

Katarzyna ROZPONDEK, Rafał ROZPONDEK

Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska
ul. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa
e-mail: krozpondek.pcz@gmail.com, r.rozpondek@is.pcz.pl

Wykorzystanie wskaźników ryzyka ekologicznego do oceny stopnia zanieczyszczenia osadów dennych zbiornika wodnego Dzierżno Duże

The Use of Ecological Risk Indicators to Assess the Degree of Pollution of Bottom Sediments of the Dzierżno Duże Water Reservoir

The aim of the study was to assess the quality of bottom sediments of the Dzierżno Duże water reservoir by applying a set of guidelines on sediment quality (SQG) and spatial analysis. These guidelines are widely used to study sediment pollution by comparing sediment pollution with relevant values determining the quality of sediments in aquatic ecosystems. The assessment of sediment contamination with trace elements was based on threshold effect concentration (TEC) and probable effect concentration (PEC) methods. To determine potential risk to the benthic fauna, values of trace elements were compared to corresponding TEC and PEC values. Another performed assessment was based on the potential ecological risk index (PERI) which consists of: potential ecological risk of the trace elements, contamination factor, measured background values of the trace elements in studied area. Bottom sediment samples were collected at 57 measuring points. The network of measurement points has been planned in the form of a regular grid of squares using the GIS system. The collected samples were analyzed for the content of selected trace elements. PECQ values ranged from 0.02 to 1.66 with an average of 0.55. PERI from 6.95 to 753.74 on average 194.06. High values of the coefficient of determination between PERI and PECQ and the analyzed trace elements (values above 0.7) were observed. Spatial analysis carried out in the geostatistical software allowed to determine the areas with the greatest ecological risk. The largest values of heavy metals and PERI and PECQ are found in the northern part of the reservoir, while the lower values are localized in the southern and south-eastern part. The Dzierżno Duże reservoir mainly has recreational functions. Due to the high ecological risk values and the constant threat due to nearby agricultural areas (runoff of plant protection products) and industrial plants, it should be constantly monitored.

Keywords: bottom sediments, sediment quality guidelines, heavy metals

Wprowadzenie

Skład materii znajdującej się na dnie zbiorników wodnych (osadów dennych) uwarunkowany jest zarówno czynnikami naturalnymi, jak i antropogenicznymi. W pierwszej grupie czynników ważną rolę odgrywają między innymi struktura geologiczna, rodzaj pokrywy glebowej, ukształtowanie terenu i warunki klima-

tyczne [1]. Osady denne pełnią szereg funkcji w ekosystemach środowisk wodnych. Stanowią one siedlisko wielu organizmów, biorą udział w biogeochemicznym procesie cyrkulacji pierwiastków oraz są miejscem osadzania się i przemian wielu związków znajdujących się w toni wodnej. Ze względu na strukturę osadów tworzą one naturalny geosorbent, w którym gromadzone są zanieczyszczenia wprowadzane do środowiska wodnego. Szczegółowa ocena jakości środowiska wodnego w bezpośredni sposób związana jest z analizą zanieczyszczenia osadów dennych z uwagi na to, że ujawniają one istotne cechy ekosystemów wodnych [2, 3].

Badania dotyczące składu osadów dennych w połączeniu z wnikliwą analizą uzyskanych wyników stanowią cenne źródło informacji na temat szkodliwych działań antropogenicznych podejmowanych w obrębie danego obiektu. Najczęściej obserwowanymi formami działalności człowieka wpływającymi na jakość osadów są między innymi zrzuty ścieków komunalnych i przemysłowych, atmosferyczne i gazowe zanieczyszczenie atmosfery oraz wycieki ze składowisk odpadów. Dodatkowo, na terenach rolniczych zanieczyszczeniami wprowadzanymi do zlewni zbiornika są nawozy, środki ochrony roślin, a także osady ściekowe, które są wykorzystywane do nawożenia gruntów ornych. W wyniku całościowego działania przedstawionych czynników materiał zgromadzony na dnie zbiorników wodnych może zawierać znaczne ilości zanieczyszczeń organicznych (np. WWA, pestycydy) i nieorganicznych (np. metale ciężkie), które akumulowane są w osadach. Cechą charakterystyczną związków zgromadzonych w osadach dennych jest to, że mogą one pozostawać aktywne przez długi okres czasu, co w konsekwencji stwarza zagrożenie wtórnego zanieczyszczenia wody [1, 4-6].

Współczesne badania dotyczące osadów dennych związane są często z oceną toksyczności oraz określaniem ryzyka ekologicznego i zdrowotnego powodowanego przez metale ciężkie. Wytyczne dotyczące jakości osadów (SQG) i potencjalny wskaźnik ryzyka ekologicznego (PERI) stanowią grupę użytecznych metod, które pozwalają na ocenę ryzyka zanieczyszczenia systemu wodnego przy uwzględnieniu całkowitej zawartości metali ciężkich w osadach dennych [7-11].

Głównym celem pracy była ocena jakości osadów dennych zbiornika wodnego Dzierżno Duże poprzez zastosowanie zestawu wytycznych dotyczących jakości osadów, potencjalnego ryzyka ekologicznego i analiz przestrzennych.

1. Metodyka i obszar badań

Pobór próbek osadów dennych zbiornika Dzierżno Duże przeprowadzono we wrześniu 2016 roku. Zbiornik ten znajduje się w zachodniej części województwa śląskiego i wchodzi w skład następujących jednostek administracyjnych: miasta Gliwice, miasta Pyskowice, gminy Rudziniec oraz gminy Zabrosławice. Zlewnia analizowanego zbiornika, stanowiącego część zlewni Kłodnicy (na odcinku między 32,2 km a 38,1 km biegu Kłodnicy [12, 13]) o powierzchni wynoszącej blisko 530 km², niemalże w całości znajduje się na obszarze Wyżyny Katowickiej [12-14]. Powierzchnia zbiornika to blisko 615 ha - jest to jeden z większych zbiorników

na terenie Polski. Od strony południowej i wschodniej misa zbiornika ma charakter naturalny, od zachodu ogranicza ją zapora ziemna, a od północy wał. Zbiornik zasilany jest w głównej mierze znacznie zanieczyszczonymi wodami Kłodnicy [12, 13].

Charakter gospodarki wodnej prowadzonej na obszarze uprzemysłowionym i zurbanizowanym (zrzuty ścieków komunalnych i przemysłowych, regulacja cieków, wprowadzenie do rzek wód dołowych kopalń, przerzuty wód i wykorzystanie wód obcych pochodzących spoza terenu zlewni, wprowadzenie do rzek wód dołowych kopalń, budowa i powstawanie licznych zbiorników wodnych) oraz w mniejszym stopniu zmiany klimatyczne spowodowały przekształcenia w naturalnym reżimie odpływu cieków zlewni Kłodnicy [12-15]. Ponadto proces antropogenizacji stosunków wodnych w zlewni Kłodnicy obrazują zmiany jakościowe wody [12, 15, 16], które wyrażają się przede wszystkim transformacją struktury chemicznej wody oraz związaną z tym zmianą jej walorów użytkowych [12, 17]. Obecnie w konsekwencji wielkoobszarowej emisji zanieczyszczeń do wód powierzchniowych cieki omawianego obszaru są klasyfikowane jako nieodpowiadające normom, ponieważ charakteryzują się niedostatecznym natlenieniem, wysoką zawartością substancji biogennych, obecnością znacznych ilości metali ciężkich i zanieczyszczeń bakteryjnych [12, 15, 17].

Wykorzystując oprogramowanie ArcGIS, opracowano sieć punktów pomiarowych w postaci regularnej siatki kwadratów składającej się z 56 punktów pomiarowych. Kolejno, wykorzystując system GPS, odtworzono zaplanowaną sieć i dokonano poboru próbek osadów dennych. Ze względu na warunki terenowe pobór materiału w punktach 19, 36, 55 i 57 nie był możliwy. Próbkę osadów dennych zostały pozyskane w 52 punktach pomiarowych z głębokości od 0,3 do 16,5 m poniżej zwierciadła wody. Materiał do badań pobrano, wykorzystując specjalistyczny chwytacz osadów dennych typu Van Veen firmy KC Denmark [12].

Pobrane próbki osadów dennych poddano suszeniu w warunkach powietrzno suchych, a następnie przesiano wstępnie przez sito o średnicy oczek 2 mm. Kolejno wysuszono je w suszarce w temperaturze 105°C do suchej masy i zmielono w młynku wibracyjnym do frakcji osadów o średnicy cząstek < 0,2 mm. Z każdego punktu pomiarowego przygotowano do analiz po 3 próbki. Tak przygotowane próbki zostały wykorzystane do wyznaczenia całkowitej zawartości metali ciężkich. Wykonano ekstrakcję metali wodą królewską (mieszanina kwasu solnego i azotowego w stosunku objętościowym 3:1). Mineralizację przeprowadzono w temperaturze 180°C w czasie 30 minut przy zastosowaniu wysokociśnieniowego mineralizatora mikrofalowego niemieckiej firmy Berghof. Zawartość metali ciężkich oznaczono na spektrofotometrze plazmowym ICP-OES IRIS Thermo. Poziom koncentracji azotu ogólnego oznaczono metodą Kjeldahla, stosując destylację zgodnie z Polską Normą PN-ISO 11261:2002 oraz mineralizację w temperaturze 350°C ze stężonym kwasem siarkowym. Do oznaczenia zawartości substancji organicznych wykorzystano metodę wagową według normy PN-ISO 11465:1999 [12].

W celu oceny stopnia, w jakim stan chemiczny związany z osadami może niekorzystnie wpływać na organizmy wodne oraz poprawy wiarygodności interpre-

tacji uzyskanych wyników dotyczących określenia jakości osadów, zastosowano wytyczne dotyczące jakości osadów (ang. *SQG - Sediment Quality Guidelines*). Wytyczne te są szeroko stosowane do określania zanieczyszczenia osadów poprzez porównanie poziomu stężeń zanieczyszczeń osadów z odpowiednimi wartościami określającymi jakość osadów w ekosystemach wodnych [9, 10, 18, 19]. Ocena zanieczyszczenia osadów metalami ciężkimi została przeprowadzona w oparciu o wartości progowe stężenia efektu (TEC) i prawdopodobnych stężeń efektu (PEC). W celu określenia potencjalnego ryzyka ekologicznego dla organizmów bentosowych wyniki badań uzyskane w efekcie oznaczenia metali ciężkich porównano z odpowiednimi wartościami TEC i PEC (tab. 1). Obliczono również PECQ, jako średnią stosunku PEC dla każdego z analizowanych pierwiastków. Istnieją dwie kluczowe progowe wartości wskazujące na potencjalne ryzyko środowiskowe: 0,5 i 1,0. Jeżeli wartości PECQ są niższe niż 0,5, to przewiduje się, że próbki osadów dennych są nietoksyczne. Jeśli przekracza wartość 1,0, oznacza to, że osady denne są toksyczne i stanowią zagrożenie dla organizmów bytujących na dnie zbiorników wodnych. W przypadku gdy znajdują się w przedziale od 0,5 do 1,0, to osady uznaje się zarówno za toksyczne, jak i nietoksyczne - nie jest możliwe jednoznaczne wskazanie cechy [2, 10, 18-20].

Tabela 1. **Odpowiadające wartości TEC i PEC dla badanych pierwiastków śladowych [10]**

Table 1. **Corresponding values of TEC and PEC for the tested trace elements [10]**

Parametr	Zn	Cd	Pb	Ni	Cu	Cr
PEC	459	5	128	49	149	111
TEC	121	1	35,8	23	32	43,4

Potencjalny wskaźnik ryzyka ekologicznego (PERI) pozwala na ocenę stopnia zanieczyszczenia osadów dennych metalami ciężkimi w zależności od toksyczności metali ciężkich, jak również reakcji, jaka następuje w związku z tym w środowisku naturalnym. Potencjalny wskaźnik ryzyka ekologicznego dla poszczególnych metali ciężkich obliczono na podstawie formuły opracowanej przez Håkanson. Składa się ona z potencjalnego wskaźnika ryzyka ekologicznego wyznaczonego dla poszczególnych pierwiastków, współczynnika zanieczyszczenia, wartości tła geochemicznego metali ciężkich. W obliczeniach uwzględniany jest współczynnik reakcji toksycznej pierwiastków śladowych, który zależy od czynnika toksyczności sedymentologicznej (STF) i wskaźnika bioprodukcji (BPI). Przyjmuje się, że STF poszczególnych elementów jest następujący: Zn = 1; Cu, Pb, Ni = 5; Cr = 2; Cd = 30. Indeks bioprodukcji jest czynnikiem wpływającym na biodostępność pierwiastków śladowych. BPI obliczono jako zawartość azotu w linii regresji dla wartości zawartości substancji organicznej 10% [21-25]. Wartość BPI wyniosła 22,16. Wskaźnik zanieczyszczeń dla analizowanych elementów został wyznaczony na podstawie wartości tła geochemicznego osadów dennych: Zn 48 mg/kg, Cu 6 mg/kg, Ni, Cr 5 mg/kg, Pb 10 mg/kg i Cd 0,5 mg/kg [10, 24, 25].

Przeprowadzone statystyki opisowe obejmowały wyznaczanie wartości średniej, odchylenia standardowego, mediany, minimum, maksimum, kurtozy i skośności. Wyznaczono również wartości współczynnika determinacji pomiędzy analizowanymi elementami. Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania Statistica.

Rozkłady przestrzenne wskaźnika PERI, PECQ i TEC wygenerowano za pomocą oprogramowania ArcGIS. Do wygenerowania modeli przestrzennych wykorzystano metodę interpolacji wagowanej odwrotnej odległości. Uzyskane rozkłady przestrzenne umożliwiły wydzielenie stref charakteryzujących się najwyższym ryzykiem ekologicznym w obrębie analizowanego obiektu [2, 10, 18, 24, 25].

2. Wyniki i ich omówienie

Analizę statystyczną zawartości metali ciężkich, wskaźników PERI i PECQ w osadach dennych zbiornika Dzierżno Duże przedstawiono w tabeli 2. Dane charakteryzowały się znaczną różnicą między wartościami minimalnymi i maksymalnymi, wysoką wartością odchylenia standardowego w porównaniu ze średnią i stosunkowo niskimi wartościami skośności i kurtozy (z wyjątkiem Cd i PERI). Czynniki te wskazują, że całkowita zawartość metali ciężkich w osadach dennych nie charakteryzuje się rozkładem normalnym.

Tabela 2. Wyniki analizy statystycznej pierwiastków śladowych, PERI, PECQ oraz PE w osadach dennych zbiornika wodnego Dzierżno Duże

Table 2. Results of statistical analysis of trace elements, PERI, PECQ and PE in bottom sediments of the Dzierżno Duże water reservoir

Parametr	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Skośność	Kurtoza
Cd, mg/kg	5,13	4,95	0,21	22,7	4,47	1,59	3,84
Cr, mg/kg	36,25	41,75	2,32	88,2	20,8	0,31	-0,21
Cu, mg/kg	40,07	48,3	0,37	100,9	28,72	0,13	-0,81
Ni, mg/kg	16,22	16,8	0	36,5	9,64	0,2	-0,66
Pb, mg/kg	56,58	67,25	0,92	134,4	36,38	0,09	-0,73
Zn, mg/kg	409,99	473,2	13,3	1056,3	266,57	0,05	-0,84
PE, %	15,57	15,97	-1,89	40,02	9,9	0,18	-0,55
PECQ	0,55	0,60	0,02	1,66	0,37	0,46	0,12
PERI	194,06	195,70	6,95	753,74	155,43	1,20	2,38

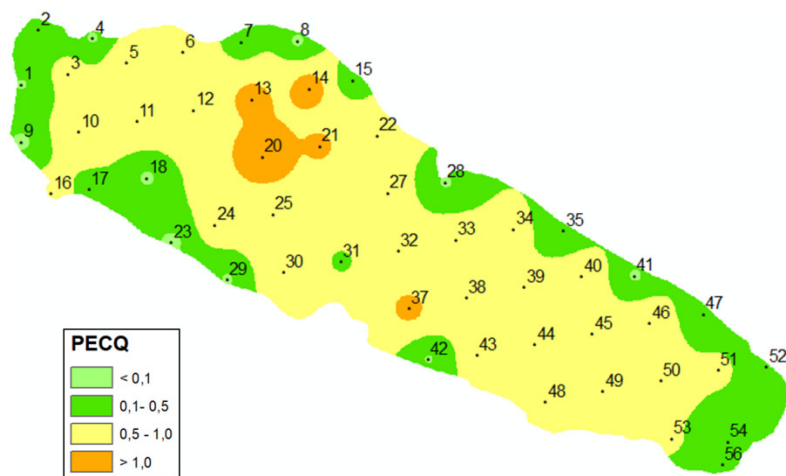
Opracowano rozkłady przestrzenne wskaźników PECQ i PERI (rys. 1 i 2). Badany obszar cechuje się znacznym zróżnicowaniem przestrzennym analizowanych elementów. Najwyższe wartości PECQ i PERI stwierdzono w punktach 13, 14, 20, 21, 37, które są zlokalizowane głównie w północnej części zbiornika wodnego Dzierżno Duże. Wspomniany obszar zbiornika charakteryzuje się również najwięk-

szą głębokością [12]. Najniższe wartości wskaźników zaobserwowano w regionach środkowym, południowym i wschodnim. Maksymalne wartości PERI i PECQ wynoszą odpowiednio: PECQ 1,66 i PERI 753,74. Ponadto, na podstawie klasyfikacji geochemicznej osadów dennych zbiornika Dzierżno Duże stwierdzono, że materiał zgromadzony na dnie analizowanego obiektu jest silnie zanieczyszczony przez Cd i Zn, zanieczyszczony przez miedź i ołów oraz miernie zanieczyszczony ze względu na zawartość chromu i niklu [26]. Rozkłady przestrzenne PERI i PECQ są zbliżone do rozkładów przestrzennych zawartości Cd i Zn w osadach dennych zbiornika Dzierżno Duże. Zaobserwowana zależność wskazuje, że metale te w znacznym stopniu determinują wartości PERI i PECQ.

Rozkład przestrzenny analizowanych wskaźników w znacznym stopniu pokrywa się z dominującym w zbiorniku prądem, co wskazuje na ruchliwość badanego materiału. Zwiększona zawartość metali ciężkich północnej części zbiornika wodnego Dzierżno Duże może wynikać z faktu, że analizowany obiekt jest narażony na szkodliwy wpływ działań antropogenicznych.

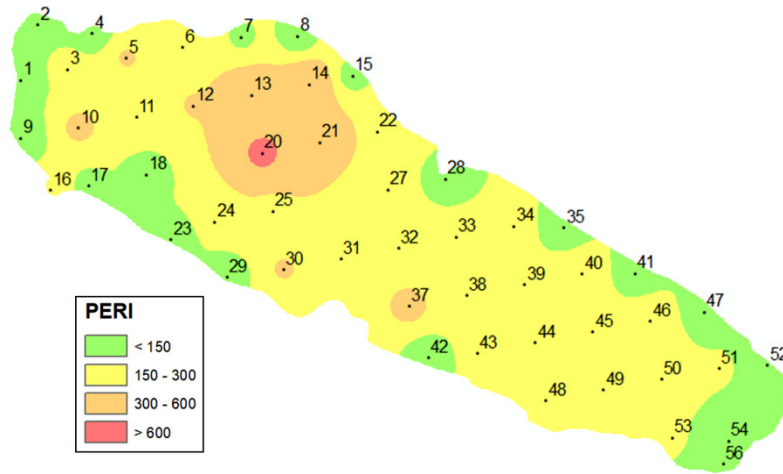
Jako dodatkową przyczynę, wpływającą na znaczną zawartość metali ciężkich w osadach dennych analizowanego obiektu, zidentyfikowano spływ powierzchniowy wprowadzający do zbiornika zanieczyszczenia z obszarów rolniczych (nawozy, pestycydy) oraz osady ściekowe, którymi nawożone są pola uprawne [2, 14, 16].

Współczynniki determinacji zostały obliczone między wartościami wskaźnika PECQ i PERI a badanymi metalami ciężkimi (tab. 3). Najwyższe wartości stwierdzono pomiędzy Zn, Cd, Pb, Ni, Cr i wyznaczonymi wskaźnikami, najniższe wartości współczynnika determinacji wyznaczono między PERI a Cu (wartość 0,7). Prowadzi to do założenia, że w odniesieniu do zbiornika wodnego Dzierżno Duże wszystkie badane metale ciężkie są bezpośrednio skorelowane z wyznaczonymi wskaźnikami PERI i PECQ.



Rys. 1. Rozkład przestrzenny średniego prawdopodobnego efektu toksyczności (PECQ) w osadach dennych zbiornika Dzierżno Duże

Fig. 1. Spatial distribution of the average probable effect concentration (PECQ) in bottom sediments of the Dzierżno Duże reservoir



Rys. 2. Rozkład przestrzenny potencjalnego wskaźnika ryzyka ekologicznego (PERI) w osadach dennych zbiornika Dzierżno Duże

Fig. 2. Spatial distribution of the potential ecological risk (PERI) in bottom sediments of the Dzierżno Duże reservoir

Tabela 3. Współczynnik determinacji między PECQ, PERI a efektem toksyczności (PE) w osadach dennych zbiornika Dzierżno Duże

Table 3. Coefficient of determination calculated between PECQ, PERI, TEC and trace elements of bottom sediments of water reservoir Dzierżno Duże

Parametr	PECQ	PERI
Zn	0,95	0,84
Cd	0,91	0,99
Pb	0,90	0,76
Ni	0,91	0,85
Cu	0,82	0,70
Cr	0,94	0,87

Wysokie ryzyko ekologiczne związane z osadami dennymi zbiornika wodnego Dzierżno Duże wskazuje na konieczność ciągłego monitorowania stanu wód i osadów dennych analizowanego obiektu głównie ze względu na zdrowie wypoczywających tam ludzi [2, 12]. Sporządzone mapy rozkładu przestrzennego poszczególnych elementów (rys. 1 i 2) mogą stanowić podstawę do podjęcia działań mających na celu planowanie profilaktyki, ochrony i procesów mających na celu poprawę obecnego stanu zbiornika Dzierżno Duże [2, 12]. Wizualizacja uzyskanych wyników badań przeprowadzona przy wykorzystaniu systemu GIS stanowi klarowny przekaz na temat stanu jakości osadów dennych analizowanego obiektu. Wykorzystanie wskaźników ryzyka ekologicznego pozwoliło na wyodrębnienie w granicach zbiornika Dzierżno Duże stref cechujących się znacznym poziomem zanieczyszczenia osadów dennych. Tego typu wyniki udostępnione organom administracji publicznej oraz społeczeństwu wpłyną na wzrost świadomości ekologicznej przeja-

wiąjącej się m.in. przeciwdziałaniu zagrożeniom środowiska oraz przestrzeganiem zasad ochrony przyrody.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sporządzono następujące wnioski:

1. Najwyższe wartości PERI, PECQ i TEC występują głównie w północnej części zbiornika wodnego Dzierżno Duże.
2. Ze względu na wysokie wartości ryzyka ekologicznego zbiornik powinien być stale monitorowany.
3. Wykazano wysoką zależność przestrzenną między wartościami wskaźnika PERI i PECQ a analizowanymi metalami ciężkimi.
4. Najniższe wartości PERI i PECQ zaobserwowano w części południowej i południowo-wschodniej obiektu.
5. Wysokie wartości wskaźnika determinacji między PECQ, PERI a metalami ciężkimi wskazują na to, że oba wskaźniki można stosować zamiennie (z uwagi na uzyskanie podobnych wyników).
6. Zastosowanie systemu GIS oraz interpolacji pełni bardzo ważną rolę w badaniach osadów dennych. Umożliwia to szczegółową analizę rozmieszczenia przestrzennego zawartości metali ciężkich w osadach dennych, co może stanowić podstawę planowania monitoringu oraz procesów rekultywacyjnych.

Podziękowania

Badania finansowane z grantu BS/MN-401-302/16 Wydziału Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej.

Literatura

- [1] Kazimierowicz Z., Kazimierowicz J., Badania zawartości metali ciężkich w zlewni rzeki Biebrzy i jej trzech dopływów, *Inżynieria Ekologiczna* 2014, 40, 25-32.
- [2] Baran A., Tarnawski M., Zawartość metali ciężkich oraz toksyczność osadów dennych zbiornika w Zesławicach, *Proceedings of ECOpole 2013*, 7(2), 531-537.
- [3] Rozpondek K., Rozpondek R., Pachura P., Analiza toksyczności osadów dennych zbiornika Poraj w aspekcie stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi, *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus* 2017, 16(2), 33-43.
- [4] Rozpondek K., Rozpondek R., Problematyka zrównoważonego rozwoju w świetle oceny geochemicznego stanu środowiska wodnego przy wykorzystaniu systemu GIS, *Problemy Ekorozwoju* 2017, 12(1), 131-137.
- [5] Małecki Z., Wpływ rumowiska na stężenia substancji biogenicznych w zbiorniku retencyjnym w zlewni Proсны, *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus* 2009, 8(3-4), 25-42.
- [6] Trojanowska-Olichwer A., Ocena toksyczności osadów w Zbiorniku Włocławskim, *Journal of Ecology and Health* 2013, 17(3), 103-109.
- [7] Fang S.B., Jia X.B., Yang X.Y., Li Y.D., An S.Q., A method of identifying priority spatial patterns for management of potential ecological risks posed by heavy metals, *Journal of Hazardous Materials* 2012, 237-238, 290-298.

- [8] Bastami K.D., Neyestami M., Shemirani F., Soltani F., Haghparast S., Akbari A., Heavy metal pollution assessment in relation to sediment properties in the coastal sediments of the southern Caspian Sea, *Marine Pollution Bulletin* 2015, 92, 237-243.
- [9] Li J., Risk assessment of heavy metals in surface sediments from the Yanghe River, China, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2014, 11, 12441-12453.
- [10] Baran A., Tarnawski M., Koniarski T., Spatial distribution of trace elements and ecotoxicity of bottom sediments in Rybnik reservoir, *Environmental Science and Pollution Research* 2014, 23, 17255-17268.
- [11] Burton A., Sediment quality criteria in use around the world, *Limnology* 2002, 3, 65-75.
- [12] Rozpondek K., Rozpondek R., Zastosowanie modelowania przestrzennego do analizy zawartości substancji biogenych w osadach dennych zbiornika wodnego Dzierżno Duże, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2017, 20(3), 285-294.
- [13] Rzętała M., Bilans wodny oraz dynamika zmian wybranych zanieczyszczeń zbiornika Dzierżno Duże w warunkach silnej antropopresji, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2005.
- [14] Czaja S., Jankowski A.T., Zastosowanie modelu wahań w czasie do oceny antropogenicznych zmian odpływu rzek województwa katowickiego w dwudziestolecie 1961-1980, *Geographia Studia at Dissertationes*, T. 13, red. J. Trembaczowski, Wydawnictwo UŚ, Katowice 1990, 7-23.
- [15] Czaja S., Jankowski A.T., Udział wód kopalnianych w odpływie rzek województwa katowickiego w latach 1985-1987, *Materiały Konferencji Hydrograficznej Przeobrażenia stosunków wodnych na obszarach silnej antropopresji*, red. A.T. Jankowski, Sosnowiec 1991, 145-156.
- [16] Absalon D., Kanok J., Leśniak M., Charakterystyka wybranych elementów meteorologicznych i hydrologicznych w wieloletniu 1961-1990, [w:] *Tendencje zmian obiegu wody w zlewni górnej Odry*, WNoZ UŚ, Sosnowiec 1996, 22-58.
- [17] Rzętała M., Wpływ antropopresji na charakter wykorzystania hydrowęzła Dzierżno (wycieczka terenowa), *Z badań nad wpływem antropopresji na kształtowanie warunków hydrologicznych*, *Materiały konferencyjne*, SKNG UŚ, WNoZ UŚ, 1996, Sosnowiec, 86-93.
- [18] Hou D., He J., Lü C., Ren L., Fan Q., Wang J., Xie Z., Distribution characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd) in water and sediments from Lake Dalinouer, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2013, 93, 135-144.
- [19] Sayed S., Moussa E., El-Sabagh M., Evaluation of heavy metal content in Qaroun Lake, El-Fayoum, Egypt. Part I: bottom sediments, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 2015, 8(3), 276-285.
- [20] Rozpondek K., Rozpondek R., Pachura P., Characteristics of spatial distribution of phosphorus and nitrogen in the bottom sediments of the water reservoir Poraj, *Journal of Ecological Engineering* 2017, 18(4), 178-184.
- [21] Tavakoly Sany S.B., Salleh A., Sulaiman A.H., Sasekumar A., Tehrani G., Rezayi M., Distribution characteristics and ecological risk of heavy metals in surface sediments of west port, Malaysia, *Environment Protection Engineering* 2012, 28(4), 139-155.
- [22] Jachniak E., Kozak J.L., Estimating the level of water eutrophication in Poraj dam reservoir based on selected methods, *Ecological Chemistry and Engineering* 2013, 20(7-8), 779-790.
- [23] Wolska L., Mędrzycka K., Ocena ekotoksyczności osadów dennych z portów morskich w Gdańsku i Gdyni, *Ochrona Środowiska* 2009, 31(1), 49-52.
- [24] Macdonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A., Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2000, 39, 20-31.
- [25] Håkanson L., An ecological risk index for aquatic pollution control, A sedimentological approach, *Water Research* 1980, 14, 975-1001.
- [26] Rozpondek R., Rozpondek K., Assessing spatial distributions of total trace elements content in bottom sediments of Dzierżno Duże water reservoir - geostatistics-based studies, *Journal of Ecological Engineering* 2018, 19, 3, 52-60.

Czestochowa University of Technology, Faculty of Infrastructure and Environment
ul. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa, Poland
e-mail: krozpondek.pcz@gmail.com, r.rozpondek@is.pcz.pl

Streszczenie

Celem przeprowadzonych badań była ocena osadów dennych zbiornika wodnego Dzierżno Duże przy zastosowaniu wytycznych dotyczących jakości osadów (ang. *SQGs - Sediment Quality Guidelines*) oraz analiz przestrzennych. Próbkę osadów dennych pobrano z 52 stanowisk pomiarowych. Sieć punktów pomiarowych została zaplanowana w postaci regularnej siatki kwadratów z wykorzystaniem systemu GIS. Pozyskane próbki podano badaniom laboratoryjnym obejmującym oznaczenie całkowitej zawartości metali ciężkich, materii organicznej oraz azotu Kjeldahla w materiale badawczym. Wyznaczone wartości wskaźnika PECQ wahały się w zakresie od 0,02 do 1,66 (przy średniej wynoszącej 0,55). W przypadku wskaźnika PERI wartości znajdowały się w przedziale od 6,95 do 753,74 (średnia wartość to 194,06). Stwierdzono wysokie wartości współczynnika determinacji między PERI i PECQ a analizowanymi metalami ciężkimi (wartości powyżej 0,7). Analiza przestrzenna badanych elementów pozwoliła na wyznaczenie obszarów charakteryzujących się wysokim ryzykiem ekologicznym. Stwierdzono, że największa zawartość metali ciężkich w osadach dennych obiektu oraz wartości wskaźnika PERI i PECQ znajduje się w północnej części zbiornika, natomiast niższymi wartościami charakteryzuje się część południowa i południowo-wschodnia. Zbiornik Dzierżno Duże pełni przede wszystkim funkcję rekreacyjną. Ze względu na wysokie wartości ryzyka ekologicznego, związane między innymi z ciągłym transportem zanieczyszczeń z obszarów rolniczych i zakładów przemysłowych, jego stan powinien być stale monitorowany.

Słowa kluczowe: osady dennie, rozkład przestrzenny, wskaźniki ryzyka ekologicznego, metale ciężkie