

Stanisław PIOTROWSKI

e-mail: stanislaw.piotrowski@vp.pl

## Zastosowanie mięczaków słodkowodnych jako wskaźników zanieczyszczenia środowiska wodnego metalami ciężkimi (Cu, Zn, Pb, Co, Cd, Hg)

Badaniami objęto 17 gatunków mięczaków słodkowodnych, z czego dla 14 gatunków oznaczono koncentracje metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Co, Cd i Hg) w tkankach miękkich, a dla 16 gatunków oznaczono stężenia tych pierwiastków chemicznych w muszlach. Łącznie dysponowano wynikami analiz koncentracji metali w 110 próbkach tkanek miękkich i w 119 próbkach muszli. Gatunkami, których tkanki miękkie i muszle najlepiej reagują na zmiany koncentracji metali ciężkich w wodzie i osadach dennych, okazały się: *Anodonta anatina*, *Dreissena polymorpha*, *Lymnaea stagnalis*, *Pseudoanodonta complanata* i *Viviparus contectus*. Drugą grupę, odzwierciedlającą w mniejszym stopniu poziomy metali w środowisku, stanowią cztery gatunki: *Viviparus viviparus*, *Sphaerium solidum*, *Unio pictorum* oraz *Unio tumidus*. Gatunkami najlepiej odzwierciedlającymi poziomy metali w środowisku w poszczególnych układach środowiskowych są: (1) tkanki - woda: *Viviparus contectus*, *Anodonta anatina* oraz *Viviparus viviparus*, (2) tkanki - osady: *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata* i *Viviparus contectus*, (3) muszle - woda: *Dreissena polymorpha*, *Unio pictorum* i *Lymnaea stagnalis*, (4) muszle - osady: *Viviparus viviparus*, *Dreissena polymorpha* i *Sphaerium solidum*. W wodzie powierzchniowej wszystkie sześć badanych metali możemy kontrolować poprzez analizę muszli *Dreissena polymorpha*, a w osadach dennych Cu, Zn, Pb, Cd i Hg poprzez analizę tkanek oraz Co poprzez analizę muszli *Anodonta anatina*. Te dwa gatunki wydają się podstawowe do dalszych prac. Dwa gatunki uważa się za gatunki uzupełniające w dalszych pracach. Są to: *Lymnaea stagnalis* (w wodzie możemy kontrolować Cu, Zn, Pb, Cd poprzez analizę muszli, a w osadach Cu, Pb, Cd poprzez analizę muszli oraz Zn poprzez analizę tkanek), *Viviparus contectus* (w wodzie możemy kontrolować Cu, Co, Cd poprzez analizę tkanek i Pb poprzez analizę muszli, a w osadach Cu, Zn, Co i Cd poprzez analizę tkanek). W toku dalszych prac należy zrezygnować z gatunków, które od 2001 r. są na liście gatunków chronionych w Polsce. Są to: *Sphaerium rivicola*, *Sphaerium solidum*, *Unio crassus*, *Pseudoanodonta complanata* oraz *Anodonta cygnea*.

**Słowa kluczowe:** estuarium Odry, jeziora Pomorza Zachodniego, mięczaki, tkanki miękkie, muszle, woda, osady denne, metale ciężkie

### Wstęp

Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na organizmy zwierzęce uzależnione jest od rodzaju i formy występowania metalu, jego stężenia, drogi wnikania ze środowiska oraz gatunku, wieku i płci danego organizmu. W przypadku organizmów wodnych działanie to zależy ponadto od pH wody, jej zasolenia i twardości. Podwyższona koncentracja metali ciężkich może być przyczyną zaburzeń metabolicznych i funkcjonalnych, prowadzących do zmian chorobowych [1, 2]. Jest to o tyle

ważne, że produkty pochodzenia roślinnego i zwierzęcego stanowią istotne ogniwo także w łańcuchu pokarmowym człowieka [3, 4]. Ponieważ efekt bioakumulacji umożliwia migrację metali ciężkich w łańcuchu troficznym, istnieje możliwość przenoszenia tych elementów w obszary nieraz znacznie oddalone od źródeł zanieczyszczeń, a ich uwolnienie po destrukcji komórek organizmów żywych może stać się przyczyną wtórnego zanieczyszczenia środowiska [5, 6]. Same metale ciężkie nie ulegają rozkładowi i nie są eliminowane z ekosystemów, natomiast ich związki chemiczne ulegają rozkładowi chemiczno-biologicznemu [7].

Osady denne odzwierciedlają ładunek metali wprowadzony do konkretnego środowiska [8]. Mięczaki wodne kontaktują się ze środowiskiem poprzez skrzelą, płaszc, nogę, przewód pokarmowy, oczy. U małych metale dostają się do tkanek miękkich i muszli przez skrzelą, a u ślimaków za pośrednictwem przewodu pokarmowego. Najczęściej metale ciężkie pobierane są wraz z pokarmem lub bezpośrednio z roztworu wodnego. Proporcje te zależą od gatunku. Mięczaki są jednym z ważnych ogniw łańcucha troficznego zarówno w środowiskach lądowych, jak i wodnych. Z reguły pełnią one rolę konsumentów I rzędu i należą na tym poziomie troficznym do zwierząt gromadzących największe ilości metali ciężkich, nawet rzędu kilku tysięcy  $\mu\text{g/g}$  s.m. (ppm) [9-11]. Stwierdzono ponadto wzrost koncentracji metali ciężkich w kierunku od producentów do konsumentów I rzędu. Natomiast na wyższych poziomach troficznych koncentracje metali w organizmach zwierząt nie ulegają większym zmianom [12, 13]. Jeżeli weźmiemy pod uwagę dominację mięczaków pod względem udziału masy w całym zoobentosie oraz ich długie życie, to wyraźnie dostrzeżemy ich rolę i znaczenie w biogeochemicznym obiegu metali. Parleman i Meili [14] twierdzą, że zwierzęta żerujące na osadach dennych lub filtrujące pokarm z wody absorbują więcej metali niż gatunki roślinożerne. W szeregu prac przytacza się też istotną pozytywną korelację pomiędzy koncentracjami metali ciężkich w tkankach miękkich mięczaków a ich poziomem w środowisku [15-21].

Celem prowadzonych przez autora badań było oznaczenie koncentracji wybranych metali ciężkich w tkankach miękkich (całe ciało) i muszlach mięczaków słodkowodnych badanego obszaru oraz określenia ich korelacji do stężeń tych pierwiastków chemicznych w wodzie i osadach dennych estuarium Odry.

## 1. Obszar badań, materiał i metody

Materiał do badań laboratoryjnych został pobrany w latach 1999 i 2000 z następujących rejonów estuarium Odry: Międzyodrze, jezioro Dąbie, Domięża, Rozтока Odrzańska i Zalew Szczeciński. Dla celów porównawczych pobrano też próbki z jezior: Ostrów, Kiełbiczne, Wełtyńskie, Binowo i Miedwie (tab. 1).

Poboru próbek mięczaków dokonywano na każdym stanowisku za pomocą drągi. Po pobraniu mięczaki przenoszono do wody z miejsca ich pobrania i przetrzymywano przez 24 godziny. Przez cały czas woda była natleniana. Celem tego procesu było oczyszczenie i całkowite wydalenie zawartości jelita, które może za-

wierać strawione i niestrawione pożywienie, a także oczyszczenie powierzchni muszli z epifauny i przylegającego osadu.

Stanowiska badawcze były lokalizowane za pomocą systemu nawigacji satelitarnej GPS firmy Trimble Navigation.

Oznaczenia gatunkowe mięczaków dokonano na podstawie cech muszli w oparciu o kryteria podane w pracach [22, 23]. Do celów porównawczych wykorzystano także kolekcję mięczaków słodkowodnych Polski zakupioną u Prof. A. Piechockiego. Nazewnictwo większości gatunków podano zgodnie z Fauna Europea [24], ale z pewnymi wyjątkami. Przygotowanie próbek mięczaków do analiz chemicznych podejmowano po oczyszczeniu muszli, dla każdego stanowiska dokonano pomiarów długości (małże) i wysokości (ślímaki) muszli. Następnie próbki gotowano w celu oddzielenia tkanek miękkich od muszli. Tak otrzymany materiał przemywano wodą destylowaną, a następnie suszono do stałej masy w temperaturze 55÷60°C. Po wysuszeniu próbki mielono w młynku agatowym. Jako próbkę z danego stanowiska rozumie się wszystkie żywe osobniki danego gatunku, jakie zostały pobrane na danym stanowisku.

Wszystkie analizy koncentracji metali ciężkich w muszlach mięczaków zostały wykonane w Centrum Badań Jakości Sp. z o.o. KGHM Polska Miedź S.A. Oznaczenia Cu, Zn, Pb, Co i Cd dokonano techniką ICP-AES na spektrometrze plazmowym typu Liberty. Rtęć oznaczono za pomocą generatora wodoroków (metoda zimnych par) techniką CV-AES. Możliwości graniczne oznaczeń poszczególnych metali wynosiły: Cu - 0,005 ppm, Pb - 0,02 ppm, Zn - 0,002 ppm, Cd i Co - 0,003 ppm i Hg - 0,005 ppm [3, 25-27]. Badaniami objęto 17 gatunków, z czego dla 14 gatunków oznaczono koncentracje metali w tkankach miękkich, a dla 16 gatunków oznaczono stężenia tych pierwiastków chemicznych w muszlach. W przypadku tkanek miękkich dla 11 gatunków wykonano co najmniej analizę 3 próbek. W pozostałych przypadkach analizowano po 1 próbce (3 gatunki). Z kolei w przypadku muszli dla 11 gatunków wykonano analizy metali dla co najmniej 2 próbek, zaś dla 5 gatunków analizowano tylko po jednej próbce. Łącznie dysponowano wynikami analiz metali w 110 próbkach tkanek miękkich i w 119 próbkach muszli (tab. 1). Na podstawie wszystkich zgromadzonych danych przedstawiono gatunki, które najlepiej rejestrują zmiany stężeń metali w środowisku wodnym (woda i osady) i zaproponowano listę gatunków, które mogą być wykorzystane w monitoringu biologicznym rozumianym jako wykorzystanie organizmów żywych jako „czujników” przy pomiarach jakości wody i/lub osadu i zgodności z normami, a także do wykrywania zmian przy skażeniach lub zmian w organizmach wodnych oraz do wskazania, czy życie biologiczne w środowisku wodnym może być zagrożone. We wnioskach końcowych przedstawiono kierunki dalszych badań.

Dalszy tok postępowania statystycznego opracowania wyników przebiegał następująco. Dla co najmniej trzech gatunków, w których oznaczano koncentracje metali ciężkich, określono relacje tychże koncentracji w odniesieniu do stężenia metali ciężkich w wodzie i osadach. W przypadku statystycznej relacji istotnej na poziomie istotności 0,05 przyporządkowano 1 punkt, na poziomie istotności 0,10 - 0,5 punktu, a w przypadku mniejszej istotności - 0 punktów. Na tej podsta-

wie zestawiono tabelę oceny sumarycznej odzwierciedlającej relacje koncentracji metali ciężkich poszczególnych gatunków w odniesieniu do stężeń tych pierwiastków w wodzie i osadach (tab. 2).

Tabela 1. Ilość analizowanych próbek tkanek miękkich i muszli badanych mięczaków oraz obszar ich pochodzenia: n - liczba analizowanych próbek; obszar pochodzenia próbek: estuarium Odry: M - Międzyodrze, JD - jezioro Dąbie, D - Dociąża, R - Rostoka Odrzańska, Z - Zalew Szczeciński, jeziora Pomorza Zachodniego: JO - jezioro Ostrów, JK - jezioro Kielbiczne, JW - jezioro Weltyńskie, JB - jezioro Binowo; JM - jezioro Miedwie

Table 1. Quantity of the analysed samples of soft tissues and shells of studied molluscs and their area of origin: n - the number of analysed samples; the area of the origin of samples: the Odra River estuary: M - Międzyodrze, JD - the Dąbie Lake, D - Dociąża, R - Rostoka Odrzańska, Z - Zalew Szczeciński, the lakes of the Western Pomerania: JO - the Ostrów Lake, JK - the Kielbiczne Lake, JW - the Weltyńskie Lake, JB - the Binowo Lake; JM - the Miedwie Lake

Gatunek (symbol nazwy) Species (Symbol of name)		n (obszar badań)/n (study area)	
		Tkanki miękkie (Soft tissues)	Muszle (Shells)
Małże (BIVALVIA):			
1	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771) (Dp)	27 (M, JD, D, R, Z, JO, JK, JW, JB, JM)	38 (M, JD, D, R, Z, JO, JK, JW, JB, JM)
2	<i>Anodonta anatina</i> (L.) (Aa)	20 (M, JD, D, R, Z, JM)	12 (M, JD)
3	<i>Anodonta cygnea</i> (L.) (Ac)	1 (JD)	1 (JD)
4	<i>Pseudoanodonta complanata</i> (Rossmäslers, 1835) (Pc)	5 (M, R)	7 (M, R, JW)
5	<i>Unio pictorum</i> (L.) (Up)	14 (M, JD, D, R, Z)	11 (M, JD, D, R, Z)
6	<i>Unio tumidus</i> Philipson, 1788 (Ut)	4 (JD, D, R, Z)	9 (M, JD, D, R, Z, JO, JW)
7	<i>Unio crassus</i> Philipson, 1788 (Uc)	0	1 (R)
8	<i>Sphaerium solidum</i> (Normand, 1844) (Ss)	7 (JD, D, R, Z)	8 (M, JD, D, R, Z)
9	<i>Sphaerium rivicola</i> (Lamarck, 1818) (Sr)	3 (D, R)	2 (D, R)
Ślimaki (GASTROPODA):			
10	<i>Viviparus viviparus</i> (L.) (Vv)	14 (M, JD, D, R)	11 (M, JD, D, R)
11	<i>Viviparus contectus</i> (Millet, 1813) (Vc)	6 (JD, R, JO, JK)	7 (JD, R, JO, JK)
12	<i>Lymnaea stagnalis</i> (L.) (Ls)	4 (JD, Z, JK, JW, JB)	7 (JD, R, Z, JK, JW, JB)
13	<i>Lymnaea auricularia</i> (L.) (La)	3 (JW, JB, JM)	1 (JW)
14	<i>Lymnaea peregra</i> (O.F.Müller, 1774) (Lp)	1 (JM)	0
15	<i>Planorbarius corneus</i> (L.) (Plc)	1 (JK)	1 (JK)
16	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (L.) (Tf)	0	1 (R)
17	<i>Lithoglyphus naticoides</i> (Pfeiffer, 1828) (Ln)	0	2 (M, R)

Tabela 2. Ocena sumaryczna poszczególnych gatunków w układach środowiskowych  
n.b. - nie badanoTable 2. The summary score of species in individual environment arrangements  
n.b. - it was not studied

	Gatunek Species	Diagram środowiskowy Environmental arrangements				Suma punktów Total points
		Tkanki - woda Tissues - water	Tkanki - osady Tissues - sediments	Musze - woda Shells - water	Musze - osady Shells - sediments	
1	<i>Anodonta anatina</i>	2,5	4,5	3,5	2	12,5
2	<i>Dreissena polymorpha</i>	1,5	2	5	4	12,5
3	<i>Lymnaea stagnalis</i>	2,5	2	4	3	11,5
4	<i>Pseudoanodonta complanata</i>	2	3,5	2	3	10,5
5	<i>Viviparus contectus</i>	3	4	2	1,5	10,5
6	<i>Sphaerium solidum</i>	2	1,5	1,5	4	9
7	<i>Viviparus viviparus</i>	2	2	0	4,5	8,5
8	<i>Unio pictorum</i>	1,5	1,5	4	1,5	8,5
9	<i>Unio tumidus</i>	0,5	1,5	1	1,5	4,5
10	<i>Lymnaea auricularia</i>	0	2	(n.b.)	(n.b.)	2
11	<i>Sphaerium rivicola</i>	0,5	0	(n.b.)	(n.b.)	0,5

## 2. Wyniki badań i dyskusja

W badaniach terenowych praktycznie niemożliwe jest takie wyznaczenie stanowisk badawczych, by na każdym z nich pobierać próbki o bardzo zbliżonym składzie gatunkowym, o podobnej liczebności poszczególnych gatunków oraz o zbliżonych wielkościach okazów, a tym samym o zbliżonej strukturze wiekowej poszczególnych gatunków. W pracy przyjęto oznaczać koncentracje metali w tak zwanych próbkach niesortowanych, czyli takich, które obejmują stosunkowo dużo okazów o różnych rozmiarach. To udało się tylko dla dwóch gatunków: *Dreissena polymorpha* i *Sphaerium solidum*, dla których analizowane próbki liczyły po 100 okazów. Dla pozostałych gatunków dysponowano próbkami obejmującymi od 1 do 31 okazów. Na każdym stanowisku pobierano do analiz próbki wody i osadów (frakcja <0,20 mm), dla których również dokonano oznaczeń metali ciężkich [3, 24, 25]. Na podstawie zgromadzonych danych określono statystyczne prawidłowości koncentracji metali w tkankach i muszlach badanych gatunków. Następnie określono zależności pomiędzy koncentracjami metali w tkankach i muszlach. W dalszej kolejności zbadano relacje pomiędzy koncentracjami metali w tkankach i muszlach a stężeniami tych pierwiastków chemicznych w wodzie powierzchniowej i osadach.

## 2.1. Relacje pomiędzy koncentracjami metali w tkankach miękkich i wodzie

Zmiany stężeń Cd w wodzie rejestrowane są przez tkanki sześciu z jedenastu badanych gatunków: *Dreissena polymorpha*, *Anodonta anatina*, *Viviparus viviparus*, *Viviparus contectus*, *Unio tumidus*, *Lymnaea stagnalis*. Zmiany stężeń Cu rejestruje pięć gatunków: *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata*, *Unio pictorum*, *Viviparus viviparus*, *Viviparus contectus*. Co i Hg po cztery gatunki: Co - *Viviparus viviparus*, *Viviparus contectus*, *Sphaerium solidum*, *Pseudoanodonta complanata*; Hg - *Sphaerium solidum*, *Sphaerium rivicola*, *Unio pictorum*, *Dreissena polymorpha*. Zn dwa gatunki: *Lymnaea stagnalis*, *Anodonta anatina*, zaś zmiany stężeń Pb w wodzie rejestrują tylko tkanki *Lymnaea stagnalis*. Z sześciu analizowanych metali zmiany ich koncentracji w wodzie, najwięcej po trzy, rejestrują następujące gatunki: *Anodonta anatina* (Cu, Zn, Cd), *Viviparus viviparus*, *Viviparus contectus* (Cu, Co, Cd) oraz *Lymnaea stagnalis* (Zn, Pb, Cd). Zmiany koncentracji dwóch metali rejestrują cztery gatunki: *Sphaerium solidum* (Co, Hg), *Unio pictorum* (Cu, Hg), *Pseudoanodonta complanata* (Cu, Co), *Dreissena polymorpha* (Cd, Hg). Zmiany jednego metalu rejestrują dwa gatunki: *Unio tumidus* (Cd) i *Sphaerium rivicola* (Hg). Dla *Lymnaea auricularia* nie stwierdzono istotności zmian koncentracji żadnego z sześciu analizowanych metali w tkankach od ich poziomu w wodzie. Gatunkami, których tkanki miękkie najlepiej reagują na zmiany ciężkich w wodzie, są: *Viviparus contectus*, *Anodonta anatina* i *Lymnaea stagnalis*. Drugą grupę, powiązaną już w mniejszym stopniu ze środowiskiem wodnym, stanowią: *Sphaerium solidum*, *Pseudoanodonta complanata* i *Viviparus viviparus* [25].

## 2.2. Relacje pomiędzy koncentracjami metali w tkankach miękkich i osadach

Zmiany koncentracji Zn i Pb w osadach odzwierciedlają zmiany metali w tkankach sześciu z jedenastu badanych gatunków mięczaków: Zn - *Viviparus contectus*, *Lymnaea stagnalis*, *Lymnaea auricularia*, *Sphaerium solidum*, *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata*, Pb - *Lymnaea auricularia*, *Sphaerium solidum*, *Unio tumidus*, *Unio pictorum*, *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata*. Zmiany koncentracji Cu, Cd, Hg rejestruje po pięć gatunków: Cu - *Viviparus contectus*, *Lymnaea stagnalis*, *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata*, *Dreissena polymorpha*, Cd - *Viviparus contectus*, *Viviparus viviparus*, *Lymnaea stagnalis*, *Unio tumidus*, *Anodonta anatina*, Hg - *Viviparus viviparus*, *Unio pictorum*, *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata*, *Dreissena polymorpha*. Zmiany koncentracji Co rejestrują trzy gatunki: *Viviparus contectus*, *Viviparus viviparus*, *Pseudoanodonta complanata*. Z sześciu analizowanych metali zmiany ich koncentracji w osadach najwięcej, po pięć, rejestrują następujące gatunki: *Anodonta anatina* (Cu, Zn, Pb, Cd, Hg) oraz *Pseudoanodonta complanata* (Cu, Zn, Pb, Co, Hg). Zmiany czterech metali (Cu, Zn, Co, Cd) rejestruje *Viviparus contectus*. Zmiany trzech metali rejestrują: *Viviparus viviparus* (Co, Cd, Hg) i *Lymnaea stagnalis* (Cu, Zn, Cd). Z kolei zmiany dwóch metali rejestruje pięć gatunków: *Lymnaea auricu-*

*laria* (Zn, Pb), *Sphaerium solidum* (Zn, Pb), *Unio pictorum* (Pb, Hg), *Unio tumidus* (Pb, Cd) i *Dreissena polymorpha* (Cu, Hg). W przypadku *Sphaerium rivicola* nie stwierdzono istotności linii trendów obrazujących zmiany koncentracji sześciu badanych metali w tkankach od ich poziomu w osadach. Gatunkami, których tkanki miękkie najlepiej odzwierciedlają zmiany poziomu metali ciężkich w osadach, są: *Anodonta anatina*, *Viviparus contectus* i *Pseudoanodonta complanata*. Drugą grupę, powiązaną już w mniejszym stopniu, stanowią: *Dreissena polymorpha*, *Viviparus viviparus*, *Lymnaea stagnalis* i *Lymnaea auricularia* [26].

### 2.3. Relacje pomiędzy koncentracjami metali w muszlach i wodzie

Zmiany koncentracji Pb w wodzie są odzwierciedlane przez zmiany stężenia tego metalu w muszlach siedmiu z dziewięciu badanych gatunków: *Viviparus contectus*, *Lymnaea stagnalis*, *Unio pictorum*, *Unio tumidus*, *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata*, *Dreissena polymorpha*. Zmiany koncentracji Zn w wodzie są odzwierciedlane przez zmiany jego stężenia w muszlach pięciu gatunków: *Lymnaea stagnalis*, *Sphaerium solidum*, *Unio pictorum*, *Anodonta anatina*, *Dreissena polymorpha*. Zmiany koncentracji Cd odzwierciedlają muszle czterech gatunków: *Viviparus contectus*, *Lymnaea stagnalis*, *Sphaerium solidum*, *Dreissena polymorpha*. Z kolei zmiany koncentracji Cu, Co i Hg w wodzie odzwierciedlają stężenia tych pierwiastków chemicznych w muszlach trzech gatunków: Cu - *Lymnaea stagnalis*, *Anodonta anatina*, *Dreissena polymorpha*, Co - *Unio pictorum*, *Pseudoanodonta complanata*, *Dreissena polymorpha*, Hg - *Unio pictorum*, *Anodonta anatina*, *Dreissena polymorpha*. W relacji muszle - woda powierzchniowa, analizując zebrane dane dla 9 gatunków (6 gatunków małży i 3 gatunków ślimaków, tab. 2), stwierdzamy, że jedynie muszle *Dreissena polymorpha* odzwierciedlają zmiany koncentracji wszystkich analizowanych metali w wodzie powierzchniowej. W drugiej grupie, już mniej odzwierciedlającej zmiany koncentracji metali w wodzie, są muszle trzech gatunków: *Unio pictorum* (Zn, Pb, Co, Hg), *Lymnaea stagnalis* (Cu, Zn, Pb, Cd), *Anodonta anatina* (Cu, Zn, Pb, Hg). Odzwierciedlenie dwóch metali rejestrują muszle: *Sphaerium solidum* (Zn, Cd) oraz *Viviparus contectus* (Pb, Cd). Zmiany koncentracji jednego metalu z kolei rejestrują muszle *Unio tumidus* (Pb). Jedynie muszle *Viviparus viviparus* w żadnym przypadku nie odzwierciedlają stężeń badanych metali w wodzie powierzchniowej.

### 2.4. Relacje pomiędzy koncentracjami metali w muszlach i osadach dennych

Muszle żadnego z gatunków nie odzwierciedlają zmian koncentracji wszystkich sześciu metali w osadach. Największą liczbę metali odzwierciedlają muszle *Viviparus viviparus* (Cu, Zn, Pb, Cd, Hg). Zmiany koncentracji czterech metali rejestrują dwa gatunki: *Dreissena polymorpha* (Pb, Co, Cd, Hg) oraz *Sphaerium solidum* (Zn, Co, Cd, Hg). Zmiany trzech metali odzwierciedlają muszle czterech gatunków: *Anodonta anatina* (Zn, Co, Hg), *Unio tumidus* (Pb, Co, Cd), *Pseudo-*

*anodonta complanata* (Pb, Cd, Hg) oraz *Lymnaea stagnalis* (Cu, Pb, Cd). Z kolei zmiany dwóch metali odzwierciedlają muszle dwóch gatunków: *Unio pictorum* (Zn, Co) oraz *Viviparus contectus* (Co, Cd). Najwięcej gatunków z 9 objętych postępowaniem statystycznym, bo aż siedem (tab. 2), rejestruje w muszlach zmiany koncentracji Cd w osadach: *Viviparus contectus*, *Viviparus viviparus*, *Lymnaea stagnalis*, *Sphaerium solidum*, *Unio tumidus*, *Pseudoanodonta complanata*, *Dreissena polymorpha*. Zmiany koncentracji Co rejestruje sześć gatunków: *Viviparus contectus*, *Sphaerium solidum*, *Anodonta anatina*, *Unio tumidus*, *Unio pictorum*, *Dreissena polymorpha*. Zmiany poziomu Pb i Hg w osadach odzwierciedlają muszle pięciu gatunków: Pb - *Viviparus viviparus*, *Lymnaea stagnalis*, *Unio tumidus*, *Pseudoanodonta complanata*, *Dreissena polymorpha*, Hg - *Viviparus viviparus*, *Lymnaea stagnalis*, *Sphaerium solidum*, *Anodonta anatina*, *Dreissena polymorpha*. Po trzy gatunki rejestrują zmiany w osadach Cu i Zn: Cu - *Viviparus viviparus*, *Lymnaea stagnalis*, *Unio pictorum*, Zn - *Viviparus viviparus*, *Sphaerium solidum*, *Anodonta anatina*.

W relacji koncentracji metali ciężkich w tkankach miękkich i muszlach w stosunku do stężeń tych elementów chemicznych w wodzie powierzchniowej i osadach najmniejszą ilość statystycznie istotnych linii trendu stwierdza się w relacji tkanki - woda (33% możliwości; jako 100% przyjęto obecność wszystkich linii trendu na poziomie 0,05). W pozostałych układach ilość ta wynosi od 45 do 46%. Na poziomie istotności 0,05 najmniejszą ilość istotnych linii trendu stwierdza się dla układu tkanki - woda (18%), a w pozostałych układach ilość ta wynosi od 29 (tkanki - osady) do 37% (muszle - woda).

Dokonano oceny możliwości zastosowania poszczególnych gatunków mięczaków (ich tkanek miękkich i muszli) pod kątem ich przydatności jako organizmów wskaźnikowych odzwierciedlających koncentracje metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Co, Cd, Hg) w wodzie powierzchniowej i osadach dennych w ten sposób, że liniom trendu na poziomie istotności 0,05 przypisano 1 punkt, a liniom trendu na poziomie 0,10-0,5 punktu. Maksymalnie więc poszczególne gatunki mogły uzyskać 24 punkty. Gatunki najbardziej powiązane ze środowiskiem uzyskały co najwyżej 12,5 punktu (tab. 2). Okazuje się, że gatunkami, których tkanki miękkie i muszle najlepiej reagują na zmiany koncentracji metali ciężkich w wodzie i osadach, są: *Anodonta anatina*, *Dreissena polymorpha*, *Lymnaea stagnalis*, *Pseudoanodonta complanata* i *Viviparus contectus*. Drugą grupę, powiązaną już w mniejszym stopniu ze środowiskiem, stanowią cztery gatunki: *Viviparus viviparus*, *Sphaerium solidum*, *Unio pictorum* oraz *Unio tumidus*. Istotne jest tutaj to, że dla tych gatunków analizowano więcej próbek niż dla trzech ostatnich gatunków z pierwszej grupy (tab. 1), a mimo to znaleziono mniej istotnych wzajemnych relacji stężeń metali w tkankach i muszlach w odniesieniu do koncentracji tych elementów chemicznych w wodzie i osadach. Trzecią i ostatnią grupę stanowią dwa gatunki: *Lymnaea auricularia* i *Sphaerium rivicola*. Ponieważ dla tych gatunków analizowano od jednej do trzech próbek, stąd na tym etapie nie można wyciągać daleko idących wniosków i nie można odrzucić tych gatunków z toku dalszych prac.



## Podsumowanie

Z przedstawionych wyżej danych wynika, że gatunkami najbardziej powiązanymi ze środowiskiem w poszczególnych układach są:

- tkanki - woda: *Viviparus contectus*, *Anodonta anatina*, *Viviparus viviparus*,
- tkanki - osady: *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata*, *Viviparus contectus*,
- muszle - woda: *Dreissena polymorpha*, *Unio pictorum*, *Lymnaea stagnalis*,
- muszle - osady: *Viviparus viviparus*, *Dreissena polymorpha*, *Sphaerium solidum*.

Z oceny sumarycznej wynika (tab. 2), iż w wodzie powierzchniowej wszystkie sześć badanych metali możemy kontrolować poprzez analizę muszli *Dreissena polymorpha*, a w osadach dennych Cu, Zn, Pb, Cd i Hg poprzez analizę tkanek oraz Co poprzez analizę muszli *Anodonta anatina*. Te dwa gatunki uważa się za podstawowe do dalszych prac. Dwa gatunki uważa się za uzupełniające/rezerwowe. Są to: *Lymnaea stagnalis* (w wodzie możemy kontrolować Cu, Zn, Pb, Cd poprzez analizę muszli, a w osadach Cu, Pb, Cd poprzez analizę muszli oraz Zn poprzez analizę tkanek) oraz *Viviparus contectus* (w wodzie Cu, Co, Cd poprzez analizę tkanek i Pb poprzez analizę muszli, a w osadach Cu, Zn, Co, Cd poprzez analizę tkanek). W toku dalszych prac należy zrezygnować z pięciu gatunków, które od 2001 roku są na liście gatunków chronionych w Polsce [28]. Są to: *Sphaerium rivicola*, *Sphaerium solidum*, *Unio crassus*, *Pseudoanodonta complanata* oraz *Anodonta cygnea*.

Z uwagi na fakt, iż mięczaki słodkowodne mają ograniczone zasięgi geograficznego występowania, należy dla poszczególnych regionów czy państw opracować listy gatunków wytypowanych do dalszych prac, a także jednolitą czy też zbliżoną metodykę poboru próbek, ich przechowywania, przygotowania do analiz i wskazania, które elementy budowy mięczaków poddać analizie, tak by wyniki mogły być porównywalne. Wydaje się celowe, by przed tym etapem wykonać analizy metali ciężkich dla wybranych gatunków, w zależności od ich wieku, rozmiarów oraz analizowanych ich części - tkanki miękkie w całości czy wybrane organy oraz muszle. W przypadku małży nie powinno być problemów z określeniem wieku poszczególnych okazów z uwagi na dość dobrze zarysowane pierścienie przyrostowe. Inaczej sprawa będzie się przedstawiać, jeżeli chodzi o ślimaki, na których trudniej wskazać odpowiednie roczne elementy przyrostu muszli. Na pewno interesujące będzie oznaczenie metali ciężkich w poszczególnych latach wzrostu muszli. Tutaj przydatne mogą być muszle z rodziny *Unionidae*, a zwłaszcza *Anodonta anatina*, jak również *Dreissena polymorpha*. Należy również określić zależności koncentracji metali od rozmiarów poszczególnych osobników. W przypadku estuarium Odry wraz z przesuwaniami się na południe osobniki *Dreissena polymorpha* są coraz większe (badania autora - niepublikowane). W konsekwencji należy zdecydować, czy analizować próbki mięczaków o zbliżonych rozmiarach, czy o zbliżonym wieku, czy też np. sto losowo wybranych osobników. W tym ostatnim przypadku metodycznie nie sprawiają trudności osobniki *Dreissena polymorpha*, które maso-

wo występują na badanym obszarze, jak również w innych regionach. Z kolei duże osobniki mięczaków takich jak: *Anodonta anatina*, *Dreissena polymorpha*, *Viviparus viviparus*, *Viviparus contectus*, *Lymnaea stagnalis*, *Lymnaea auricularia*, *Unio pictorum* czy *Unio tumidus*, pozwalają oznaczyć koncentrację metali ciężkich w pojedynczych okazach. Jednakże dla gatunków metrycznie mniejszych, a stąd i masowo nieznacznych/o niskiej masie, będziemy musieli zdecydować, jaki materiał będzie analizowany i czy w ogóle ich ilość na danym stanowisku pozwoli na wykonanie analiz. Również należy zdecydować, czy analizować całe ciało mięczaków (w tej pracy tkanki miękkie), czy też poszczególne, wytypowane organy. Celowe wydaje się stworzenie listy gatunków do dalszych prac, w której podamy gatunki główne i gatunki rezerwowe. Chodzi o możliwość porównywania danych pochodzących z różnych środowisk, przy czym należy uwzględnić możliwość niewystępowania danego gatunku na określonym terenie. Ponadto w jednym obszarze, jakim jest np. estuarium Odry, trudno jest zaplanować stanowiska badawcze tak, by na każdym z nich pobrać malakofaunę o zbliżonym składzie gatunkowym, o zbliżonych liczebnościach poszczególnych gatunków oraz o ich zbliżonych rozmiarach i strukturze wiekowej. Zasadne więc wydaje się, by w pierwszej kolejności rozpoznać miejsca o największej różnorodności biologicznej malakofauny.

### Podziękowania

*Badania finansowane były przez KBN - grant Nr 6 PO4F 049 17, WFOŚiGW w Szczecinie - grant Nr 186/02/OP-PO/D oraz w ramach badań własnych Uniwersytetu Szczecińskiego - Nr 504-231001-707.*

### Literatura

- [1] Brown P.L., Jeffree R.A., Markich S.J., Kinetics of Ca-45, Co-60, Pb-210, Mn-54 and Cd-109 in the tissue of the freshwater bivalve *Velesunio angasi*. *The Science of the Total Environment*, 1996, 188, 139-166.
- [2] Mountouris A., Voutsas E., Tassios D., Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. *Marine Pollution Bulletin* 2002, 44, 10, 1136-1141.
- [3] Piotrowski S., Stopień akumulacji metali w tkankach miękkich mięczaków ujścia Odry i wybranych jezior Pomorza Zachodniego, *Gospodarka Wodna* 2009, 1, 34-38.
- [4] Storelli M.M., Marcotrigiano G.O., Heavy metals (Hg, Pb, Cd And Cr) in edible snails, *Ital. J. Food Sci.* 2001, 4(13), 399-404.
- [5] McGeer J.C., Brix K.V., Skeaff J.M., DeFores D.K., Brigham S.L., Adams W.J. & Green A., Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: Implication for hazard assessment of metals in the aquatic environment, *Environmental Toxicology and Chemistry* 2007, 22, 5, 1017-1037.
- [6] El-Sikaily A., Khaled A., El-Nemr A., Heavy metals monitoring using bivalves from Mediterranean Sea and Red Sea, *Environmental Monitoring and Assessment* 2004, 98, 1-3, 41-58.
- [7] Linde A.R., Arribas P., Sanchez-Galan S., Garcia-Vazquez F., Eel (*Anguilla anguilla*) and brown trout (*Salmo trutta*) target species to assess the biological impact of trace metal pollution in freshwater ecosystems, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1996, 31, 297-302.

- [8] Muntau G.R., Baudo P.S., Sources of cadmium, its distribution and turnover in the freshwater environment, IARC Scientific Publications 1992, 118, pp. 133.
- [9] Bias R., Karbe L., Bioaccumulation and partitioning of cadmium within the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* Pallas, *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* 1985, 70, 113-125.
- [10] Jurkiewicz-Karnkowska E., Accumulation of zinc and copper in molluscs from the Zegrzyński Reservoir and the Narew River, *Ekol. Pol.* 1989, 37 (3-4), 347-357.
- [11] Jurkiewicz-Karnkowska E., Occurrence of molluscs in the littoral zone of the Zegrzyński Reservoir and in the pre-mouth and mouth zones of supplying rivers, *Ekol. Pol.*, 1989, 37, 319-336.
- [12] Burrows G., Whitton B.A., Heavy metals in water, sediments and invertebrates from a metal contaminated river free of organic pollution, *Hydrobiologia* 1993, 106, 263-273.
- [13] Laskowski R. & Maryański M. Heavy metals in epigeic fauna: trophic level and physiological hypothesis, *Bull. Environ. Contain. Toxicol.* 1993, 50, 232-240.
- [14] Parleman H., Meili M. Mercury in macroinvertebrates from Swedish forest lakes: influence of lake type, habitat, life cycle and food quality, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993, 50, 521-534.
- [15] Salanki J., Van-Balogh K., Physiological background for using freshwater mussels in monitoring copper and lead pollution, *Hydrobiologia* 1989, 188/189, 445-454.
- [16] Salazar M.H., Critical evaluation of bivalve molluscs as a biomonitoring tool for the mining industry in Canada, [in:] Stewart H., Malley S., *Technical Evaluation of Molluscs as a biomonitoring Tool for the Canadian Mining Industry, CANMET-Aquatic Effects Technology Evaluation (AETE) Program 1997, Project 2.3.1., Part II*, 164-248.
- [17] Salazar M.H., Salazar S.M., Using caged bivalves to characterize exposure and effects associated with pulp and paper mill effluents, *Water Science and Technology* 1997, 35 (2-3), 213-220.
- [18] Van-Balogh K., Comparison of mussels and crustacean plankton to monitor heavy metal pollution, *Water Air Soil Pollut.* 1988, 281-292.
- [19] Wiesner L., Gunther B., Fenske C., Temporal and spatial variability in the heavy metal content of *Dreissena polymorpha* (Pallas) (Mollusca: Bivalvia) from the Kleines Haff (northeastern Germany), *Hydrobiologia* 2001, 443(1-3), 137-145.
- [20] Gundacker C., Tissue-specific heavy metal (Cd, Pb, Cu, Zn) deposition in a natural population of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* PALLAS, *Chemosphere* 1999, 38, 3339-3356.
- [21] Gundacker C., Comparison of heavy metal bioaccumulation in freshwater molluscs of urban river habitats in Vienna, *Environ. Pollut.* 2000, 110 (1), 61-71.
- [22] Piechocki A., Mięczaki (Mollusca), Ślimaki (Gastropoda), *Fauna Słodkowodna Polski*, PWN Warszawa-Poznań 1979, 7.
- [23] Piechocki A., Dyduch-Falniowska A., Mięczaki. Małże, PTH & PWN, Warszawa 1993.
- [24] *Fauna Europea 2010*, www.faunaeur.org
- [25] Piotrowski S., *Viviparus viviparus* (L.) jako organizm wskaźnikowy odzwierciedlający poziomy metali ciężkich w wodzie i osadach dennych, *Gospodarka Wodna* 2010, 4, 163-170.
- [26] Piotrowski S., Relacje pomiędzy koncentracjami metali ciężkich tkankach mięczaków słodkowodnych a stężeniami tych metali w wodzie i osadach dennych w obszarze estuarium Odry i wybranych jezior Pomorza Zachodniego, *Gospodarka Wodna* 2010, 11, 454-468.
- [27] Piotrowski S., Przydatność *Anodonta anatina* (L.) jako organizmu wskaźnikowego odzwierciedlającego poziomy metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Co, Cd, Hg) w wodzie i osadach dennych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2010, 13, 4, 259-277.
- [28] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 września 2001 r. w sprawie określenia listy gatunków zwierząt rodzimych dziko występujących objętych ochroną gatunkową ścisłą i częściową oraz zakazów dla danych gatunków i odstępstw od tych zakazów, *DzU*, Nr 130, 1456.

## The Application of Freshwater Molluscs as Indicators of Water Environment Contamination with Heavy Metals (Cu, Zn, Pb, Co, Cd, Hg)

The research was applied to 17 species of freshwater molluscs, for 14 species the concentration of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Co, Cd and Hg) was marked in soft tissues, and for 16 species the concentration of these metals was marked in shells. This study is based on the analysis of 110 samples of soft tissues and 119 samples of shells. The species that best react to the changes in concentration of the heavy metals in water and sediments are: *Anodonta anatina*, *Dreissena polymorpha*, *Lymnaea stagnalis*, *Pseudoanodonta complanata* and *Viviparus contectus*. The second group, which is less related with the environment, are four species: *Viviparus viviparus*, *Sphaerium solidum*, *Unio pictorum* and *Unio tumidus*. The species most related with the environment in individual arrangements are: (1) tissues - water: *Viviparus contectus*, *Anodonta anatina* and *Viviparus viviparus*, (2) tissues - sediments: *Anodonta anatina*, *Pseudoanodonta complanata* and *Viviparus contectus*, (3) shells - water: *Dreissena polymorpha*, *Unio pictorum* and *Lymnaea stagnalis*, (4) shells - sediments: *Viviparus viviparus*, *Dreissena polymorpha* i *Sphaerium solidum*. In the surface water we can control all six analyzed metals through the shell analysis of *Dreissena polymorpha*, and in the bottom sediments we can control the concentration of Cu, Zn, Pb, Cd i Hg by soft tissues analysis and Co by shell analysis of *Anodonta anatina*. These two species are crucial for the future research. Two other species are considered as supplementary. Those are: *Lymnaea stagnalis* (in water we can control the concentration of Cu, Zn, Pb, Cd by shell analysis, and in sediments we can control Cu, Pb, Cd by shell analysis and Zn by soft tissue analysis), *Viviparus contectus* (in water we can control the concentration of Cu, Co, Cd by tissues analysis and Pb by shell analysis, and in sediments we can control Cu, Zn, Co i Cd by tissues analysis). In the future research one should resig from using five species that are under protection in Poland since 2001. Those are: *Sphaerium rivicola*, *Sphaerium solidum*, *Unio crassus*, *Pseudoanodonta complanata* and *Anodonta cygnea*.

**Keywords:** the Odra river estuary, lakes of Western Pomerania, Poland, freshwater molluscs, soft tissues, shells, water, bottom sediment, heavy metals