

WYSTĘPOWANIE WIELOPIERŚCIENIOWYCH WĘGLOWODORÓW AROMATYCZNYCH W WODACH SUPRAŚLI

Joanna Struk-Sokołowska¹, Piotr Ofman²

¹ Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: j.struk@pb.edu.pl

² Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: ofmanpiotr@gmail.com

STRESZCZENIE

W pracy omówiono wyniki badań przeprowadzonych w 2011 i 2012 roku obejmujące występowanie 5 wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Ich dopuszczalne stężenia określone są Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 roku. Analizie poddane zostały benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(g,h,i)perylene i indeno(1,2,3-cd)perylene. Próbkę wody do badań pobierano w okolicy miejscowości Nowodworce. Wykonano oznaczenia ilościowo-jakościowe w/w substancji. Dodatkowo obliczono średnioroczne ładunki badanych składników. Najwyższe sumaryczne stężenie WWA odnotowano w 2011 roku, jednak nie przekraczało ono wartości granicznych. W kolejnym roku było ono znacznie niższe.

Słowa kluczowe: WWA, Supraśl, ujęcie wody.

OCCURANCE OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SUPRAŚL WATERS

ABSTRACT

The paper discusses the results of studies conducted in 2011 and 2012, including the presence of five polycyclic aromatic hydrocarbons. Their limits are determined by Regulation of the Minister of the Environment dated 9 November 2011. Have been analyzed benzo (a) pyrene, benzo (b) fluoranthene, benzo (k) fluoranthene, benzo (g, h, i) perylene and indeno (1,2,3-cd) perylene. Water samples were taken to the nearby town of Nowodworce. Taken markings quantitative-qualitative / the substance. In addition, the average was calculated loads studied ingredients. The highest total concentration of PAHs was recorded in 2011, but it does not exceed the limit values. The following year, it was much lower.

Keywords: PAHs, Supraśl, water intake.

WSTĘP

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są definiowane jako produkty uboczne powstające w wyniku reakcji niepełnego spalania substancji organicznych, w tym paliw kopalnych [Kubiak, 2013; Patrolecco i in., 2010].

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne występują powszechnie w środowisku zarówno na obszarach zurbanizowanych jak również na terenach nie zmienionych przez człowieka. Do grupy WWA zalicza się około 10000 związków, których obecność w środowisku jest niepożądana ze względu na ich własności genotoksyczne, mutagenne i kancerogenne [Kuna, 2011; Wang, 2009].

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są jednym z najczęściej badanych zanieczyszczeń w środowisku [Kabziński i in., 2002]. Szeroko zakrojone badania nad ich obecnością w ekosystemach szczególnie wodnych, spowodowane są toksycznymi i rakotwórczymi własnościami poszczególnych węglowodorów aromatycznych, a w szczególności benzo(a)pirenu, który nie ulega rozpuszczeniu w wodzie [Świdorska-Bróz 1993; Brańska i Lucińska, 1988]. Oprócz benzo(a)pirenu do grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, najczęściej spotykanych w stosunkowo dużych stężeniach, zalicza się 16 związków, między innymi: acenaften, acenaftylen, fluoren, antracen, fenantren, fluoranten, piren, chryzen, benz(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(e)piren, benzo(k)fluoranten, benzo(j)fluoranten, dibenz(a,h)antracen, benzo(g,h,i)perylen i indeno(1,2,3-cd)perylen [Kabziński i in., 2002]. Jednak z prawnego punktu widzenia w Polsce badane jest jedynie 5 związków określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 roku. O wprowadzenie obowiązku oznaczania 17 najbardziej szkodliwych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych zabiega WHO (ang. World Health Organization) [WHO, 1993].

Celem pracy była ocena ilościowa wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych określanych Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 roku w Supraśl w okolicy miejscowości Nowodworce.

METODYKA BADAŃ

Do oceny występowania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych wykorzystano wyniki badań prowadzone w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Białymstoku w 2011 i 2012 roku. Badania próbek wody wykonywano w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w okolicach miejscowości Nowodworce, który przedstawiono na rysunku 1. W okolicy znajduje się powierzchniowe ujęcie wody pitnej dla Białego-stoku. Wykonane oznaczenia, normy oraz procedury podano w tabeli 1.

W 2011 i 2012 roku badania pH, tlenu rozpuszczonego, BZT₅ i OWO wykonywano jeden raz w miesiącu, natomiast analizę WWA cztery razy w ciągu roku w styczniu, kwietniu, lipcu i październiku.

Za pomocą pakietu Statistica 10 z uzyskanych wyników obliczono średnie arytmetyczne stężeń badanych składników (poza pH wody) w poszczególnych miesiącach i latach. Dodatkowo wyznaczono odchylenia standardowe i współczynniki korelacji Spearmana.

Tabela 1. Parametry, normy i procedury
Table 1. Parameters, standards and procedures

Parametr	Norma / procedura badawcza
Odczyn	PN-90/C-04540.01
Tlen rozpuszczony	PN-EN 25814:1999
BZT ₅	PN-EN 1899-1:2002
OWO	PN-EN 1484:1999
WWA	Procedura Badawcza GIOŚ nr 15 wydanie 1, z dnia 16.07.2007 r.



Rys. 1. Punkt poboru próbek wody
Fig. 1. Water sampling point

Ładunki poszczególnych składników obliczono na podstawie następujących równań [Skorbiłowicz, 2010]:

- Ładunek składników niesionych przez rzekę:

$$\phi_{rz} = c \cdot q$$

gdzie:

ϕ_{rz} – ładunek składników niesiony przez rzekę w Mg·rok⁻¹

c – średnioroczne stężenie danego składnika w kg·m⁻³

q – średnioroczne natężenie przepływu w badanym punkcie w m³·s⁻¹

- Ładunek jednostkowy badanych składników:

$$\phi_{rz} = \frac{c \cdot q}{F}$$

gdzie:

ϕ_{rz} – ładunek składników wnoszony ze zlewni do rzeki z powierzchni jednostkowej w kg·ha⁻¹·rok⁻¹

- c – średnioroczne stężenie danego składnika w $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
 q – średnioroczne natężenie przepływu w badanym punkcie w $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
 F – powierzchnia zlewni przy danym punkcie w ha

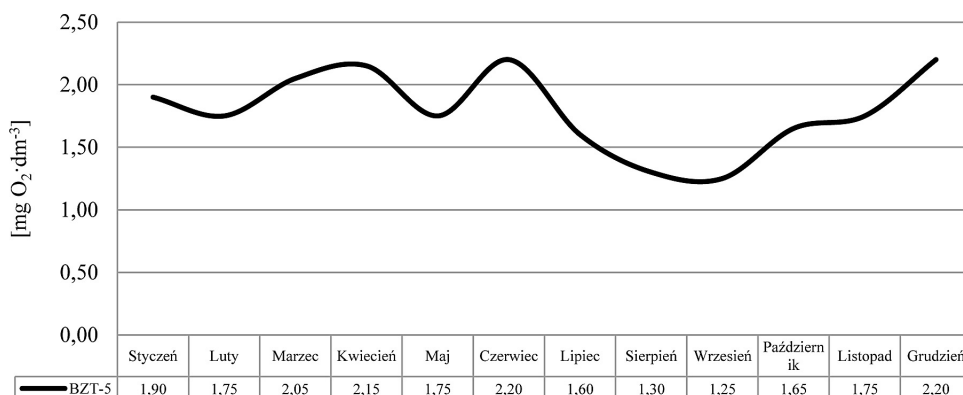
Powierzchnię zlewni (1523 hm^2) i średni roczny przepływ ($5,36 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) wód rzecznych przyjęto zgodnie z danymi przedstawionymi przez Skorbiłowicza [2010].

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawione zostały jako stężenia średniomiesięczne i średnioroczne. Rezultaty wykonanych analiz przedstawiono na rysunkach od 2 do 7.

W poszczególnych miesiącach odczyn wody zmieniał się nieznacznie w przedziale od 7,7 do 8,2 pH. W okresie badawczym najniższą wartość 7,7 zaobserwowano w sierpniu. Średnie stężenie tlenu rozpuszczonego w poszczególnych miesiącach, charakteryzowało się dużą zmiennością. Wahało się ono w przedziale od 7,70 do $13,20 \text{ mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$. Największe odnotowano na przełomie lutego i marca, natomiast najmniejsze w sierpniu. Z przebiegu zmienności stężenia tlenu rozpuszczonego w badanym punkcie zauważyć można, że rośnie ono w okresie zimowym i maleje przy wyższych temperaturach powietrza w okresie wiosny i lata. Podobną prawidłowość odnotowały Jarosiewicz i Dalszewska (2008).

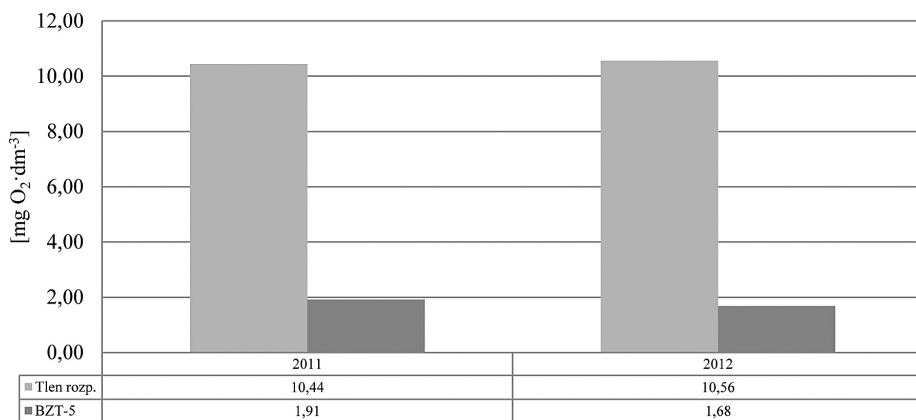
Średnia wartość BZT_5 przedstawiona na rysunku 2 nie ulegała znacznym wahaniom w ciągu okresu badawczego. Największą ilość materii organicznej wyrażonej tym parametrem $2,20 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ odnotowano w czerwcu, natomiast najmniejszą $1,25 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ we wrześniu. Na podstawie wyników przeprowadzonych analiz stwierdzono, że wartość BZT_5 w wodach rośnie od lutego do maja, gdzie osiąga maksimum. W dalszej kolejności maleje do sierpnia, gdzie odnotowane były war-



Rys. 2. Średniomiesięczna wartość BZT_5
Fig. 2. Monthly average value of BOD_5

tości minimalne. Następnie rośnie do około $2,00 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ i utrzymuje się na tym poziomie w okresie od listopada do końca stycznia.

Porównanie średniorocznego stężenia tlenu rozpuszczonego i wartości BZT_5 (rys. 3) wskazuje na prawidłowość zachodzącą w wodzie w badanym punkcie. Wraz ze wzrostem ilości materii organicznej charakteryzowanej wskaźnikiem BZT_5 maleje stężenie tlenu rozpuszczonego. Odwrotną zależność wykazała Krzemińska i in. (2006), według której wraz ze wzrostem stężenia tlenu rozpuszczonego maleje wartość BZT_5 . Jednak prawidłowości tej nie potwierdza analiza współczynników korelacji Spearmana. Zgodnie z danymi z tabeli 2 współczynnik korelacji między stężeniem tlenu rozpuszczonego, a wartością BZT_5 jest równy 0,21. Taki wynik analizy świadczy o pomijalnym wzajemnym oddziaływaniu omawianych składników.



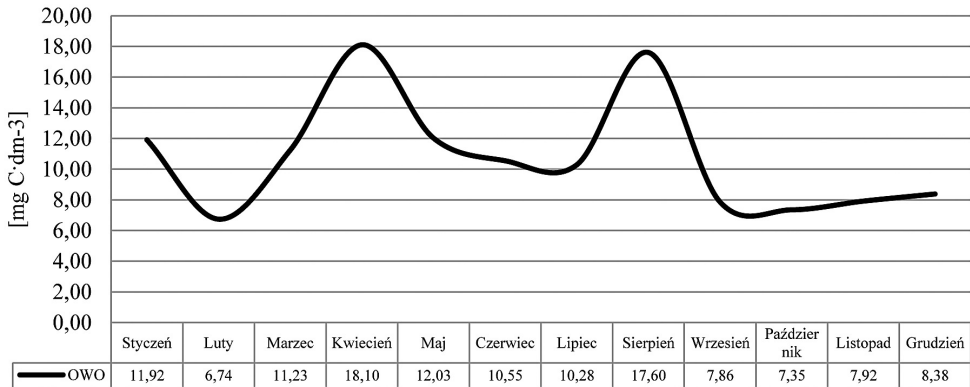
Rys. 3. Średnioroczne stężenia tlenu rozpuszczonego i wartości BZT_5

Fig. 3. Annual average concentrations of dissolved oxygen and BOD_5 values

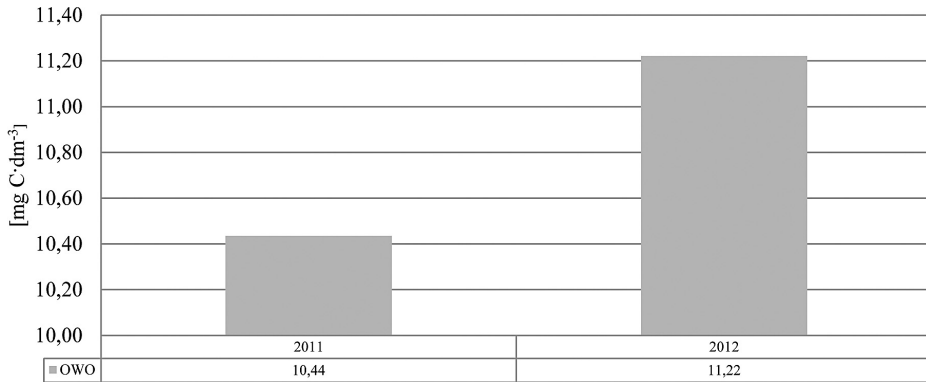
Średnie stężenie OWO (rys. 4) ulegało znacznym zmianom w ciągu okresu badań. Największe stężenie wynoszące $18,1$ i $17,6 \text{ mg C} \cdot \text{dm}^{-3}$ odnotowano w kwietniu i sierpniu, natomiast najmniejsze $6,74$ i $7,35 \text{ mg C} \cdot \text{dm}^{-3}$ w lutym i październiku. Warto odnotowania jest zależność występująca między stężeniem tlenu rozpuszczonego, a stężeniem OWO. W okresie prowadzenia badań przedziały czasowe minimalnego stężenia tlenu rozpuszczonego pokrywają się z przedziałami, w których OWO osiąga stężenia maksymalne. Prawidłowość tą potwierdza przeprowadzona analiza korelacji. Zgodnie z danymi podanymi w tabeli 3 współczynnik korelacji Spearmana między stężeniem tlenu rozpuszczonego, a OWO jest równy $-0,33$. Ujemna wartość tego współczynnika sugeruje, że przyrost stężenia jednego ze składników jest odwrotnie proporcjonalny do przyrostu stężenia drugiego składnika [Sobczyk, 2007].

Średnioroczne stężenia OWO (rys. 5) nie różniły się znacząco. W 2011 roku było ono niższe i wynosiło $10,44 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W 2012 roku było równe $11,22 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

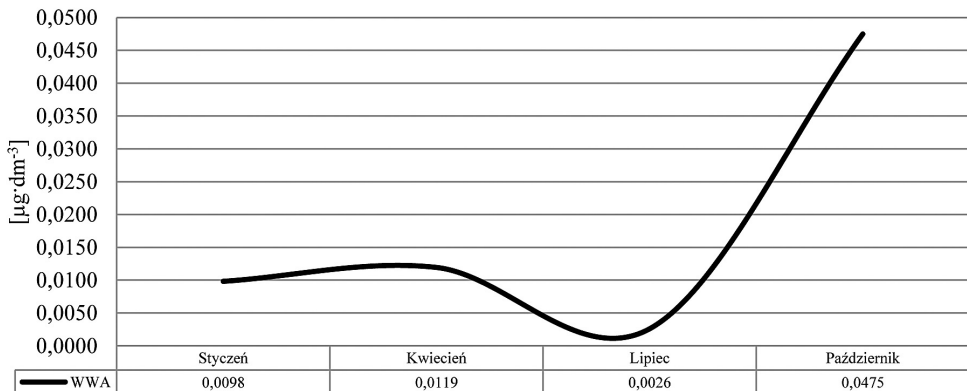
Średnie miesięczne stężenie sumy pięciu analizowanych WWA (rys. 6) w badanym punkcie ulegało znacznym zmianom w ciągu okresu badawczego. Największe



Rys. 4. Średniomiesięczne stężenie OWO
 Fig. 4. Monthly average concentration of TOC



Rys. 5. Średnioroczne stężenie OWO
 Fig. 5. Annual average concentration of TOC



Rys. 6. Średnie stężenie sumy WWA
 Fig. 6. Average concentration of total PAHs

stężenie sumy WWA odnotowano w październiku, gdy wynosiło ono $0,0475 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Najmniejsze natomiast zaobserwowano w lipcu, na poziomie $0,0026 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$.

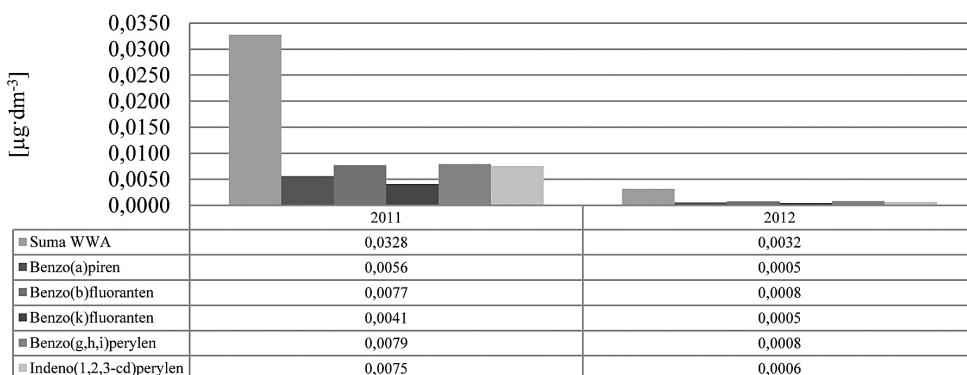
Ze średniorocznego zestawienia wyników badań WWA (rys. 7) wynika, że w 2011 roku prawie wszystkie z oznaczanych węglowodorów miały maksymalne stężenie. Najniższe stężenia poszczególnych węglowodorów oraz sumy pięciu WWA odnotowano w 2012 roku.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 9 listopada 2011 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm dla substancji priorytetowych, stężenie średnioroczne benzo(a)pirenu nie może być większe niż $0,05 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, a stężenie maksymalne dopuszczalne wynosić może $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. W przypadku benzo(b)fluorantenu i benzo(k)fluorantenu średnioroczna suma koncentracji tych składników oraz maksymalne stężenie sumaryczne nie może być większe niż $0,03 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Natomiast w przypadku benzo(g,h,i)peryleny i indeno(1,2,3-cd)peryleny średnioroczna suma tych składników oraz maksymalne stężenie sumaryczne nie może być większe niż $0,02 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ [Rozporządzenie MŚ... 2011].

Na podstawie wyników badań WWA podanych w tabeli 2 stwierdzić można, że średnioroczne stężenia poszczególnych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych nie przekraczały wartości dopuszczalnych w okresie badań.

Na podstawie odchyień standardowych stwierdzić można, że odczyn, stężenie tlenu rozpuszczonego i wartość BZT_5 ulegały jedynie naturalnym wahaniom mającym miejsce w ciągu roku (tab. 3).

Na podstawie współczynników korelacji liniowych przedstawionych w tabeli 4 zauważyć można słabe ujemne korelacje między stężeniami tlenu rozpuszczonego i OWO ($R = -0,33$), słabą korelację dodatnią pomiędzy odczynem i wartością BZT_5 ($R = 0,29$), słabe dodatnie korelacje między odczynem i sumą WWA ($R = 0,39$), znikome korelacje między stężeniem OWO i wartością BZT_5 ($R = 0,07$) oraz słabą ujemną korelację między stężeniem OWO i sumą WWA ($R = -0,27$).



Rys. 7. Średnioroczne stężenie poszczególnych oznaczanych WWA oraz sumy WWA

Fig. 7. The mean concentration of individual PAHs and the sum designated PAHs

Tabela 2. Stężenia WWA w okresie badań**Table 2.** Concentrations of PAHs in the study period

WWA	Jednostka	Stężenie średnioroczne poszczególnych WWA	
		2011	2012
Benzo(a)piren	$\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$	0,0056	0,0032
Benzo(b)fluoranten + Benzo(k)fluoranten		0,0118	0,0013
Benzo(g,h,i)perylene + Indeno(1,2,3-cd)perylene		0,0154	0,0014

Tabela 3. Odchylenia standardowe wyników badań**Table 3.** The standard deviations of test results

Odchylenia standardowe										
Okres badań	Odczyn	Tlen rozp.	BZT ₅	OWO	Benzo(a)piren	Benzo(b)fluoranten	Benzo(k)fluoranten	Benzo(g,h,i)perylene	Indeno(1,2,3-cd)perylene	Σ WWA
2011	0,1311	1,7779	0,3059	4,4848	0,0078	0,0112	0,0060	0,0088	0,0087	0,0419
2012	0,1422	2,5600	0,4589	3,7829	0,0009	0,0013	0,0007	0,0014	0,0011	0,0053
2011–2012	0,1349	2,1563	0,3983	4,0774	0,0058	0,0083	0,0044	0,0070	0,0068	0,0319

Tabela 4. Wyniki testu Spearmana z uwzględnieniem poszczególnych WWA**Table 4.** Spearman's test results taking into account individual PAHs

Korelacje Spearmana										
Parametr	Odczyn	Tlen rozp.	BZT ₅	OWO	Benzo(a)piren	Benzo(b)fluoranten	Benzo(k)fluoranten	Benzo(g,h,i)perylene	Indeno(1,2,3-cd)perylene	
Odczyn	1,00	0,17	0,29	-0,34	0,39	0,39	0,46	0,36	0,36	
Tlen rozp.	0,17	1,00	0,21	-0,33	0,22	0,22	0,32	0,15	0,15	
BZT ₅	0,29	0,21	1,00	0,07	0,33	0,33	0,42	0,29	0,29	
OWO	-0,34	-0,33	0,07	1,00	-0,27	-0,27	-0,39	-0,29	-0,29	
Benzo(a)piren	0,39	0,22	0,33	-0,27	1,00	1,00	0,93	0,99	0,99	
Benzo(b)fluoranten	0,39	0,22	0,33	-0,27	1,00	1,00	0,93	0,99	0,99	
Benzo(k)fluoranten	0,46	0,32	0,42	-0,39	0,93	0,93	1,00	0,91	0,91	
Benzo(g,h,i)perylene	0,36	0,15	0,29	-0,29	0,99	0,99	0,91	1,00	1,00	
Indeno(1,2,3-cd)perylene	0,36	0,15	0,29	-0,29	0,99	0,99	0,91	1,00	1,00	

Na podstawie analizy korelacji nieliniowych podanych w tabeli 5 stwierdzono, że poszczególne oznaczone związki WWA są silnie lub bardzo silnie dodatnio skorelowane względem siebie. Najwyższe współczynniki korelacji nieliniowych w odniesieniu do pozostałych związków wykazuje benzo(a)piren ($R = 0,93-1,00$), natomiast najniższe benzo(k)fluoroanten ($0,91-1,00$). Warto też zwrócić uwagę na nieparametryczną zależność między stężeniem tlenu rozpuszczonego i OWO, wartością BZT₅ oraz odczynem, a stężeniem benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(g,h,i)

Tabela 5. Ładunki oznaczanych składników**Table 5.** Loads of the analytes

Składnik	Ładunek jednostkowy [kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹]		Ładunek niesiony przez rzekę [Mg·rok ⁻¹]	
	2011	2012	2011	2012
BZT ₅	2,1194900	1,8695938	0,010228667	0,009022667
OWO	11,5896303	12,4633414	0,055931600	0,060148133
Benzo(a)piren	0,0000062	0,0000006	0,000000030	0,000000003
Benzo(b)fluoranten	0,0000085	0,0000008	0,000000041	0,000000004
Benzo(k)fluoranten	0,0000045	0,0000005	0,000000022	0,000000002
Benzo(g,h,i)perylene	0,0000088	0,0000009	0,000000042	0,000000004
Indeno(1,2,3-cd)perylene	0,0000084	0,0000007	0,000000040	0,000000003
Σ WWA	0,0000364	0,0000035	0,000000176	0,000000017

perylene i indeno(1,2,3-cd)perylene. Zależności te cechowały słabe ujemne korelacje ($R = -0,27 - -0,39$) w przypadku OWO oraz słabe dodatnie korelacje w przypadku pozostałych parametrów.

Porównując wyniki badań WWA z uzyskanymi przez Wolską i in. (2003) można stwierdzić, że stężenie sumaryczne pięciu WWA i benzo(a)pirenu w Supraśli jest o wiele mniejsze niż w przypadku Odry i jej dopływów, gdzie mieściło się ono w zakresie od 0,229 do 0,633 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, podczas gdy stężenie benzo(a)pirenu wahało się od 0,002 do 0,039 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Z badań przeprowadzonych przez Chen i in. (2006) wynika, że stężenie WWA nie zależy w istotnym stopniu od zmian pór roku. Na uzyskane przez w/w autorów wyniki nie miały wpływu czynniki antropogeniczne, gdyż próbki wody analizowane przez nich pobierane były z cieką mającego swój początek w górach. Doong i Lin (2004) oraz Men. i in. (2009) twierdzą, że stężenie WWA jest uzależnione od stopnia uprzemysłowienia terenów bezpośrednio sąsiadujących z wodami powierzchniowymi. Autorzy wykazali, że stężenie WWA w wodach na terenach zurbanizowanych może wynosić nawet 9,4 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Natomiast stężenia w wodach na terenach o niedużym stopniu uprzemysłowienia są zbliżone do wartości uzyskanych w badaniach prowadzonych w Supraśli.

Ładunki jednostkowe poszczególnych składników (tabela 5) w okresie badawczym nie ulegały znacznym zmianom. W przypadku ładunku BZT₅ i OWO wahania te wynosiły nie więcej niż 1,20 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Stosunkowo duże zmiany zaobserwowano w przypadku ładunków poszczególnych WWA i ładunku sumy tych związków. W ciągu okresu badawczego zaobserwowano niemalże 10-cio krotne zmniejszenie ładunków poszczególnych związków oraz ładunku sumy pięciu oznaczanych WWA. Podobne zmiany zaobserwowane zostały w przypadku ładunków niesionych przez rzekę.

WNIOSKI

1. W analizowanym punkcie pomiarowo – kontrolnym stężenia benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(g,h,i)perylenu, indeno(1,2,3-cd)perylenu w omówionym przedziale czasowym nie przekraczały wartości granicznych określonych Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 9 listopada 2011 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm dla substancji priorytetowych.
2. Ładunek sumy oznaczanych WWA zmniejszył się dziesięciokrotnie w ciągu okresu badawczego. W analizowanym punkcie pomiarowym zaobserwowano brak wyraźnej sezonowej zmienności stężenia WWA.
3. Stężenie WWA w Supraśli jest mniejsze niż w rzekach przepływających przez obszary o większym stopniu zurbanizowania.
4. Poszczególne wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są silnie dodatnio skorelowane względem siebie.
5. Stężenie benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(g,h,i)perylenu i indeno(1,2,3-cd)perylenu cechowało się silną ujemną korelacją względem stężenia OWO.
6. Na odczyn w okresie prowadzonych badań nie wpływały żadne czynniki, a odnotowane wahania podyktowane są naturalnymi zmianami zachodzącymi w wodach powierzchniowych.

LITERATURA

1. Brańska B., Lucińska A. 1988. Interakcje organizmu z niektórymi czynnikami chemicznego skażenia środowiska. *Ochrona Środowiska*, nr 1(34), 17–18.
2. Chen Y., Zhu L., Zhou R. 2007. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in surface water and sediment from Qiantang River, China. *Journal of Hazardous Materials*, no. 141, 148–155.
3. Dane środowiskowe WIOŚ od 2010 do 2012 dla rzeki Supraśl.
4. Doong R., Lin Y. 2004. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contaminations in surface sediment and water from Gao-ping River, Taiwan. *Water Research*, no. 38, 1733–1744.
5. Jarosiewicz A., Dalszewska K. 2008. Dynamika składników biogenicznych w rzece Słupi- ocena zdolności samooczyszczania rzeki. *Słupskie Prace Biologiczne*, nr 5, 63–73.
6. Kabziński A.K.M., Cyran J., Juszcak R. 2002. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water (Including Drinking Water) of Łódź. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 11, no. 6, 695–706.
7. Krzemińska A., Andrykiewicz-Piragas M., Kazimierska R. 2006. Ocena warunków tlenowych dolnego odcinka rzeki Smortawy jako podstawa oceny samooczyszczania wód w świetle wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 4/3, 67–76.

8. Kubiak M.S. 2013. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) - ich występowanie w środowisku i żywności. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, nr 94(1), 31–36.
9. Kuna P. 2011. Zanieczyszczenie wybranych komponentów środowiska przez wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) w Dąbrowie Górniczej. *Nauka Przyroda Technologia*, nr 5(4), 1–9.
10. Men B., He M., Tan L., Lin C., Quan X. 2009. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Daliao River Estuary of Liaodong Bay, Bohai Sea (China). *Marine Pollution Bulletin*, no. 58, 818–826.
11. Patrolecco L., Ademollo N., Capri S., Pagnotta R., Polesello S. 2010. Occurrence of priority hazardous PAHs in water, suspended particulate matter, sediment and common eels (*Anguilla*) in the urban stretch of the River Tiber (Italy). *Chemosphere*, no. 81, 1386–1392.
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm dla substancji priorytetowych.
13. Skorbiłowicz M. 2010. Czynniki i procesy kształtujące obieg składników mineralnych w wodach rzecznych zlewni górnej Narwi. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok*.
14. Sobczyk M. 2007. *Statystyka*. PWN, Warszawa, 222–224.
15. Świdorska-Bróż M. 1993. Mikrozanieczyszczenia wód i możliwości ich usuwania. *Ochrona Środowiska*, nr 3(50), 23–28.
16. Wang L., Yang Z., Niu J., Wang J. 2009. Characterization, ecological risk assessment and source diagnostic of polycyclic aromatic hydrocarbons in water column of the Yellow River Delta, one of the most plenty biodiversity zones in the world. *Journal of Hazardous Materials*, no. 169, 460–469.
17. WHO, *Guidelines of Drinking- water Quality*, Vol. I, Geneva 2nd edition, 1993.
18. WHO, *Guidelines of Drinking- water Quality*, Vol. II, Geneva 2nd edition, 1993.
19. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Białymstoku, *Ocena stanu czystości wód w zlewni rzeki Supraśl w 2010 roku*, Białystok 2011.
20. Wolska L., Galer K., Namieśnik J. 2003. Transport and Speciation of PAHs and PCB in River Ecosystem. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 12(1), 105–110.