

Paweł ŚWISŁOWSKI¹, Michał MARCINIAK² i Małgorzata RAJFUR²

ZASTOSOWANIE BADAŃ BIOMONITORINGOWYCH DO OCENY ZANIECZYSZCZENIA METALAMI CIĘŻKIMI WYBRANYCH EKOSYSTEMÓW

THE USE OF BIOMONITORING STUDIES IN THE ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF SELECTED ECOSYSTEMS

Abstrakt: Celem przeprowadzonych badań był biomonitoring zanieczyszczenia wybranymi metalami ciężkimi: Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Ni i Pb terenu w pobliżu zbiornika Janów (woj. świętokrzyskie) oraz wody w niecce zbiornika. Metale ciężkie w matrycach środowiskowych, takich jak glony *Palmaria palmata*, mchy *Pleurozium schreberi* i gleba, oznaczano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej. Na podstawie przeprowadzonych badań i wyznaczonych współczynników akumulacji względnej (RAF) dla ekspozowanych próbek glonów wykazano niejednorodne zanieczyszczenie wód zbiornika, szczególnie miedzią i kadmem. Wartości RAF dla tych metali wynosiły odpowiednio od 0,08 do 0,51 i od 0,17 do 0,91. W nielicznych miejscach pomiarowych odnotowano duże stężenia ołowiu i niklu zakumulowanych w mchach, odpowiednio powyżej 6,39 i 3,33 mg/kg s.m. (s.m. - sucha masa). Największe stężenie kadmu i ołowiu w glebie oznaczono w próbce pobranej z punktu położonego w pobliżu stanowiska biwakowo-wędkarskiego ($c_{Cd} = 2,10$ mg/kg s.m., $c_{Pb} = 256$ mg/kg s.m.). Dopuszczalne stężenie ołowiu w powierzchniowych warstwach gleby na terenach zurbanizowanych wynosi 100 mg/kg s.m. Wyniki badań wskazują, iż glony, mchy i gleba mogą być istotnym źródłem informacji o zanieczyszczeniu środowiska metalami ciężkimi.

Słowa kluczowe: glony morskie *Palmaria palmata*, mchy *Pleurozium schreberi*, gleba, metale ciężkie, zbiornik Janów, biomonitoring, współczynnik akumulacji względnej RAF

Wprowadzenie

Wykorzystanie metod biologicznych do oceny stanu środowiska stanowi podwaliny biomonitoringu. Badania przeprowadzane w tym zakresie pozwalają określić rodzaj, skalę i intensywność niekorzystnych zmian oraz opracować prognozy i komunikaty ostrzegawcze o przewidywanych przemianach środowiska przyrodniczego. Biomonitoring oraz bioindykatory są wykorzystywane do monitorowania zmian fizykochemicznych, jak np. stężenia metali ciężkich, zachodzących w biotopie różnych ekosystemów, m.in. wodnych. Biowskaźniki wykorzystywane są do jakościowej, jak również ilościowej oceny stanu i stopnia przekształcenia środowiska, wskazując na mierzalne zmiany morfologiczne, anatomiczne i fizjologiczne [1].

Dane literaturowe potwierdzają, iż glony charakteryzują się dobrymi właściwościami sorpcyjnymi oraz zdolnościami przystosowawczymi do zróżnicowanych warunków środowiskowych. Autorzy poniższych prac wskazują, iż glony są dobrym i popularnym biowskaźnikiem ze względu na występowanie w bardzo zróżnicowanych warunkach środowiskowych, tani koszt ich pozyskania oraz dużą pojemność sorpcyjną względem metali ciężkich [2-4].

¹ Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Opolski, ul. R. Dmowskiego 7-9, 45-365 Opole, tel. 77 401 67 00, fax 77 401 67 01

² Samodzielna Katedra Biotechnologii i Biologii Molekularnej, Uniwersytet Opolski, ul. kard. B. Kominka 6, 45-032 Opole, tel. 77 401 60 42, fax 77 401 60 50, email: mrajfur@o2.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'16, Zakopane, 5-8.10.2016

Badania biomonitoringowe z wykorzystaniem glonów prowadzone były m.in. w Polsce (rzeka Czarna Konecka) [5], w Wielkiej Brytanii (ujścia rzek Plym i Fal w południowo-zachodniej Anglii) [6] czy w Norwegii [7].

Wykorzystane w badaniach glony morskie *Palmaria palmata* (Linnaeus) Weber & Mohr rosną przytwierdzone do skał u wybrzeży Atlantyku i Pacyfiku. Można je znaleźć w strefie pływów do głębokości 20 m. Dzięki prostocie i małym kosztom ich pozyskania glony te mogą być wykorzystane w biomonitoringu aktywnym, polegającym na ekspozycji biosorbentu w badanych akwenach w celu oceny przyrostów zasorbowanych zanieczyszczeń [8].

Mchy *Pleurozium schreberi* są wykorzystywane jako biomonitor do oceny zanieczyszczenia aerozolu atmosferycznego [9]. Mchy pobierają składniki odżywcze z wody deszczowej bądź z suchej depozycji. Dzięki charakterystycznej strukturze wzrostu i tworzeniu darni zwiększa się ich możliwość do akumulowania metali ciężkich oraz innych analitów z powietrza [10].

Mchy *Pleurozium schreberi* również były dość szeroko wykorzystywane w badaniach biomonitoringowych na świecie: w Finlandii [11], północnej Hiszpanii [12], południowym Uralu [13] i w Polsce (Górny Śląsk, Puszcza Niepołomska, tor wyścigowy w Kamieniu Śląskim [14-16]).

Celem przeprowadzonych badań była ocena zanieczyszczenia wybranymi metalami ciężkimi terenu w pobliżu zbiornika Janów (woj. świętokrzyskie) oraz wody w niecce zbiornika. Zbiornik Janów (woj. świętokrzyskie) jest zasilany wodami rzeki Czarna Konecka. Zbiornik położony jest w małej wsi Janów na trasie Końskie-Stąporków do równoległej drogi krajowej nr 42.

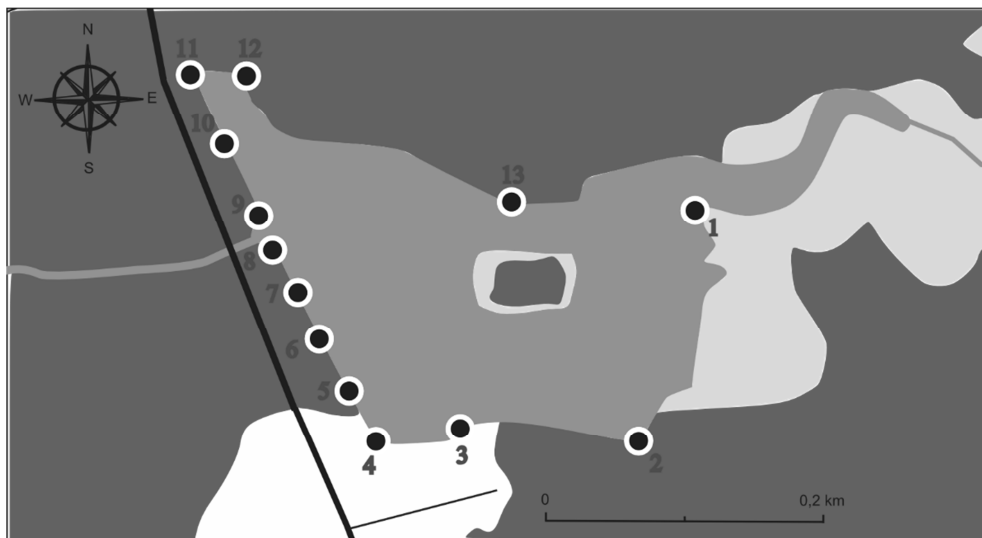
Badania zanieczyszczenia wód prowadzono metodą biomonitoringu aktywnego z wykorzystaniem glonów morskich *Palmaria palmata*. Do oceny zanieczyszczenia powietrza wokół zbiornika zastosowano biomonitoring pasywny z zastosowaniem mchów *Pleurozium schreberi*. Wokół zbiornika w 13 miejscach pobrano również próbki gleby - próchnicy nadkładowej.

Materiały i metody

Biomonitoringiem aktywnym i pasywnym objęto zbiornik Janów o powierzchni 6,6 ha oraz tereny wokół niego [17]. Jest to teren w większości należący do Nadleśnictwa Barycz. Jedynie tereny południowo-wschodnie należą do Nadleśnictwa Stąporków [18]. Badanie prowadzono w okresie czerwiec-wrzesień 2015 r. Miejsca ekspozycji próbek glonów *Palmaria palmata* oraz pobierania próbek mchów *Pleurozium schreberi* i gleby zaznaczono na mapie na rysunku 1.

Reprezentatywne (uśrednione) próbki glonów o masie $0,400 \pm 0,001$ g umieszczano w perforowanych pojemnikach polietylenowych i eksponowano w zbiorniku przez 50 minut w miejscach zaznaczonych na mapie na rysunku 1. Próbki zanurzano w odległości około 1 m od linii brzegowej. Po ekspozycji próbki glonów przepłukiwano wodą zdemineralizowaną, suszono w temperaturze 303 K, a następnie mineralizowano w mineralizatorze mikrofalowym Speedwave Four firmy BERGHOF. Do oznaczenia metali ciężkich (Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Ni i Pb) wykorzystano absorpcyjny spektrometr

atomowy w wersji płomieniowej (F-AAS) typu iCE 3500 (seria 3000) firmy Thermo Scientific, USA.



Rys. 1. Miejsca ekspozycji próbek glonów *Palmaria palmata* oraz pobierania mchów *Pleurozium schreberi* i gleby

Fig. 1. Exposure sites of the *Palmaria palmata* algae and the collection sites of *Pleurozium schreberi* mosses and soil

Stężenia metali naturalnie zakumulowanych w suchej masie (s.m.) glonów *Palmaria palmata* wynosiły: $c_{Mn,0} = 18,3 \pm 0,9$ mg/kg s.m.; $c_{Fe,0} = 324 \pm 11$ mg/kg s.m.; $c_{Cu,0} = 6,56 \pm 0,12$ mg/kg s.m.; $c_{Zn,0} = 37,6 \pm 0,6$ mg/kg s.m.; $c_{Cd,0} = 2,39 \pm 0,08$ mg/kg s.m.; $c_{Ni,0} \leq 3,13$ mg/kg s.m.; $c_{Pb,0} \leq 4,38$ mg/kg s.m.

Niecka zbiornika otoczona jest m.in. lasami i nieużytkami. W pobliżu miejsc ekspozycji próbek glonów w niecce zbiornika z sąsiadujących terenów pobrano próbki mchów *Pleurozium schreberi* oraz gleby - próchnicy nadkładowej. Próbki mchów o masie $0,400 \pm 0,001$ g, które obejmowały gametofit, a w jego obrębie jedynie część zieloną, oraz próbki gleby o masie $0,400 \pm 0,001$ g poddano mineralizacji. Do oznaczenia metali ciężkich (Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Ni i Pb) w zmineralizowanych próbkach wykorzystano absorpcyjny spektrometr atomowy w wersji płomieniowej (F-AAS) typu iCE 3500 (seria 3000) firmy Thermo Scientific, USA.

Zapewnienie i kontrola jakości

W tabeli 1 podano granice wykrywalności oraz granice oznaczalności metali ciężkich, charakteryzujące spektrometr iCE 3500 [19]. Do kalibrowania aparatu wykorzystano wzorce firmy ANALYTIKA Ltd. (CZ).

Tabela 1
Granice wykrywalności (*IDL*) oraz granice oznaczalności (*IQL*) charakteryzujące spektrometr iCE 3500 [mg/dm³]

Table 1

The instrumental detection limits (*IDL*) and instrumental quantification limits (*IQL*) for the spectrometer iCE 3500 [mg/dm³]

Metal	<i>IDL</i>	<i>IQL</i>
Mn	0,0016	0,020
Fe	0,0043	0,050
Ni	0,0043	0,050
Cu	0,0045	0,033
Zn	0,0033	0,010
Cd	0,0028	0,013
Pb	0,0130	0,070

W tabeli 2 przedstawiono stężenia metali ciężkich oznaczone w certyfikowanych materiałach referencyjnych BCR-414 *plankton* i BCR-482 *lichen*, wytwarzanych przez Institute for Reference Materials and Measurements, Belgia.

Tabela 2

Porównanie zmierzonych i certyfikowanych wartości stężeń analitów w BCR-414 *plankton* i BCR-482 *lichen*

Table 2

Comparison of measured and certified concentrations in BCR-414 *plankton* and in BCR-482 *lichen*

Metal	BCR-414 <i>plankton</i>		AAS		<i>Dev.**</i>
	Stężenie	±Niepewność	Średnia	±SD*	
	[mg/kg s.m.]				[%]
Mn	299	12	284	13	-5,0
Fe	1,85	0,19	1,79	0,20	-3,2
Ni	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cu	29,5	1,3	28,4	1,6	-3,7
Zn	112	3	107	3	-4,5
Cd	0,383	0,014	n.d.	n.d.	n.d.
Pb	3,97	0,19	3,75	0,21	-5,5
Metal	BCR-482 <i>lichen</i>		AAS		<i>Dev.**</i>
	Stężenie	±Niepewność	Średnia	±SD*	
	[mg/kg s.m.]				[%]
Mn	33,0	0,5	31,7	0,68	-3,9
Fe	804	160	n.d.	n.d.	n.d.
Ni	2,47	0,07	2,16	0,32	-13
Cu	7,03	0,19	6,63	0,17	-5,7
Zn	100,6	2,2	95,1	2,3	-5,5
Cd	0,56	0,02	0,53	0,03	-5,3
Pb	40,9	1,4	38,2	1,0	-6,6

* - odchylenie standardowe

** - względna różnica pomiędzy stężeniem zmierzonym i certyfikowanym $100\% \cdot (c_z - c_c) / c_z$

n.d. - nie oznaczano

Wyniki i ich analiza

W tabeli 3 przedstawiono stężenia oznaczanych metali ciężkich w próbkach glonów *Palmaria palmata* eksponowanych w wodach zbiornika Janów.

Wyniki pomiarów stężeń metali ciężkich [mg/kg s.m.] w próbkach glonów po ekspozycji

Tabela 3

Table 3

The measurement results of concentrations of heavy metals [mg/kg d.m.] in the algae samples

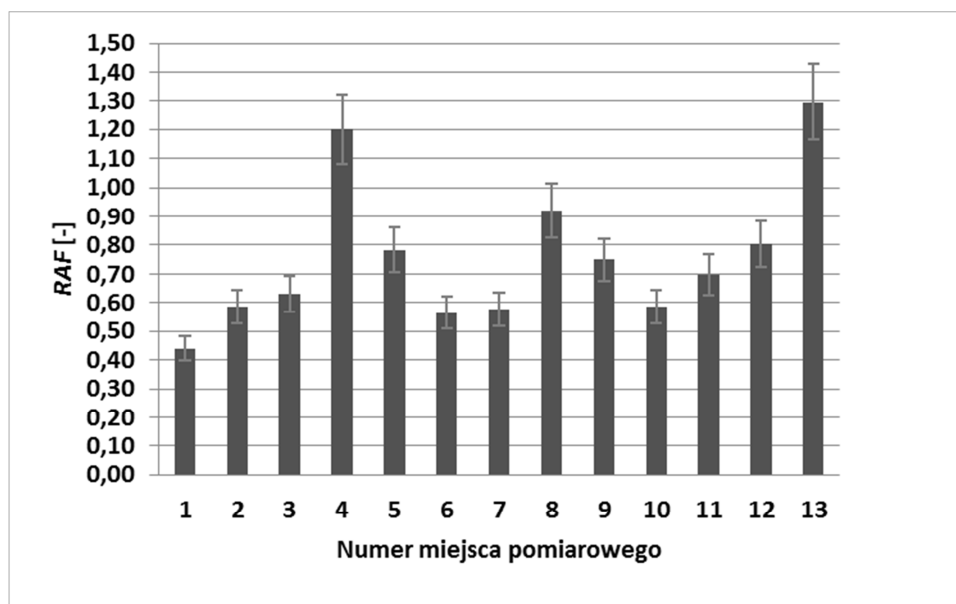
Parametr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
Średnia	32,0	447	7,72	41,6	3,46	< 3,13	< 4,38
Minimum	26,3	350	6,86	40,3	2,80		
Maksimum	42,0	488	9,89	43,2	4,55		
±SD	4,4	37	0,77	0,9	0,59		

W celu oceny przyrostów stężeń metali ciężkich w badanych próbkach glonów wyznaczono współczynniki akumulacji względnej *RAF*:

$$RAF = \frac{C_{i,1} - C_{i,0}}{C_{i,0}}$$

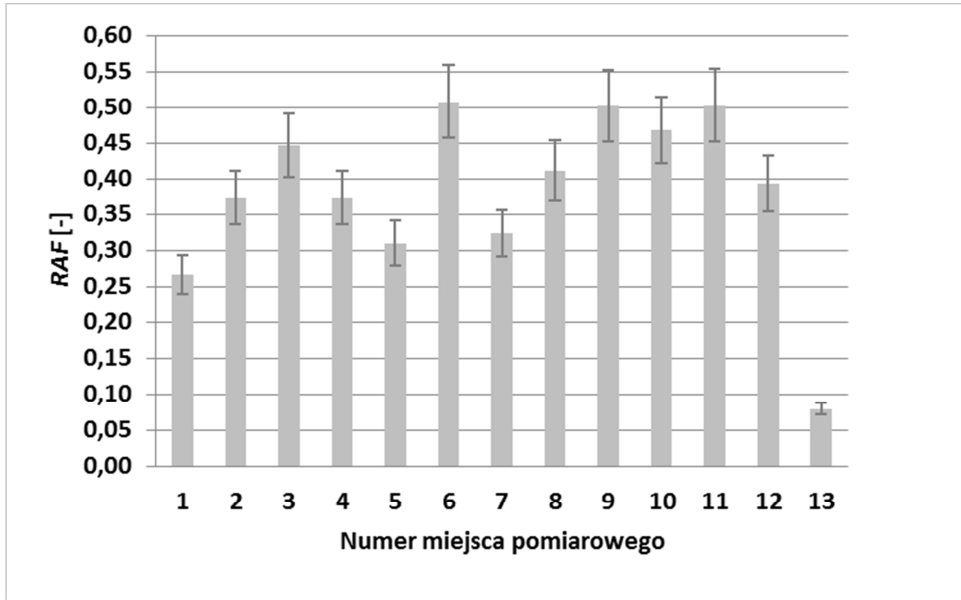
gdzie: $C_{i,1}$ - stężenie analitu po okresie ekspozycji [mg/kg s.m.], $C_{i,0}$ - stężenie analitu przed okresem ekspozycji [mg/kg s.m.] [20].

Na rysunkach 2-6 przedstawiono wartości współczynników *RAF* wskazujących na zmiany stężeń analitów w ekspozowanych glonach *Palmaria palmata*.



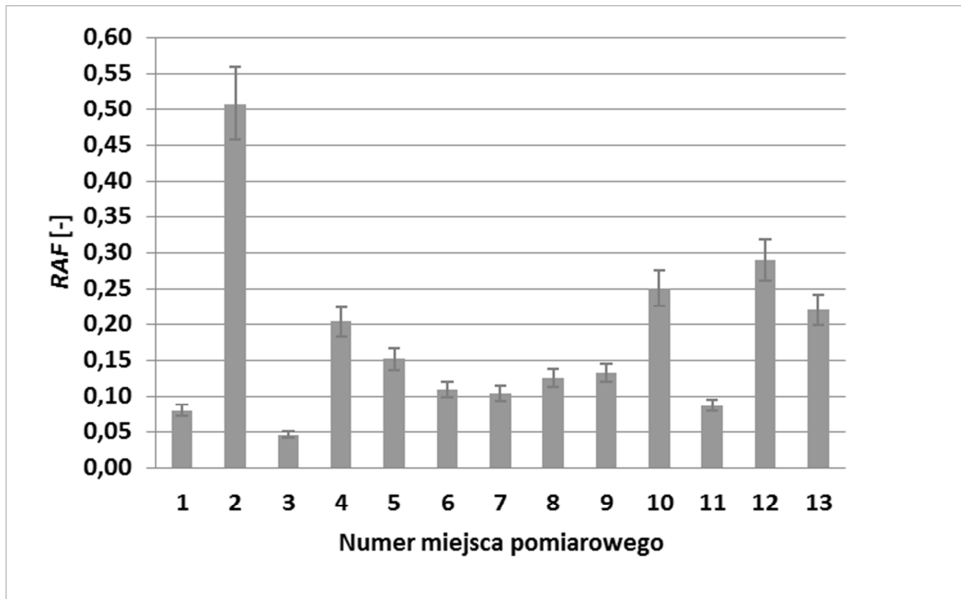
Rys. 2. Przyrosty stężeń manganu w glonach ekspozowanych w wodach zbiornika Janów

Fig. 2. Increase concentration of manganese in algae exposed in the Janow water reservoir



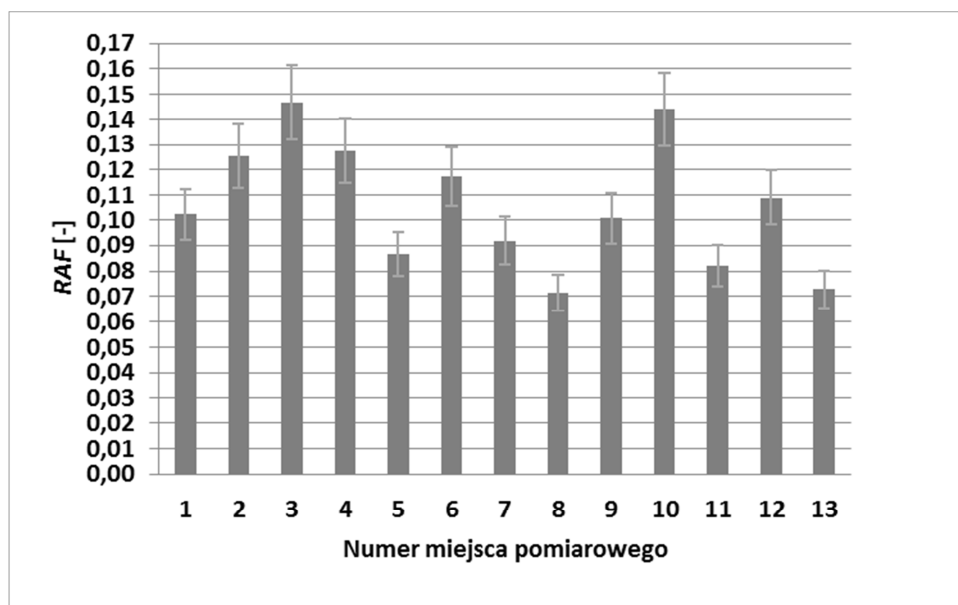
Rys. 3. Przyrosty stężeń żelaza w glonach eksponowanych w wodach zbiornika Janów

Fig. 3. Increase concentration of iron in algae exposed in the Janow water reservoir



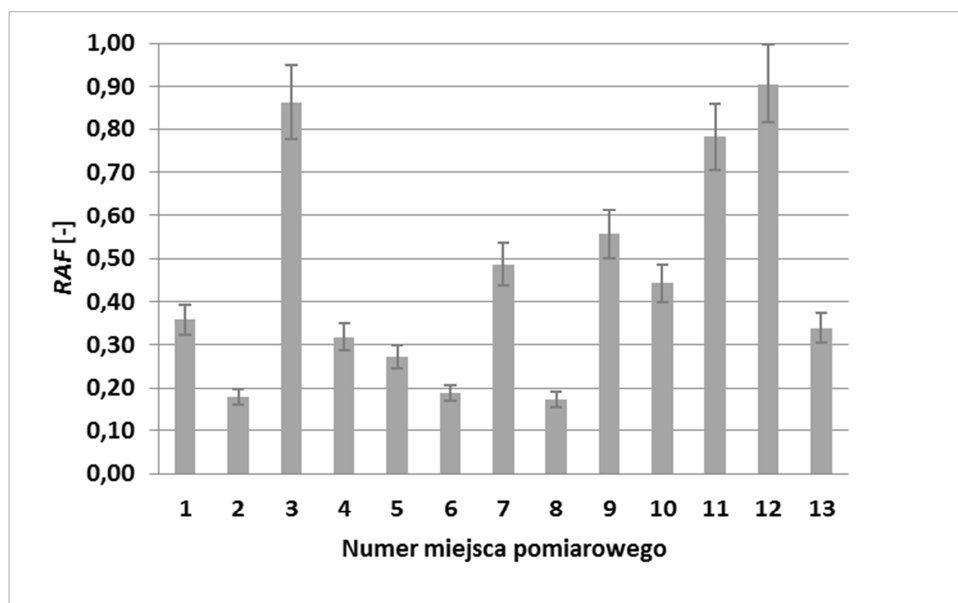
Rys. 4. Przyrosty stężeń miedzi w glonach eksponowanych w wodach zbiornika Janów

Fig. 4. Increase concentration of copper in algae exposed in the Janow water reservoir



Rys. 5. Przyrosty stężeń cynku w glonach eksponowanych w wodach zbiornika Janów

Fig. 5. Increase concentration of zinc in algae exposed in the Janow water reservoir



Rys. 6. Przyrosty stężeń kadmu w glonach eksponowanych w wodach zbiornika Janów

Fig. 6. Increase concentration of cadmium in algae exposed in the Janow water reservoir

Z wykresów przedstawionych na rysunkach 2-6 wynika, że największe przyrosty stężenia Mn w eksponowanych próbkach glonów wystąpiły w miejscach pomiarowych nr 4 i 13. Punkt pomiarowy nr 13 to punkt położony w pobliżu obszarów leśnych, z których to powierzchniowy spływ wody opadowej może wypłukiwać ten analit. Z kolei większe stężenie manganu w punkcie pomiarowym nr 4 może być spowodowane częstym rozkładem martwych roślin występujące w tym miejscu, gdzie woda zbiornika przy linii brzegowej jest stojąca. Największe wartości współczynnika *RAF* dla kadmu odnotowano w miejscach pomiarowych nr 3, 11 oraz 12. Miejsca te zlokalizowane są w pobliżu plaży będącej atrakcyjnym miejscem wypoczynku mieszkańców. Stężenie Ni i Pb w analizowanych próbkach glonów *Palmaria palmata* było poniżej granicy oznaczalności zastosowanej metody analitycznej.

W tabeli 4 przedstawiono stężenia oznaczanych metali ciężkich w próbkach mchów *Pleurozium schreberi* zebranych w wyznaczonych punktach pomiarowych zlokalizowanych w pobliżu zbiornika Janów.

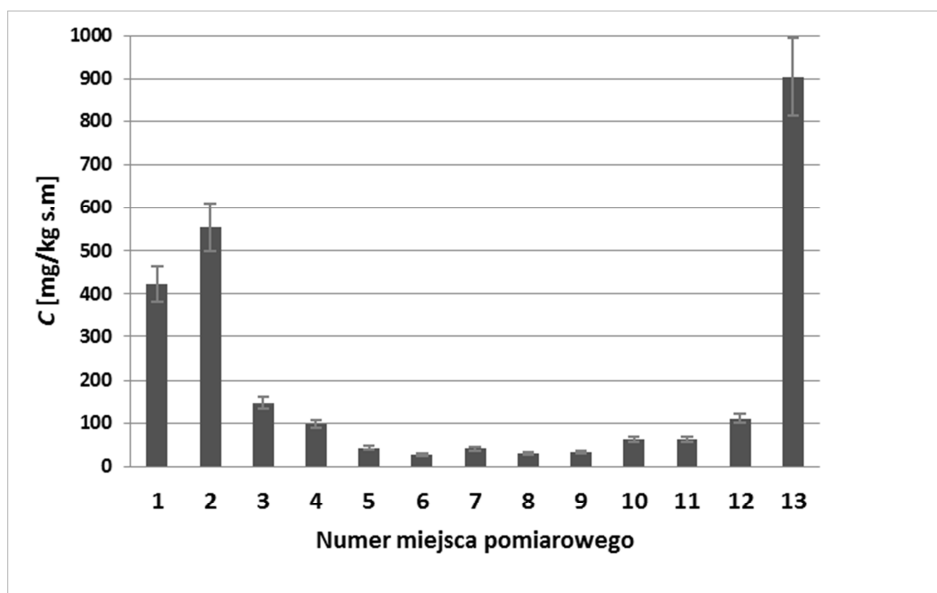
Wyniki pomiarów stężeń metali ciężkich [mg/kg s.m.] w próbkach mchów

Tabela 4

The measurement results of concentrations of heavy metals [mg/kg d.m.] in the mosses samples

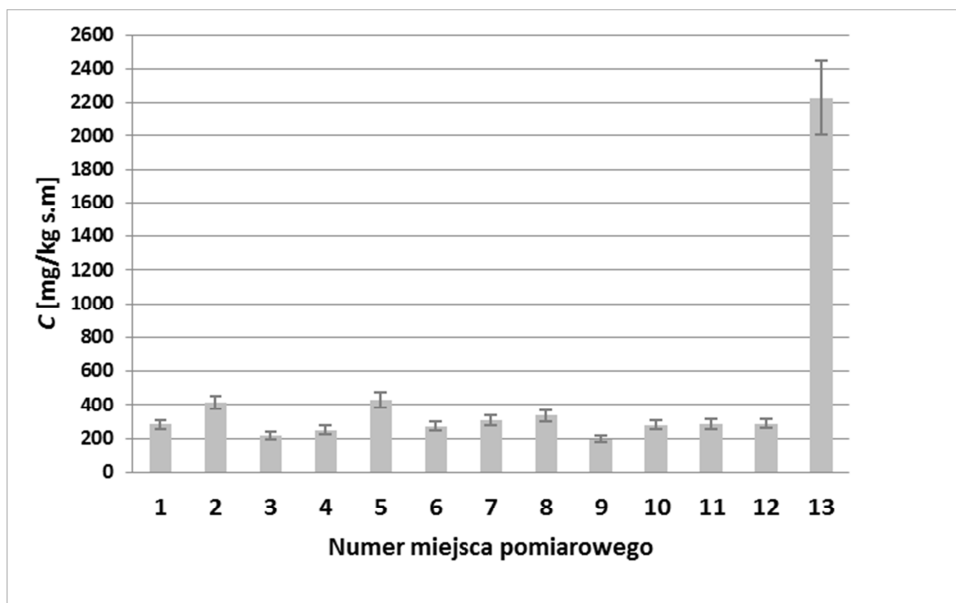
Table 4

Parametr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
Średnia	195	444	7,69	38,6	< 0,81	11,1	12,6
Minimum	28,1	195	5,83	22,0		3,33	6,39
Maksimum	903	2227	9,17	51,9		30,1	23,7
±SD	258	519	0,93	9,4		11,1	7,9



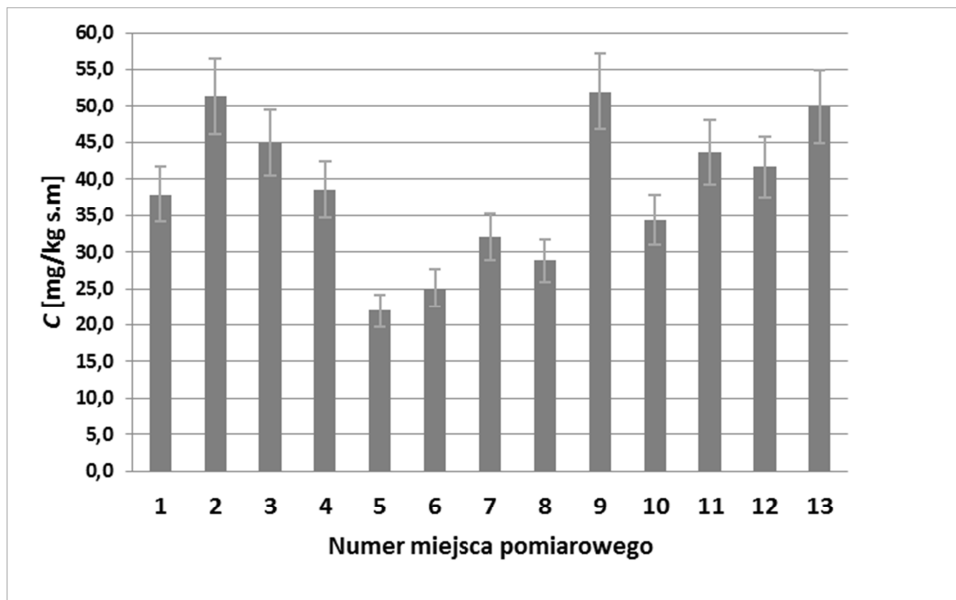
Rys. 7. Stężenia manganu w mchach zebranych w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 7. Concentration of manganese in mosses collected around the Janow water reservoir



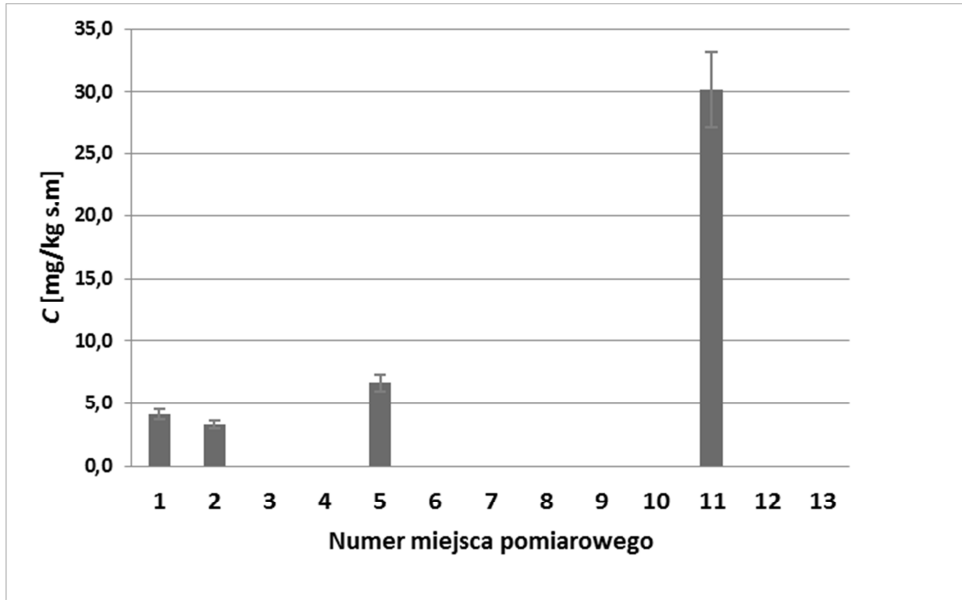
Rys. 8. Stężenia żelaza w mchach zebranych w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 8. Concentration of iron in mosses collected around the Janow water reservoir



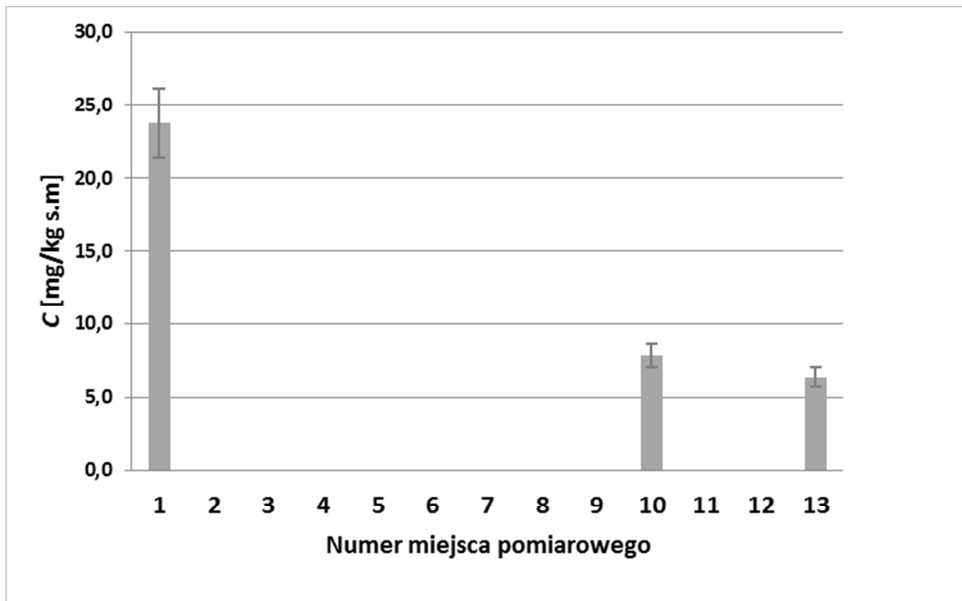
Rys. 9. Stężenia cynku w mchach zebranych w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 9. Concentration of zinc in mosses collected around the Janow water reservoir



Rys. 10. Stężenia niklu w mchach zebranych w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 10. Concentration of nickel in mosses collected around the Janow water reservoir



Rys. 11. Stężenia ołowiu w mchach zebranych w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 11. Concentration of lead in mosses collected around the Janow water reservoir

Na rysunkach 7-11 przedstawiono wartości stężeń metali ciężkich oznaczonych w mchach *Pleurozium schreberi*.

Z wykresów pokazanych na tych rysunkach wynika, że największe stężenia manganu w eksponowanych próbkach wystąpiły w miejscach pomiarowych nr 1, 2 i 13. Miejsca te położone są w pobliżu terenów leśnych, z których powierzchniowe spływy wód opadowych mogą wypłukiwać ten analit. Największe stężenie żelaza odnotowano w punkcie nr 13 (stanowisko biwakowo-wędkarskie). W przypadku niklu jedynie w próbkach mchów pobranych z punktów pomiarowych nr 1, 2, 5 i 11 oznaczono ten pierwiastek. W punkcie nr 11 stężenie Ni wynosiło 30,1 mg/kg s.m. i mogło być spowodowane zanieczyszczeniem powietrza tym metalem pochodzącym ze spalania paliwa (ropy) samochodów, które parkują w tym miejscu nad brzegiem zbiornikiem. Największe stężenie Pb oznaczono w próbce pobranej z punktu pomiarowego nr 1. Bezpośredni wpływ na duże stężenia tego pierwiastka mogą mieć pojazdy parkujące bezpośrednio nad brzegiem zbiornika (dziki parking leśny), które zanieczyszczają powietrze spalinami. W próbkach mchów pobranych z wyznaczonych miejsc pomiarowych stężenie Cd było poniżej granicy oznaczalności zastosowanej metody analitycznej ($c_{Cd} < 0,81$ mg/kg s.m.).

W tabeli 5 przedstawiono stężenia oznaczanych metali ciężkich w próbkach gleby pobranej w wyznaczonych punktach pomiarowych wokół zbiornika Janów.

Tabela 5

Wyniki pomiarów stężeń metali ciężkich [mg/kg s.m.] w próbkach gleby

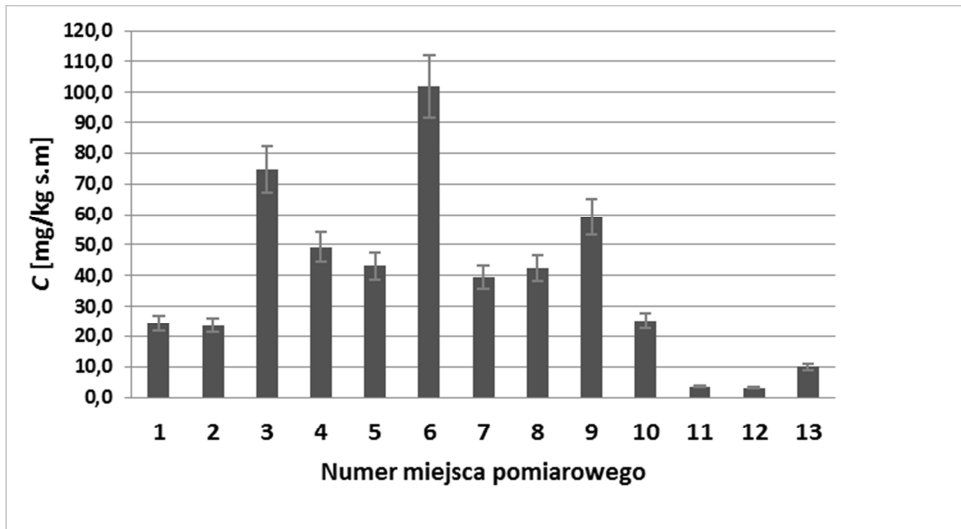
Table 5

The measurement results of concentrations of heavy metals [mg/kg d.m.] in the soil samples

Parametr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
Średnia	38,5	1991	4,46	12,5	< 1,46	< 3,13	75,3
Minimum	3,23	611	2,60	3,23	< 0,81		4,93
Maksimum	101	4758	6,99	35,5	2,10		255
$\pm SD$	27	1026	1,86	7,9	-		94

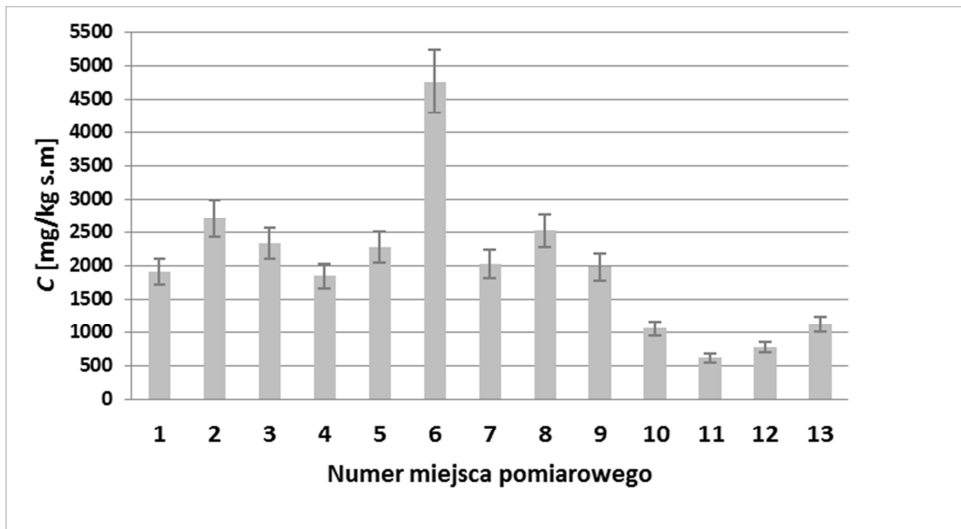
Na rysunkach 12-16 przedstawiono wartości stężeń metali ciężkich oznaczonych w glebie pobranej w pobliżu badanego zbiornika.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że stężenie manganu jest największe w próbce gleby pobranej z punktu pomiarowego nr 6. próbki gleby charakteryzowały się małymi stężeniami miedzi ($2,66 < c_{Cu} < 6,99$ mg/kg s.m.). Teren badań odznacza się glebami lekkimi, które są najuboższe w ten pierwiastek. Ołów oznaczono w próbkach pobranych z miejsc nr 4, 5, 6, 11 oraz 13, z czego w ostatnim punkcie pomiarowym stężenie tego pierwiastka było największe. Bezpośredni wpływ na obecność tego metalu może mieć fakt, że jest to stanowisko szczególnie często odwiedzane przez wędkarzy, używających m.in. ołowianych ciężarków oraz koszyczków. Ich pozostawienie w miejscu połowów może mieć wpływ na przenikanie ołowiu do gleby. Kadm został oznaczony tylko w próbce gleby pobranej w punkcie pomiarowym nr 13 i jego stężenie może być wynikiem procesów antropogennych, tj. wprowadzaniu różnego rodzaju odpadów. Stężenie Ni w próbkach gleby było poniżej granicy oznaczalności zastosowanej metody analitycznej ($c_{Ni} < 3,13$ mg/kg s.m.).



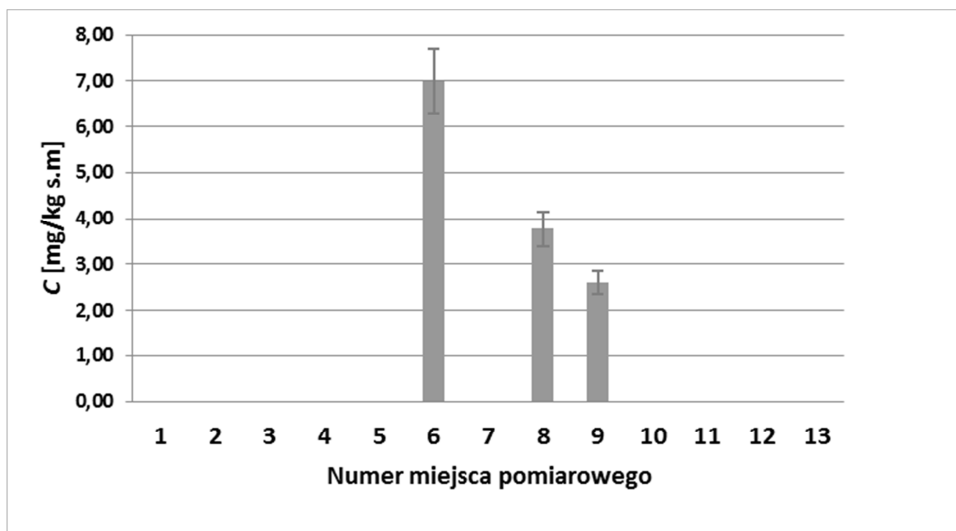
Rys. 12. Stężenia manganu oznaczone w glebie pobranej w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 12. Concentration of manganese in soil collected around the Janow water reservoir



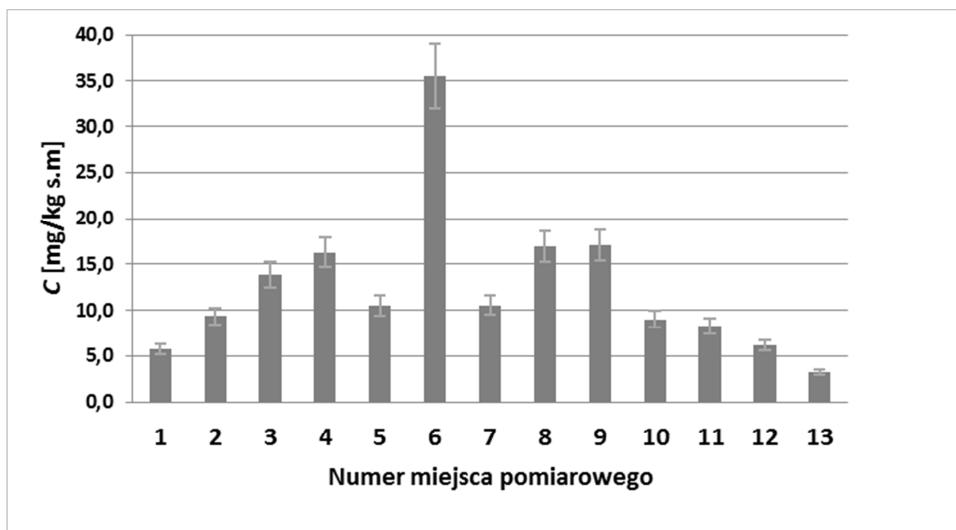
Rys. 13. Stężenia żelaza oznaczone w glebie pobranej w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 13. Concentration of iron in soil collected around the Janow water reservoir



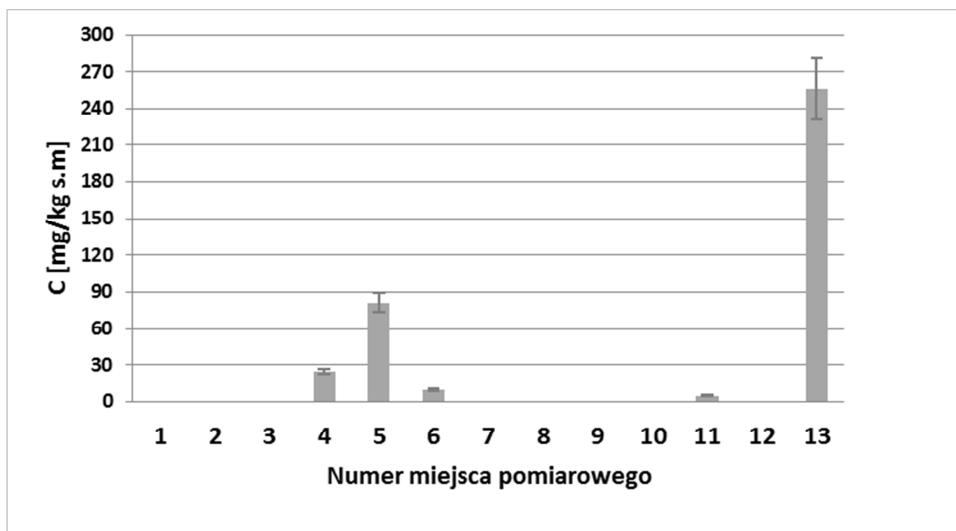
Rys. 14. Stężenia miedzi oznaczone w glebie pobranej w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 14. Concentration of copper in soil collected around the Janow water reservoir



Rys. 15. Stężenia cynku oznaczone w glebie pobranej w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 15. Concentration of zinc in soil collected around the Janow water reservoir



Rys. 16. Stężenia ołowiu oznaczone w glebie pobranej w pobliżu zbiornika Janów

Fig. 16. Increase concentration of lead in soil collected around the Janow water reservoir

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania miały na celu ocenę zanieczyszczenia badanych ekosystemów wodnego i leśnego metalami ciężkimi. Wyniki badań mają charakter poglądowy, co daje możliwość w przyszłości wykorzystania ich do badań porównawczych w celu oceny zmian zachodzących w ekosystemach w funkcji czasu.

Biomonitoring z wykorzystaniem glonów staje się coraz popularniejszą metodą służącą ocenie zanieczyszczenia metalami ciężkimi ekosystemów wodnych. Analiza stężeń wybranych pierwiastków związanych w plesze glonów dostarcza cennych informacji dotyczących zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska wodnego. Dodatkowo, pozwala ocenić jakościowe zmiany w środowisku, jak również umożliwia wyznaczenie punktowych źródeł zanieczyszczeń. Przeprowadzone badania potwierdziły, że właściwości sorpcyjne glonów morskich *Palmaria palmata* mogą posłużyć w biomonitoringu do oceny zanieczyszczenia ekosystemów wodnych metalami ciężkimi.

Na podstawie analizy stężeń metali ciężkich w mchach *Pleurozium schreberi* można stwierdzić niejednorodny rozkład lokalnej depozycji wybranych analitów. Wyniki te dostarczają informacji o miejscowej skali emisji zanieczyszczeń do powietrza.

Wyniki badań wskazują na brak korelacji pomiędzy zanieczyszczeniem wód zbiornika a zanieczyszczeniem powietrza i gleby w pobliżu zbiornika. Należy przypuszczać, że głównym źródłem zanieczyszczenia wód jest rzeka Czarna Konecka oraz osady denne nagromadzone na dnie zbiornika.

Głównym czynnikiem zanieczyszczenia ekosystemu leśnego oraz terenów przyległych do niego, w tym zbiornika Janów, jest antropopresja. Jej wpływ w negatywny sposób oddziałuje na funkcjonowanie tego środowiska. Należy przypuszczać, iż turystyka oraz aktywny wypoczynek nad wodami zbiornika mogły przyczynić się do wskazanego

zanieczyszczenia wody. Dodatkowo, analiza stężeń analitów w glebie wskazuje, iż negatywny wpływ człowieka na środowisko ujawnia się także przez zaśmiecanie oraz powierzchniowe niszczenie pokrywy roślinnej tego terenu.

Wyniki badań wskazują, iż glony, mchy i gleba mogą być istotnym źródłem informacji o zanieczyszczeniu ekosystemów wodnego i leśnego. Nie należy ich stosować wymiennie, ponieważ każda z tych matryc ma inne właściwości sorpcyjne oraz w odmienny sposób są narażone na oddziaływanie biotycznych i abiotycznych komponentów środowiska przyrodniczego.

Literatura

- [1] Zhou Q, Zhang J, Fu J, Shi J, Jiang G. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Anal Chim Acta*. 2008;606:135-150. DOI: 10.1016/j.aca.2007.11.018.
- [2] Wardencki W, Dymowska A, Namieśnik J. Organizmy żywe w ocenie stopnia zanieczyszczenia ekosystemów morskich. *Chem Inż Ekol*. 2001;8(6):559-571.
- [3] Urbańska M. Bioropcja z wykorzystaniem biomasy alg jako metoda usuwania jonów Cr(VI) i Cr(III) ze ścieków przemysłowych. *Przeg Nauk Inż Kszt Środ*. 2013;(61):323-335. http://iks_pn.sggw.pl/PN61/A9/art9.pdf.
- [4] Bellinger GE, Sigeo CD. *Freshwater Algae. Identification and Use as Bioindicators*. Chichester, UK: John Wiley & Sons; 2010. <http://www.dbbe.fcen.uba.ar/contenido/objetos/2010BellingerSigeoIndicadorescap3.pdf>
- [5] Świsłowski P, Rajfur M, Klos A. Biomonitoring aktywny rzeki Czarnej Koneckiej (woj. świętokrzyskie) z wykorzystaniem glonów *Palmaria palmata*. *Proc ECOpole*. 2015;9(1):339-345. DOI: 0.2429/proc.2015.9(1)043
- [6] Turner A, Turner D, Braungardt C. Biomonitoring of thallium availability in two estuaries of southwest England. *Marine Pollut Bull*. 2013;69(1-2):172-177. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.01.030.
- [7] Schneider S, Lindstrøm EA. Bioindication in Norwegian rivers using non-diatomaceous benthic algae: The acidification index periphyton (AIP). *Ecol Indic*. 2009;9(6):1206-1211. DOI: 10.1016/j.ecolind.2009.02.008.
- [8] Beauggeard M. *Biosorption of Heavy Metals by Red Alga (Palmaria palmata)*. Canada: National Library of Canada; 2001.
- [9] Jerz D, Rajfur M, Klos A. Biomonitoring wybranych obszarów leśnych. W: *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska*. Wrocław: Ofic Wyd Politechniki Wrocławskiej; 2015;5:164-175. <http://www.eko-dok.pl/2015/15.pdf>.
- [10] Niemelä M, Piispanen J, Poikolainen J, Perämäki P. Preliminary Study of the use of terrestrial moss (*Pleurozium schreberi*) for biomonitoring traffic-related Pt and Rh deposition. *Archives Environ Contamin Toxicol*. 2007;52(3):347-354. DOI: 10.1007/s00244-006-0028-0.
- [11] Poikolainen J, Kubin E, Piispanen J, Karhu J. Atmospheric heavy metal deposition in Finland during 1985-2000 using mosses as bioindicators. *Sci Total Environ*. 2004;318(1-3):171-185. http://ac.els-cdn.com/S0048969703003966/1-s2.0-S0048969703003966-main.pdf?_tid=65477948-2016-11e6-a5f7-0000aacb362&acdnat=1463919304_bbd022a4642a9a9168871ea55944181c.
- [12] Fernandez JA, Ederra A, Nunez E, Martinez-Abaiagar J, Infante M, Heras P, et al. Biomonitoring of metal deposition in northern Spain by moss analysis. *Sci Total Environ*. 2002;300:115-127. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00230-9.
- [13] Frontasyeva MV, Steinnes E, Lyapunov SM, Cherkintsev VD, Smirnov LI. Biomonitoring of heavy metal deposition in the South Ural region: Some preliminary results obtained by nuclear and related techniques. *J Radioanal Nuclear Chem*. 2000;245(2):415-420. DOI: 10.1023/A:1006799513736.
- [14] Kosior G, Samecka-Cymerman A, Kolon K, Kempers AJ. Bioindication capacity of metal pollution of native and transplanted *Pleurozium schreberi* under various levels of pollution. *Chemosphere*. 2010;81:321-326. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.07.029.
- [15] Szarek-Lukaszewska G, Grodzińska K, Braniewski S. Heavy metal concentration in the moss *Pleurozium schreberi* in the Niepołomice Forest, Poland: Changes during 20 years. *Environ Monit Assess*. 2002;79(3):231-237. <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1020226526451>.

- [16] Rajfur M, Kłos A, Dorota Gawlik D, Hyšplerova L, Waclawek M. Akumulacja metali ciężkich w mchach *Pleurozium schreberi* eksponowanych w pobliżu toru wyścigów samochodowych w Kamieniu Śląskim. *Proc ECOpole*. 2010;4(2):477-482. http://tchie.uni.opole.pl/PECO10_2/PECO_2010_2_p1.pdf.
- [17] Długości i powierzchnie wód wchodzących w skład obwodów rybackich dla Okręgu Polskiego Związku Wędkarstwa w Kielcach. http://www.pzw.org.pl/pliki/prezentacje/26/cms/szablony/10404/pliki/dlugosci_i_powierzchnie_wod_wchodzacych_w_sklad_obwodu_rzeki_nidzica_nr_1.pdf.
- [18] Nadleśnictwo Barycz - Lasy Nadleśnictwa. <http://www.barycz.radom.lasy.gov.pl/lasy-nadleśnictwa#.VsmdP0AwGhw>.
- [19] Instrukcja obsługi aparatu AAS iCE 3000 firmy Thermo Scientific. Warszawa: Spectro-Lab; 2013. <http://photos.labwrench.com/equipmentManuals/9291-6306.pdf>.
- [20] Goryainova Z, Vuković G, Urošević AM, Vergel K, Ostrovnaya T, Frontasyeva M, et al. Assessment of vertical element distribution in street canyons using the moss *Sphagnum girgensohnii*: A case study in Belgrade and Moscow cities. *Atmos Pollut Res*. 2016;7(4):690-697. DOI: 10.1016/j.apr.2016.02.013.

THE USE OF BIOMONITORING STUDIES IN THE ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF SELECTED ECOSYSTEMS

¹ Chair of Environmental Engineering, University of Opole

² Chair of Biotechnology and Molecular Biology, University of Opole

Abstract: The aim of the study was the biomonitoring of contamination with selected heavy metals: Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Ni and Pb of an area near the Janow water reservoir (Swietokrzyskie Province) and the water in the basin of the reservoir. Heavy metals in environmental matrices such as algae *Palmaria palmata*, moss *Pleurozium schreberi* and soil were determined using atomic absorption spectrometry. The determined relative accumulation factors (*RAF*) of heavy metals in algae indicate a heterogeneous contamination of the reservoir, particularly with copper and cadmium. *RAF* values for these metals ranged from 0.08 to 0.51, and from 0.17 to 0.91. In a few measurement sites were recorded high concentrations of lead and nickel accumulated in mosses, respectively above 6.39 mg/kg d.m. and 3.33 mg/kg d.m. (d.m. - dry mass). The highest concentrations of cadmium and lead in the soil were determined in a sample collected near camping-fishing site ($c_{Cd} = 2.10$ mg/kg d.m., $c_{Pb} = 256$ mg/kg d.m.). It should be noted that the allowable concentration of lead in the surface layers of soil in urbanized areas is 100 mg/kg d.m. The results show that algae, moss and soil can be an important source of information about environmental contamination with heavy metals.

Keywords: marine algae *Palmaria palmata*, *Pleurozium schreberi* mosses, soil, heavy metals, Janow water reservoir, biomonitoring, relative accumulation factor *RAF*