)pirenu (B(a)P). W latach 2014–2017 średnie stężenia B(a)P w powietrzu w miesiącach zimowych mieściły się

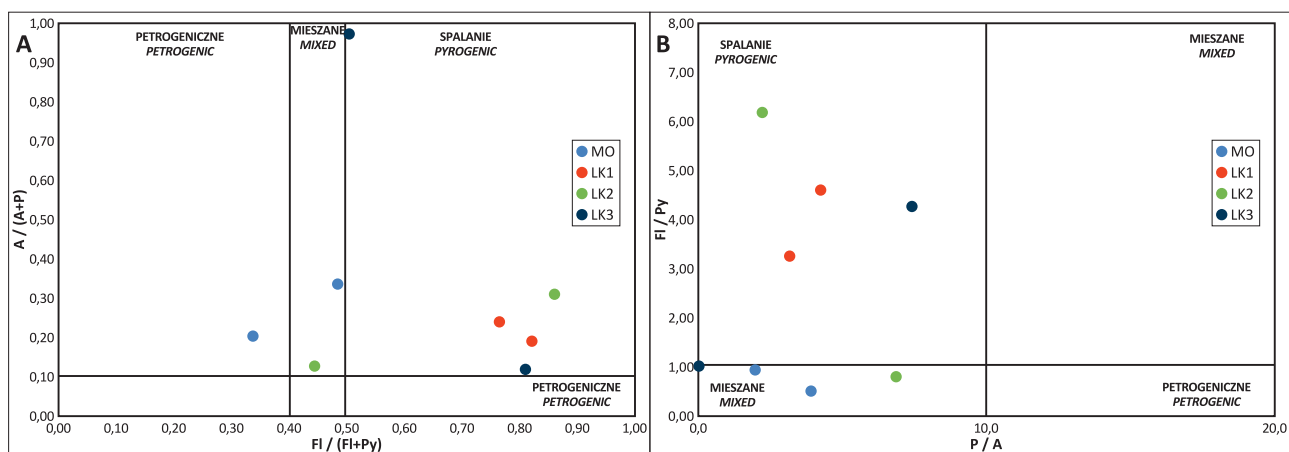
w przedziale 13–18 ng/m<sup>3</sup>, przewyższając tym samym znacznie zawartość tego związku w powietrzu w okresach letnich – 2–3 ng/m<sup>3</sup> (WIOŚ, 2018). Biorąc pod uwagę antropogeniczną genezę tych związków w powietrzu można założyć, że zawartość innych zanieczyszczeń WWA wykazywałaby podobne wahania w ciągu roku.

W okresie badań wód w enklawach obszaru *Cieszyńskich Źródeł Tufowych* na stacji w Godowie najniższe stężenia B(a)P w powietrzu obserwowano w czerwcu, lipcu oraz sierpniu 2017 r. (<1 ng/m<sup>3</sup>). Skokowy wzrost stężeń B(a)P zaobserwowano od września (5,2 ng/m<sup>3</sup>), z początkiem okresu grzewczego. W grudniu stężenie B(a)P sięgało już 10,1 ng/m<sup>3</sup> (www.powietrze.gios.gov.pl). Podobne tendencje zmian zawartości B(a)P zaobserwowano w badanych wodach obszaru *Cieszyńskich Źródeł Tufowych*, w których stężenia badanych WWA były niższe latem, a najwyższe w październiku.

### PROBLEMY OCHRONY CIESZYŃSKICH ŹRÓDEŁ TUFOWYCH PRZED ZANIECZYSZCZENIEM WWA

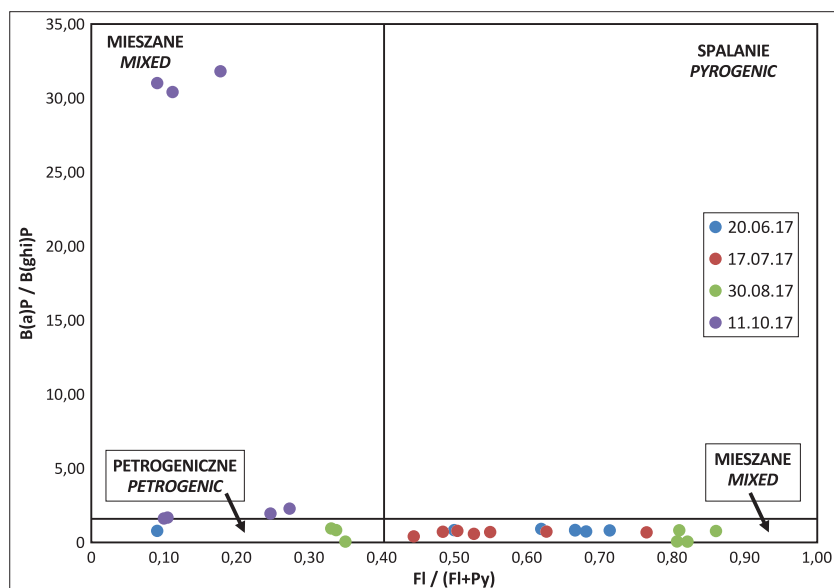
Powszechność występowania WWA w wodach obszaru *Cieszyńskich Źródeł Tufowych*, ich okresowo podwyższone stężenia w niektórych lokalizacjach, a także zróżnicowana geneza sprawiają, że wody te wymagają kompleksowego monitoringu i podjęcia działań ochronnych. Monitoring w skali ogólnokrajowej nie dokumentuje obecności WWA w badanych wodach. Problem potencjalnego zanieczyszczenia obszaru substancjami ropopochodnymi dostrzegła Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Katowicach, zwłaszcza w związku z użytkowaniem sąsiadujących dróg ekspresowych. Oprócz lokalnej emisji WWA proces ten zachodzi także w skali regionalnej, poprzez napływ zanieczyszczonego powietrza z kierunków W i SW – ok. 43% (Kruczała, 2000).

Zadaniem monitoringu wód podziemnych, realizowanego przez Główny Instytut Ochrony Środowiska w ramach państwowego monitoringu środowiska, którego wykonawcą jest Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, jest dostarczanie m.in. wyników badań jakości wód podziemnych koniecznych do oceny ich stanu chemicznego. W ramach monitoringu stanu chemicznego wód podziemnych są prowadzone: monitoring diagnostyczny i monitoring operacyjny. Monitoring



**Ryc. 5.** Geneza WWA w wodach enklaw *Morzyk* (MO) i *Las Kamieniec* (LK1, LK2, LK3): A – antracen, P – fenantren, Fl – fluoranten, Py – piren

**Fig. 5.** The origin of PAHs in water in the *Morzyk* (MO) and *Las Kamieniec* (LK1, LK2, LK3) areas: A – anthracene, P – phenanthrene, Fl – fluoranthene, Py – pyrene



**Ryc. 6.** Pochodzenie WWA w wodach w sezonie letnim i jesiennym: FI – fluoranten, Py – piren, B(a)P – benzo(a)piren, B(ghi)P – benzo(g,h,i)perylen

**Fig. 6.** The origin of PAHs in water during the summer and autumn season: FI – fluoranthene, Py – pyrene, B(a)P – benzo(a)pyrene, B(ghi)P – benzo(g,h,i)perylene

diagnostyczny odbywa się raz na trzy lata i obejmuje obszar całego kraju. W latach następujących pomiędzy badaniami diagnostycznymi jest realizowany monitoring operacyjny, w ramach którego raz lub dwa razy w roku opróbowuje się jednolite części wód zagrożone nieosiągnięciem dobrego stanu wody w perspektywie 2021 r.

W ramach monitoringu diagnostycznego są określone wskaźniki: ogólne (pH, OWO, PEW, temperatura i tlen rozpuszczony), 23 wskaźniki nieorganiczne i substancja organiczna (AOX – adsorbowane związki chloroorganiczne). Monitoring ten nie obejmuje oznaczeń WWA. Zakres badań monitoringu operacyjnego stosowanego do oceny stanu chemicznego wybranych JCWPd zagrożonych nieosiągnięciem dobrego stanu (wytypowanych na podstawie monitoringu diagnostycznego), obejmuje także WWA.

Obszar *Cieszyńskich Źródeł Tufowych* znajduje się w granicach JCWPd nr 162 i 163 – części te nie zostały wytypowane do realizacji monitoringu operacyjnego. Według danych z 2017 r. w raporcie z oceny stanu chemicznego jednolitych części wód podziemnych zagrożonych nieosiągnięciem stanu dobrego, wykonanym przez PIG-PIB (Rojek i in., 2018), udokumentowano oznaczenia 60 wskaźników organicznych, w tym 17 WWA (*acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(e)piren, benzo(a)piren, terylen, indeno(1,2,3-cd)perylene, dibeno(a,h)antracen, benzo(g,h,i)terylene*). Trzynaście z tych WWA (wyróżnionych pismem pochylonym) badano w wodach *Cieszyńskich Źródeł Tufowych* w 2017 r. na zlecenie Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Katowicach.

Autorzy warstwy informacyjnej bazy danych GIS *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000 – Pierwszy Poziom Wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód* (MHP PPW WJ) do oceny jakości wód pierwszego poziomu wodonośnego wybrali stężenia jonów:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , Cl i  $\text{SO}_4$ , oraz następujące wskaźniki: PEW, pH i temperaturę (Herbich i in., 2008). Na arkuszach Cieszyn (1010)

i Skoczów (1011), obejmujących obszar *Cieszyńskich Źródeł Tufowych*, zaznaczono ogólnie dobry chemiczny stan wód, a tylko lokalnie słaby.

Na arkuszu Cieszyn (1010) zaledwie w 4 punktach hydrogeologicznych, spośród 21 badanych w 2012 r., odnotowano słaby stan chemiczny wód z powodu podwyższonych stężeń jonów  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  oraz obniżonego odczynu pH. Na arkuszu Skoczów (1011), dokumentującym wyniki badań z wielolecia 94 punktów hydrogeologicznych, tylko w 6% populacji stwierdzono słaby stan chemiczny wód podziemnych, o czym decydowało podwyższone stężenie w wodzie jonu  $\text{NH}_4$  i obniżony odczyn pH (Siwek, Rózkowski, 2013; Siwek, Witkowski, 2013). W najbardziej szczegółowym w skali kraju rozpoznaniu chemizmu i jakości wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego brakuje danych o występowaniu WWA w tych wodach.

W obszarze Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe* PLH240001 przedmiotem ochrony są m.in. źródła wapienne ze zbiorowiskami *Cratoneurion commutati*, o kodzie siedliska 7220 (nadany przez Komisję Europejską). W ochronie obszaru podstawową rolę odgrywa planowanie przestrzenne na szczeblu gminnym i lokalnym. W opracowaniu ekofizjograficznym zwraca się uwagę m.in. na: potrzebę dostosowania funkcji, struktury i intensywności zagospodarowania przestrzennego do warunków przyrodniczych; zapewnienie trwałości podstawowych procesów przyrodniczych w obszarze objętym planem; zapewnienie warunków odnawialności zasobów środowiska; sposoby eliminowania lub ograniczania zagrożeń i negatywnego oddziaływania na środowisko. W prognozie oddziaływania na środowisko zwraca się uwagę na: cele ochrony obszaru, problemy dotyczące ochrony środowiska, przewidywane znaczące oddziaływania na cele i przedmiot ochrony obszaru Natura 2000 i integralność obszarów ([www.natura2000.gdos.gov.pl](http://www.natura2000.gdos.gov.pl)). Zapisy te są raczej ogólnikowe. Mogą prawidłowo diagnozować antropopresję i proponować kierunki sanacji środowiska, głównie w wymiarze lokalnym.

Problem obecności WWA w chronionych wodach źródeł jest dostrzegany przez Regionalną Dyrekcję Ochrony Środowiska (RDOŚ) w Katowicach. W *Planie zadań ochronnych dla obszaru Natura 2000 Cieszyńskie Źródła Tufowe* PLH240001 (RDOŚ, 2014), w odniesieniu do źródeł wapiennych ze zbiorowiskami *Cratoneurion commutati*, wśród zagrożeń antropogenicznych są specyfikowane m.in.: emisja spalin oraz możliwość zanieczyszczenia siedliska substancjami ropopochodnymi, w związku z użytkowaniem sąsiednich dróg, a także wkraczanie zabudowy w bezpośrednie sąsiedztwo obszaru. W 2017 r. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk (IPIŚ PAN) w Zabrzu wykonał, na zlecenie RDOŚ w Katowicach, ekspertyzę pt. *Identyfikacja źródeł zanieczyszczeń wpływających na skład chemiczny wody w obszarze Natura 2000 Cieszyńskie Źródła Tufowe* PLH240001, obejmującą m.in. oznaczenie 16 WWA w badanych źródłach.



## WNIOSKI

1) W wodach podziemnych PPW czterech enklaw obszaru specjalnej ochrony siedlisk Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe*, badanych w okresie od czerwca do października 2017 r., zauważono negatywne oddziaływanie antropopresji, mimo że obszar ten jest oddalony od terenów przemysłowych i silnie zurbanizowanych.

2) Suma 16 WWA mieściła się w badanych wodach w przedziale 0,079–1,3938  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ . W 4 punktach poboru próbek wód spośród 7 stwierdzono sezonowe przekroczenie wartości sumy 4 WWA dopuszczalnej w wodzie do spożycia (0,1  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) – maksymalna suma wyniosła 0,1443  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Ponadto, w większości badanych wód stężenie benzo(a)pirenu oraz sumy 6 WWA przekraczało górne granice tła hydrogeochemicznego, osiągając, odpowiednio, maksymalną zawartość 0,0455  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  oraz 0,18897  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ .

3) Stosunki stężeń wybranych WWA w badanych wodach podziemnych: FI/(FI+Py), A/(A+P), P/A, FI/Py, FI/(FI+Py) oraz B(a)P/B(ghi)P świadczą o znaczącym udziale czynnika antropogenicznego w zanieczyszczeniu tych wód.

4) Podwyższone stężenia WWA w wodach podziemnych obszaru *Cieszyńskich Źródeł Tufowych* są związane z niską emisją (szczególnie jesienią i zimą), transportem drogowym, a także, w skali regionalnej, z napływem zanieczyszczonego powietrza z Republiki Czeskiej poprzez Bramę Morawską.

5) Powszechność WWA w wodach obszaru *Cieszyńskich Źródeł Tufowych* i ich lokalne, sezonowo podwyższone stężenia wymagają kompleksowych badań monitoringowych i ochronnych, podczas gdy ogólnokrajowy monitoring stanu wód podziemnych nie obejmuje oznaczeń WWA w wodach badanych źródeł. Problem obecności WWA w wodach źródeł obszarów chronionych jest dostrzegany przez Regionalną Dyрекję Ochrony Środowiska w Katowicach, co znajduje odzwierciedlenie w Planie zadań ochronnych dla obszaru Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe* PLH240001 oraz w opracowaniu IPiŚ PAN w Zabrze dotyczącym identyfikacji źródeł zanieczyszczeń w analizowanym obszarze chronionym.

6) Do oceny zanieczyszczeń badanych wód związkami ropopochodnymi wykorzystano jedynie oznaczenia WWA, jednak z uwagi na niską rozpuszczalność tych związków wydaje się zasadne wykonanie analizy stężeń także innych substancji, np. arenów jednopierścieniowych. Związki te tworzą z wodą emulsję, dzięki czemu łatwiejsze jest śledzenie ich migracji w środowisku wodnym. Dodatkowe wyniki badań mogłyby uzupełnić informację o wpływie transportu drogowego na jakość wód.

W artykule wykorzystano materiały z badań pt. *Identyfikacja źródeł zanieczyszczeń wpływających na skład chemiczny wody w obszarze Natura 2000 Cieszyńskie Źródła Tufowe PLH240001*, przeprowadzonych latem i jesienią 2017 r. przez Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze, pod redakcją T. Magiery, z udziałem pracowników Uniwersytetu Śląskiego. Informacje na temat wyników badań terenowych uzyskano z Regionalnej Dyрекję Ochrony Środowiska w Katowicach. Autorzy artykułu dziękują prof. T. Magierze i Zespołowi za owocne dyskusje terenowe, badania laboratoryjne i naukowe, które przyczyniły się do zaprezentowania bardzo aktualnego problemu naukowego i podniosły wartość merytoryczną artykułu.

## LITERATURA

- ALAM M.J., YUAN D., JIANG Y.J., SUN Y., XU X. 2014 – Sources and transports of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Nanshan Underground River, China. *Environ. Earth Sci.*, 71: 1967–1976.
- BĄBELEK T., CIĘŻKOWSKI W., GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J. 1986 – Rozkład zawartości wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych (WWA) w wodach podziemnych uzdrowisk sudeckich. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Polit. Wrocław*, 49: 189–192.
- BĄBELEK T., CIĘŻKOWSKI W., GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J. 1989 – Wstępne wartości rozkładu stężeń wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych (WWA) w zwykłych wodach podziemnych Sudetów. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Polit. Wrocław*, 58: 403–407.
- CIĘŻKOWSKI W., BERBEC M. 2003 – Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) w wodach leczniczych Polski. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, 3–5.09.2003 r., Gdańsk, t. XI, cz. 2: 81–86.
- GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J., CIĘŻKOWSKI W., BĄBELEK T. 1985 – Analiza wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych (WWA) w wodach leczniczych Sudetów. [W:] *Aktualne Problemy Hydrogeologii*, 28–30.05.1985 r., Kraków–Karniowice, 3: 423–429.
- HERBICH P., CWIERTNIEWSKA Z., CZEBRESZUK J., FERT M., GEJ K., MORDZONEK G., NIDENTAL M., PRZYTUŁA E., WĘGLARZ D., WOŹNICKA M. 2008 – Wskazania metodyczne do opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy Hydrogeologicznej Polski 1:50 000 *Pierwszy Poziom Wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód*. Państw. Inst. Geol. - PIB.
- KARCHER W. 1988 – Spectral atlas of polycyclic aromatic compounds – 2. Kluwer Academic Publ., Brussels and Luxemburg.
- KONDRACKI J. 2002 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KRUCZAŁA A. (red.) 2000 – Atlas klimatu województwa śląskiego. Inst. Meteor. Gosp. Wod., Katowice.
- LUO X., MAI B., YANG Q., FU J., SHENG G., WANG Z. 2004 – Polycyclic aromatic hydrocarbon and organochlorinated pesticides in water column from Pearl River and Marco harbor in the Pearl River. *Marin Poll. Bull.*, 488: 1102–1115.
- MOLENDTA T., NEJFELD P. 2012 – Ekspertyza hydrologiczna na potrzeby sporządzenia planu zadań ochronnych dla Specjalnego Obszaru Ochrony Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe*. Pracownia Ekspertyz Środowiskowych DENDRUS, Żywiec.
- NÁDUDVARI Á., FABIAŃSKA M.J. 2015 – Coal-related sources of organic contamination in sediments and water from the Bierawka River (Poland). *Intern. J. Coal Geol.*, 152: 94–109.
- REGIONALNA Dyrekcja Ochrony Środowiska w Katowicach (RDOŚ), 2014 – Plan zadań ochronnych dla obszaru Natura 2000 *Cieszyńskie Źródła Tufowe* PLH240001, Katowice.
- REYMAN W. 2000 – Zagrożenie wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego przez WWA. *PZiTS*, 13 (1): 30–35.
- ROJEK A., KUCZYŃSKA A., PISKOREK K. 2018 – Interpretacja wyników monitoringu operacyjnego, ocena stanu chemicznego oraz przygotowanie opracowania o stanie chemicznym jednolitych części wód podziemnych zagrożonych nieosiągnięciem dobrego stanu według danych z 2017 r. Zadanie nr 6. ETAP VI. Monitoring stanu chemicznego oraz ocena stanu jednolitych części wód podziemnych w dorzeczu w latach 2015–2018, Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych. *Dz.U.* 2019, poz. 2148.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz.U.* 2017, poz. 2294.
- RÓŻKOWSKI J., RUBIN H., SIWEK P., ŚLÓSARCZYK K. 2019 – Chemical composition and water quality of the Cieszyn Tufa Springs (Southern Poland). *Geochemical conditions and anthropogenic hazards*. 19<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019, Conf. Proc., 19 (1.2): 105–112.
- SIWEK P., RÓŻKOWSKI J. 2013 – Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000. *Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód*, arkusz Cieszyn (1010). Państw. Inst. Geol.
- SIWEK P., WITKOWSKI A. 2013 – Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000. *Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód*, arkusz Skoczów (1011). Państw. Inst. Geol.
- SOLTYSIAK M., DĄBROWSKA D., MAZUR P., ŚWINIAŃSKI T. 2018 – The importance of groundwater monitoring in the vicinity of roads on the example of the Wojnicz bypass (southern Poland). 18<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconf. SGEM 2018, Conf. Proc., 18 (1.2): 691–698.
- TYC A., JONDERKO T. 2017 – Współczesne depozycje martwic wapiennych na Pogórzu Cieszyńskim w granicach powiatu cieszyńskiego. *Przyrodnik Ustroński, Geologia*, 16: 207–217.
- WIOŚ, 2018 – Szesnasta roczna ocena jakości powietrza w województwie śląskim, obejmująca 2017 rok. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Katowice.
- [www.natura2000.gdos.gov.pl](http://www.natura2000.gdos.gov.pl)
- [www.powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives/downloadFile/262](http://www.powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives/downloadFile/262)