

Joanna Chmist, Krzysztof Szoszkiewicz

Próba oceny przydatności małży z gatunku *Unio tumidus* do monitorowania obecności związków żelaza w wodzie

Woda przeznaczona do spożycia przez ludzi musi odpowiadać wymaganiom jakościowym zawartym w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 13 listopada 2015 r. [1]. Gwarancją dostarczania do odbiorców wody spełniającej te wymagania jest jej okresowa kontrola, której częstość zależy od ilości wody dostarczanej do sieci. W przypadku monitoringu kontrolnego, gdy dobową objętość dostarczonej wody nie przekracza 1000 m³, wymagane jest przebadanie zaledwie czterech próbek wody rocznie, a w przypadku większych stacji wodociągowych wymagane jest badanie dodatkowych trzech próbek wody na każde kolejne 1000 m³/d. Taka częstość analiz powoduje, że okresowy monitoring stosowany przez większość zakładów wodociągowych, zwłaszcza w mniejszych miejscowościach, nie gwarantuje spełnienia wymogów stawianych wodzie pobieranej z sieci. Wzrost oczekiwań konsumentów względem standardów, jakie powinna spełniać woda wodociągowa wymusił poszukiwanie nowych, bardziej niezawodnych, sposobów kontroli jej jakości.

Skuteczność obecnie funkcjonującego systemu kontroli jakości wody, polegającego na sporadycznych analizach metodami fizyczno-chemicznymi, może być znacząco zwiększona przez zastosowanie monitoringu biologicznego. Idea biomonitoringu stosowana jest z powodzeniem w ocenie różnych typów środowiska naturalnego, a systemy wykorzystujące naturalne reakcje żywych organizmów są nieustannie rozwijane na podstawie wyników badań naukowych [2–6]. W przypadku biomonitoringu jakości wody wodociągowej popularność zdobyły systemy, które wykorzystują reakcje bezkręgowców, a szczególnie małży [7], ponieważ organizmy te pozwalają na ocenę zmiany jakości środowiska wodnego w sposób łatwy do interpretacji (zamknięcie muszli). Skójki (*Unio* sp.) są szczególnie wartościowe z punktu widzenia biomonitoringu, ze względu na ich reakcję na występowanie czynników stresowych (bioindykacja właściwa) oraz zdolność akumulacji substancji toksycznych, takich jak metale śladowe (bioindykacja kumulatywna) [8].

Stworzone na potrzeby monitoringu ujęć wód technologicznie wykorzystujące małże są zwykle w pełni zautomatyzowane i w dużym stopniu bezobsługowe. Do tej pory jest to jeden z najbardziej popularnych systemów, pozwalający na ciągłą kontrolę wskaźników jakościowych dostarczanej wody [9]. Koszt monitorowania szacowany jest na około 40 zł/d, a analiza laboratoryjna uwzględniająca jedynie

kilka podstawowych wskaźników jakości wody to koszt przynajmniej kilkudziesięciu złotych [6]. Przewaga biomonitoringu nad tradycyjnymi metodami analitycznymi wynika także z możliwości wczesnego wykrywania i ostrzegania o pojawiających się nieprawidłowościach. Skutecznie realizowany monitoring biologiczny wymaga jednakże dobrego rozpoznania zachowania się organizmów wskaźnikowych.

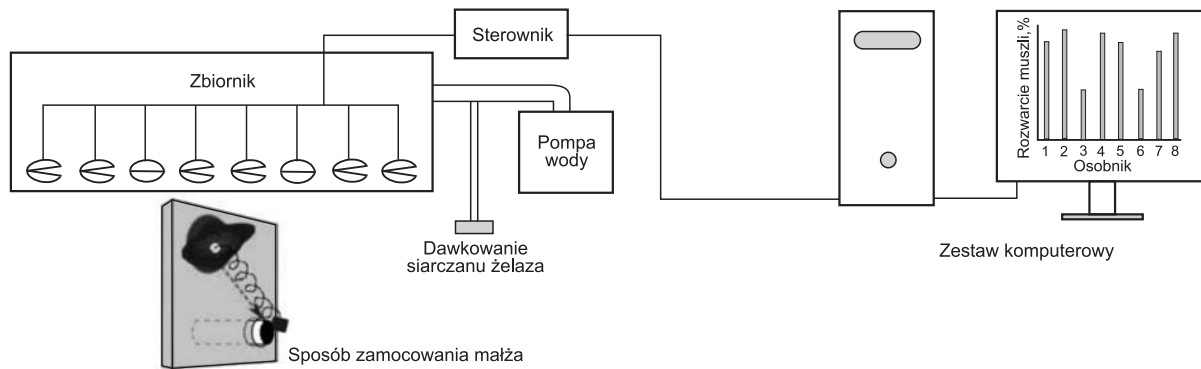
W niniejszej pracy testowano reakcje małży na zagrożenie jakości wody nadmierną obecnością związków żelaza, które dotychczas nie były badane w kontekście bioindykacji, gdyż systemy monitoringu wykorzystujące małże rozwijano głównie pod względem wykrywania w wodzie zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego.

Przeprowadzone w 2016 r. badania miały na celu ocenę możliwości wczesnego wykrywania przez małże nadmiernej ilości związków żelaza w wodzie pochodzącej z ujęć głębinowych.

Metody badań

Osobniki wykorzystywane w trakcie badań pozyskano z akwenu poddanego w minimalnym stopniu antropopresji. Wykluczenie możliwości dopływu zanieczyszczeń było podstawową zasadą przyjętą przy wyborze zbiornika do pobrania materiału biologicznego odpowiedniego do monitoringu. Wszystkie małże przeznaczone do bioindykacji przeszły podwójną selekcję – pierwszą w miejscu ich pobrania oraz drugą po przebytej aklimatyzacji. Do badań wybrano osobniki o podobnych rozmiarach – długość w przedziale 5÷6 cm, szerokość (liczona od więzadła do końca muszli) – 3,0÷3,5 cm oraz masa – 19±1,5 g.

Eksperyment przeprowadzono z zastosowaniem systemu Symbio (Prote, Polska), który wykorzystuje reakcję (zamykanie muszli) rodzimego gatunku małży słodkowodnej – skójki zaostrej (*Unio tumidus*) na nagłą zmianę toksyczności wody. W odróżnieniu od innych przedstawicieli małży z rodzaju *Unio*, gatunek ten wymaga czystszej i bogatszej w tlen wody, co czyni je wrażliwymi na niewielkie nawet zmiany jej jakości [7]. Reakcja małży oparta jest na pomiarach natężenia pola magnetycznego pomiędzy sondą a magnesem przytwierdzonym do muszli. Sondy połączone są ze sterownikiem przetwarzającym dane o natężeniu pola na stopień rozwarcia skorup małży. System wyposażono w oprogramowanie komputerowe współpracujące z pozostałymi elementami układu. Jego zasadniczą funkcją stanowiła wizualizacja danych. Prędkość przetwarzania danych wynosiła jedną sekundę, co pozwalało na natychmiastowe wyświetlenie zmian zachowań małży.



Rys. 1. Schemat układu eksperymentalnego
Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

Układ eksperymentalny (rys. 1) przygotowano z wykorzystaniem doświadczeń opisanych w pracach [10–12]. Wszystkie osobniki umieszczono w zbiorniku wypełnionym 60 litrami wody, która znajdowała się w obiegu zamkniętym wymuszonym pompą. Proces ręcznej kalibracji, polegający na ustaleniu zakresu zmian otwarcia muszli został przeprowadzony na podstawie pracy [10]. Dodatkowo wykorzystano stosowaną w systemie Symbio funkcję autokalibracji, umożliwiającą określenie indywidualnych dobowych zmian zachowań poszczególnych osobników. Wszystkie małże wyposażono w magnes przytwierdzony do muszli za pomocą kleju cyjanoakrylowego. Osobniki przymocowano do postumentów w celu uniemożliwienia ich przemieszczania się oraz unieruchomienia sond pomiarowych.

W celu określenia zdolności bioindykacyjnej małży w stosunku do jonów żelaza w wodzie wykorzystano roztwór $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ o stężeniu 1 mgFe/dm^3 . W eksperymencie założono obecność jonów żelaza w wodzie w ilościach $0,2 \text{ mgFe/dm}^3$ oraz $1,7 \text{ mgFe/dm}^3$. Pierwsza stanowi dopuszczalną zawartość tego pierwiastka w wodzie wodociągowej [1], natomiast drugą przyjęto na podstawie danych udostępnionych do informacji publicznej przez zakłady wodociągowe ujmujące wody głębinowe oraz dostępnych publikacji [13, 14]. Przyjęto wartość środkową zbioru danych, które mieściły się w przedziale $0,3 \div 3,0 \text{ mgFe/dm}^3$.

Przebieg eksperymentu

Skalibrowane małże przebywały w wodzie wodociągowej, spełniającej wymogi rozporządzenia [1], o zawartości żelaza ogólnego $< 0,04 \text{ mgFe/dm}^3$, przez tydzień poprzedzający rozpoczęcie eksperymentu. Temperaturę wewnątrz zbiornika utrzymywano w przedziale $15,0 \div 15,5^\circ\text{C}$. Eksperyment prowadzono przez 72 godziny od momentu dodania siarczanu żelaza do wody.

Analizie poddano trzy elementy zachowania małży – czas aktywności, czyli czas, w którym małże filtrowały wodę, częstość zmian otwarcia muszli oraz średnie dobowe zmiany rozwarcia muszli. Istotność zaobserwowanych zmian zachowań małży, spowodowanych obecnością związków żelaza w wodzie, oceniono statystycznie wykorzystując analizę wariancji (ANOVA). Postawiono następujące hipotezy:

- zawartość jonów żelaza w wodzie wpływa na średni dobowy czas aktywności małży,
- zawartość jonów żelaza w wodzie wpływa na średnią częstość zmian otwarcia muszli,
- zawartość jonów żelaza w wodzie wpływa na średnie dobowe zmiany rozwarcia muszli.

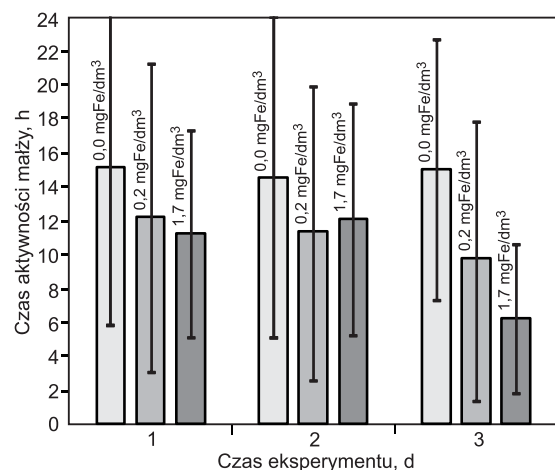
Zmienne, których zróżnicowanie pod wpływem dodania soli żelaza do wody zostało udowodnione na podstawie analizy wariancji, badano następnie testem Tukeya i dodatkowo poddano ocenie z wykorzystaniem współczynnika determinacji R^2 .

Wyniki badań

System biomonitoringu przystosowano do mierzenia zmian stopnia otwarcia muszli u 8 osobników *Unio tumidus*. Po tygodniowej aklimatyzacji, podczas analizy zmian zachowań małży na etapie ustalania dobowego rytmu grupy kontrolnej, u jednego z osobników stwierdzono stan letalny. Z uwagi na rozpoczęte pomiary, nie zastąpiono go nowym osobnikiem. Do analiz wzięto pod uwagę 7 małży, nie uwzględniając obecności osobnika odłączonego na początku badań.

Czas aktywności małży

Czas aktywności małży (czas filtrowania wody) z grupy kontrolnej wynosił średnio $15 \pm 7,8 \text{ h}$ w trakcie 72-godzinnej obserwacji, przy czym część osobników wykazywała ponad 24-godzinną aktywność (rys. 2). Dodanie do wody soli żelaza w ilości $0,2 \text{ mgFe/dm}^3$ wywołało skrócenie tego czasu do $11 \pm 7,6 \text{ h}$. Odnotowano jednak pojedyncze przypadki 24-godzinnej aktywności małży, przy czym większość osobników przechodziła w co najmniej dwa krótkie okresy spoczynku. Zwiększenie zawartości żelaza w wodzie do $1,7 \text{ mgFe/dm}^3$ skróciło czas filtrowania



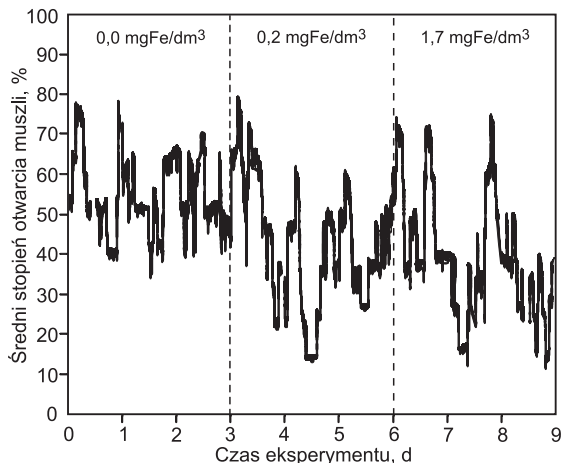
Rys. 2. Czas aktywności małży w kolejnych dniach eksperymentu w zależności od zawartości jonów żelaza w wodzie

Fig. 2. Time of bivalve activity in subsequent days of experiment depending on iron ion concentration in water

wody przez małże o kolejne 2h ($10 \pm 5,8$ h). Nie stwierdzono też żadnego przypadku 24-godzinnej aktywności małży. Liczba cykli spoczynku wzrosła jednocześnie do ponad trzech w ciągu doby. W porównaniu do warunków naturalnych, średni czas aktywności małży w wodzie zawierającej żelazo w ilości $0,2 \text{ mgFe/dm}^3$ skrócił się o 27%, natomiast w wodzie zawierającej żelazo w ilości $1,7 \text{ mgFe/dm}^3$ – o 33%.

Stopień otwarcia muszli

W grupie kontrolnej średni dobowy stopień otwarcia muszli u wszystkich osobników wahał się w granicach $54 \pm 56 \pm 32\%$. Stopniowy wzrost ilości żelaza w wodzie spowodował zmiany w zachowaniu poszczególnych osobników. Przy zawartości żelaza równej $0,2 \text{ mgFe/dm}^3$ otwarcie muszli wynosiło $35 \pm 42 \pm 29\%$, natomiast w obecności żelaza w ilości $1,7 \text{ mgFe/dm}^3$ – $37 \pm 19 \pm 22\%$ (rys. 3). W porównaniu do warunków kontrolnych (ok. $0,04 \text{ mgFe/dm}^3$), zwiększenie zawartości żelaza w wodzie spowodowało znaczne zmniejszenie średniego stopnia otwarcia muszli oraz jednocześnie zwiększenie jego dobowej amplitudy. W czasie oddziaływania żelaza poszczególne osobniki w istotny sposób zmieniły rytm dobowego funkcjonowania. Przez większość dni trwania eksperymentu w jednokowym czasie aktywnych pozostawało od 3 do 4 osobników, przy czym nie stwierdzono jednoczesnej aktywności wszystkich małży.

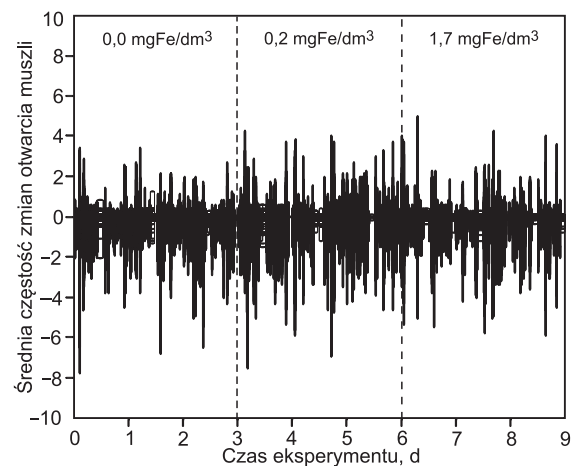


Rys. 3. Średni stopień otwarcia muszli w kolejnych dniach eksperymentu w zależności od zawartości jonów żelaza w wodzie
Fig. 3. Average degree of shell opening in subsequent days of experiment depending on iron ion concentration in water

Częstość zmian otwarcia muszli

Ocena częstości zmian, określona jako różnica między dwoma następującymi po sobie stopniami otwarcia muszli, przyjmowała wartości ujemne (oznaczające zmniejszenie rozwarcia) lub dodatnie (zwiększenie rozwarcia). Wartość równa zero oznaczała brak jakiegokolwiek zmian w danym czasie (rys. 4). W celu ujednoczenia danych, otrzymane każdego dnia wyniki uśredniono i przeliczono na liczbę zmian stopnia otwarcia muszli w ciągu godziny, które zestawiono w tabeli 1.

U wszystkich analizowanych osobników, niezależnie od zawartości jonów żelaza w wodzie, nie odnotowano wyraźnych zmian częstości otwierania muszli. Wyłącznie w próbie kontrolnej w zakresach (0;1) oraz (0;-1) wahania ulegały nieznacznie zwiększeniu o $25 \pm 35\%$.



Rys. 4. Częstość zmian otwarcia muszli w kolejnych dniach eksperymentu w zależności od zawartości jonów żelaza w wodzie
Fig. 4. Frequency of shell movements in subsequent days of experiment depending on iron ion concentration in water

Tabela 1. Średni godzinowy zakres zmian stopnia otwarcia muszli w zależności od zawartości jonów żelaza w wodzie
Table 1. Average hourly changes in the bivalve shell movements with increasing iron ion concentration in water

Zakres zmian, %	Średnia liczba zmian w ciągu godziny przy różnej zawartości jonów żelaza w wodzie		
	0,0 mgFe/dm ³	0,2 mgFe/dm ³	1,7 mgFe/dm ³
(3;4)	0,1	0,2	0,1
(2;3)	0,3	0,4	0,4
(1;2)	2,3	3,0	2,1
(0;1)	371	289	308
0	2802	2886	2867
(0;-1)	12	9	9
(-1;-2)	2,4	2,1	2,2
(-2;-3)	0,6	0,7	0,8
(-3;-4)	0,1	0,3	0,2

Analiza statystyczna

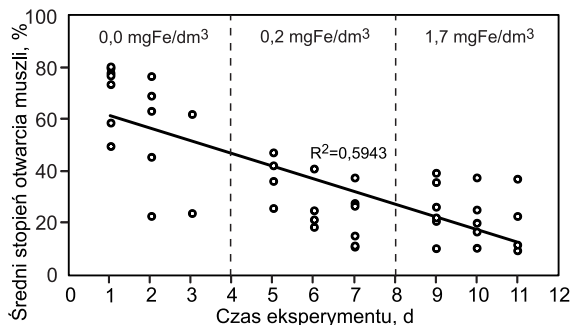
Istotność zaobserwowanych zmian zachowania małży spowodowanych obecnością jonów żelaza w wodzie oceniono statystycznie na podstawie analizy wariancji (ANOVA). Pod uwagę wzięto średni dobowy czas aktywności osobników, stopień otwarcia muszli oraz częstość zmian rozwarcia muszli u wszystkich siedmiu osobników w trzech kolejnych dniach trwania eksperymentu, przy zawartości jonów żelaza w wodzie poniżej $0,04 \text{ mgFe/dm}^3$, $0,2 \text{ mgFe/dm}^3$ oraz $1,7 \text{ mgFe/dm}^3$. Testowana baza danych składała się z 63 elementów ($7 \text{ małży} \times 9 \text{ dób obserwacji}$).

Ze względu na wartość $p < 0,001$ (tab. 2), w przypadku dwóch z trzech analizowanych zmiennych, wykonano dodatkowe analizy post-hoc.

Tabela 2. Statystyczna ocena wpływu zawartości jonów żelaza w wodzie na zachowanie małży (ANOVA)
Table 2. Statistical assessment of impact of ferric concentration in water on bivalves behavior (ANOVA)

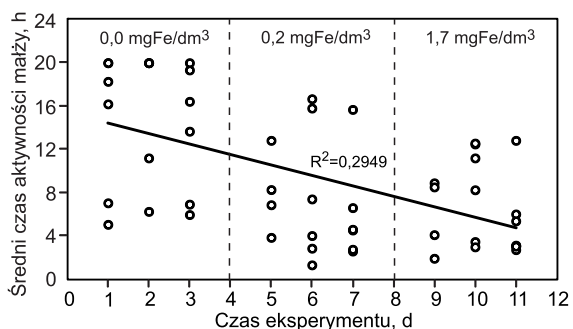
Zmienna	F	p
Średni czas aktywności małży	12,54	<0,0001
Średni stopień otwarcia muszli	30,23	<0,0001
Średnia częstość zmian otwarcia	2,38	0,173

W wypadku średniego stopnia otwarcia muszli, wartości otrzymane przy ilościach żelaza w wodzie równych $1,7 \text{ mgFe/dm}^3$ i $0,2 \text{ mgFe/dm}^3$ istotnie różniły się od wartości uzyskanych w warunkach kontrolnych – $<0,04 \text{ mgFe/dm}^3$ (rys. 3). Podobnie istotne różnice wystąpiły także w przypadku średniego dobowego czasu aktywności małży (rys. 2). Zadowalającym dopasowaniem modelu charakteryzowała się zależność między wzrostem ilości żelaza w wodzie a zmianą średniego dobowego stopnia otwarcia muszli ($R^2=0,594$), natomiast w przypadku czasu aktywności małży współczynnik determinacji R^2 wynosił 0,295. Uzyskane zależności wskazują, że bezpośrednia reakcja małży (zmniejszenie stopnia otwarcia muszli) była adekwatna do zawartości jonów żelaza w wodzie (rys. 5 i 6).



Rys. 5. Zależność między zawartością jonów żelaza w wodzie i średnim dobowym stopniem otwarcia muszli małży w kolejnych dniach eksperymentu

Fig. 5. Correlation between iron ion concentration in water and average daily degree of shell opening in subsequent days of the experiment



Rys. 6. Zależność między zawartością jonów żelaza w wodzie i średnim dobowym czasem aktywności małży w kolejnych dniach eksperymentu

Fig. 6. Correlation between iron ion concentration in water and average daily activity time in subsequent days of the experiment

Dyskusja

Wyniki eksperymentów potwierdzają bioindykacyjną zdolność małży do wykrywania zmian jakości wody. Dotychczas w publikacjach skupiano uwagę głównie na przeżywalności i możliwości akumulacji zanieczyszczeń przez mięczaki w zadanych warunkach środowiska wodnego [3, 15, 16]. Monitorowanie zmian zachowań małży z dokładnością do jednej sekundy rozszerza możliwości interpretacji specyficznych zachowań oraz umożliwia ciągłe monitorowanie zmian jakości wody [11, 12].

Uzyskane wyniki pokazały, że wprowadzanie jonów żelaza(II) do wody spowodowało skrócenie łącznego dobowego czasu aktywności małży i zmniejszenie stopnia otwarcia muszli. Reakcja ta była widoczna już na poziomie dopuszczalnej zawartości tego pierwiastka w wodzie

przeznaczonej do spożycia przez ludzi [1], dzięki czemu można wykorzystać te organizmy w systemach kontroli jakości wody w zakładach wodociągowych.

Przeprowadzona analiza korelacji wykazała, że reakcja małży zmieniała się liniowo wraz ze wzrostem ilości jonów żelaza w wodzie. Właściwość ta wskazuje na możliwość wykorzystania małży w systemach biomonitoringu, co pozwala na sygnalizowanie przekroczenia dopuszczalnej zawartości żelaza w wodzie.

W przeprowadzonych badaniach wykazano istotne zmiany w czasie dobowego funkcjonowania małży pod wpływem jonów żelaza. Wydłużenie czasu spoczynku oraz zmniejszenie średniego stopnia otwarcia muszli wynikają ze specyficznej budowy układu mięśniowego małży [17]. Mięśnie osobników tego gatunku małży spełniają dwa podstawowe zadania – umożliwiają natychmiastowe zamknięcie muszli w sytuacji stresowej, a także pozwalają na utrzymanie jej w tym stanie przez długi czas. Zdolność utrzymania zamkniętej skorupy możliwa jest dzięki dwuczęściowej budowie mięśnia zwieracza. Wydatek energetyczny podczas szybkiej reakcji zachodzący w pierwszej części mięśnia o małej sile zacisku zużywa normalną ilość energii. Druga część mięśnia umożliwia zamknięcie muszli na bardzo długi czas, z wielokrotnie większą siłą zacisku niż w poprzednim przypadku. Wymuszony skurcz toniczny zużywa wówczas minimalną ilość energii. W związku z tym wydłużenie czasu spoczynku małży w wyniku zwiększonej ilości jonów żelaza w wodzie umożliwia zachowanie znacznej ilości energii, wykorzystywanej przez małże podczas filtracji wody. Reakcja na pojawiające się w wodzie zanieczyszczenia wynika z ograniczonej zdolności do wydalania zanieczyszczeń bezpośrednio z nerek, a także innych narządów lub tkanek małży. Konsekwencją tego zjawiska jest wyższa zdolność mięczaków do akumulacji zanieczyszczeń oraz innych substancji toksycznych niż w przypadku reszty bezkręgowców [4]. Z uwagi na ograniczenia w zdolności do metabolizowania substancji toksycznych, małże mogą wykazywać bardzo silną reakcję stresową (w tym przypadku zamknięcie muszli), przy znacznie mniejszej zawartości zanieczyszczeń, w porównaniu do innych bezkręgowców lub kręgowców.

Obecność metali śladowych w wodzie (na przykład miedzi w ilości $30 \mu\text{gCu/dm}^3$ lub ołowiu w ilości około $50 \mu\text{gPb/dm}^3$) może powodować spowolnienie funkcji życiowych lub doprowadzić do śmierci małży w trakcie dłuższej ekspozycji, a także do trwałego uszkodzenia DNA [18]. Brak istotnych różnic w przypadku częstości zmian stopnia otwarcia muszli małży w ciągu doby świadczy o tym, że żelazo nie wpływa w istotny sposób na ich układ nerwowy, natomiast ze względu na znaczną zdolność do bioakumulacji może na skutek długotrwałej ekspozycji prowadzić do uszkodzeń ich organów wewnętrznych [4, 19].

Przedstawiony w artykule system biomonitoringu wykorzystywany jest z powodzeniem w licznych stacjach wodociągowych w kraju i za granicą [10, 12]. W najbardziej zaawansowanych systemach monitoringu jakości wody metoda ta może być realizowana bez konieczności uśmiercania małży i po ukończeniu eksperymentu zwierzęta są wypuszczane do akwenu, z którego były wyławiane. Sposób mocowania magnesu do muszli nie powoduje jej uszkodzeń. Rozwój technologiczny systemów wykorzystujących małże i nowe wyniki badań nad reakcją bioindykacyjną tych zwierząt sprawiają, że ta metoda kontroli jakości wody jest coraz bardziej precyzyjna i możliwa do szerokiego rozpowszechnienia.

Podsumowanie

Przeprowadzony eksperyment wykazał, że obecność zwiększonej ilości jonów żelaza w wodzie powoduje skrócenie łącznego dobowego czasu aktywności małży o kilka godzin oraz zmniejszenie stopnia otwarcia muszli o ponad 20%. Nie zaobserwowano natomiast zróżnicowania częstotliwości zmian otwarcia muszli małży, co świadczy o braku oddziaływania jonów żelaza na układ nerwowy badanych osobników. Stwierdzono także brak stanów letalnych u małży, nawet przy stosunkowo wysokiej ilości jonów żelaza w wodzie.

Badania zostały sfinansowane ze środków pochodzących z V edycji konkursu Ministerstwa Nauki i Szolnictwa Wyższego – „Diamentowy Grant”.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dziennik Ustaw RP* 2015, poz. 1989.
2. K. BOROWIAK, J. ZBIERSKA, D. BARAŁKIEWICZ, A. HANĆ, A. BUDKA, D. KAYZER, A. KAWALA: Bio-monitoring of air pollution by heavy metals using Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L. 'Lema'). *Polish Journal of Environmental Studies* 2014, Vol. 23, No. 3, pp. 681–688.
3. P. RZYMSKI, P. NIEDZIELSKI, P. KLIMASZYK, B. PONIEDZIAŁEK: Bioaccumulation of selected metals in bivalves (Unionidae) and *Phragmites australis* inhabiting a municipal water reservoir. *Environmental Monitoring and Assessment* 2014, Vol. 186, No. 5, pp. 3199–3212.
4. B.A. MARKERT, A.M. BREURE, H.G. ZECHMEISTER: Bioindicators and Biomonitors. Vol. 6. Gulf Professional Publishing, 2003.
5. P.S. RAINBOW: Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 1995, Vol. 31, No. 4, pp. 183–192.
6. P. MATUSZAK, G. GRODZICKI, T. JANKOWSKI, P. MATLAKIEWICZ: Biomonitoring of inland and inshore waters with use of *Dreissena polymorpha* mussels. *Polish Hyperbaric Research* 2015, Vol. 52, No. 3, pp. 49–58.
7. M. DYNOWSKA H. CIECIERSKA [red.]: Biologiczne metody oceny stanu środowiska. Tom I. Ekosystemy lądowe. Podręcznik metodyczny. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn 2013.
8. C. JURA: Bezkręgowce: podstawy morfologii funkcjonalnej, systematyki i filogenezy. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
9. H.J. ALLEN, W.T. WALLER, M.F. ACEVEDO, E.L. MORGAN, K.L. DICKSON, J.H. KENNEDY: A minimally invasive technique to monitor valve-movement behavior in bivalves. *Environmental Technology* 1996, Vol. 17, No. 5, pp. 501–507.
10. R. WILSON, P. REUTER, M. WAHL: Muscling in on mussels: new insights into bivalve behaviour using vertebrate remote-sensing technology. *Marine Biology* 2005, Vol. 147, No. 5, pp. 1165–1172.
11. R. WILSON, A. STEINFURTH, Y. ROPERT-COUDERT, A. KATO, M. KURITA: Lip-reading in remote subjects: An attempt to quantify and separate ingestion, breathing and vocalisation in free-living animals using penguins as a model. *Marine Biology* 2002, Vol. 140, No. 1, pp. 17–27.
12. J.T. HARTMANN, S. BEGGEL, K. AUERSWALD, B.C. STOECKLE, J. GEIST: Establishing mussel behavior as a biomarker in ecotoxicology. *Aquatic Toxicology* 2016, Vol. 170, pp. 279–288.
13. K. PAWĘSKA, B. MALCZEWSKA, A. BAWIEC, A. BAUREK: Zawartość żelaza i manganu oraz wybranych metali ciężkich na przykładzie wód ze studni gospodarczych w gminie Gorzyce. *Inżynieria Ekologiczna* 2016, vol. 49, ss. 131–135.
14. S. SATORA, G. KACZOR: Przestrzenna i czasowa zmienność stężeń jonów żelaza i manganu w wodach triasowych ujęć na terenie mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 2005, nr 1, ss.107–120.
15. C.D. MILAM, J.L. FARRIS: Risk identification associated with iron-dominated mine discharges and their effect upon freshwater bivalves. *Environmental Toxicology and Chemistry* 1998, Vol. 17, No. 8, pp. 1611–1619.
16. C.D. MILAM, J.L. FARRIS, F.J. DWYER, D.K. HARDESTY: Acute toxicity of six freshwater mussel species (Glochidia) to six chemicals: Implications for daphnids and *Utterbackia imbecillis* as surrogates for protection of freshwater mussels (Unionidae). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2005, Vol. 48, No. 2, pp. 166–173.
17. A. SAMEK: Świat muszli. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1976.
18. M. YOUNG: A literature review of the water quality requirements of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) and related freshwater bivalves. Scottish Natural Heritage, Commissioned Report No. 084, 2005.
19. T.J. NEWTON, W.G. COPE: Biomarker responses of unionid mussels to environmental contaminants. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2007, Vol. 26, pp. 2057–2065.

Chmist, J., Szoszkiewicz, K. Attempt at Assessment of *Unio tumidus* Bivalve Mollusks Suitability for Monitoring Water Iron Content. *Ochrona Środowiska* 2017, Vol. 39, No. 2, pp. 39–43.

Abstract: Monitoring of changes in behavioral response of bivalve mollusks can provide a wealth of information on quality of water that could be used in a surveillance system. The aim of this research was to evaluate suitability of *Unio tumidus* bivalve mollusks as bioindicators of water quality in a surveillance system. The experiment involved a 72-hour observation of the mollusks behavior in tap water containing about 0.04 mgFe/dm³ (almost no iron ions), 0.2 mgFe/dm³ (limit value for drinking water) and 1.7 mgFe/dm³ (average iron ion content for the deep sea). Three behavioral variables considered were: time of activity

(time period of water filtering activity), average shell opening degree and its frequency. It was determined that presence of iron ions exceeding the threshold value reduced daily activity time by 5 hours, while the shell opening degree – by over 20%. Variations in frequency of the shell movements were not observed, which might indicate no iron ion impact on the nervous system of the individuals tested. Similarly, lethal states were not demonstrated, even at the relatively high iron concentrations in water. Results of the research conducted demonstrate that the bivalves *Unio tumidus* may be employed in tap water surveillance system for detection of water contamination with iron compounds.

Keywords: Water surveillance system, bioindication, iron, bivalves, *Unio tumidus*.