

**Rafał ROZPONDEK, Katarzyna WANCISIEWICZ**

Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska  
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa  
e-mail: r.rozpondek@is.pcz.pl, katarzynawancisiewicz@gmail.com

## **Analiza rozkładu zanieczyszczeń w osadach dennych z zastosowaniem GIS w przybrzeżnej strefie zbiornika wodnego Ostrowy na rzece Biała Oksza**

W pracy przedstawiono wyniki badań zanieczyszczenia osadów dennych w strefie przybrzeżnej zbiornika wodnego Ostrowy na rzece Biała Oksza. Próbki zostały pobrane z wierzchniej warstwy osadów w okolicach linii brzegowej. Zostały one poddane analizom laboratoryjnym pod względem zawartości substancji organicznej, azotu Kjeldahla, węgla całkowitego, fosforu ogólnego i przyswajalnego oraz całkowitej zawartości pięciu metali ciężkich, tj. Cd, Cr, Ni, Pb, Zn. Na podstawie wyników badań, przy zastosowaniu oprogramowania GIS, utworzono mapy przestrzennego rozkładu badanych elementów. W tym celu wykorzystano interpolację, a dokładniej metodę wagowanej odwrotnej odległości. Analiza wyników pozwoliła stwierdzić, że osady denne są zróżnicowane pod względem rozmieszczenia zanieczyszczeń biogennych i metali ciężkich. Zauważono także, że materia organiczna deponowana jest na całej przestrzeni zbiornika. Analizując stężenia badanych elementów, ustalono, że w obecnym stanie zbiornik nie wymaga przeprowadzenia zabiegów rekultywacyjnych.

**Słowa kluczowe:** osady denne, zanieczyszczenie, GIS, rozkład przestrzenny

### **Wprowadzenie**

Określenie stanu fizyczno-chemicznego osadów dennych i wód zbiorników wodnych jest istotnym aspektem przy gospodarowaniu wodami w dorzeczach. Dotyczy to szczególnie zagadnień związanych z ochroną wód, a mianowicie zabezpieczania ich przed zanieczyszczeniami, które mogą być wytworem przemysłu i rolnictwa.

Charakter prowadzenia obserwacji stanu jakości wód powierzchniowych wynika z wytycznych zawartych w Ramowej Dyrektywie Wodnej. Dokument ten określa cele i perspektywy dotyczące informacji o ocenie monitoringu zbiorników wodnych oraz rzek. W ostatnich latach stwierdza się wyraźne pogorszenie jakości wód. Powodem tego zjawiska jest dopływ zanieczyszczeń z ośrodków ludzkich, jak również wcześniej wspomnianego rolnictwa i przemysłu.

Omawiany zbiornik wodny jest przedmiotem zainteresowania okolicznych mieszkańców ze względu na możliwości rozwoju sportów wodnych, rekreacji i turystyki tego regionu. Zalew Ostrowy znajduje się między wsiami Ostrowy i Borowa w gminie Miedźno. Zbiornik ma powierzchnię 39 ha. Powierzchniowy

dopływ wody zapewnia rzeka Biała Oksza. Wymieniony ciek wodny prowadzi wody ze zlewni o powierzchni około 160 km<sup>2</sup>, gdzie znajduje się 11 wsi, liczących około 7,5 tysiąca mieszkańców.

Podstawową dziedziną gospodarki w zlewni rzeki Biała Oksza jest rolnictwo, głównie małoobszarowe gospodarstwa rolne. Tereny leśne stanowią około 42% powierzchni gminy. Gmina posiada dobrze funkcjonującą oczyszczalnię ścieków, do której doprowadzane są ścieki komunalne. Gmina Miedźno położona jest w obszarze zlewni rzeki Liswarty, która jest lewobrzeźnym dopływem trzeciej co do długości rzeki Polski - Warty. Przepływające przez gminę rzeki Biała Oksza i Liswarta są zanieczyszczone bakteriologicznie. Na tym poziomie wodonośnym (region wieluńsko-krakowski) bazują wyjscia komunalne dla miasta Częstochowa i dla gmin ościennych, co generuje konieczność prowadzenia działań mających na celu ochronę środowiska, a w szczególności zbiorników wodnych.

W zakresie jakości wód dużą rolę odgrywa sposób określania nie tylko ich zanieczyszczeń, ale także osadów dennych. Biorąc pod uwagę fakt, że rzeka Biała Oksza zasilana jest przez niewielkie cieki, można wnioskować, że niebezpieczeństwo zanieczyszczeń zbiornika jest duże. Największym ze wspomnianych cieków jest Bród o długości około 8 km, zaś pozostałe to bezimienne cieki o długości od 2 do 5 km, które przepływają przez miejscowości Rybno, Kłobuck, Łobodno i Ostrowy.

Badania związane z monitoringiem stanu wód rzeki Biała Oksza prowadzone są na bieżąco przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w punkcie pomiarowym ujście do Liswarty (Borowa) [1]. Z prowadzonej kontroli wynika, że rzeka nie spełnia wymagań przydatności wód do bytowania ryb. Należy wspomnieć, że nie ma dostępnych informacji o badaniach w zakresie wymagań dla zaopatrywania ludności w wodę. Dlatego w pracy podjęto próbę określenia zanieczyszczeń osadów dennych, które mają istotny wpływ na jakość wody. Szczególnie należy tu zwrócić uwagę na osady denne zanieczyszczone związkami fosforu. Z licznych publikacji wynika, że zawarty w osadach dennych fosfor przy określonych warunkach uwalnia się i tworzy dobre możliwości do bytowania roślin i zwierząt poprzez przyrost biomasy jako substancji o charakterze organicznym.

Badany zbiornik nie jest zbiornikiem głębokim, co w przypadku falowania stwarza dobre warunki kontaktu z wodami powierzchniowymi. Zawartość fosforu w wodach powierzchniowych związana jest również z intensyfikacją rolnictwa. O poziomie zawartości fosforu w wodach zbiornika decyduje ilość docierającego do niego fosforu. Zasadniczą i niekwestionowaną rolę w procesach transformacji i kumulacji tego pierwiastka w zbiornikach wodnych odgrywają osady denne. W warunkach tlenowych osady denne działają jak pułapka fosforowa, natomiast w beztlenowych stają się potężnym źródłem fosforu. Szczególnie jest to widoczne w płytkich, ale żyznych zbiornikach. W okresach pogody bezwietrznej powstaje warstwa odtleniona przy dnie, co powoduje uwalnianie się fosforu do wody przydennej [2, 3].

W procesie oceny ilości fosforu, który może być uwalniany z osadów, duże znaczenie mają badania dotyczące występowania biologicznie dostępnych form

wspomnianego pierwiastka. Ruchliwość fosforu związana jest z jego oddziaływaniem z różnymi składnikami osadów. W związku z tym istnieje konieczność znajomości form, w których występuje ta substancja chemiczna [4]. W osadach stwierdza się obecność fosforu zarówno w organicznej, jak i nieorganicznej formie [5].

Analiza zmian ilości fosforu całkowitego, zawartego w powierzchniowej warstwie osadów, jest odbiciem intensywności jego uwalniania do toni wodnej. Kolejne zmiany poszczególnych frakcji określają ich udział w procesach wymiany, pozwalając określić zapas fosforu. Wiedza ta pomaga prognozować opóźnienia efektów rekultywacji jezior. Trudności w ocenie ilości uwalnianego i deponowanego fosforu wynikają także z zaburzeń obserwowanych w ekosystemach wodnych w efekcie presji człowieka. Zachodzące zmiany są w coraz większym stopniu nieprzewidywalne. Istnieje zatem konieczność nieustannego śledzenia tych zmian i weryfikacji wiedzy dotyczącej mechanizmów decydujących o stanie zbiorników wodnych [6].

Dotyczy to także metali ciężkich, które mogą być wprowadzone do środowiska z przemysłu energetycznego lub wydobywczego. Wprowadzanie metali do obiegu następuje również w wyniku emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego, ze ściekami komunalnymi i przemysłowymi odprowadzanymi do wód powierzchniowych [7]. Substancje te są także wymywane ze składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. W przypadku zawartości metali ciężkich w organizmach żywych w zbiornikach wodnych można mówić o istotnym skażeniu biomasy, zwłaszcza takimi metalami, jak kadm, ołów, chrom i miedź. Tworzą one toksyczne połączenia oddziałujące szkodliwie na organizmy żywe [7].

Z zaprezentowanych powyżej wiadomości wynika aktualność podjętego tematu dotyczącego zbiorników wodnych województwa śląskiego - w tym przypadku zbiornika wodnego na Białej Okszy. Niezwykle ważną rolę w badaniach zanieczyszczeń osadów dennych odgrywa ich rozmieszczenie przestrzenne. Pomocne w tym zakresie wydaje się wykorzystanie geograficznego systemu informacji (GIS). Pozwoli on na wzbogacenie wiadomości o stężeniu zanieczyszczeń, jak też jakości wód powierzchniowych, poprzez dodanie istotnej informacji przestrzennej. Głównym celem pracy było poznanie składu osadów dennych zbiornika oraz ocena ich zanieczyszczeń.

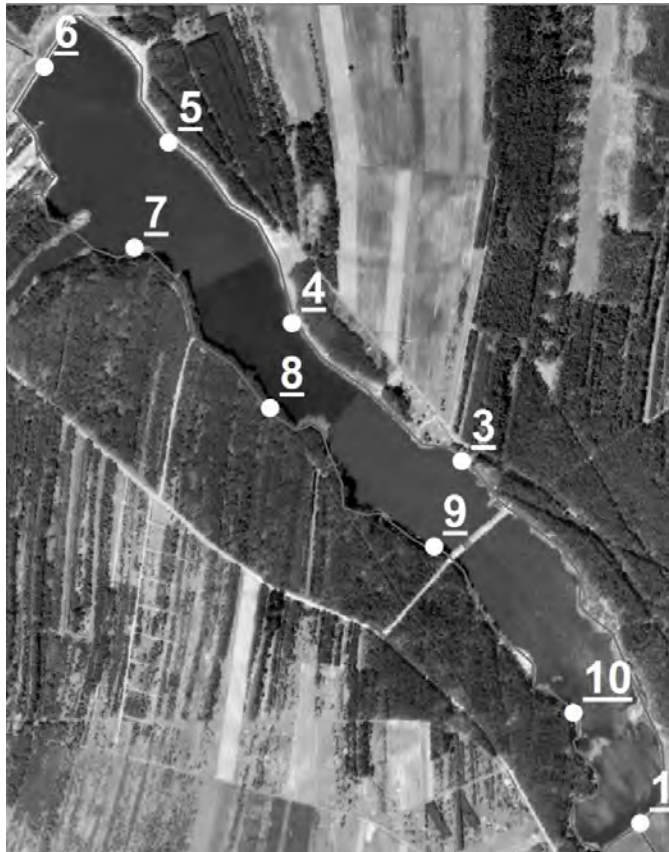
## 1. Cel badań

Celem badań przedstawionych w pracy było poznanie składu osadów dennych zbiornika w strefie przybrzeżnej, ocena ich zanieczyszczeń wraz z rozmieszczeniem przestrzennym, a w szczególności:

- sporządzenie map przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń związkami fosforu i metalami ciężkimi,
- uwzględnienie zawartości materii organicznej w osadach dennych z uwagi na prawdopodobne związki pomiędzy zawartością substancji organicznej a stężeniem metali ciężkich.

## 2. Metodyka badań

Obiektem badań był, jak podano wcześniej, zbiornik wodny Ostrowy na Białej Okszy. Z dna zbiornika, w wyznaczonych wcześniej punktach zaprezentowanych na rysunku 1, pobrano próbki osadów dennych i poddano je analizie fizycznej oraz chemicznej. Punkty pomiarowe zostały rozmieszczone równomiernie. W celu odpowiedniego zaplanowania ich rozmieszczenia wykorzystano oprogramowanie ArcGIS oraz ortofotomapę udostępnianą w ramach usługi WMS (ang. *Web Map Service*) przez serwis geoportal. Dane dotyczące charakterystyki osadów w pobranych próbach osadów dennych zaprezentowano w tabelach 1-3.



Rys. 1. Zbiornik wodny Ostrowy z rozmieszczeniem punktów pomiarowych

Fig. 1. Ostrowy water reservoir with the location of the measurement points

Badania zanieczyszczeń prowadzono według niżej podanego schematu:

Pobrane próbki osadów dennych suszono wstępnie w temperaturze pokojowej i przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. Następnie wysuszono je w temperaturze 105°C do stałej masy, utarto w moździerzu i ponownie przesiano przez sito o średnicy oczek 0,6 mm.

Tabela 1. Charakterystyka osadów dennych zbiornika wodnego Ostrowy (pH, zawartość substancji organicznej i azot Kjeldahla)

Table 1. Characteristics of bottom sediments of the Ostrowy water reservoir (pH, organic matter content and Kjeldahl nitrogen)

Nr próbki	pH		Zawartość substancji organicznej % s.m.		Azot Kjeldahla mg/kg s.m.	
	średnia	SD	średnia	SD	średnia	SD
1	6,41	0,04	1,10	0,02	364	20
3	7,52	0,06	0,52	0,00	189	10
4	7,57	0,05	0,41	0,01	140	0
5	7,05	0,06	2,37	0,07	616	20
6	7,42	0,01	1,94	0,08	749	20
7	7,67	0,03	0,86	0,01	322	10
8	7,21	0,01	1,16	0,02	410	5
9	7,23	0,04	0,42	0,01	161	10
10	6,52	0,02	1,04	0,05	357	10

Tabela 2. Charakterystyka osadów dennych zbiornika wodnego Ostrowy (fosfor ogólny, fosfor przyswajalny, węgiel całkowity)

Table 2. Characteristics of bottom sediments of the Ostrowy water reservoir (total phosphorus, assimilable phosphorus, total carbon)

Nr próbki	Fosfor ogólny mg/kg s.m.		Fosfor przyswajalny mg/kg s.m.		Węgiel całkowity mg/kg	
	średnia	SD	średnia	SD	średnia	SD
1	234,2	1,1	24,9	0,1	6485	389
3	100,1	2,3	16,4	0,1	3130	57
4	72,7	0,4	18,1	0,2	1425	7
5	262,7	3,5	33,2	0,2	17165	106
6	178,1	1,7	30,5	0,1	12065	49
7	74,4	2,3	11,2	0,3	5580	71
8	113,0	1,1	14,0	0,2	6865	92
9	52,5	0,6	8,0	0,1	1615	7
10	85,3	4,0	8,7	0,1	6945	205

Z każdego punktu pomiarowego przygotowano do analiz po 3 próbki.

W próbkach osadów dennych wykonano następujące oznaczenia:

- pH w wodzie oznaczono metodą potencjometryczną według normy PN-ISO 10390:1997 [8],
- zawartość węgla całkowitego oznaczono na analizatorze węgla Multi N/C 2100 Analytik Jena,

- zawartość azotu Kjeldahla oznaczono metodą destylacji zgodnie z Polską Normą PN-ISO11261:2002 [9] po uprzednim zmineralizowaniu próbek w mineralizatorze Buchi K-435,
- zawartość substancji organicznej oznaczono metodą wagową według normy PN-ISO 11465:1999 [10],
- zawartość przyswajalnych form fosforu oznaczono metodą Egnera-Riehma [11],
- zawartość fosforu ogólnego oznaczono metodą spektrofotometryczną z molibdenianem amonu zgodnie z normą EN ISO 6878: 2004 [12]. Próbki osadów dennych zmineralizowano wcześniej w wysokociśnieniowym mineralizatorze mikrofalowym firmy Berghof.

Tabela 3. Całkowita zawartość metali ciężkich (w mg/kg s.m.) w osadach dennych zbiornika wodnego Ostrowy

Table 3. Total heavy metal content (mg/kg s.m.) in bottom sediments of the Ostrowy water reservoir

Nr próbki	Parametry	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn
1	średnia	1,34	10,17	5,36	10,63	13,80
	SD	0,16	0,53	0,52	1,94	0,92
3	średnia	1,22	17,64	7,59	11,64	13,37
	SD	0,24	0,37	0,32	4,00	0,44
4	średnia	0,60	3,90	2,13	6,13	6,60
	SD	0,03	0,05	0,32	1,26	0,43
5	średnia	<	11,97	6,21	6,91	24,02
	SD		0,03	0,87	1,63	0,23
6	średnia	0,32	5,94	3,03	4,22	19,75
	SD	0,03	0,04	0,16	0,45	0,77
7	średnia	0,53	7,77	2,50	<	10,17
	SD	0,05	0,02	1,70		0,93
8	średnia	0,89	6,54	1,60	<	9,55
	SD	0,10	0,91	0,02		0,84
9	średnia	0,78	10,31	2,75	<	4,91
	SD	0,04	0,50	0,26		0,02
10	średnia	1,11	8,93	2,48	5,72	11,79
	SD	0,22	0,91	0,29	0,64	0,69

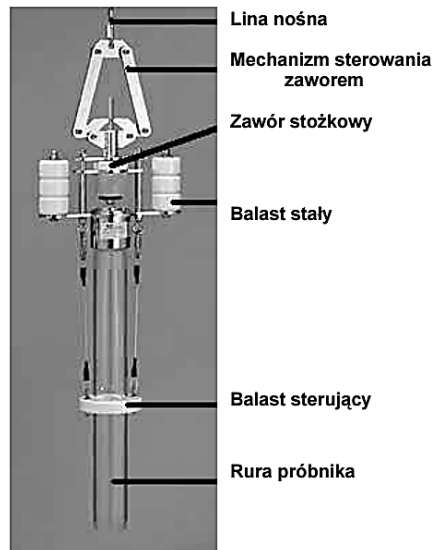
< - wartość poniżej progu detekcji

W osadach dennych oznaczono również całkowitą zawartość metali ciężkich (Cd, Cr, Ni, Pb, Zn). Do ekstrakcji metali zastosowano wodę królewską (mieszanka stężonego kwasu solnego i azotowego w stosunku objętościowym 3:1). Mineralizację przeprowadzono w temp. 180°C, w czasie 30 minut, przy zastosowaniu wysokociśnieniowego mineralizatora mikrofalowego niemieckiej firmy Berghof.

Zawartość metali ciężkich oznaczono na spektrometrze plazmowym ICP-OES IRIS Thermo.

Próbki pobierano specjalistycznym czerpakiem rurowym systemu Kajaka firmy KC Denmark A/S, który przeznaczony jest do poboru próbek w miękkich osadach dennych (rys. 2). Materiał do badań pozyskano w 9 spośród 10 zaplanowanych punktów pomiarowych z głębokości od 10 do 30 cm poniżej zwierciadła wody. Pobór próbek w punkcie numer 2 nie był możliwy z powodu niedostępności terenu. W osadach dennych oznaczono: pH, zawartość substancji organicznej, azot Kjeldahla, węgiel całkowity, fosfor ogólny, fosfor przyswajalny, całkowitą zawartość metali ciężkich (Cd, Cr, Ni, Pb, Zn). Dodatkowo obliczono odchylenia standardowe (SD) dla pozyskanych wyników. Badania przeprowadzono w grudniu 2015 roku, a ich wyniki zamieszczono w tabelach 1-3.

W pracy wykorzystano system GIS. Pozwolił on na usytuowanie przestrzenne wyników wykonanych analiz laboratoryjnych. Wykorzystując tę informację, wygenerowano mapy przestrzennego rozkładu badanych elementów (zastosowano metodę interpolacji wagowanej odwrotnej odległości [7]) w osadach dennych w zbiorniku wodnym. Należy wspomnieć, że mapy zostały wykonane na podstawie próbek pobranych w strefie przybrzeżnej zbiornika. W związku z tym ich dokładność w miarę zwiększania odległości od strefy przybrzeżnej mogła ulec znacznemu pogorszeniu.



Rys. 2. Czerpak rurowy systemu Kajaka [8]

Fig. 2. Kajaka sediment core sampler [8]

### 3. Wyniki badań i ich omówienie

Osady dennie zawierają zwykle większość zgromadzonego w zbiorniku ładunku fosforu. Tylko w 10 cm warstwy osadów może znajdować się ponad 90% fosforu

zawartego w zbiorniku. W przeważającej części przypadków związki biogenne są uwalniane z osadów do wód zbiornika bardzo powoli [13].

Główne mechanizmy przekazywania substancji z osadów dennych do wód powierzchniowych to:

- wydzielanie do wód powierzchniowych w warunkach beztlenowych i tlenowych,
- resuspensja [14].

Związki organiczne i nieorganiczne formy fosforu ulegają w osadach dennych przekształceniu w ortofosforany, a związki azotu w jon amonowy, azotynowy lub azotanowy. Ich wymiana z wodą zbiornika może zachodzić na drodze chemicznej lub mikrobiologicznej. W osadach istnieje cienka warstwa (od kilku milimetrów do kilku centymetrów), w której dominują procesy beztlenowe z udziałem bakterii. Rozkład materii organicznej przez bakterie jest zwykle podstawowym mechanizmem zasilania wewnętrznego zbiornika w substancje pokarmowe [15].

Podczas oceny ilości fosforu, który może być uwalniany z osadów, bardzo duże znaczenie mają badania dotyczące występowania biologicznie dostępnych form fosforu. Ruchliwość fosforu jest związana z oddziaływaniem z różnymi składnikami osadów. Znajomość różnych form, w których fosfor występuje w osadach, jest konieczna. Jak już wspomniano wcześniej, w osadach dennych stwierdza się obecność fosforu zarówno w organicznej, jak i nieorganicznej formie. Frakcjonowanie nieorganicznego fosforu dostarcza większej ilości informacji o potencjalnej biologicznej dostępności zasobów niż całkowita mineralizacja, w wyniku której wyodrębnia się także zasoby słabo rozpuszczalne w naturalnych warunkach i w ten sposób biologicznie dostępne [5, 6, 16, 17].

Wyniki badań zawartości substancji organicznej w osadach dennych zaprezentowano w tabeli 2. Najwięcej fosforu oznaczono w osadach pobranych w punkcie 5, a najmniej w punkcie 9 (tab. 2, rys. 3).

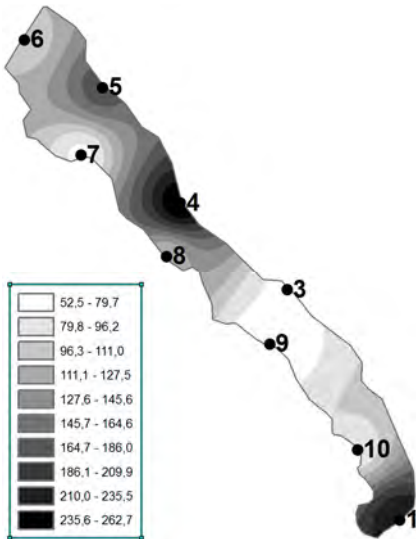
Zawartość substancji organicznej istotnie wpływa na zawartość fosforu w poszczególnych próbkach. We wszystkich próbkach od 1 do 10 (z wyjątkiem 2) osadów dennych udział substancji organicznej nie przekroczył 2,5% masy całego osadu. Prowadzi to do wniosku, że pobrane osady można zakwalifikować do osadów o charakterze mineralnym (tab. 1, rys. 4).

Otrzymane wyniki mogą wskazywać, że w objętości zbiornika zachodzi dość szybko proces mineralizacji osadów dennych. Zawartość fosforu przyswajalnego w warunkach zredukowanych maleje wraz ze wzrostem zawartości substancji organicznej w osadach dennych zbiornika (rys. 3-5).

Fracja fosforu przyswajalnego z pobranych próbek osadów dennych w warunkach zredukowanych jest zróżnicowana pod względem rozkładu przestrzennego. Na uwalnianie fosforu z osadów dennych bardzo duży wpływ ma odczyn badanych osadów w pobranych próbkach (tab. 1).

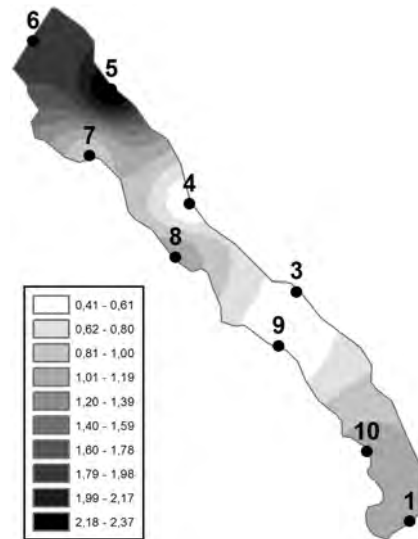
Bilans ładunków substancji biogennej jest jedną z lepszych metod wykazania zagrożenia zbiornika eutrofizacją, jak też podejmowania różnych decyzji dotyczących czynności rekreacyjnych. Przy tym ostatnim należy liczyć się także z rozkładem fosforu i azotu.





Rys. 3. Przestrzenny rozkład zawartości P ogólnego w zbiorniku wodnym Ostrowy (mg/kg)

Fig. 3. Spatial distribution of the content of total P in the Ostrowy water reservoir (mg/kg)



Rys. 4. Przestrzenny rozkład zawartości substancji organicznej w zbiorniku wodnym Ostrowy (%)

Fig. 4. Spatial distribution of the organic matter in the Ostrowy water reservoir (%)

Analizując zawartość azotu, należy podkreślić, że największe wielkości odnotowano w punktach 4 i 5, w okolicach których planowane jest ewentualne założenie części rekreacyjnej zbiornika (rys. 6).

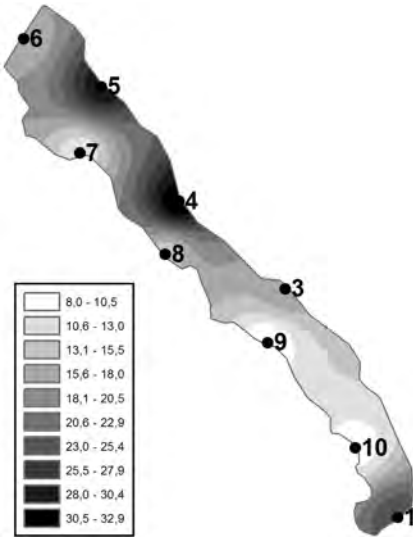
Części organiczne osadów dennych mogą adsorbować metale ciężkie [17, 19]. Szczegółowe wyniki badań zawartości wybranych metali ciężkich podano w tabeli 3.

Na podstawie przedstawionych wyników badań dotyczących rozkładu wielkości ładunków metali ciężkich można stwierdzić, że rozkład jest zróżnicowany przestrzennie. Obserwując wielkości ładunków kadmu, stwierdzono, że największe wartości występują na dopływie i odpływie (rys. 7).

Wielkości metali ciężkich w żadnym z badanych punktów nie przekroczyły dopuszczalnych stężeń w osadach (Rozp. MS, DzU 2002, Nr 55, poz. 498) oraz dopuszczalnych stężeń substancji (mg/kg) w standardzie jakości gleb i ziemi (DzU 2002, Nr 165, poz. 1359). Istnieje wyraźna zależność między metalami ciężkimi a stężeniem substancji organicznej (tab. 1 i 3). Zwiększona koncentracja metali ciężkich (chrom, ołów) może być tłumaczona obecnością w wodach gruntowych pozostałości środków ochrony roślin, co potwierdzają badania innych autorów [18].

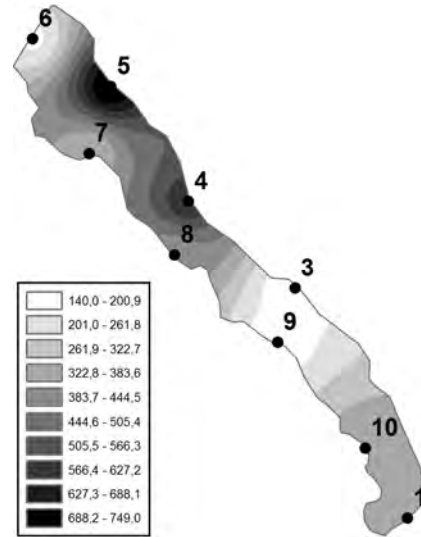
Największe stężenia chromu i niklu zaobserwowano w środkowej części zbiornika (pkt 3), natomiast najmniejsze na odpływie w okolicach punktu 6 (rys. 8 i 9).

Rozkład ołowiu i cynku znacznie różni się od pozostałych metali ciężkich. Najwyższe wartości występują w okolicach odpływu i dopływu zbiornika (rys. 10), natomiast najmniejsze wartości odnotowano w centralnej części zbiornika.



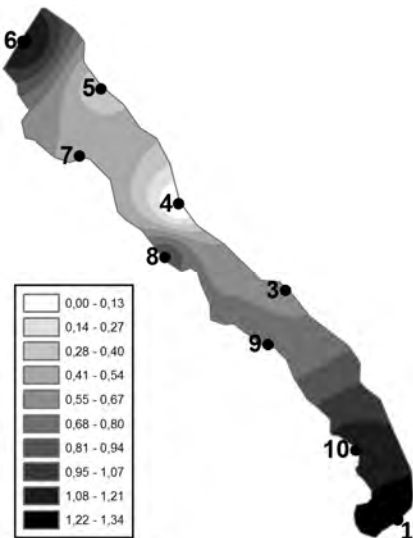
Rys. 5. Przestrzenny rozkład zawartości P przyswajalnego w zbiorniku wodnym Ostrowy (mg/kg)

Fig. 5. Spatial distribution of the content of assimilable P in the Ostrowy water reservoir (mg/kg)



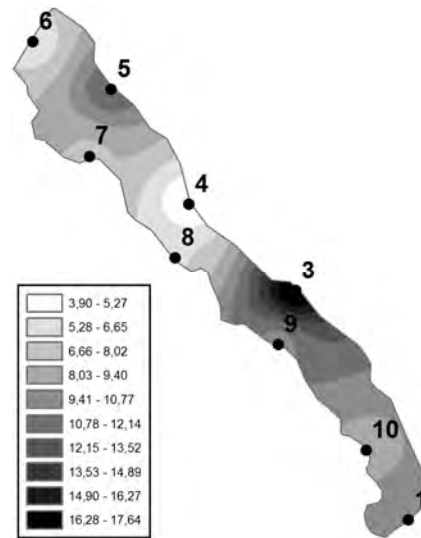
Rys. 6. Przestrzenny rozkład zawartości N Kjeldahla w zbiorniku wodnym Ostrowy (mg/kg)

Fig. 6. Spatial distribution of the Kjeldahl N in the Ostrowy water reservoir (mg/kg)



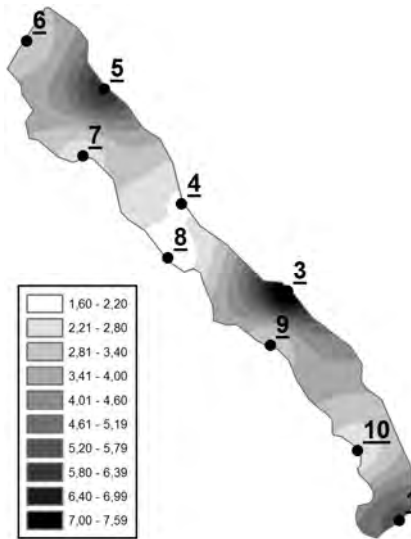
Rys. 7. Przestrzenny rozkład zawartości Cd w zbiorniku wodnym Ostrowy (mg/kg)

Fig. 7. Spatial distribution of Cd in the Ostrowy water reservoir (mg/kg)



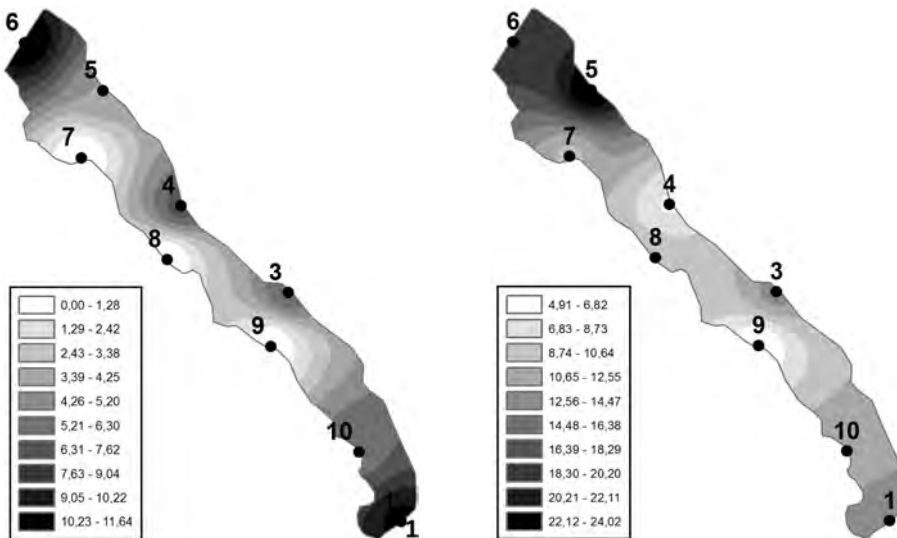
Rys. 8. Przestrzenny rozkład zawartości Cr w zbiorniku wodnym Ostrowy (mg/kg)

Fig. 8. Spatial distribution of Cr in the Ostrowy water reservoir (mg/kg)



Rys. 9. Przestrzenny rozkład zawartości Ni w zbiorniku wodnym Ostrowy (mg/kg)

Fig. 9. Spatial distribution of Ni in the Ostrowy water reservoir (mg/kg)



Rys. 10. Przestrzenny rozkład zawartości Pb (rysunek lewy) i Zn (rysunek prawy) w zbiorniku wodnym Ostrowy (mg/kg)

Fig. 10. Spatial distribution of Pb (left) and Zn (right) in the Ostrowy water reservoir (mg/kg)

## Podsumowanie i wnioski końcowe

Założony cel pracy pozwolił na przeprowadzenie badań dotyczących wstępnego rozeznania i oceny zanieczyszczeń występujących w strefie przybrzeżnej zbiornika.

Umożliwiły one sporządzenie map przestrzennego rozmieszczenia zanieczyszczeń osadów oraz określenie zawartości substancji organicznej i powiązań z wartościami węgla całkowitego, a także związkami fosforu. Wyniki podane w tabelach potwierdzają związki zachodzące między zawartością substancji organicznej a stężeniem metali ciężkich.

Wykonane badania były badaniami wstępnymi, pozwalającymi na pierwszą ocenę zanieczyszczenia, jak również zaplanowanie kompletnych badań w celu określenia walorów rekreacyjnych zbiornika. Na tej podstawie sformułowano następujące wnioski:

1. Przeprowadzone analizy z wykorzystaniem systemu GIS pozwoliły na uzyskanie przestrzennego rozkładu zawartości badanych elementów.
2. Wody zbiornika, a szczególnie osady dennie, są zróżnicowane pod względem rozkładu przestrzennego zanieczyszczeń biogennych i metali ciężkich.
3. Analiza wyników badań pozwala na stwierdzenie, że materia organiczna deponowana jest na całej przestrzeni zbiornika.
4. Rozkład metali ciężkich w osadach dennych może zależeć nie tylko od ich zawartości, ale także od wielkości przepływu.
5. Badane osady dennie nie zawierają nadmiernych ilości metali ciężkich (z punktu widzenia toksycznego). W obecnym stanie nie wymagają one zabiegów rekultywacyjnych.

## Literatura

- [1] Aktualizacja Programu Ochrony Środowiska dla Gminy Kłobuck - UMG Kłobuck.
- [2] Koc J., Skwierawski A., Fosfor w wodach obszarów rolniczych, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu nr 1017/2004, Chemia, związki fosforu w chemii, rolnictwie, medycynie i ochronie środowiska, Wrocław 2004, 165-182.
- [3] Siwek H., Włodarczyk M., Brzostowska-Żelechowska D., Wachowiak M., Wpływ wybranych parametrów fizyczno-chemicznych osadu na zawartość nieorganicznych form fosforu w osadach dennych małych zbiorników polimiktycznych, Acta Agrophysica 2009, 13, 2, 497-503.
- [4] Golterman H.L., The Chemistry of Phosphate and Nitrogen Compounds in Sediments, Kluwer Academic Publishers, 2005.
- [5] Bartoszek L., Wydzielenie fosforu z osadów dennych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
- [6] Kentzer A., Fosfor i jego biologicznie dostępne frakcje w osadach jezior różnej trofii, Rozprawy habilitacyjne, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2001.
- [7] Tomczak M., Spatial interpolation and its uncertainty using automated anisotropic inverse distance weighting (IDW) - cross-validation/jackknife approach, Journal of Geographic Information and Decision Analysis 1998, 2, 2, 18-30.
- [8] PN-ISO 10390: 1997. Jakość gleby. Oznaczanie pH.
- [9] PN-ISO 11261:2002. Jakość gleby. Oznaczanie azotu ogólnego. Zmodyfikowana metoda Kjeldahla.
- [10] PN-ISO 11465:1999. Jakość gleby. Oznaczanie zawartości suchej masy gleby i wody w glebie w przeliczeniu na suchą masę gleby. Metoda wagowa.
- [11] Karczewska A., Kabała C., Metodyka analiz laboratoryjnych gleb i roślin, Wyd. 4, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Wrocław.

- [12] EN-ISO 6878:2004. Jakość wody. Oznaczanie fosforu. Metoda spektrofotometryczna z molibdenianem amonu.
- [13] Kajdz Z., *Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2001.
- [14] Dąbrowska J., Lejcuś K., Charakterystyka osadów dennych zbiornika Dobromierz, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 3/IV/2012, PAN, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, Kraków 2012, 89-98.
- [15] Hartikainen H., Pitkänen M., Kairesalo T., Tuominen L., Co-occurrence and potential chemical competition of phosphorus and silicon in lake sediment, *Water Research* 1996, 30(10), 2472-2478.
- [16] Rydin E., Potentially mobile phosphorus in lake Erken sediment, *Water Research* 2000, 34(7), 2037-2042.
- [17] Kyzioł J., Mineraly ilaste jako sorbenty metali ciężkich, *Prace i Studia, IPIŚ PAN*, T. 43, 1994.
- [18] Polechoński R., Ołów w ekosystemie jeziora Sława - przemieszczanie, kumulacja oraz próba bilansu w dziesięcioleciu 1993-2003, *Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 497, Rozprawy CCXXIII*, Wrocław.
- [19] Kostecki M., Kowalski E., Alokacja metali ciężkich w osadach dennych zbiornika rybnickiego, *Archiwum Ochrony Środowiska* 2004, 30, 4, 53-62.

### **Distribution of Pollution in Sediments in the Coastal Zone of Ostrowy Water Reservoir in Biała Oksza River - GIS Based Approach**

Determination of physicochemical state of sediments in the coastal zone of water reservoirs is an important aspect of water management. This applies mainly to the protection of water against any kind of pollution. The paper presents the results of contamination in sediments in the coastal zone of Ostrowy water reservoir in Biała Oksza river. Nine samples were taken from the top layer of the sediments near the shoreline. Samples were subjected to laboratory analysis under the terms of the organic matter content, Kjeldahl nitrogen, total carbon, total and assimilable phosphorus, and the total content of five heavy metals: Cd, Cr, Ni, Pb, Zn. Concentrations of cadmium, chromium, nickel, lead and zinc in sediments were determined by means of ICP - MS method. On the basis of the results of studies, spatial distribution maps of the studied components were generated using GIS software. For this purpose, one of the interpolation methods (IDW - Inverse Distance Weighted) was used. Results show that sediments are diverse in regard to the location of biogenic pollutants and heavy metals. It is also noted that the organic material is deposited over the entire space of a water reservoir. The content of organic matter has a significant impact on the content of phosphorus in each studied sample. The share of organic matter does not exceed 2.5% in any sediment sample. The maximum values for total heavy metal content are as follows: Cd - 1.34 mg/kg, Cr - 17.64 mg/kg, Ni - 7.59 mg/kg, Pb - 11.64 mg/kg, Zn - 24.02 mg/kg. In contrast to the contents of Ni and Cr, whose peak values are located in the center area, Zn and Pb reached the highest values in the northern and southern area of Ostrowy water reservoir. The studies were preliminary, allowing for an initial assessment of pollution and undertaking comprehensive research to determine the recreational value of the water reservoir. Having analyzed the concentrations of the elements established in the present state, it can be concluded that Ostrowy water reservoir does not require reclamation treatments.

**Keywords:** sediments, pollution, GIS, spatial distribution