

Marek Tarnawski

STAN ZANIECZYSZCZENIA METALAMI CIĘŻKIMI OSADÓW DENNYCH ZBIORNIKA W ZESŁAWICACH

Streszczenie. W pracy przedstawiono czasową zmienność zawartości metali ciężkich oraz ocenę jakości osadów dennych małego zbiornika w Zesławicach, na rzece Dłubni. Wyniki badań prowadzonych w latach: 1998, 2001, 2003, 2005, obejmowały zawartości: Cr, Ni, Cu, Zn, Cd i Pb. Badania wykazały podwyższone wartości metali ciężkich w latach 1998 i 2001, stan taki wynika z wpływu wezbrań, w wyniku których nastąpiła intensywne akumulacja osadów wraz z zanieczyszczeniami wymytymi z obszarów objętych powodzią. Wyniki badań przeprowadzonych w późniejszych latach wykazują zmniejszanie się zawartości metali ciężkich w wierzchniej warstwie osadów. Ocena jakości osadów dennych wykonana według różnych kryteriów wykazała brak potencjalnego zagrożenia dla środowiska wynikającego z akumulacji w nich pierwiastków śladowych.

Słowa kluczowe: zbiornik wodny, osad denny, metale ciężkie, zanieczyszczenie.

WSTĘP

Zanieczyszczenie środowiska w głównej mierze spowodowane jest poprzez odpady powstające niemal we wszystkich sektorach działalności człowieka. Odpady o różnym stopniu skupienia trafiają na składowiska, do osadników, są emitowane do atmosfery lub odprowadzane do wód powierzchniowych. Głównym źródłem zanieczyszczenia środowiska wodnego są odprowadzane z zakładów przemysłowych, miast i wsi, nieoczyszczone lub częściowo oczyszczone ścieki. Bezpośrednie zrzuty ścieków są wielkim obciążeniem, zwłaszcza dla niewielkich rzek i małych zbiorników wodnych. Zanieczyszczenia ingerują w naturalne biochemiczne procesy, naruszenie równowagi biologicznej, a często uniemożliwiają życie i rozwój organizmów. Innymi źródłami zanieczyszczeń są składniki migrujące z wodą, a dostarczane przez spływy powierzchniowe z terenów rolniczych lub z powietrza w postaci suchych opadów. Większość zanieczyszczeń gromadzi się w miejscach zastoisk wody lub w zbiornikach wodnych, dotyczy to zwłaszcza pierwiastków śladowych. Metale ciężkie obecne w wodach nawet w niewielkich stężeniach, bardzo szybko podlegają akumulacji w osadach dennych w wyniku wytrącania, sedymentacji substancji nierozpuszczalnych oraz sorpcji przez ilaste składniki osadów [Helios-Rybicka 1986].

Badania osadów wodnych prowadzone przez Państwowy Instytut Geologiczny na zlecenie Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, odzwierciedlają stan skażenia środowiska wodnego. Sieć monitoringu geochemicznego obejmuje osady rzeczne oraz wybrane jeziora i zbiorniki. Badania osadów dennych sztucznych zbiorników wodnych przeprowadzają Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska, dotyczą one jednak obiektów o dużych pojemnościach lub wykorzystywanych do celów wodociągowych.

Istniejące normy obciążeń, pierwiastkami różnych elementów środowiska naturalnego, traktują marginalnie kwestie jakości osadów dennych. Wynika to z rzadko przeprowadzanych prac odmulających, następstwem których, jest konieczność zagospodarowania wydobytego urobku, co leży zazwyczaj w gestii władz lokalnych. Obecne wymogi ochrony przyrody, polityki ekologicznej i rolnej, skłaniają do podejmowania prób eliminacji zagrożeń i poprawy stanu środowiska, włączając wykorzystanie materiałów odpadowych. Osady mogą stanowić substancję nawozową [Loska i in. 2002] lub być podstawą wykształcenia nowej warstwy gleby na terenach zdegradowanych [Pelczar i in. 1998]. Ocena obciążenia zanieczyszczeniami i jakości chemicznej osadów jest zatem, nie tylko odzwierciedleniem stanu środowiska, ale powinna też być podstawą do określenia właściwych sposobów ich zagospodarowania przyrodniczego lub utylizacji.

Celem przeprowadzonych badań było poznanie zawartości metali ciężkich we współcześnie deponowanych osadach dennych, prześledzenia zmian w ich koncentracji w czasie oraz ocena potencjalnego zagrożenia dla środowiska wynikającego z zanieczyszczenia osadów.

MATERIAL I METODY

Obiektem badań był mały zbiornik wodny w Ześlawicach, zlokalizowany na rzece Dłubni, prawobrzeżnym dopływie Wisły. Zbiornik powstał w 8,7 km biegu rzeki Dłubni po przegrodzeniu doliny rzeki zaporą ziemną, zbudowaną w latach 1964-1966. Pojemność zbiornika wynosi 228 tys. m³, a powierzchnia zalewu jest równa 9,50 ha. Podstawowym przeznaczeniem zbiornika było umożliwienie poboru wody przemysłowej dla ówczesnej Huty im. Lenina oraz wody dla wodociągu krakowskiego. W wyniku dużej intensywności procesu zamulania i zakwalifikowania wody zbiornika do wód hipertroficznymi, przestał on pełnić funkcję awaryjnego ujęcia wody.

Powierzchnia zlewni rzeki Dłubni do profilu Ześlawice wynosi 218,0 km². Dorzecze Dłubni w przewadze charakteryzuje się łagodnymi formami morfologicznymi o niewielkich nachyleniach. Najczęściej występującym typem gleb są gleby wytworzone na lessach ze znakami brunatnienia. Na wierzchowinach występują gleby nieprzemyte, natomiast w dolnych partiach zboczy znajdują się mniej przepuszczalne gleby lessowe przemyte. Uwarunkowania terenowe jak i glebowe decydują o przeważającym udziale użytkowania rolniczego w zlewni, wynoszącym ok. 79,7% jej powierzchni, z czego tylko 1,6% stanowią obszary łąk. Lasy z siedliskami borowymi zajmują niewielką powierzchnię zaledwie ok. 9,5%. Szczegółowe informacje na temat zlewni rzeki Dłubni zawierają prace Dynowskiej (1963) i Bednarczyka

(1994), a charakterystyki zbiornika, procesów w nim zachodzących i osadu zawarte są w pracach [Tarnawski, Słowik-Opoka 2002, Bednarczyk i in. 2004, Madeyski, Tarnawski 2004, 2006].

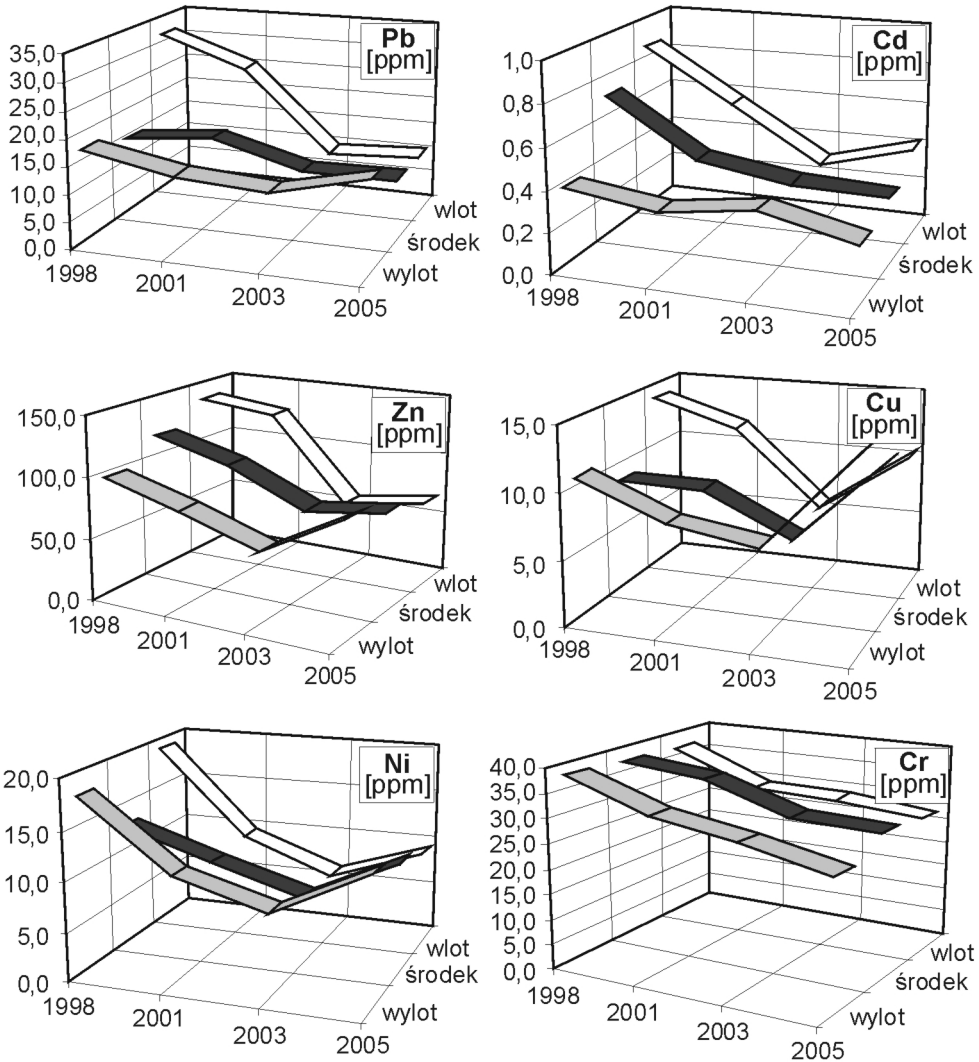
Z dna badanego zbiornika, w latach 1998, 2001, 2003, 2005 pobrano próbki osadów dennych z trzech charakterystycznych stref zbiornika: wlotowej, środkowej i wylotowej czyli przyzaporowej. Materiał pobierany był przy użyciu sondy rurowej, umożliwiającej pobranie próbki o nienaruszonej strukturze. Z wierzchniej warstwy osadów (0-5 cm) zatrzymanych w zbiorniku pobierano po 6 próbek z każdej strefy. Wykonane analizy laboratoryjne pozwoliły na określenie cech fizycznych i chemicznych namulów wypełniających czasę zbiornika. Zakres analiz chemicznych wyznaczono opierając się na doświadczeniach innych badaczy modyfikując je w celu analizy służącej inżynierskiej ocenie jakości z akumulowanych osadów. Analizy składu chemicznego przeprowadzono dla prób o nienaruszonej strukturze, a więc i o niezmiennym składzie granulometrycznym. Proponowane przez innych badaczy [Helios-Rybicka 1986] metody oceny jakościowej osadów rzek, jezior i zbiorników określają zawartość pierwiastków w najdrobniejszych frakcjach osadów (pyły poniżej 0,2 mm). Z punktu widzenia monitoringu naukowego znajduje to uzasadnienie w właściwościach frakcji drobnoziarnistych do wiązania i akumulacji metali ciężkich oraz innych pierwiastków. Ocena chemiczna namulów, o znaczeniu inżynierskim nie może ograniczać się od wyseparowanych frakcji, gdyż podczas odspajania, wydobywania i zagospodarowywania osad będzie wielofrakcyjną mieszaniną. Metodyka analizy próbek oparta została na metodach zalecanych w normach i literaturze zawartość w próbce metali ciężkich (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) oznaczono po ekstrakcji w mieszaninie kwasów HClO_4 i HNO_3 (4:1) i z odczytem metodą spektrofotometrii absorpcji atomowej (ASA) na aparacie Unicam Solaar M6.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Analizy zawartości metali ciężkich w próbkach pobranych z charakterystycznych stref zbiornika w kolejnych latach, pozwoliły na przedstawienie rozkładu mikroelementów w tych strefach, określenie zmienności wartości średniej dla całego zbiornika w latach 1998, 2001, 2003, 2005, oraz na przeprowadzenie oceny zanieczyszczenia osadu.

Stężenia poszczególnych analizowanych metali ciężkich w osadzie dennym strefy wlotowej, środkowej i wylotowej zbiornika Zesławice prezentowane na rysunku 1 są wartościami średnimi dla danej strefy z wyników analizy 6 próbek. Można stwierdzić, że najwyższe wartości poszczególnych metali występują w strefie wlotowej szczególnie w latach 1998 i 2001, przy równoczesnych niższych wartościach w pozostałych strefach. Na szczególną uwagę zasługują znaczne różnice w wartościach ołowiu, miedzi oraz stopniowe rozłożenie na długości zbiornika pierwiastków cynku i kadmu. Najmniejsze zróżnicowanie wartości w poszczególnych strefach odnotowano jedynie dla chromu. Po roku 2001 następuje zmniejszenie zróżnicowania zawartości metali śladowych w strefach zbiornika. W przypadku Pb, Zn, Ni i Cu następuje zwiększenie akumulacji w strefie wylotowej, szczególnie uwiadczenia się ta tendencja w wynikach z okresu 2001-2005. Wynika to ze związku

akumulacji metali ciężkich w osadzie z przebiegiem zjawiska sedymentacji i procesem zamulania, którego intensywność wyraża stopień zamulania. Stopień zamulania określany jest jako stosunek objętości odkładów rumowiska zdeponowanych w zbiorniku do pojemności pierwotnej zbiornika.



Rys. 1. Zmienność zawartości metali ciężkich w osadzie dennym stref zbiornika w latach 1998-2005
Fig. 1. Changeability of heavy metal content in bottom deposit of the reservoir zones in 1998-2005

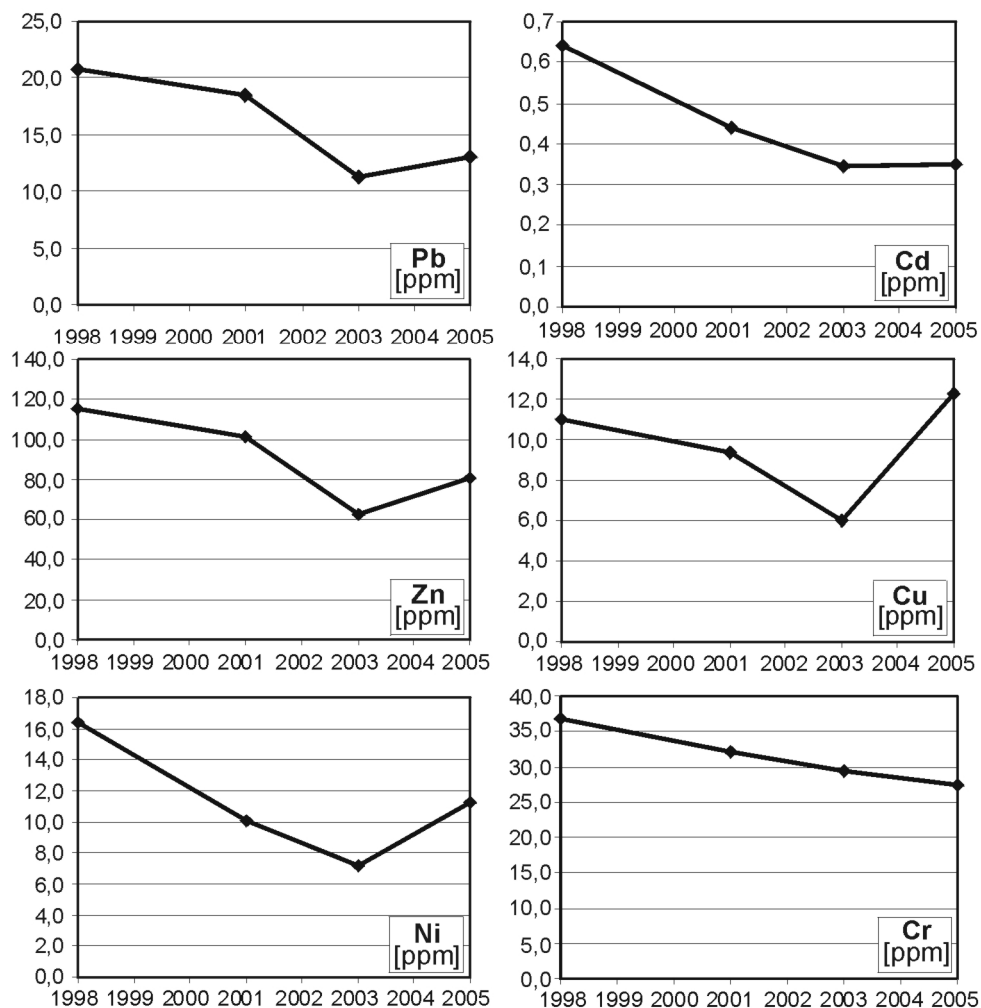
Wartość stopnia zamulenia zbiornika w Zesławicach określono na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów. W roku 1999, czyli po 10 latach eksploatacji, wynosił 24,6% a w 2005 roku zwiększył się do 33%. Proces zamulania zbiornika przebiega od wlotu ku zaporze czołowej. Intensywne załadowanie części wlotowej zbiornika spowodowało powiększanie się powstałej wyspy. Relatywnie duże zna-

czenie dla takiego przebiegu zjawiska miały dwie fale wezbraniowe, które wystąpiły na rzece Dłubni w lipcu 1997 i w sierpniu 2001 roku. Zbiornik w Zesławicach nie spełnia funkcji ochrony przed powodzią, nie posiada więc rezerwy powodziowej i w warunkach wezbrań funkcjonuje jako zbiornik przepływowy. W przypadku obu fal opadanie podpiętrzonego lustra wody do poziomu normalnego piętrzenia trwało ponad tydzień. W okresach tych zdeponowane zostały na dnie zbiornika znaczne ilości materiału mineralnego, a postępujące zamulanie zbiornika spowodowało zmiany w procesie sedymentacji. Utworzona z namulów wyspa w części wlotowej, spowodowała zawężenie przekroju i wytworzenie koryta wlotowego (tranzytowego). Zmiana warunków hydrodynamicznych występujących na wlocie do zbiornika (większa prędkość, mniejsze pole przekroju) sprzyja transportowi coraz większej ilości rumowiska w głąb zbiornika i sedymentacji w strefie środkowej, a także wylotowej. Wraz z rumowiskiem woda wnosi do zbiornika inne zanieczyszczenia, w tym metale ciężkie, które zostają zatrzymane w osadzie dennym strefy zbiornika o intensywnej sedymentacji.

Na rysunku 2 przedstawione są wykresy zmienności wartości metali ciężkich w osadach dennych w latach 1998-2005, określonych jako wartość średnia dla całego zbiornika (średnia z wszystkich badanych próbek). Zawartość poszczególnych metali ciężkich była wyższa w wierzchnich warstwach osadu w okresie po przejściu wspomnianych już fal wezbraniowych z 1997 i 2001 roku. W późniejszym okresie widoczna jest wyraźna tendencja do znacznie zmniejszającego się zanieczyszczenia osadów pierwiastkami śladowymi – najniższe wartości wykazała analiza próbek pobranych w roku 2003 (oprócz Cr). Wyniki badań z 2005 roku wykazują ponownie podwyższone wartości w osadzie zakumulowanych metali z wyjątkiem kadmu i chromu. Wartość niklu jest wyższa niż w osadzie pobranym po powodzi z 2001 roku, a wartości miedzi przekroczyły stan zanieczyszczenia po wezbraniu z 1997 roku i są najwyższe w całym analizowanym okresie.

Wykorzystując maksymalne zawartości metali ciężkich w analizowanych próbach przeprowadzono ocenę zanieczyszczenia osadu zbiornika w Zesławicach, tymi metalami. W ocenie posłużono się pięcioma metodami: klasyfikacją jakości osadów wodnych stosowaną przez Państwowy Instytut Geologiczny [Bojakowska 2001], index-em geokumulacyjnym (Igeo) [Müller 1981], skalą zanieczyszczeń gleby określoną przez Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach [Kabata-Pendias 1995], ekologicznym index-em ryzyka (C_f) [Håkanson 1980] i zmodyfikowany stopień zanieczyszczenia (mC_d) [Abraham 2005] oraz jedynym aktem prawnym jakim jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z 16.04.2002 w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony [Rozporządzenie 2002] (tab. 1).

Wszystkie te metody określają stopnie zanieczyszczenia materiału mineralnego, różnią się jednak liczbą stopni, klas oraz czynnikami wpływającymi na wartości progowe poszczególnych klas. O ostatecznej ocenie badanego osadu decyduje najwyższa klasa przyjęta dla choćby jednego z analizowanych metali ciężkich. Do oceny wykorzystano tło geochemiczne podane przez Państwowy Instytut Geologiczny.



Rys. 2. Wartości średnie zanieczyszczenia osadu zbiornika w Zesławicach w latach 1998-2005
Fig. 2. Mean values of deposit pollution at the Zesławice reservoir in 1998-2005

Badane osady zbiornikowe zaliczone zostały według klasyfikacji PIG do osadów miernie zanieczyszczonych ze względu na zawartości Zn, Ni, Cd i Pb. Wartości tych pierwiastków przekraczają zawartości przy których nie obserwowany jest szkodliwy wpływ na organizmy żywe. Wyniki obliczeń Igeo i klasyfikacja wskazuje, że parametry osadu lokują go między klasą nieznacznie zanieczyszczonego do umiarkowanie zanieczyszczonego osadu. Zauważyć można wyższe wartości Igeo w próbach z roku 1998 niż w latach późniejszych. Klasyfikacja IUNiG klasyfikuje osady do gleb słabo zanieczyszczonych, przyczyną są podwyższone wartości Zn. Uniemożliwia to stosowanie osadu po wydobyciu jako dodatku do gleb upraw ogrodniczych. Zbieżne wyniki wskazujące na podwyższone wartości Cd wykazano w pracy Jasiewicz i Baran [Jasiewicz, Baran 2006].

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich i ocena jakości (wybrane metody) osadów dennych zbiornika Zesławice**Table 1.** Content and assessment (selected methods) of heavy metals in the bottom sediments of Zesławice reservoir

Pierwiastek	Rok	Zawartość max (mg·kg ⁻¹)	PIG	Igeo / klasa	IUNiG	C _f
Cr	1998	39,5	I	0,72 / I	I	7,90
	2001	33,8	I	0,65 / I	I	6,76
	2003	29,9	I	0,60 / I	I	5,98
	2005	31,0	I	0,62 / I	I	6,21
Ni	1998	20,8	II	0,44 / I	I	4,16
	2001	13,2	I	0,25 / I	I	2,64
	2003	9,0	I	0,08 / I	0	1,80
	2005	13,8	I	0,27 / I	I	2,77
Cu	1998	14,0	I	0,19 / I	I	2,33
	2001	13,7	I	0,18 / I	I	2,29
	2003	7,7	I	-0,07 / 0	0	1,28
	2005	15,0	I	0,22 / I	I	2,50
Zn	1998	140,1	II	0,29 / I	II	2,92
	2001	129,9	II	0,26 / I	II	2,71
	2003	72,6	I	0,00 / I	I	1,51
	2005	100,0	I	0,14 / I	II	2,08
Cd	1998	0,8	II	0,05 / I	I	1,70
	2001	0,7	II	-0,02 / 0	I	1,44
	2003	0,4	I	-0,26 / 0	I	0,82
	2005	0,6	I	-0,10 / 0	I	1,20
Pb	1998	33,0	II	0,34 / I	I	3,30
	2001	28,0	I	0,27 / I	I	2,80
	2003	13,9	I	-0,03 / 0	0	1,39
	2005	19,0	I	0,10 / I	0	1,91

Ze względu na uzyskane wartości ekologicznego indeksu ryzyka w badanym okresie ryzyko zanieczyszczenia metalami można uszeregować Cr>Ni>Pb>Zn>Cu>Cd, wartości przekraczające poziom 6 wskazują na dużą koncentrację i ryzyko ze względu stężenia chromu. Zmodyfikowany stopień zanieczyszczenia uwzględniający liczbę wszystkich analizowanych substancji wywołujących potencjalne zanieczyszczenie wynosi w poszczególnych latach badawczych: 1998 – 3,7; 2001 – 3,1; 2003 – 2,1; 2005 – 2,8. Przedział wartości $2 \leq mC_d < 4$ określa umiarkowany stopień zanieczyszczenia osadów analizowanymi metalami ciężkimi.

Wartości progowe substancji zanieczyszczających urobek z pogłębiania wyszczególnione w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [Rozporządzenie 2002] stanowią najmniej restrykcyjne z analizowanych kryteriów oceny – żaden z badanych pierwiastków śladowych nie przekracza wartości stanowiących o zanieczyszczeniu osadu pobranego z dna zbiornika w Zesławicach.

Zawartości metali ciężkich w osadach w okresie 1998-2005 ulegały zmianom, jednak wartości maksymalne, nie przekroczyły wartości progowych zanieczyszcze-

nia uniemożliwiającego dowolnie ich zagospodarowywane w środowisku wodnym i lądowym po ewentualnym ich wydobyciu.

Zmiany parametrów wody (pH, zasolenie, potencjał redox) mogą przyczynić się do uruchomienia metali nagromadzonych w osadach dennych stanowiąc wtórne zanieczyszczenie wód [Ryborz-Masłowska i in. 2000]. Potencjalne zagrożenie wynikające z mobilności i biodostępności metali zależy od form, w jakich metale te się znajdują, dlatego też dodatkowo przeprowadzono analizę specjacyjną z podziałem na 5 frakcji wg Tessier i innych [Tessier i in. 1979] od frakcja I – metali łatwo wymiennalnych, do frakcji V – obejmującej formy metali trwale związanych z minerałami. Wyniki analizy specjacyjnej występowania form metali ciężkich w osadach dennych zbiornika w Zesławicach, badanych w różnych latach wykazały, że są one ze sobą zbieżne i wykazują tendencję do wzrostu udziału od frakcji I do frakcji V. Wszystkie metale występowały w znacznym procencie w formach trwale związanych z minerałami od 32% Pb w 1998 roku, do Cu związanej w 50% ogólnej zawartości metalu w 2005 roku. Rozkład udziału w poszczególnych frakcjach nie był równomierny. W najmniejbezpiecznej formie metali - łatwo uwalnianych do toni wodnej i najłatwiej dostępnych dla organizmów żywych (frakcji I), udział badanych pierwiastków w żadnym z lat nie przekraczał 2%.

Dopełnieniem obrazu stanu ekologicznego zbiornika wodnego w Zesławicach muszą być badania jakości wody, uwzględniające szczególnie biogeny i chemiczne środki ochrony roślin transportowane wraz z sływem powierzchniowym z pól [Siemieniuk, Szczykowska 2011]. Cenne będzie również określenie funkcji przyrodniczych poprzez analizę struktury gatunkowej flory i fauny wodnej oraz obszaru brzegowego [Bedla, Petryk 2010].

WNIOSKI

Poziom zawartości metali ciężkich w osadzie kształtuje się pod wpływem zjawisk hydrologicznych decydujących o ilości i jakości deponowanego w zbiorniku materiału. Dotyczy to przede wszystkim małych zbiorników wodnych.

Zawartość metali ciężkich w osadzie poszczególnych stref zbiornika związana jest z intensywnością zachodzącego w nich procesu sedymentacji. Zauważono tendencję do akumulowania pierwiastków śladowych w strefie wlotowej do zbiornika, w której zachodziła sedymentacja rumowiska unoszonego wnoszonego do zbiornika. W wyniku zmiany warunków hydrauliczno-dynamicznych, znaczne ilości materiału unoszonego transportowane były, w późniejszym okresie, w głąb zbiornika. Odzwierciedla się to w zwiększonych ilościach zdeponowanych metali ciężkich w strefie środkowej i wylotowej.

Osady zbiornika w Zesławicach zlokalizowanego w zlewni pozbawionej zakładów przemysłowych, nie są osadami o zagrażającym ekosystemom poziomie zanieczyszczeń. Analiza jakościowa osadów z wykorzystaniem wskaźników geochemicznych i obowiązujących rozporządzeń jak również stwierdzone stężenia metali ciężkich, umożliwiają przyrodnicze ich wykorzystanie po planowanym od 2010 roku wydobyciu.

PIŚMIENNICTWO

- Abraham, G.M.S. 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterization and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. Ph.D. thesis, University of Auckland, Auckland, New Zealand, ss. 361.
- Bedla D., Petryk A. 2010. Funkcjonowanie wyrobiskowych zbiorników wody w Przegini pod Krakowem. *Inżynieria Ekologiczna*, 22: 83-89.
- Bednarczyk T. 1994. Określenie ilości unoszonego rumowiska w przekroju małego zbiornika wodnego w Zesławicach. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 229, Inż. Środ., 15: 7-18.
- Bednarczyk T., Madeyski M., Tarnawski M., 2004. Changeability of physical and rheological parameters of bottom silt in small carpathian water reservoirs. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu*, 382: 151-159.
- Bojakowska I. 2001. Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych. *Przeg. Geolog.*, 49(3): 213-218.
- Dynowska I. 1963. Stosunki hydrograficzne oraz zagadnienia ochrony wód zachodniej części Wyżyny Miechowskiej. *Ochrona Przyrody*, 29.
- Håkanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975-1001.
- Helios-Rybicka E. 1986. Rola minerałów ilastych w wiązaniu metali ciężkich przez osady rzeczne górnej Wisły. *Zesz. Nauk. AGH, 1050, Geologia* 32.
- Jasiewicz Cz., Baran A. 2006. Charakterystyka osadów dennych dwóch zbiorników małej retencji wodnej. *Journal of Elementology*, 11, 3: 367-377.
- Kabata-Pendias A. 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*.
- Loska K., Cebula J., Wiechuła D. 2002. Analiza właściwości fizyko-chemicznych osadów dennych z cofki zbiornika rybnickiego w aspekcie ich wykorzystania do celów nieprzemysłowych. *Gosp. Wodna*, 7.
- Madeyski M., Tarnawski M. 2004. Przebieg procesu sedymentacji osadów dennych w małych zbiornikach wodnych. *Rocz. AR w Poznaniu, CCCLVII: 345-355*.
- Madeyski M., Tarnawski M. 2006. Ocena stanu ekologicznego osadów dennych wybranych małych zbiorników wodnych. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, PAN*, 4/3: 107-116.
- Müller G. 1981. Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und seiner Nebenflüsse. *Chemiker-Zeitung*, 6: 157-168.
- Pelczar J., Loska K., Melaniuk E. 1998. Wpływ nawożenia osadem dennym na aktywność enzymatyczną zwałowiska odpadów węgla kamiennego. *Arch. Ochr. Środ.*, 24, 3: 93-101.
- Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzaju oraz stężeń substancji, które powodują że urobek jest zanieczyszczony - *Dz. U.* nr 55, poz. 498 z dnia 14 maja 2002 r.
- Ryborz-Masłowska S., Moraczewska-Majkut K., Krajewska J. 2000. Metale ciężkie w wodzie i osadach dennych zbiornika w Kozłowej Górze na Górnym Śląsku. *Arch. Ochr. Środ.*, 26, 4: 127-140.
- Siemienuk A., Szczykowska J. 2011. Przyczyny i skutki poziomu czystości wód zbiorników małej retencji na Podlasiu. *Inżynieria Ekologiczna*, 26: 69-74.
- Tarnawski M., Słowik-Opoka E. 2002. Rozkład materiału dennego w zbiorniku w Zesławicach. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, 393, 23: 359-366.
- Tessier A., Campbell P., Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51(7): 844-851.

HEAVY METAL POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE RESERVOIR AT ZESŁAWICE

Abstract. The paper presents variability in time of heavy metal concentrations in bottom sediments of small water reservoir at Zesławice, situated on the Dłubnia river. The presented results of research on the chemical properties of sediments conducted in 1998, 2001, 2003 and 2005 determined the sediment concentrations of chromium, nickel, copper, zinc, cadmium and lead. The analyses revealed elevated heavy metal concentrations in 1998 and 2001. This state might have been due to the effect of high water levels, which occurred in the period prior to the sample collection. The results of research conducted in the subsequent years show decreasing heavy metal content in the top layer of the bottom sediments. The assessment of the sediment quality did not reveal any potential hazard to the environment resulting from trace element accumulation in bottom sediments.

Keywords: water reservoir, bottom sediments, heavy metal, pollution.