



Otrzymano: 10 września 2018
Zaakceptowano: 22 grudnia 2018
Udostępniono online: 30 grudnia 2018

WYBRANE ZANIECZYSZCZENIA ORGANICZNE W ZLEWNIACH WÓD UJMOWANYCH DO UZDATNIANIA PRZEZ STACJE WODOCIĄGOWE GÓRNOŚLĄSKIEGO PRZEDSIĘBIORSTWA WODOCIĄGÓW

SELECTED ORGANIC CONTAMINATIONS IN WATER CATCHMENTS BELONGING TO UPPER SILESIAN WATER COMPANY

Joanna Kończyk^{1*}, Rajmund Michalski¹, Magdalena Kozak², Piotr Cieślik², Marta Nowicka²

¹Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy im. Jana Długosza w Częstochowie, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

²Ekoenergia Silesia S.A., ul. Żeliwna 38, 40-599 Katowice

Streszczenie: Określenie poziomu zanieczyszczeń wód powierzchniowych, w tym wód ujmowanych do spożycia jest istotne ze względu na potencjalne zagrożenie zdrowia i życia ludzi i zwierząt. Zanieczyszczenia organiczne i nieorganiczne pochodzą m.in. ze spalin samochodowych, z powierzchni dróg oraz elementów pojazdów. W pracy przedstawiono wyniki badań stężeń substancji ropopochodnych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wodach powierzchniowych pobieranych w pięciu miejscach, stanowiących zlewnię wód wykorzystywanych przez Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. w Katowicach, a stanowiących rezerwar wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. W badaniach zastosowano zwalidowane metody oznaczeń substancji ropopochodnych oraz WWA przy wykorzystaniu odpowiednio spektrometrii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR) oraz wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC). Analiza 17 substancji organicznych w okresie 11 miesięcy ujawniła 12 przekroczeń maksymalnych dopuszczalnych stężeń, określonych w obowiązujących w Polsce, przepisach prawnych, niemniej jednak nie zanotowano istotnej zmienności czasowej i przestrzennej oznaczanych substancji, co może świadczyć o stabilności badanych wód powierzchniowych. Ma to istotne znaczenie w kontekście bezpieczeństwa wody spożywanej przez mieszkańców Aglomeracji Górnośląskiej.

Słowa kluczowe: substancje ropopochodne, WWA, wody powierzchniowe.

Abstract: Determination of the level of pollution of surface waters, including those taken for human consumption is important due to the potential threat to health and life of people and animals. Organic and inorganic contaminants come from car exhausts, road surfaces and vehicle components. The paper presents the results of determination of petroleum-based substances and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface water collected in five places belonging to Upper Silesian Water Company, which produce water intended for human consumption. The validated methods were used for the determination of petroleum substances and PAHs by using Fourier transform infrared spectrometry (FTIR) and high performance liquid chromatography (HPLC), respectively. Analysis of 17 organic substances during 11 months of sampling revealed 12 exceedances of maximum permissible concentrations, specified in the Polish regulations. However, no significant temporal and spatial variability of the determined substances was found, which may indicate the stability of the analysed surface waters. This is important in the context of the safety of water consumed by the inhabitants of the Upper Silesian agglomeration.

Keywords: petroleum substances, PAH, surface waters

1. Wstęp

W ostatnich latach dużym zainteresowaniem cieszą się badania wpływu zanieczyszczeń środowiskowych i komunikacyjnych na jakość wód powierzchniowych, w szczególności tych ujmowanych do spożycia przez ludzi. Zanieczyszczenia znajdujące się w tego rodzaju wodach pochodzą zarówno z suchej i mokrej depozycji, jak i z powierzchni dróg oraz elementów pojazdów mechanicznych (np. opony, hamulce, oleje). Zagrożenie jakie niesie transport samochodowy zwią-

zane jest przede wszystkim z emisją do środowiska różnorodnych substancji nieorganicznych i organicznych. W wielu pracach udowodniono zależność pomiędzy chorobami ludzi a miejscem zamieszkania w pobliżu ruchliwych szlaków komunikacyjnych, co jest związane nie tylko z obecnością i składem pyłów zawieszonych [1], ale i zanieczyszczeń wód powierzchniowych wykorzystywanych jako wody przeznaczone do spożycia [2, 3]. Spadek emisji ze źródeł przemysłowych i jej wzrost ze źródeł komunikacyjnych związany z szybko rosnącą liczbą pojazdów na drogach, obserwuje się również w Polsce [4, 5]. O ile w roku 1997 w Polsce było zarejestrowanych ponad 12 milionów samochodów, obecnie liczba ta przekroczyła już 30 milionów [6] i ciągle rośnie. Tym sa-

Adres e-mail: j.konczyk@ajd.czest.pl

mym istotnie różnie „wkład” zanieczyszczeń powodowanych przez komunikację i transport w całkowitej puli zanieczyszczeń środowiskowych. Na zanieczyszczenia pochodzące z transportu w równym stopniu narażone są gleby, jak i wody powierzchniowe i podziemne. Do nich bowiem spływają zanieczyszczenia z dróg, a także z powietrza. Ich zawartość w glebie w dużym stopniu jest związana z odległością od dróg, z natężeniem ruchu, ukształtowaniem terenu, a także sposobem jego użytkowania. Ocenia się, że dotyczą one głównie pasa szerokości około 500 m od drogi.

Wpływ czynników antropogenicznych na zmianę składu chemicznego wód powierzchniowych i podziemnych nie zawsze jest łatwo zauważany [7]. Dotyczy to zwłaszcza przypadków, gdy wzrost ich stężenia nie prowadzi do przekroczenia przyjętych norm jakościowych. W takiej sytuacji zazwyczaj przyjmuje się, że wody nie podlegają niekorzystnym wpływom, a działania prewencyjne, które mogłyby w przyszłości zapobiec ich degradacji nie są podejmowane. W związku z tym niezwykle ważnym zagadnieniem jest ocena wpływu zanieczyszczeń komunikacyjnych na jakość wód w zlewniach ujmowanych do uzdatniania i następnie spożywanych przez ludzi. W celu zmniejszenia ryzyka dla tych ujęć wody ustanowiono strefy ochronne, po to, aby zapewnić odpowiedniej jakości wody ujmowanej do zaopatrzenia ludności oraz zakładów wymagających wody o odpowiedniej jakości, a także ze względu na ochronę zasobów ujęcia. Zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2017 r. [8] można ustanowić strefy ochronne obejmujące teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej oraz strefy obejmujące tylko tereny ochrony bezpośredniej. Musi to jednak być uzasadnione lokalnymi warunkami hydrogeologicznymi, hydrologicznymi i geomorfologicznymi.

Do grupy najczęściej oznaczanych substancji organicznych w wodach należą substancje (węglowodory) ropopochodne [9] i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) [10, 11]. WWA są najlepiej poznana pod względem właściwości rakotwórczych grupą związków, których niekorzystne działanie na organizm ludzki został stwierdzony już ponad 150 lat temu. W większości związki te wiążą się z cząsteczkami pyłów i są w powietrzu transportowane na duże odległości [12]. W trakcie przenoszenia osadzają się na roślinach, budynkach, skałach itd. i następnie są zmywane przez opady atmosferyczne.

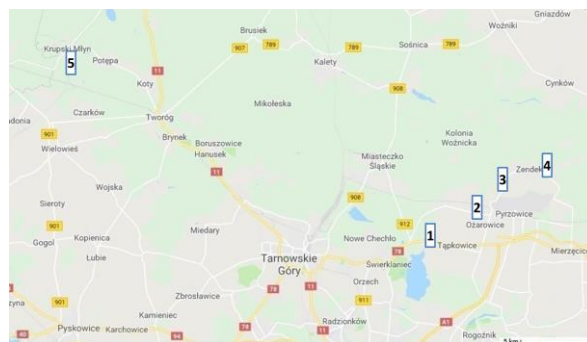
Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. (GPW) w Katowicach posiada kilka ujęć wody, dla których wpływ transportu na jakość ujmowanych wód może być potencjalnie duży. Celem badań było określenie stężeń substancji ropopochodnych oraz WWA: acenaftylenu, acenaftenu, fluorenu, fenantrenu, antracenu, fluorantenu, pirenu, benzo(a)antracenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(a)pirenu, benzo(g,h,i)perylenu, indeno(1,2,3-c,d)pirenu, dibenzo(a,h)antracenu, naftalenu i chryzenu w pięciu wodach powierzchniowych stanowiących dopływy do ujęć wód wykorzystywanych przez GPW w Katowicach.

2. Materiały i metody

Próbki pobierano raz w miesiącu od lipca 2017 do maja 2018 roku w następujących punktach pomiarowych: 1. Niezdara most na Brynicy, dopływ do Zbiornika Kozłowa Góra; 2. Rów Ożarówicki; 3. Zendek, dopływ do Brynicy, rów odwadniająca; 4. Zendek, ul. Częstochowska, rów z odwad-

niania lasu; 5. Krupski Młyn ul. Główna, rzeka Mała Panew. Lokalizację tych punktów przedstawiono na **Rysunku 1**.

Próbki pobierano przy użyciu czerpaka, przepłukując go kilkukrotnie matrycą, a następnie wlewając wodę do butelki z ciemnego szkła o pojemności 2 L. Próbki transportowano w torbo-lodówkach z wkładem chłodzącym, utrzymującym temperaturę w zakresie 2 – 8 °C. Po przetransportowaniu do laboratorium próbki były poddane analizie w celu oznaczenia stężeń substancji ropopochodnych przy użyciu spektrometru FTIR oraz wybranych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych z wykorzystaniem chromatografu HPLC.



Rysunek 1. Punkty pobierania próbek (1 – Niezdara most na Brynicy, dopływ do Zbiornika Kozłowa Góra; 2 – Rów Ożarówicki; 3 – Zendek, dopływ do Brynicy, rów odwadniająca; 4 - Zendek, ul. Częstochowska, rów z odwadniania lasu; 5 – Krupski Młyn ul. Główna, rzeka Mała Panew (w oparciu o [13]).

Analiza FTIR

Badania substancji ropopochodnych wykonano techniką FTIR po ekstrakcji tetrachloroetylenem z użyciem spektrometru FT-IR Nicolet iS10 (Thermo Fischer Scientific), zgodnie z procedurą badawczą opracowaną w oparciu o polską normę PN82/C-04565-01 i metodykę firmy Thermo Fischer Scientific umożliwiającą określenie sumarycznego stężenia substancji ropopochodnych jako węglowodorów o długości łańcucha alkilowego od C7 do C35.

Roztwór kalibracyjny o stężeniu 100 mg/L przygotowano poprzez umieszczenie 0,55 mL kwasu kaprylowego i 0,72 mL izooktanu w kolbie miarowej i uzupełnienie tetrachloroetylenem do objętości 10 mL. Z roztworu kalibracyjnego o stężeniu 100 mg/L wykonano roztwór podstawowy o stężeniu 5 mg/L, a następnie roztwory wzorcowe o stężeniach w zakresie 0,025 – 0,400 mg/L, odpowiadające równoważnym stężeniom substancji ropopochodnych w 250 mL próbce wody (po ekstrakcji tetrachloroetylenem do objętości 50 mL) w zakresie 5 – 80 mg/L.

Badaną próbkę wody o objętości 250 mL zakwaszono do pH = 2,0 dodając kroplami 50 % kwas siarkowy(VI), a następnie ekstrahowano kolejno trzema porcjami (po ok. 15 mL) tetrachloroetylenem. Otrzymany ekstrakt dopełniano do 50 mL tetrachloroetylenem, a następnie osuszano przez odfiltrowanie przez watę szklaną z 1 g bezwodnego siarczanu (VI) sodu. Tak przygotowany roztwór rozcieńczano tetrachloroetylenem do objętości 50 mL.

Analiza HPLC

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne oznaczano techniką wysokosprawnej chromatografii cieczowej z elucją gradientową przy użyciu aparatu μ HPLC+ firmy Dionex model Ultimate 3000 RS. Warunki rozdzielania były następujące:

kolumna: 125 x 4 mm NUCLEODUR® C18 PAH, 3 µm; detektory: FLD i DAD; rozpuszczalniki: A) metanol – woda (70:30 v/v) B) acetonitryl; objętość nastrzyku: 2 µL; natężenie przepływu eluentu: 1,5 mL/min; temperatura: 35°C; elucja gradientowa: 0% – 20% B przez 1,5 min; 20% – 50% B przez 1,5 min; 50% – 100% B przez 1,0 min; 100% B przez 3 min; 100% - 0% B przez 0,5 min. Próbkę do oznaczania WWA przygotowano za pomocą systemu do automatycznej ekstrakcji firmy Dionex - AutoTrace SPE Instrument.

3. Wyniki badań i ich dyskusja

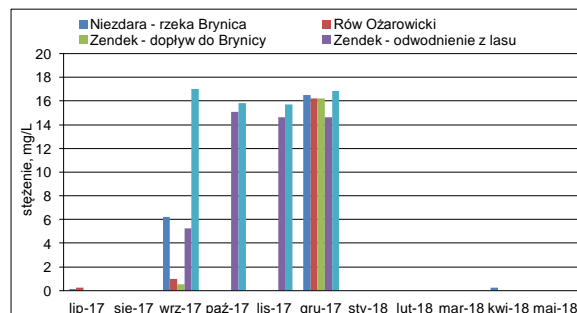
Wyniki oznaczeń sumarycznych stężeń substancji ropopochodnych oraz stężeń wybranych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych przedstawiono odpowiednio na **Rysunku 2** i **Rysunkach 3 – 16**.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia [14], maksymalne dopuszczalne sumaryczne stężenie WWA nie powinno przekraczać 0,2 mg/L oraz 1 mg/L, odpowiednio dla kategorii jakości wody A1 i A2 oraz A3. Z kolei środowiskowe normy jakości dla substancji priorytetowych oraz innych zanieczyszczeń wód, określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. [15], wskazują na maksymalne dopuszczalne stężenia antracenu (0,1 mg/L), fluorantenu (0,12 mg/L), naftalenu (130 mg/L), benzo(a)pirenu (0,27 mg/L), benzo(b)fluorantenu (0,017 mg/L), benzo(k)fluorantenu (0,017 mg/L) oraz benzo(g,h,i)perylenu (0,0082 mg/L) w wodach śródlądowych. Wymagania dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi są bardziej restrykcyjne. Rozporządzenie Ministra Zdrowia [16] w tym przypadku określa maksymalną dopuszczalną ilość WWA, odpowiadającą sumie stężeń benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(g,h,i)perylenu i indeno(1,2,3-c,d)pirenu na poziomie 0,1 mg/L.

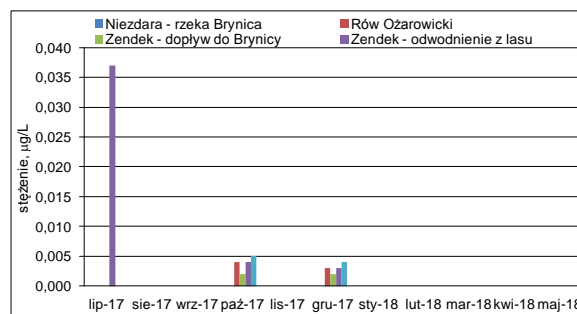
Obowiązujące obecnie przepisy prawne dla substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska [17] nie precyzują norm dotyczących substancji ropopochodnych, a jedynie wskazują na sumaryczne stężenie węglowodorów aromatycznych o długości łańcucha alkilowego w zakresie C10 – C40, wyrażonego indeksem oleju mineralnego, na maksymalnym poziomie 15 mg/L. Tę samą wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia wskazywały wcześniejsze rozporządzenia dla substancji ropopochodnych o łańcuchach alkilowych o długości C7 – C35.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

1. Stężenia substancji ropopochodnych nie były silnie zróżnicowane w poszczególnych punktach pomiarowych. Najwyższe stężenia przekraczające dopuszczalną wartość 15 mg/L stwierdzono w okresie wrzesień – grudzień 2017 roku w wodach pobranych w Krupskim Młynie oraz w wodach Rowu Ożarówickiego, rzecze Brynica oraz dopływie do tej rzeki w grudniu 2017 roku. W pozostałych miesiącach praktycznie nie stwierdzono ich obecności w badanych wodach.
2. Suma stężeń benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(g,h,i)perylenu i indeno(1,2,3-c,d)pirenu w poszczególnych punktach pobierania próbek w okresie prowadzenia badań nie przekroczyła dopuszczalnej normy dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi. Maksy-



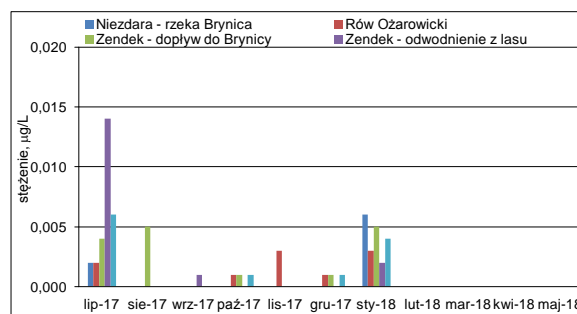
Rysunek 2. Stężenie substancji ropopochodnych w badanych wodach



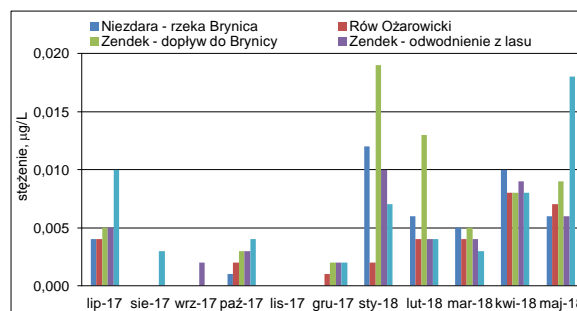
Rysunek 3. Stężenie acenaftylenu w badanych wodach



Rysunek 4. Stężenie acenaftenu w badanych wodach



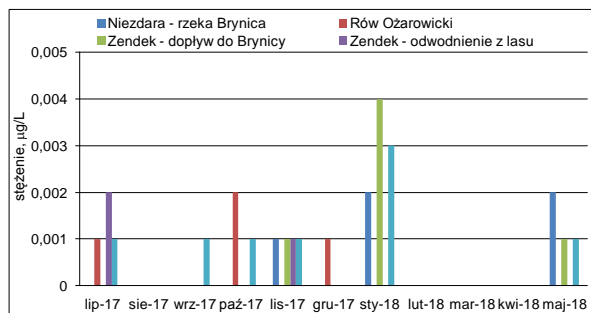
Rysunek 5. Stężenie fluorenu w badanych wodach



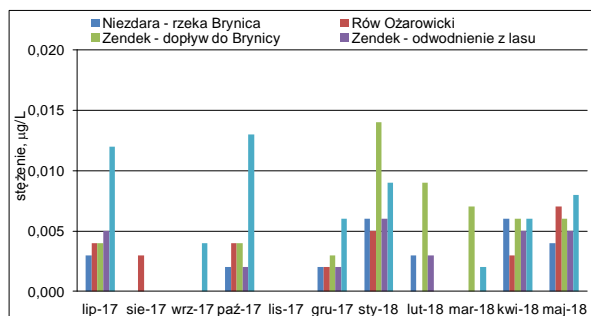
Rysunek 6. Stężenie fenantrenu w badanych wodach

malną wartość 0,01 $\mu\text{g/L}$ stwierdzono tylko w październiku 2017 w punkcie 5 – Krupski Młyn ul. Główna, rzeka Mała Panew.

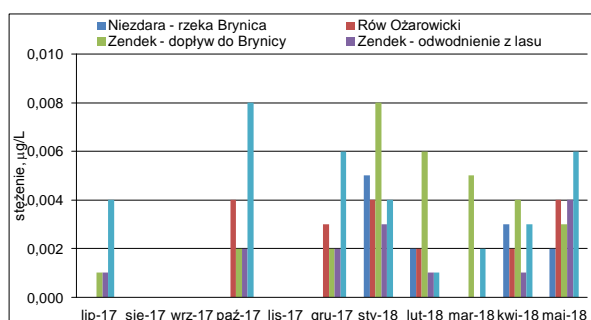
3. W przypadku acenaftyenu i acenaftenu relatywnie wysokie stężenia (około 0,03 $\mu\text{g/L}$) stwierdzono w lipcu 2017 roku w punkcie pomiarowym Zendek ul. Częstochowska, odwodnienie z lasu. W pozostałych miesiącach ich stężenia były poniżej granicy wykrywalności (poza dwoma epizodami w październiku i listopadzie 2017 roku, kiedy to stwierdzono ok. 0,004 $\mu\text{g/L}$ acenaftyenu).



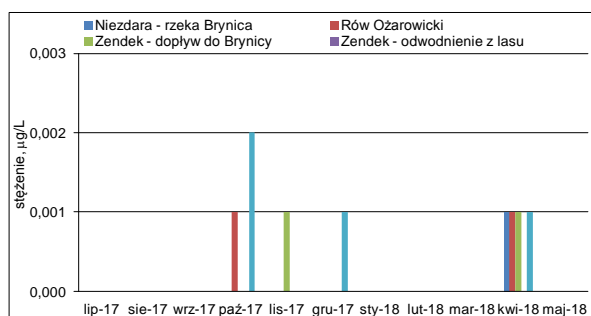
Rysunek 7. Stężenie antracenu w badanych wodach



Rysunek 8. Stężenie fluorantenu w badanych wodach

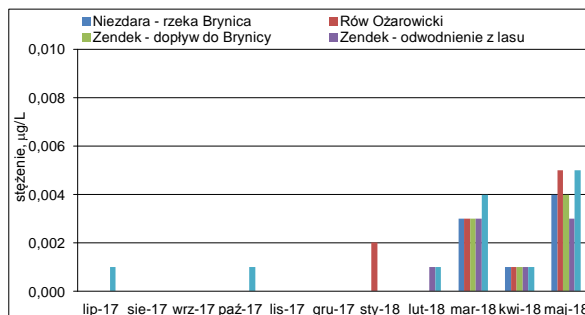


Rysunek 9. Stężenie pirenu w badanych wodach

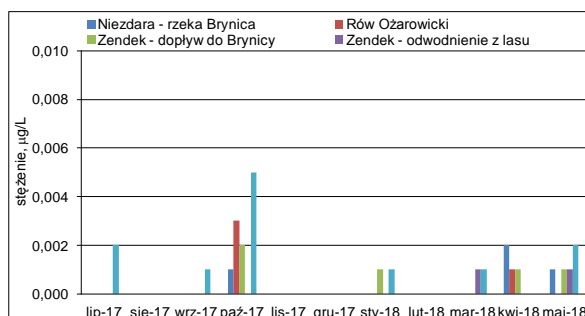


Rysunek 10. Stężenie benzo(a)antracenu w badanych wodach

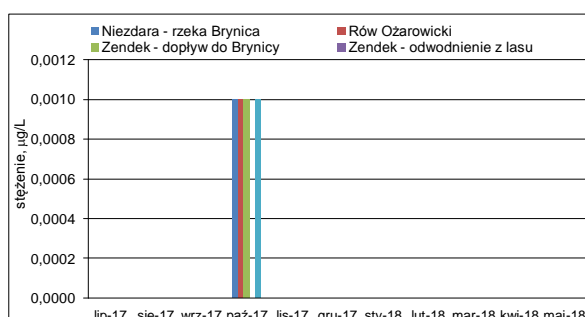
4. Nie stwierdzono obecności fluorenu w wodach pobieranych w okresie luty – maj 2018 roku, a w pozostałych miesiącach stężenie tego węglowodoru było niewielkie (max. 0,014 $\mu\text{g/L}$ w lipcu 2017 roku, Zendek, ul. Częstochowska).
5. Odmienne wyniki, w porównaniu z wynikami dla fluorenu, otrzymano w przypadku fluorantenu i antracenu, których obecność na maksymalnym poziomie 0,018 $\mu\text{g/L}$ stwierdzono w większości punktów pomiarowych.



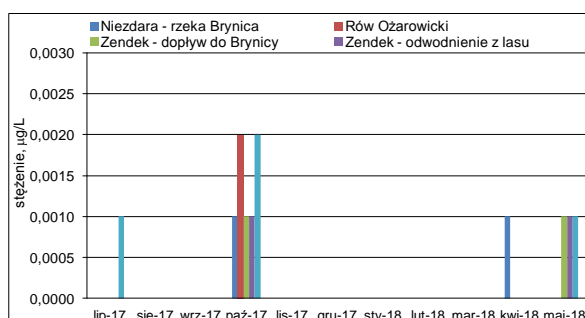
Rysunek 11. Stężenie benzo(b)fluorantenu w badanych wodach



Rysunek 12. Stężenie benzo(k)fluorantenu w badanych wodach

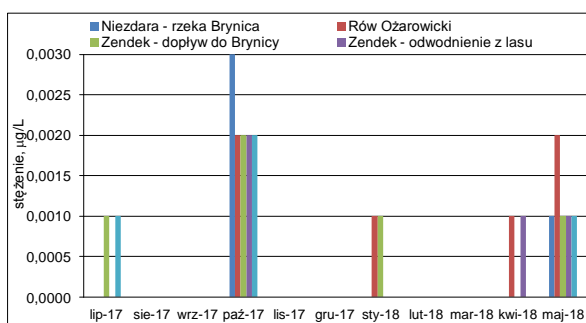


Rysunek 13. Stężenie benzo(a)pirenu w badanych wodach

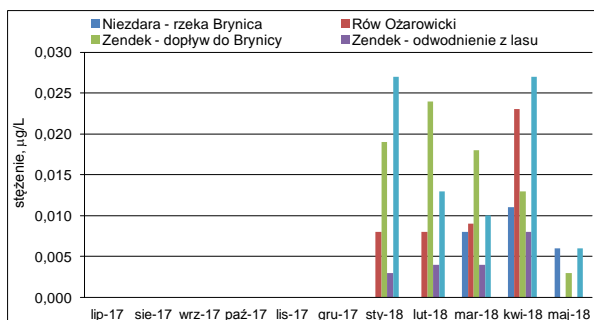


Rysunek 14. Stężenie benzo(g,h,i)perylenu w badanych wodach

- Najwyższe stężenia pirenu (0,008 µg/L) stwierdzono w punktach pomiarowych 5 (Krupski Młyn) oraz 3 (Zendek - dopływ do Brynicy). W miesiącach sierpień, wrzesień i listopad 2017 roku nie wykryto jego obecności w żadnym punkcie pomiarowym.
- Stężenia benzo(a)antracenu, benzo(b)fluorantenu i benzo(k)fluorantenu wynosiły poniżej 0,005 µg/L, a ich obecność w badanych wodach stwierdzono przede wszystkim w miesiącach wiosennych.
- Nie stwierdzono obecności „wskaźnikowego” WWA za jaki jest uważany benzo(a)piren, z wyjątkiem października 2017 roku, kiedy stężenie tego węglowodoru było na granicy oznaczalności równej 0,001 mg/L.
- W przypadku benzo(g,h,i)perylenu i indeno(1,2,3-c,d)pirenu wyjątkowy był miesiąc październik 2017 roku, kiedy to stwierdzono ich obecność we wszystkich badanych wodach (na poziomie 0,002 µg/L).
- Najwyższe stężenia naftalenu (ok. 0,027 µg/L) zanotowano w styczniu i kwietniu 2018 roku w punkcie pomiarowym w Krupskim Młynie.
- W badanych wodach nie stwierdzono obecności dibenzo(a,h)antracenu i chryzenu w stężeniach wyższych niż granice ich oznaczalności.



Rysunek. 15. Stężenie indeno(1,2,3-c,d)pirenu w badanych wodach

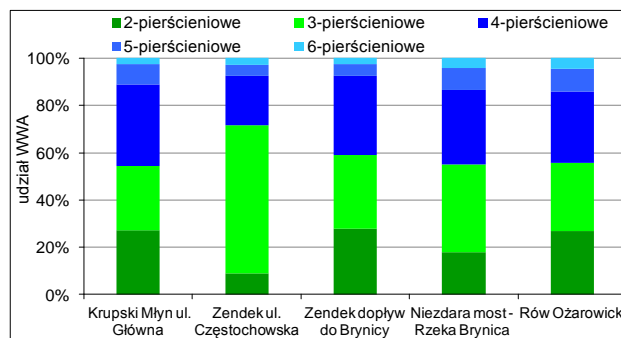


Rysunek. 16. Stężenie naftalenu w badanych wodach

Uzyskane zakresy stężeń oznaczanych związków organicznych są niższe lub porównywalne z tymi uzyskanymi dla innych wód powierzchniowych na terenie województwa śląskiego [4, 18], innych obszarów Polski [19–21] oraz wód znajdujących się na terytoriach innych państw [22, 23]. Wartości średnie sumy WWA uzyskane dla badanych wód w badanym okresie (0,013 µg/L dla punktu pomiarowego w Niezdarze do 0,028 µg/L dla punktu pomiarowego w Krupskim Młynie) były niższe od średniorocznej sumy WWA w wodach pitnych w Łodzi i Tomaszowie Mazowieckim [19] oraz w wodach rzeki Supraśl w okolicach ujęcia wody pitnej dla Białegostoku

uzyskanej w 2011 roku (0,0328 µg/L), ale wyższe od wartości uzyskanych w 2012 roku (0,0032 µg/L) [20]. Wraz ze wzrostem liczby pierścieni aromatycznych w cząsteczce węglowodoru wzrasta jego masa cząsteczkowa i jednocześnie maleje jego rozpuszczalność w wodzie, a co za tym idzie wzrasta jego trwałość w środowisku. Udział poszczególnych grup WWA, określonych w oparciu o liczbę pierścieni aromatycznych w cząsteczce węglowodoru, w uzyskanej wartości sumy WWA przedstawiono na **Rysunku 17**.

Udział WWA o dużych masach cząsteczkowych (zawierających co najmniej 4 pierścienie benzenowe) w średniej wartości stężeń w badanych wodach wynosił od 28% dla wód w Zendku, ul. Częstochowska do 46% w wodach w Krupskim Młynie. Najwyższy udział w oznaczonych stężeniach WWA zanotowano dla sumy węglowodorów o 3-pierścieniach aromatycznych (acenaftylen, acenaften, fluoren, fluoranten) w wodach w Zendku przy ul. Częstochowskiej. Biorąc pod uwagę średniomiesięczną wartość stężeń, zawartość poszczególnych grup węglowodorów w badanych wodach zmieniała się w zależności od terminu pobierania próbek, niemniej jednak nie zaobserwowano korelacji pomiędzy tymi dwiema zmiennymi.



Rysunek. 17. Zawartość procentowa WWA w badanych wodach w zależności od liczby pierścieni aromatycznych w cząsteczce

4. Wnioski

Motoryzacja i transport drogowy należą do najważniejszych źródeł, które przyczyniają się w sposób istotny do wzrostu zanieczyszczeń powietrza, gleby i wód. W związku z narastającymi wpływami komunikacyjnymi, na jakość naszego życia i zdrowia należy monitorować ujęcia wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi, celem określenia skali zagrożeń i podejmowania odpowiednich kroków zabezpieczających. Opisane w pracy szczegółowe badania wód powierzchniowych stanowiących rezerwuary wody pitnej dla GPW S.A. w Katowicach nie były dotychczas prowadzone w tak szerokim zakresie.

Analizując liczbę przekroczeń maksymalnych stężeń badanych analitów w poszczególnych punktach pobierania próbek w ciągu 11 miesięcy, można stwierdzić, że w wodach z rowu odwadniającego w Zendku oraz Rowu Ozarowskiego zanotowano po 2 przekroczenia normy, w wodach dopływu do rzeki Brynica w Zendku oraz rzece Brynica w okolicach mostu w Niezdarze - 3 przekroczenia, natomiast w wodach w Krupskim Młynie - 7 przekroczeń, niemniej jednak oznaczone poziomy stężeń nieznacznie przekraczały maksymalne dopuszczalne stężenia badanych analitów, określone w obowiązujących w Polsce przepisach prawnych. Nie stwierdzono

istotnej zmienności czasowej i przestrzennej oznaczanych substancji, co może świadczyć o stabilności badanych wód powierzchniowych oraz o znikomym wpływie lotniska Katowice-Pyrzowice na ich jakość. Większa liczba zanotowanych przekroczeń w przypadku wód rzeki Mała Panew w Krupskim Młynie, oddalonym od pozostałych punktów pobierania próbek o ok. 40 km, może wynikać z innych czynników antropogenicznych niż komunikacyjne.

Podziękowania

Autorzy pracy dziękują Parkowi Technologicznemu „Ekoenergia–Woda– Bezpieczeństwo” w Katowicach za sfinansowanie badań.

Literatura

- [1] A. Dubiella-Jackowska, *Wykorzystanie wyników badań składu wód atmosferycznych oraz powierzchniowych do oceny oddziaływania transportu drogowego na środowisko, Praca doktorska*, Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Gdańsk **2008**.
- [2] Ż. Polkowska, *Chem. Inż. Ekol.*, **2006**, 13, 305–322.
- [3] R. Michalski, *LAB*, **2016**, 1, 6–10.
- [4] A. Pohl, M. Kostecki, I. Jureczko, M. Czaplicka, B. Lozowski, *Archiv. Environ. Prot.*, **2018**, 44/1, 10–23.
- [5] R. Michalski, A. Węglarz, R. Skrok, *Chem. Inż. Ekol.*, **1997**, 4, 243–245.
- [6] <http://www.cepik.gov.pl/statystyki> [odczyt: 26.06.2018]
- [7] M. Włodarczyk-Makula, E. Wiśniowska, A. Popenda, *Probl. Sustain. Develop.*, **2018**, 13/2, 191–198.
- [8] Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz. U. 2017 poz. 1566).
- [9] M. Włodarczyk-Makula, *LAB*, **2016**, 1, 12–16.
- [10] A. T. Lawal, *Cogent Environ. Sci: Environ. Chem. Pollut. Waste Manage.*, **2017**, 3, 1339841. doi.org/10.1080/23311843.2017.1339841
- [11] O. O. Alegbeleye, B. O. Opeolu, V. A. Jackson, *Environ. Manage.*, **2017**, 60/4, 758–783. doi: 10.1007/s00267-017-0896-2.
- [12] T. M. Tuch, B. Wehner, M. Pitz, J. Cyrus, J. Heinrich, W. G. Kreyling, H. E. Wichmann, A. Wiedensohler, *Atmos. Environ.*, **2003**, 37, 4687–4700. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.07.010
- [13] <https://maps.google.pl> [odczyt: 26.06.2018]
- [14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada **2002** r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia, Dz.U. 2002 nr 204 poz. 1728.
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 sierpnia 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, Dz.U. 2016 poz. 1187.
- [16] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia **2017** r. w sprawie jakości wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi, Dz.U. 2017 poz. 2294.
- [17] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada **2014** r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, Dz.U. 2014 poz. 1800.
- [18] <http://www.katowice.wios.gov.pl/monitoring/srodowisko/wody/wielopierscieniowce/podsumowanie.pdf> [odczyt: 10.11.2018]
- [19] A.K.M. Kabzinski, J. Cyran, R. Juszczyk, *Pol. J. Environ. Stud.*, **2002**, 11(6), 695–706.
- [20] J. Struk-Sokołowska, P. Ofman, *Inż. Ekol.*, **2014**, 40, 44–54. doi: 10.12912/2081139X.68
- [21] Raport syntetyczny, Szczecin, **2013**. <https://nfosigw.gov.pl/download/gfx/nfosigw/pl/nfoekspertyzy/858/.../2012-737.pdf> [odczyt: 22.12.2018]
- [22] P. Montuori, S. Aurino, F. Garzonio, P. Sarnacchiaro, A. Nardone, M. Triassi, *Sci. Total Environ.*, **2016**, 566–567, 1254–1267. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.183.
- [23] Y.-H. Li, H.-B. Li, X.-Y. Xu, S.-Y. Xiao, S.-Q. Wang, *J. Environ. Sci. Health A*, **2017**, 52/10, 971–978. doi: 10.1080/10934529.2017.1324709.