

## ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W OSADACH DENNYCH CIEKU O ZLEWNI ROLNICZEJ NA PRZYKŁADZIE RZEKI GOWIENICA

Kamil Szydłowski<sup>1</sup>, Kacper Rawicki<sup>2</sup>, Piotr Burczyk<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Katedra Ekologii, Ochrony i Kształtowania Środowiska, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, e-mail: Kamil.Szydowski@zut.edu.pl

<sup>2</sup> Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Papieża Pawła VI 3A, 71-459 Szczecin

<sup>3</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, ul. Czesława 9, 71-504 Szczecin

### STRESZCZENIE

Analizie chemicznej poddano próbki osadów dennych pochodzących z rzeki Gowienica. Próbki pobierano w latach 2014 i 2015 w wybranych punktach badawczych, które wyznaczono w zależności od sposobu zagospodarowania i użytkowania terenów przyległych. W pozyskanym materiale oznaczono zawartość całkowitą metali ciężkich tj.: Cd, Co, Cr, Ni, Pb oraz Hg. Na podstawie uzyskanych wyników analiz chemicznych wykazano podwyższone stężenia ołowiu, niklu, chromu oraz rtęci, które przekraczały wartości progowe, powyżej których obserwuje się szkodliwe oddziaływanie zanieczyszczeń (TEL). Nie stwierdzono natomiast ponadnormatywnych stężeń tych zanieczyszczeń dla wyznaczonej wartości granicznej (PEL) powyżej której obserwuje się szkodliwe oddziaływanie zanieczyszczeń na organizmy. Przeprowadzone analizy chemiczne wykazały jednak przekroczenia wartości naturalnej kobaltu (tło geochemiczne  $2,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) dla osadów wodnych Polski w poszczególnych punktach badawczych. Przyczyną tych przekroczeń w pobranych osadach dennych były najprawdopodobniej spływy powierzchniowe z pól i łąk w formie nawozów i środków ochrony roślin oraz dopływ ścieków bytowych.

**Słowa kluczowe:** osady denne, metale ciężkie, Gowienica

## THE CONTENT OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE WATERCOURSE IN AGRICULTURAL CATCHMENT ON THE EXAMPLE OF THE RIVER GOWIENICA

### ABSTRACT

The samples of bottom sediments for chemical analysis were collected from Gowienica river and its tributaries. The samples were collected in 2014 and 2015 from the established sampling points on differently managed and utilized adjacent areas. Total content of heavy metals, i.e.: Cd, Co, Cr, Ni, Pb and Hg were measured in the collected material. The results indicate that the concentrations of lead, nickel, chromium and mercury exceeded the level indicating the harmful impact of pollution (TEL), but none of the analyzed heavy metals exceeded the limit (PEL) above which harmful effects of pollution on organisms can be observed. However, according to another classification (LAW), the analyzed sediments were between two classes (unpolluted deposits – Class I), and unpolluted / moderately polluted deposits (class I-II). Nevertheless, a chemical analysis showed that the natural cobalt concentration (geochemical background;  $2.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) for aquatic sediments in Poland was exceeded. The reason for the exceed cobalt concentration in natural sediments was, most probably, the surface runoffs from fields and meadows in the form of fertilizers, plant protection products and the domestic waste water.

**Keywords:** bottom sediments, heavy metals, Gowienica

## WSTĘP

Zagrożenie dobrego stanu środowiska w wyniku emisji metali ciężkich kojarzone jest zazwyczaj z przemysłem. Jednak rolnictwo także może stanowić znaczące źródło tych zanieczyszczeń. Metale ciężkie w tym dziale gospodarki mogą być emitowane między innymi w wyniku stosowania środków ochrony roślin oraz nawozów mineralnych. Pomimo wyeliminowania rtęci jako składnika fungicydów zagrożeniem pozostają inne metale zawarte w środkach ochrony roślin i nawozach mineralnych, których duża dostępność i masowe stosowanie stanowi duże ryzyko degradacji środowiska. Do zwiększenia zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi przyczyniają się między innymi procesy produkcyjne w przemyśle spożywczym oraz produkcja rolna. W skali zlewni źródłem metali ciężkich może być także podłoże geologiczne [Rabajczyk 2007; Florczyk i Gołwin 1980].

Dużą zawartość metali ciężkich, takich jak arsen, kadm, cynk, ołów, rtęć, miedź lub chrom występują najczęściej w rzekach, do których odprowadzane są ścieki z górnictwa i przetwórstwa rud metali oraz dużych ośrodków miejskich i przemysłowych. Pierwiastki śladowe uruchamiane są do środowiska również w wyniku niszczenia materiałów budowlanych przez czynniki atmosferyczne (cynk, ołów, miedź, chrom), korozji sieci wodociągowej i ściekowej (cynk, kadm) czy użytkowania środków transportu (ołów, cynk, kadm). W osadach dennych rzek gromadzona jest większość zanieczyszczeń, które docierają do wód powierzchniowych wraz ze ściekami (komunalnymi, przemysłowymi, wodami pokopalnianymi) i spływami powierzchniowymi (na przykład z terenów rolniczych, zurbanizowanych czy szlaków komunikacyjnych) [Raport WIOŚ 2008]. Obecność metali ciężkich, takich jak: miedź, nikiel i cynk, ma szkodliwy wpływ na biomasę mikroorganizmów glebowych i ich aktywność oraz zakłóca procesy samooczyszczania się wód i oczyszczania ścieków [Abaye i in. 2005].

Celem badań było określenie zawartości stężeń wybranych metali ciężkich w osadach dennych w zależności od miejsca poboru próbek osadów dennych na rzece Gowienica.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania prowadzono w okresie od IV do XI w latach 2014 – 2015 na rzece Gowienicy Mie-

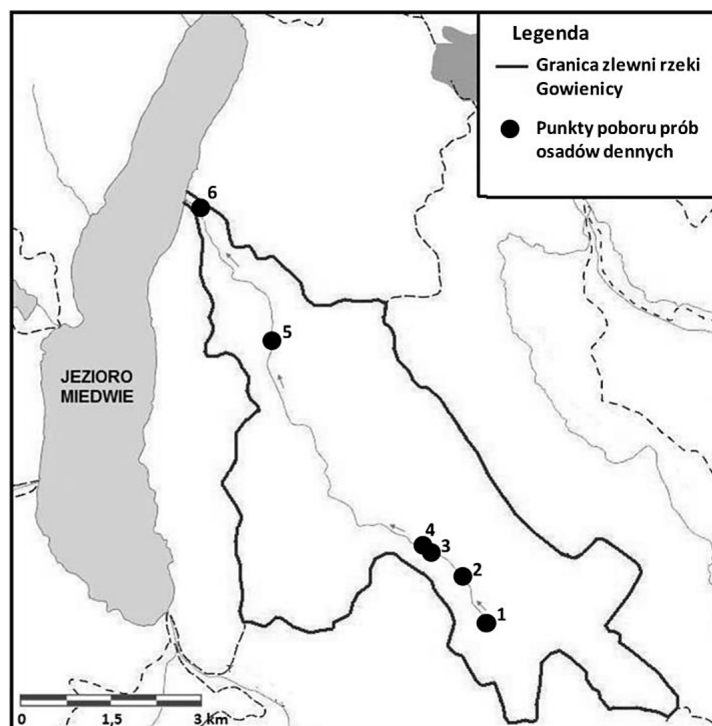
dwiańskiej, wschodnim dopływie jeziora Miedwie, które jest rezerwuarem wody pitnej dla miasta Szczecin. Gowienica, obok Płoni i Ostrowicy, jest jednym z trzech głównych dopływów zasilających wody jeziora Miedwie. Długość rzeki wynosi 15,6 km, a powierzchnia zlewni zajmuje obszar 63 km<sup>2</sup>. SNQ w ujściowym odcinku wynosi 0,15 m<sup>3</sup>/s. Bieg Gowienicy Miedwiańskiej rozpoczyna się na terenach podmokłych, usytuowanych na zachód od wsi Kłęby. Rzeka bezpośrednio uchodzi do Jeziora Miedwie w okolicach wsi Wierzchład [Hoc 2007; Durkowski i in. 2015b].

Zlewnia rzeki ma charakter typowo rolniczy. Położona jest w makroregionie Pobrzeże Szczecińskie (313.2–3), mezoregionie Równina Pyrzycko-Stargardzka (313.31) [Kondracki 2001, Durkowski i in. 2007]. Na obszarze zlewni występują najlepsze gleby w regionie – czarne ziemie pyrzyckie, objęte w 96% użytkowaniem rolniczym, z czego 86% stanowią grunty orne, a łąki i pastwiska – 10%. Występują tu dogodne warunki agroklimatyczne sprzyjające intensywnej uprawie zbóż (pszenica, jęczmień) i roślin przemysłowych (rzepak, buraki cukrowe) [Durkowski i in. 2007, Rawicki i in. 2015, Burczyk, Gamrat 2006]. W gminie Warnice, położonej w przeważającej części badanej zlewni, są stosowane dawki nawożenia mineralnego wynoszące średnio 210,9 kg·ha<sup>-1</sup> NPK, w tym 126,2 kg·ha<sup>-1</sup> azotu, 36,2 kg·ha<sup>-1</sup> fosforu i 48,6 kg·ha<sup>-1</sup> potasu. Produkcja zwierzęca obejmuje głównie bydło, trzodę chlewną i drób [GUS 2010].

Próbki osadów dennych pobierano z warstwy 0–30 cm. Łącznie pobrano 12 próbek osadów, które przygotowano zgodnie z procedurami stosowanymi w gleboznawstwie, a analizy wykonano we frakcji o średnicy cząstek poniżej 1 mm. Zawartość całkowitą pierwiastków tj.: Cd, Co, Cr, Ni, Pb, oznaczono spektrometrem absorpcji atomowej ASA ICE 3000 Thermo Scientific po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie (5:1) stężonych kwasów HNO<sub>3</sub> (65%) i HClO<sub>4</sub> (60%). Stężenia rtęci ogólnej oznaczono natomiast w pobranych próbkach bez uprzedniej mineralizacji, stosując technikę wytwarzania par rtęci (nawazka 50–100 mg) za pomocą analizatora AMA 254 (granica wykrywalności: 0,01 ng Hg).

Klasyfikację osadów dennych dokonano według:

- klasyfikacji osadów z zastosowaniem wskaźników TEL (Threshold Effects level) oraz PEL (Probable Effects level) [Macdonald i in. 2000],
- klasyfikacji LAW [za Nocoń 2009].



Rys. 1. Schemat przestrzennego rozmieszczenia punktów badawczych na terenie zlewni rzeki Gowienicy  
 Fig. 1. Diagram of the spatial distribution of research points in the catchment of river Gowienica

## WYNIKI I DISKUSJA

### Kadm (Cd)

Pod względem stężeń kadmu wszystkie próbki osadów dennych rzeki Gowienicy klasyfikowane są jako osady nie zanieczyszczone (I klasa). Wyniki te świadczą o małej antropopresji sposobu użytkowania terenów przylegających do rzeki Gowienicy. Stężenia kadmu w pobranych próbkach osadów są na poziomie tła geochemicznego [za Nocoń 2009]. Najniższe stężenia kadmu w 2014 roku wystąpiły w punkcie P-2 zlokalizowanym w obrębie rowu melioracyjnego, który uchodzi do rzeki Gowienica w obrębie pól uprawnych oraz w punkcie P-6 położnym u ujścia rzeki Gowienica (poniżej wartości progu oznaczalności  $0,005 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Natomiast w 2015 roku najniższe wartości wystąpiły w punkcie zlokalizowanym u źródła rzeki (P-1), a także w punkcie położnym w obrębie upraw rolnych (P-5) wynosząc odpowiednio  $0,02 \text{ mg}$  oraz  $0,01 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Wartości te są znacząco niższe niż stężenia kadmu w osadach dennych zlewni rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów [Kazimierowicz i Kazimierowicz 2014], albowiem wartości te wahały się w granicach od  $0,2$  do  $1,3 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Zróżnicowanie

zawartości stężeń kadmu w punktach badawczych rzeki Gowienicy mogą mieć związek z szybkim zamulaniem się dna rzeki oraz z systematycznym pogłębianiem koryta (wybieranie osadu z dna rzeki), bądź też z procesami akumulacji kadmu w osadach w początkowym biegu rzeki. Największe stężenia kadmu wystąpiły w punkcie zlokalizowany w obrębie oczyszczalni ścieków bytowych (P-4) oraz P-2 (row melioracyjny) wynosząc  $0,27 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$  (2015). Było to stężenie odpowiednio trzykrotnie oraz pięciokrotnie niższe niż najwyższe stężenie w badaniach Madeyskiego i Tarnawskiego [2007] przeprowadzone w zbiorniku Besko na rzece Wisłok ( $0,80 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) oraz badaniach Kazimierowicz i Kazimierowicz [2014], gdzie stężenie kadmu wynosiło  $1,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Również badania Szydłowskiego i Podlasińskiej [2016a] wykazały, że wyższe średnie stężenia kadmu wystąpiły w cieku wodnym w zlewni rolniczej wynosząc średnio od  $0,15$  do  $1,14 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$ , niż uzyskane średnie stężenia w badaniach własnych ( $0,10$ – $0,12 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Badania tych samych autorów przeprowadzonych w oczkach wodnych, również wykazały wyższe średnie stężenia omawianego metalu, które wahały się w granicach  $0,44$ – $0,89 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$  [Szydłowski i Podlasińska 2016b].

**Tabela 1.** Stężenia wybranych metali ciężkich w osadach dennych rzeki Gowienica pobieranych w 2014 roku  
**Table 1.** Concentrations of selected heavy metals in river Gowienica sediments collected in 2014

Lp	Cd	Co	Pb	Ni	Cr	Hg
P-1	0,23(I)	3,82	10,11(I)	19,10(I)	16,30(I)	0,04
P-5	0,19(I)	2,65	38,51(I-II)	10,12(I)	10,11(I)	0,25
P-3	0,14(I)	1,81	7,33(I)	6,07(I)	8,00(I)	0,03
P-4	0,07(I)	4,48	7,90(I)	21,03(I)	17,31(I)	0,03
P-2	0,00(I)	5,41	11,78(I)	28,85(I)	23,01(I)	0,03
P-6	0,00(I)	4,52	13,43(I)	24,85(I)	22,20(I)	0,06
Średnia	0,10(I)	3,78	14,84(I)	18,34(I)	16,16(I)	0,07
SD	0,1	1,33	11,82	8,7	6,13	0,09
Wsp. zmienności	92,39	35,17	79,63	47,47	37,94	116,3

### Nikiel (Ni)

Pobrane próbki osadów dennych we wszystkich punktach badawczych pod względem stężenia niklu klasyfikowane są do I-klasy osadów (niezanieczyszczone). Wartości te nie przekraczają tła geochemicznego [za Nocoń 2009]. Najwyższe stężenia niklu podobnie jak kobaltu wystąpiły zarówno w 2014 i 2015 roku w punkcie P-2 zlokalizowanym na rowie melioracyjnym uchodzącym do rzeki Gowienicy w obrębie pól uprawnych wynosząc odpowiednio 28,85 mg oraz 17,07 mg  $\text{Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Porównywalne do stwierdzonych w badaniach własnych stężeń niklu (2015) podają Linczar i in. [2005] dla ciekę Mielnica (7,5–16,8 mg  $\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Osady badanej rzeki w punkcie P-2 w 2014 i 2015 roku posiadały wyższe zawartości niklu, niż rzek zlewni Biebrzy- 0,6–22,9 mg  $\cdot\text{kg}^{-1}$  [Kazimierowicz i Kazimierowicz 2014]. Średnie stężenie niklu w 2014 roku wynoszące 18,34 mg  $\text{Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$  było dwukrotnie wyższe niż średnia zawartość niklu w 2015 roku (9,58 mg  $\text{Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz dwukrotnie wyższe niż w badaniach osadów dennych ciekę wodnego zlokalizowanego w zlewni rolniczej w punkcie P-3 (7,56 mg  $\text{Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) [Szydłowski i Podlasińska 2016a]. Uzyskane przez

Szydłowski i Podlasińska [2016b] średnie stężenie niklu w osadach dennych oczka śródpolnego było trzykrotnie niższe niż uzyskane średnie stężenie w badaniach własnych. Porównując stężenia niklu w badaniach własnych były one zbliżone jak w osadach dennych wybranych dopływów rzeki Kłodnicy, które wynosiły od 2 do 39 mg  $\text{Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Nocoń 2009] oraz w osadach rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów- 0,6–22,9 mg  $\text{Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Kazimierowicz i Kazimierowicz 2014]. Natomiast badania Madeyskiego i Tarnawskiego [2007] pozwoliły stwierdzić, że osady denne zbiornika Besko posiadały wyższe stężenia niklu (od 25,30 mg do 37,50 mg  $\text{Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

### Rtęć (Hg)

Stężenia rtęci w badanych próbkach osadów dennych wahały się w granicy od 0,03 do 0,25 mg  $\cdot\text{kg}^{-1}$  i były zbliżone do uzyskanych wyników w osadach zbiorników wodnych Regionu Górnośląskiego, które wahały się w granicy 0,02–2,67 mg  $\cdot\text{kg}^{-1}$  [Rzętała 2012] oraz w osadach wybranych jezior Pojezierza Kaszubskiego wynosząc od 0,05 do 0,52 mg  $\cdot\text{kg}^{-1}$  [Bojakowska i Sokołowska 1996]. Natomiast uzyskane wyniki stężeń osadów

**Tabela 2** Stężenia wybranych metali ciężkich w osadach dennych rzeki Gowienica pobieranych w 2015 roku  
**Table 2.** Concentrations of selected heavy metals in river Gowienica sediments collected in 2015

Lp	Cd	Co	Pb	Ni	Cr	Hg
P-1	0,02(I)	1,77	6,50(I)	6,75(I)	25,52(I)	0,05
P-5	0,01(I)	1,84	6,36(I)	5,56(I)	24,07(I)	0,03
P-3	0,09(I)	3,66	13,56(I)	11,46(I)	49,81(I)	0,03
P-4	0,27(I)	4,17	19,53(I)	13,91(I)	1,92(I)	0,03
P-2	0,27(I)	5,23	20,33(I)	17,07(I)	40,30(I)	0,05
P-6	0,08(I)	1,38	3,92(I)	2,72(I)	47,60(I)	0,06
Średnia	0,12(I)	3,01	11,70(I)	9,58(I)	31,53(I)	0,08
SD	0,12	1,57	7,15	5,47	18,1	0,01
Wsp. zmienności	96,51	52,04	61,07	57,13	57,4	17,59

dów dennych Kanału Miejskiego we Wrocławiu były znacząco wyższe (0,05 do 2,88 mg Hg·kg<sup>-1</sup>) niż stężenia tego metalu w badaniach własnych. Maksymalna zawartość rtęci (0,52 mg·kg<sup>-1</sup>) podana przez Bojakowską i Sokołowską [1996] dla osadów jezior Pojezierza Kaszubskiego była około dwukrotnie wyższa od maksymalnej wartości stężenia tego pierwiastka uzyskanego w badaniach własnych (0,25 mg·kg<sup>-1</sup>). Również najwyższe stężenie rtęci w osadach Kanału Miejskiego we Wrocławiu w punkcie badawczym Wrobet wynoszące 2,88 mg Hg·kg<sup>-1</sup> jest około dwunastokrotnie wyższe od najwyższego stężenia kadmu w badaniach własnych. W obu latach badawczych wystąpiły porównywalne stężenia rtęci z wyjątkiem punktu P-5, gdzie wystąpiła wyższa koncentracja omawianego metalu ciężkiego.

### Kobalt (Co)

Analiza chemiczna osadów dennych wykazała w poszczególnych punktach badawczych przekroczenia wartości naturalnej kobaltu (tło geochemiczne; 2,0 mg·kg<sup>-1</sup>) dla osadów wodnych Polski [Bojakowska i Sokołowska 1998]. Przyczyną przekroczenia stężeń naturalnych kobaltu w osadach dennych są między innymi spływy powierzchniowe z pól i łąk w formie nawozów, środków ochrony roślin. Przyczyną przekroczenia stężeń naturalnych kobaltu w osadach dennych są między innymi spływy powierzchniowe z pól i łąk w formie nawozów i środków ochrony roślin oraz ścieki bytowe [Sidoruk i Potasznik 2013; Kazimierowicz i Kazimierowicz 2014; Kasperek i in. 2007; Bojakowska i in. 2010; Falandyś i in. 1996; Micun 2014; Krasowska i Banaszuk 2015]. Średnie stężenia omawianego metalu ciężkiego w 2014 i 2015 roku były odpowiednio około czterokrotnie niższe, niż średnie stężenie w osadach dennych stawu (nr 1) wodnego znajdującego się w aglomeracji Szczecińskiej, które wyniosło 11,27 mg·kg<sup>-1</sup> [Sammel 2015]. Natomiast zbliżone średnie stężenia kobaltu wystąpiły w osadach dennych Rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów [Kazimierowicz i Kazimierowicz 2014] oraz w osadach wodnych ciek wodnego położonego w zlewni typowo rolniczej [Szydłowski i Podlasińska 2016a]. Najwyższe stężenia kobaltu w wystąpiły w punkcie badawczym zlokalizowanym w obrębie P-2 wynosząc odpowiednio w 2014: 5,41 mg·kg<sup>-1</sup> oraz w 2015: 5,23 mg·kg<sup>-1</sup> (tabela 1 i 2). Porównywalne maksymalne stężenia wystąpiły w osadach dennych Rzeki Biebrzy

i jej trzech dopływów [Kazimierowicz i Kazimierowicz 2014], w osadach stawu nr 2 znajdującego się w aglomeracji Szczecińskiej [Sammel 2015] oraz w osadach ciek wodnego w obrębie użytkowania rolniczo-gospodarczego [Szydłowski i Podlasińska 2016a].

### Ołów (Pb)

Stężenia ołowiu w wierzchniej warstwie osadów dennych rzeki Gowienica przyjmują wartości od 7,15 mg do 38,51 mg·kg<sup>-1</sup> (tabela 1 i 2). Rozmieszczenie przestrzenne ołowiu w osadach dennych ciek wodnego w obydwu latach badawczych wykazują porównywalną homogeniczność uzyskanych wyników. Dobrze obrazują to współczynniki zmienności, które wynoszą odpowiednio w 2014: 79,63% oraz w 2015: 61,07%. Uzyskane stężenia ołowiu wynoszą od 6,36 do 38,51 mg·kg<sup>-1</sup> i są one znacząco niższe od stężeń w osadach dennych kanału miejskiego we Wrocławiu, które wynosiły od 19 mg do 321 mg·kg<sup>-1</sup> [Dziadowska i Noga 2008] oraz od stężeń w osadach dennych stawu wodnego (nr 1) w aglomeracji miejskiej Szczecina (152,8–206,2 mg·kg<sup>-1</sup>) badanych przez Samela [2015]. Również w pracy Szydłowskiego i Podlasińskiej [2016a] w punkcie badawczym P-1 zlokalizowanym w pobliżu zabudowy gospodarczej stężenia ołowiu były wyższe (44,93–71,47 mg·kg<sup>-1</sup>). Jednocześnie w pracy tych samych autorów w pozostałych punktach badawczych P-2 oraz P-3 wystąpiły porównywalne stężenia (0,005–19,65 mg·kg<sup>-1</sup>) z wynikami stężeń uzyskanymi w pracy własnej. Uzyskane wyniki w pracy Madeyskiego i Tarnawskiego [2007] były zbliżone z wynikami stężeń ołowiu w analizowanych osadach dennych rzeki Gowienica. Osady denne według klasyfikacji LAW [za Nocoń 2009] zaliczane są do klasy I (niezanieczyszczone) oraz klasy I-II (niezanieczyszczone/umiarkowanie zanieczyszczone) w pierwszym roku badań natomiast w drugim roku wszystkie próbki osadów klasyfikowane są jako osady niezanieczyszczone (klasa I).

### Chrom (Cr)

Stężenia chromu z wyjątkiem punktu badawczego P-4 (2015) były wyższe niż podane przez Bojakowską i Sokołowską [1998] tło geochemiczne dla osadów wodnych Polski, które wynosi 5 mg·kg<sup>-1</sup>. Uzyskane średnie stężenia chromu były znacząco niższe niż podane przez Kabate-Pendias

i in. [1999] średnie stężenie chromu dla osadów Europy wynoszące  $64,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Zbliżone średnie stężenia chromu uzyskano w pracy Szydłowskiego i Podlasińskiej [2016a], które wynosiły odpowiednio:  $28,28 \text{ mg}$ ;  $14,33 \text{ mg}$  oraz  $9,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Osady dennie zlewni rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów badanych przez Kazimierowicz i Kazimierowicz [2014] charakteryzowały się niższym średnim stężeniem chromu ( $9,67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) od osadów rzeki Gowienica. Wszystkie próbki osadów dennych według klasyfikacji LAW [za Nocoń 2009] klasyfikowane są jako osady niezanieczyszczone (I klasa).

Reasumując, można stwierdzić, że podwyższone koncentracje wybranych metali ciężkich w osadach dennych rzeki Gowienica poza naturalnymi uwarunkowaniami utożsamianymi przede wszystkim z budową geologiczną, należy łączyć z antropopresją otaczającego terenu (różne sposoby zagospodarowania oraz użytkowanie zlewni). Dobrze to obrazuje punkt badawczy P-5 (stężenie ołowiu w 2014 r.) oraz P-3 (stężenie chromu w 2015 r.).

Klasyfikacją, która ocenia poziomy progowego oraz prawdopodobieństwo oddziaływania zanieczyszczeń, które są wyrażone wskaźnikiem TEL (Threshold Effects Level)- zawartość progowa poniżej, której nie obserwuje się szkodliwych efektów oraz PEL (Probable Effects Level)- stężenie progowe, powyżej którego można obserwować szkodliwe oddziaływanie. Według tej klasyfikacji przekroczenia progowych wartości TEL dla ołowiu wystąpiły w punkcie P-5 (2014), niklu (2014: P-1, 2, 4 i 6), chromu (2015: P-2, 3 i 6) oraz rtęci (2014: P-5), lecz były one niższe od wskaźników PEL.

## WNIOSKI

1. Uzyskane w badaniach własnych stężenia ołowiu, niklu, chromu oraz rtęci charakteryzowały się przekroczeniami wartości progowych, poniżej których nie obserwuje się szkodliwego oddziaływanie zanieczyszczeń (TEL), lecz żaden z analizowanych metali ciężkich nie przekroczył wartości granicznej (PEL) powyżej której można obserwować szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń na organizmy.
2. Przekroczenia wartości naturalnych (tło geochemiczne) dla osadów wodnych świadczą o aktywnej antropopresji obszarów przylegających do rzeki Gowienica oraz o ciągłym dopływie zanieczyszczeń ze zlewni.

3. Według klasyfikacji LAW analizowane osady dennie mieściły się pomiędzy osadami niezanieczyszczonej (klasa I), a osadami niezanieczyszczonej/umiarkowanej zanieczyszczonej (klasa I-II).
4. W pierwszym roku badawczym (2014) wystąpiły wyższe średnie stężenia kadmu, kobaltu, ołowiu oraz niklu, natomiast w osadach pobranych w drugim roku badań (2015) wystąpiły wyższe średnie stężenia chromu oraz rtęci.

## LITERATURA

1. Abaye D.A., Lawlor K., Hirsch P.R., Brookes P. C. 2005. Changes in the microbial community of an arable soil caused by long-term metal contamination. *European Journal of Soil Science*, 56, 93–102.
2. Bojakowska I., Dobek P., Wokiewicy S. 2010. Pierwiastki śladowe w osadach kanału Bydgoskiego. *Górnictwo i Geologia*, t 5, z. 4, 41–49.
3. Bojakowska I., Sokołowska G. 1996. Heavy metals in the sediments of lakes Pojezierza Kaszubskiego. *Przegląd Geologiczny*, 44(9), 920–923.
4. Bojakowska I., Sokołowska G. 1998. Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny*, vol. 46(1), 49–54.
5. Burczyk P., Gamrat R. 2006. Assessment of Agricultural Land Development Influence on Concentration of Phosphorus and Potassium Compounds in Soil and Ground Waters *Polish Journal of Environ. Stud.*, vol. 15, no 5d, 419–423.
6. Durkowski T., Burczyk P., Królak B. 2007. Stężenie wybranych składników chemicznych w wodach gruntowych i roztworze glebowym w małej zlewni rolniczej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 7, z. 1(19), 5–15.
7. Durkowski T., Jarnuszowski G., Wiśniewska J. 2015A. Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych o charakterze obszarowym na zasoby wodne zlewni jeziora Miedwie. *Inżynieria Ekologiczna Ecological Engineering*, vol. 45, 2015, 140–149
8. Dziadowska K., Noga L. 2008. Rating geotechnical conditions and quality standards of sediments for the modernization of the canal city of Wrocław. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 2, 99–104.
9. Falandysz J., Masahide K., Danisiewicz D., Stepnowski P., Boszke L., Gołębiowski M. 1996. Rtgę ogółem w śródlądowych i przybrzeżnych osadach dennych z różnych miejsc na terenie polski. *Bromat. Chem. Toksykol.*, vol. XXIX, no. 2, 183–186.
10. Florczyk H., Gołowin S. 1980. Metale ciężkie w wodach powierzchniowych płynących Polski. *Ochrona Środowiska*, nr 1/1980, 12–17.

11. GUS. 2010. Powszechny spis rolny 2010. Baza danych lokalnych. Dostępny w Internecie: <http://stat.gov.pl/spisy-powszechnne/powszechny-spis-rolny-2010/>
12. Hoc R., 2007. Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”, arkusz Żeliszawiec (266). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
13. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Warszawa: Wyd. Nauk PWN.
14. Kasperek R., Rrosik-Dulewska C., Wiatkowski M. 2007. Badania osadów dennych w rejonie granicznych meandrów górnej Odry. Roczniki Ochrony Środowiska, t. 9, 293–302.
15. Kazimierowicz Z., Kazimierowicz J. 2014. Badania zawartości metali ciężkich w zlewni rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów. Inżynieria Ekologiczna, vol. 40, 25–32.
16. Kondracki J. 2001. Geografia regionalna Polski. Warszawa: Wydaw. Nauk. PWN., Nitrogen Directive (Dyrektywa Azotanowa Unii Europejskiej) 91/676/EWG. 1991, 441.
17. Krasowska M., Banaszuk P. 2015. Drogi migracji biogenów w zlewni rolniczej. Inżynieria Ekologiczna, vol 43, 35–41.
18. Linczar M., Linczar S.E., Linczar P., Żmuda R. 2005. Właściwości osadów dennych ciekłu Mielnica. Acta Agrophysica, 5(2), 345–355.
19. Macdonald D.D., Ingersoll C.G. Berger T.A. 2000. Development And Evaluation Of Concensus-Based Sediment Quality Guidelines For Freshwater Ecosystems. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 39, 20–31.
20. Madeyski M., Tarnawski M. 2007. Wstępna ocena ilości i jakości osadów dennych wydzielonej części zbiornika wodnego Besko na rzece Wisłok. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4(1), 101–110.
21. Micun K. 2014. Rola zagłębi bezodpływowych jako lokalnych zbiorników sedymentacyjnych w krajobrazie młodogłacjalnym suwalskiego parku krajobrazowego. Inżynieria Ekologiczna, vol 40, 296–207.
22. Nocoń W. 2006. Zawartość metali ciężkich w osadach dennych rzeki Kłodnicy. Journal of Elementology, 11(4), 457–466.
23. Rabajczyk A. 2007. Możliwości wykorzystania analizy form metali ciężkich występujących w wodach powierzchniowych w monitoringu środowiska). Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 8, 19–27, Kieleckie, Towarzystwo Naukowe, Kielce.
24. Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2006–2007. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie, 2008.
25. Rawicki K., Burczyk P., Wesołowski P., Marciniak A., Brysiewicz A. 2015. Zmienność stężeń mineralnych związków azotu i fosforu w ciekłu na obszarze zlewni użytkowanej rolniczo. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 15, z. 2 (50), 115–125.
26. Rzętała A.M. 2012. Mercury in the bottom sediments of water bodies in the region of the Upper Silesia (Southern Poland). Acta Geographica Silesiana, 2, 77–81.
27. Sammel A. 2015. The chemical composition of bottom sediments of water bodies Syrenie Ponds Szczecin agglomeration and the possibility of their use. Uniwersytet Zielonogórski, Zeszyty naukowe, 157, 53–60.
28. Sidoruk M., Potasznik A. 2013. Ocena stanu zanieczyszczenia ołowiem, cynkiem i chromem osadów dennych jeziora Sunia. Proceedings of Ewopole, vol. 7(2), 713–720.
29. Szydłowski K., Podlasińska J. 2016a. Stężenie wybranych metali ciężkich w osadach dennych ciekłu wodnego. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, nr 1/1, 59–71.
30. Szydłowski K., Podlasińska J. 2016b. Charakterystyka osadów dennych oczek wodnych. Inżynieria Ekologiczna, vol. 47, 40–46.