

ALOKACJA METALI CIĘŻKICH W OSADACH DENNYCH ZBIORNIKA RYBNICKIEGO

MACIEJ KOSTECKI, ELIGIUSZ KOWALSKI

Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk,
ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze

Keywords: allocation of pollutants, bottom sediments, heavy metals.

DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE RYBNIK DAM-RESERVOIR BOTTOM SEDIMENTS

The distribution of heavy metals in the bottom sediments has been determined. It has been shown that they are spaciouly differentiated. The differentiation is a result of water movement, eutrofication, bioaccumulation and anthropopresion processes. As a result of specific water movement the area of intensity of the heavy metals accumulation was created. This area (about 150 ha) is located in the northwest part of the reservoir. The maximal concentrations of heavy metals for this region are: for cadmium 30 mg Cd/kg, for nickel 55 mg Ni/kg, for chromium 130 mg Cr/kg, for lead 160 mg Pb/kg, for copper 1000 mg Cu/kg, for zinc 1300 mg Zn/kg. The localization of the most polluted areas is essential for possible reclamation procedures to improve water and overall ecosystem quality.

Streszczenie

Wykazano, że rozmieszczenie metali ciężkich w osadach dennych badanego zbiornika jest silnie zróżnicowane przestrzennie. Stanowi ono wypadkową ruchów wody, stopnia troficzności, procesu biokumulacji oraz antropopresji. Jako wynik specyficznego ruchu wody wewnątrz ekosystemu transportującego biomasę wykształciła się strefa, w której kumulacja metali ciężkich jest zintensyfikowana. Strefa ta (o powierzchni około 150 ha) została w przybliżeniu zlokalizowana. Znajduje się on w północno-zachodniej części zbiornika a maksymalne stężenia oznaczanych metali w tym rejonie wynoszą dla: kadmu – 30 mg Cd/kg, niklu – 55 mg Ni/kg, chromu – 130 mg Cr/kg, ołowiu – 160 mg Pb/kg, miedzi – 1000 mg Cu/kg i cynku – 1300 mg Zn/kg. Zlokalizowanie stref podwyższonego zanieczyszczenia ma znaczenie z punktu widzenia ewentualnych zabiegów rekultywacyjnych dla podniesienia jakości wody w zbiorniku oraz poprawy ogólnego stanu ekosystemu.

WPROWADZENIE

Wraz z przemieszczaniem się mas wodnych, wewnątrz ekosystemu przemieszczają się także znajdujące się w wodzie zanieczyszczenia, w tym metale ciężkie [3–7]. Rozpuszczone w wodzie formy tych zanieczyszczeń krążą wraz z wodą do chwili, kiedy następuje ich chemiczne

bądź biochemiczne wytrącenie [1, 2, 5, 6]. Znacznie szybciej opadają na dno zawiesiny, zarówno wprowadzane do środowiska wodnego z zewnątrz, jak i powstające w wyniku procesów zachodzących wewnątrz ekosystemu [3, 6].

Substancje organiczne stanowiące połączenia chemiczne i biochemiczne węgla są wnoszone do zbiornika wraz z wodami zasilających go cieków jako składnik zawiesin allochtonicznych [8, 9]. Opadają na powierzchnię wody z powietrza atmosferycznego [10]. Powstają także jako wynik procesów biologicznych i chemicznych wewnątrz zbiornika. W wyniku produkcji pierwotnej powstaje biomasa fitoplanktonu. Stanowi ona bazę pokarmową dla organizmów zooplanktonowych oraz wyższych organizmów zwierzęcych.

Biomasa obumierając opada na dno zbiornika w postaci detritusu i tworzy w wyniku kolejnych cykli przemiany materii kolejne warstwy osadów dennych. Cząstki organicznych zawiesin posiadają dużą powierzchnię czynną. Stanowią sorbent dla różnych zanieczyszczeń w rodzaju metali ciężkich lub WWA [2, 8, 11]. W ten sposób wchodząca w skład zawiesin krążących w toni wodnej substancja organiczna staje się elementem transportu i alokacji zanieczyszczeń [3, 6, 9].

W zbiornikach przepływowych przestrzenne rozmieszczenie osiadających na dnie zawiesin, a wraz z nimi zanieczyszczeń, jest wypadkową ruchów: poziomego (transferowego) oraz pionowego (sedymentacyjnego). Ruch transferowy jest okresowo zakłócany przez ruch cyrkulacyjny wynikający z oddziaływania wiatrów na powierzchnię zbiornika wodnego, szczególnie w czasie cyrkulacji wiosennej i jesiennej [3].

Z punktu widzenia oceny stanu czystości oraz możliwości użytkowania ekosystemu wodnego istotne jest określenie nie tylko poziomu zawartości zanieczyszczeń, ale także wskazanie miejsc ich zalegania. Istotna jest odpowiedź na pytanie, czy wprowadzane do zbiornika zanieczyszczenia są rozprzodczane w nim równomiernie? Jeśli nie, to które jego strefy są narażone na zwiększoną depozycję?

CEL PRACY

Celem pracy było określenie zawartości metali ciężkich w osadach dennych Zbiornika Rybnickiego oraz sporządzenie map przestrzennego zanieczyszczenia tych osadów metalami ciężkimi. Ponieważ metale ciężkie w ekosystemach wodnych mogą tworzyć połączenia metaloorganiczne, w badaniach uwzględniono zawartość materii organicznej w osadach dennych oraz związek pomiędzy zawartością materii organicznej a stężeniem metali ciężkich.

OBIEKT BADAŃ

Zbiornik zaporowy „Rybnik” wybudowany w 1972 roku, jest obiektem technologicznym stanowiącym element ciągu technologicznego Elektrowni Rybnik S.A. Powstał w wyniku przegrodzenia zaporą ziemną doliny rzeki Rudy i Nacyny. Zbiornik znajduje się na pograniczu Kotliny Raciborskiej i Płaskowyżu Rybnickiego. Zbiornik ten wraz z wydzielonymi zalewami: Grabownia, Gzel i Pniowiec oddzielonymi bocznymi zaporami od zalewu głównego, należy do najważniejszych zbiorników wodnych tego obszaru. Jest to jedyny tego typu, antropogeniczny ekosystem w Polsce. Jego główną, charakterystyczną cechą jest skażenie termiczne, powstające w wyniku zrzucania do zbiornika wód chłodniczych Elektrowni Rybnik S.A.

Powierzchnia całkowita zbiornika wraz z zalewami bocznymi wynosi 555 ha, natomiast powierzchnia zalewu głównego wynosi 465 ha. Długość zbiornika wynosi 7 km [5–8]. Przy maksymalnym eksploatacyjnym poziomie piętrzenia 221,00 m n.p.m. pojemność zbiornika głównego wynosi 21,4 mln m³. Wraz z zalewami bocznymi pojemność całkowita wynosi 24,0 mln m³ [5, 7].

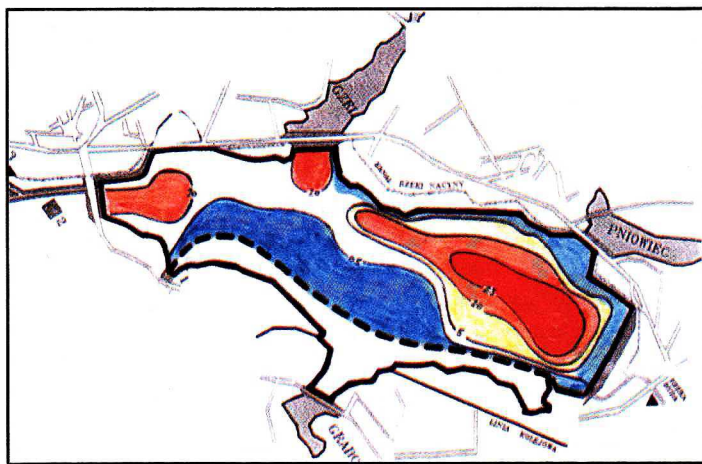
METODYKA BADAŃ

W celu określenia zawartości oraz przestrzennego rozmieszczenia materii organicznej oraz metali ciężkich w listopadzie 2002 roku pobrano czerpaczem Birge-Eckmana, w profilach poprzecznych 125 prób osadów. Próby osadów dennych pobierano w sposób następujący: wyznaczono 25 stanowisk i na każdym stanowisku w promieniu 50 m pobrano po 5 prób. Pobrane próby uśredniano. W uśrednionych próbach oznaczono metodą wagową, po wyprażeniu próby w 450°C materię organiczną oraz następujące metale: kadm (Cd), nikiel (Ni), chrom (Cr), ołów (Pb), miedź (Cu), cynk (Zn). Metale oznaczono metodą absorpcji atomowej (ASA) wg Calmano-Forstera i Tessiera [1, 12].

Metodą ekstrapolacji wykreślono izolinie otrzymując mapki określające w przybliżeniu obszary największych i najmniejszych koncentracji materii organicznej oraz metali ciężkich w osadach dennych.

WYNIKI

Na rysunku 1 przedstawiono zawartość materii organicznej w osadach dennych wskazując jej rozmieszczenie. Widoczny jest charakterystyczny, szeroki pas osadów ciągnący się wzdłuż kierownicy. Zawartość materii organicznej w tym miejscu wynosi 0,5%. W okresie zimowym jest to strefa najsilniejszego przepływu wody. Dno zbiornika w tym pasie jest piaszczyste, warstwa osadów jest niewielka, ponieważ ruch wody nie sprzyja ich osadzeniu.

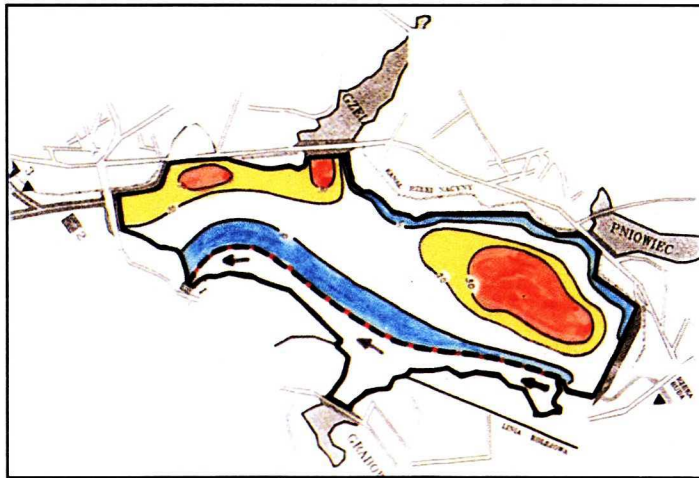


Rys. 1. Rozmieszczenie materii organicznej w osadach dennych zbiornika Rybnickiego
The distribution of organic matter in the bottom sediments on Rybnick dam-reservoir

Stwierdzono, że górna strefa zbiornika oraz wschodnia jego część posiada osady denne znacznie bardziej ubogie w materię organiczną niż strefa przyzaporowa. Rozmieszczenie metali ciężkich w osadach dennych zbiornika przedstawiono na rysunkach 2–7.

Kadm (Cd)

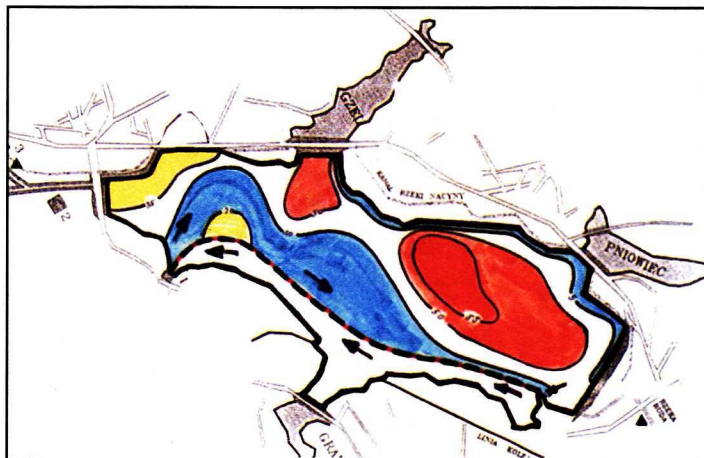
Stężenie Kadmu w osadach dennych zbiornika Rybnickiego wynosiło w pobranych próbach od 5 do 30 mg Cd/kg s.m. (Rys. 2). Najniższe stężenia kadmu oznaczono w osadach o charakterze piaszczystym wzdłuż kierownicy dla wody schłodzonej, po wschodniej stronie zbiornika oraz w strefie przybrzeżnej po stronie zachodniej. W strefie ujścia rzeki Rudy do zbiornika, wzdłuż brzegu zachodniego, do przelewu ze zbiornika Gzel, stężenie kadmu w wąskim pasie dna zbiornika wynosiło od 20 do 30 mg Cd/kg s.m. Północno-zachodnia część zbiornika, w pobliżu ośrodka żeglarskiego i zapory, charakteryzowała się podobnymi wartościami stężeń. Izolinie 20 i 30 mg Cd/kg s.m. tworzą w tym rejonie obszar zamknięty (około 150 ha), wskazując na miejsce nasilonej kumulacji.



Rys. 2. Rozmieszczenie kadmu (Cd) w osadach dennych zbiornika Rybnickiego
The distribution of cadmium (Cd) in the bottom sediments on Rybnik dam-reservoir

Nikiel (Ni)

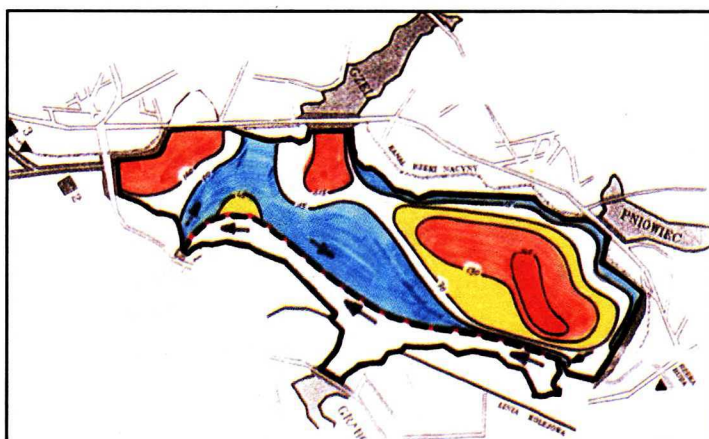
Stężenie niklu w osadach dennych zbiornika Rybnickiego wynosiło w pobranych próbach od 10 do 55 mg Ni/kg s.m. (Rys. 3). W strefie najintensywniejszego przepływu wody wartość stężenia wynosiła około 10 mg Ni/kg s.m. Nieco wyższą wartość stężenia (20 mg Ni/kg s.m.) odnotowano w pobliżu awaryjnego ujścia oczyszczalni do zbiornika. Lokalne obszary podwyższonego stężenia tego metalu zaobserwowano także przy ujściu cofki rzeki Rudy do zbiornika oraz w pobliżu przelewu ze zbiornika Gzel. Tak, jak w przypadku kadmu, obszar największej kumulacji niklu zaobserwowano w północno-zachodniej strefie zbiornika. Izolinie 50 i 55 mg Ni/kg s.m. tworzą obszar zamknięty o powierzchni około 100 ha.



Rys. 3. Rozmieszczenie niklu (Ni) w osadach dennych zbiornika Rybnickiego
The distribution of nickel (Ni) in the bottom sediments on Rybnik dam-reservoir

Chrom (Cr)

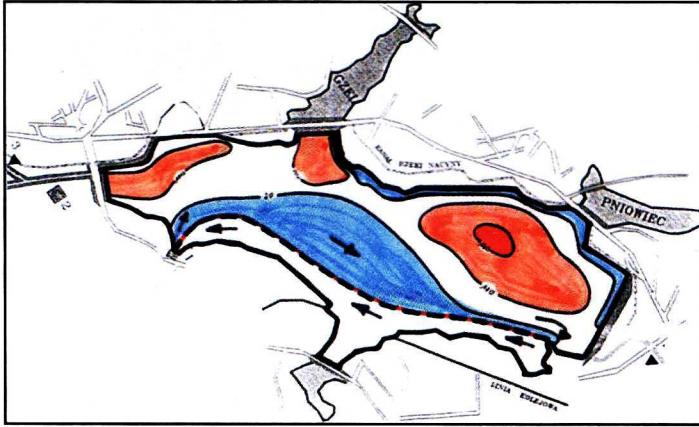
Zawartość chromu w osadach dennych zbiornika wynosiła od około 15 do 140 mg Cr/kg s.m. (Rys. 4). Także i w tym przypadku można odnieść wrażenie, że strumień ciepłych wód zrzutowych będący rodzajem wewnątrz zbiornikowego prądu, spowodował wytworzenie się w zbiorniku stref o zróżnicowanym poziomie koncentracji metali. Przy ujściu rzeki Rudy do zbiornika stężenie chromu wynosiło 140 mg Cr/kg s.m. Nieco poniżej, w zasięgu wód zrzutowych oraz wzdłuż kierownicy stężenie tego metalu wynosiło około 15 mg Cr/kg s.m. W pobliżu przelewu ze zbiornika Gzel zaobserwowano strefę dna o stężeniu 115 mg Cr/kg s.m. Obszar dna o najwyższych wartościach stężeń chromu występuje w północno-zachodniej części zbiornika. Obszar określony izolinią stężenia 70 i więcej mg Cr/kg s.m. wynosi około 160 ha. Wewnątrz tego obszaru izolinia 130 mg Cr/kg s.m. zakreśla strefę około 70 ha.



Rys. 4. Rozmieszczenie chromu (Cr) w osadach dennych zbiornika Rybnickiego
The distribution of chromium (Cr) in the bottom sediments on Rybnik dam-reservoir

Ołów (Pb)

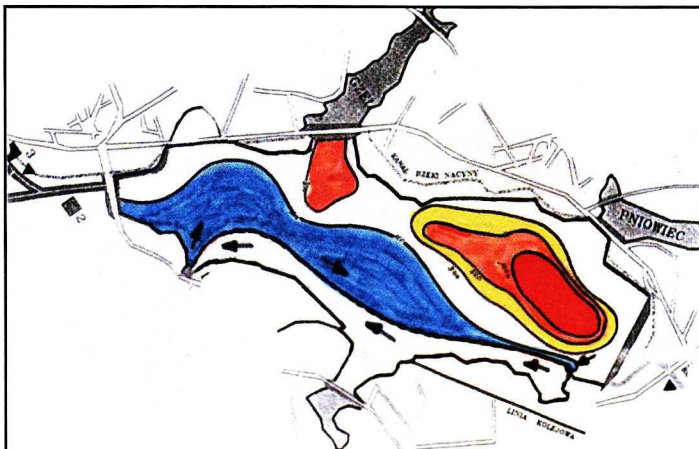
Stężenie ołowiu w osadach dennych wynosiło od 20 do 160 mg Pb/kg s.m. (Rys. 5). Najniższe stężenia, nie przekraczające 20 mg Pb/kg s.m. oznaczono w pasie dna wzdłuż kierownicy. Wzdłuż zachodniego brzegu, w górnej strefie zbiornika przy cofce oraz przelewie ze zbiornika Gzel, stężenie ołowiu w osadach wynosiło do 100 mg Pb/kg s.m. Najwyższe stężenie stwierdzono w północno-zachodniej części zbiornika. Izolinia określająca stężenie 110 mg Pb/kg s.m. zamykała obszar około 120 ha. Wewnątrz tego obszaru zanotowano miejsca o stężeniu 160 mg Pb/kg s.m.



Rys. 5. Rozmieszczenie ołowiu (Pb) w osadach dennych zbiornika Rybnickiego
The distribution of lead (Pb) in the bottom sediments on Rybnik dam-reservoir

Miedź (Cu)

Rozmieszczenie zawartości miedzi w osadach dennych zbiornika przedstawiono na rysunku 6. Zakres stężeń wynosił od około 100 mg Cu/kg s.m. do 1000 mg Cu/kg s.m. Jest to jedyny metal (z oznaczanych podczas badań), którego stężenie w miejscu dopływu wód

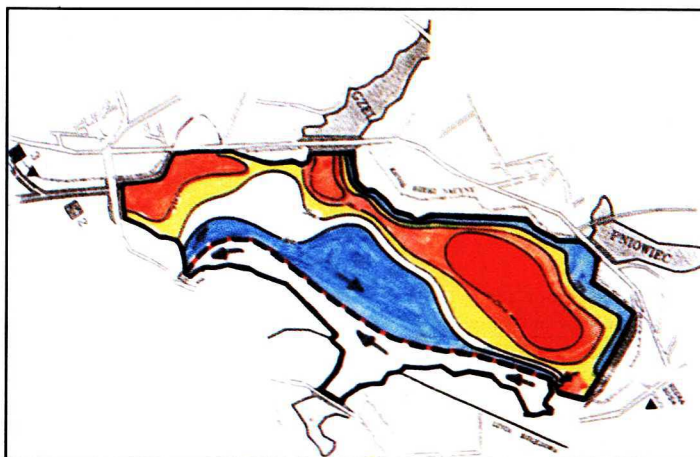


Rys. 6. Rozmieszczenie miedzi (Cu) w osadach dennych zbiornika Rybnickiego
The distribution of copper (Cu) in the bottom sediments on Rybnik dam-reservoir

rzeki Rudy do zbiornika nie było podwyższone. Tak, jakby rzeka Ruda nie wносиła miedzi do zbiornika lub jakby w tej strefie zbiornika nie następowało przechodzenie związków miedzi z wody do osadów. W rejonie przelewu ze zbiornika Gzel stężenie miedzi w osadach dochodziło do 800 mg Cu/kg s.m. Najwyższe stężenia stwierdzono na około 110 ha powierzchni dna w północno-zachodniej części zbiornika. Należy podkreślić, że w przypadku miedzi dało się zaobserwować silny gradient wzrostu stężenia (wzrost od 500 do 1000 mg Cu/kg s.m. na odcinku około 100 m).

Cynk (Zn)

Rozmieszczenie zawartości cynku w osadach dennych zbiornika przedstawiono na rysunku 7. Jest to metal (z objętych badaniami) występujący w najwyższych stężeniach w osadach zbiornika Rybnickiego. Stężenie cynku w osadach wynosiło od 100 do 1300 mg Zn/kg s.m. Najniższe stężenia, stwierdzono w pasie dna zbiornika, wzdłuż kierownicy, począwszy od zrzutu wód ciepłych aż do ich zawrócenia do układu chłodzącego na końcu kierownicy. Wyższe stężenia występują w pasie dna wzdłuż zachodniego brzegu zbiornika. W rejonie ujścia rzeki Rudy do zbiornika stężenie cynku osiąga 1200 mg Zn/kg s.m. W pobliżu przelewu ze zbiornika Gzel dochodzi do 1100 mg Zn/kg s.m. Najwyższe stężenia występują na obszarze określonym izolacją stężenia 1300 mg Zn/kg. Obszar ten ma powierzchnię około 80 ha.

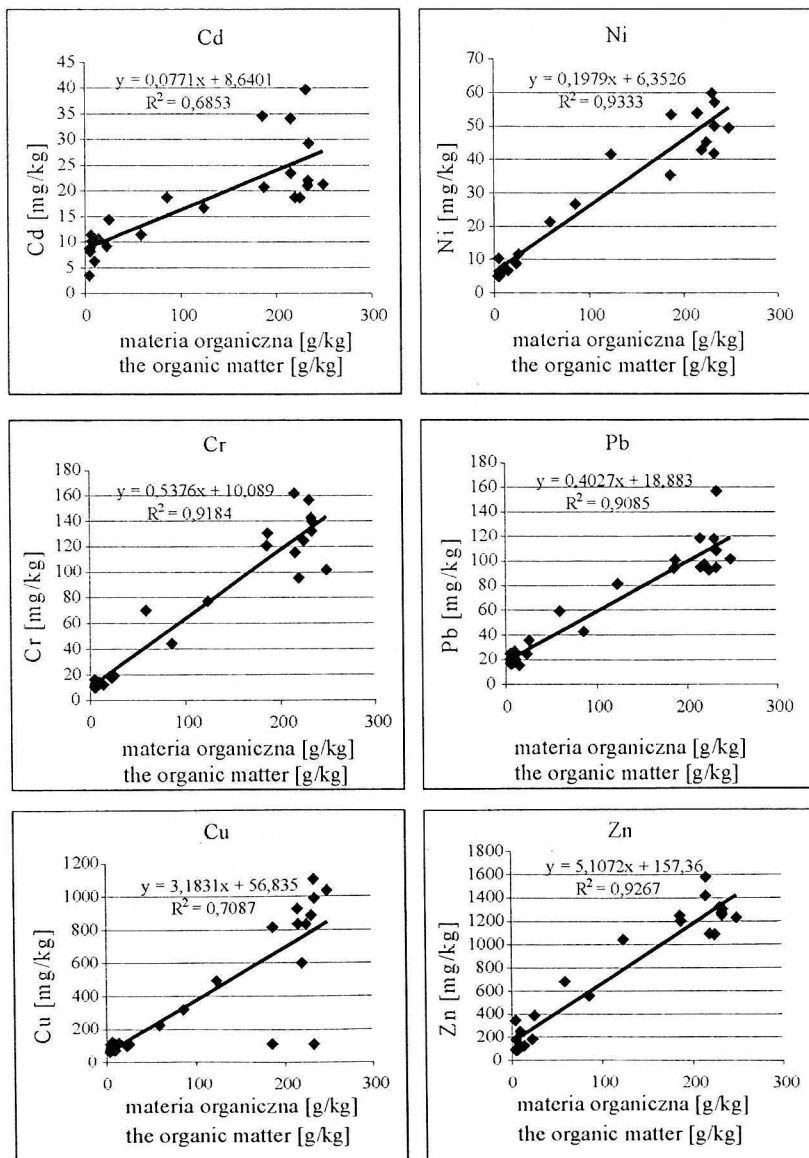


Rys. 7. Rozmieszczenie cynku (Zn) w osadach dennych zbiornika Rybnickiego
The distribution of zinc (Zn) in the bottom sediments on Rybnik dam-reservoir

DYSKUSJA

Przedstawione mapki określają rozmieszczenie stężeń poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń w sposób przybliżony, niemniej po raz pierwszy wykazano, że rozmieszczenie metali ciężkich w osadach dennych poza profilem podłużnym zbiornika zmienia się również przestrzennie.

Stwierdzenie przestrzennego zróżnicowania zawartości zanieczyszczeń wewnątrz ekosystemu jest istotne, bowiem ma to wpływ na jakość nisz ekologicznych oraz kształtowanie się zespołów organizmów zasiedlających te nisze. Nierównomierna alokacja zanieczyszczeń, w tym toksycznych połączeń metali ciężkich, może powodować duże zróżnicowanie zarówno w bioróżnorodności gatunkowej, jak i liczebności osobniczej tych organizmów. Z kolei, jak



Rys. 8. Zależność między stężeniem materii organicznej a stężeniem metali ciężkich w osadach dennych zbiornika Rybnickiego

The dependency between organic matter and heavy metals concentrations in the bottom sediments of Rybnik dam-reservoir

już wspomniano, materia organiczna, w tym biomasa unoszona w toni wodnej kumuluje i transportuje zanieczyszczenia. Na rysunku 8 wykazano zależność między zawartością materii organicznej w osadach a stężeniem wybranych metali ciężkich.

Przedstawione wykresy potwierdzają znaczenie materii organicznej jako nośnika zanieczyszczeń. Północno-zachodnia część zbiornika stała się rodzajem magazynu, a w każdym razie strefą o zwiększonej depozycji zanieczyszczeń do osadów dennych. W tej strefie stwierdzono stężenie materii organicznej w ilości do 23%. Wartości rzędu 20% oznaczono też w strefie ujścia rzeki Rudy do zbiornika oraz w pobliżu dawnego połączenia ze zbiornikiem Gzel.

Ponieważ znajdująca się w osadach dennych materia organiczna może powodować zużywanie tlenu na jej mineralizację, co może sprzyjać procesowi uwalniania metali ciężkich z osadów dennych do wody, podejmując badania tego problemu kierowano się zamiarem wskazania obszarów zbiornika szczególnie zagrożonych pod tym względem. Także biorąc pod uwagę konieczność podjęcia zabiegów rekultywacyjnych znajomość tego zagadnienia staje się niezbędna dla optymalizacji kosztów tych przedsięwzięć.

WNIOSKI

Na podstawie wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Rozmieszczenie metali ciężkich w osadach dennych badanego ekosystemu nie jest równomierne. Jest ono wypadkową ruchów wody, stopnia troficzności, procesu biokumulacji oraz antropopresji.
2. Warunki hydrauliczne, hydrodynamiczne oraz współzależne z nimi uwarunkowania hydrochemiczne i hydrobiologiczne powodują, że w badanym zbiorniku wykształciła się strefa, w której nagromadzone zostały podwyższone ilości zanieczyszczeń. Strefa ta (o powierzchni około 150 ha) została w przybliżeniu zlokalizowana.
3. Zdecydowanie wyższe stężenia metali ciężkich występują w miejscach deponowania osadów organicznych. Piaszczyste partie przybrzeżne zawierają znacznie mniejsze stężenia metali.
4. Zlokalizowanie stref podwyższonego zanieczyszczenia ma znaczenie z punktu widzenia ewentualnych zabiegów rekultywacyjnych dla podniesienia jakości wody w zbiorniku oraz poprawy ogólnego stanu ekosystemu.
5. Oceny stanu ekosystemu pod względem zawartości metali ciężkich nie należy dokonywać standardowo. Z uwagi na konieczność ochrony zasobów wodnych oraz czystości ekosystemów należy zwrócić baczniejszą uwagę i uwzględnić w badaniach problem alokacji metali ciężkich oraz innych zanieczyszczeń.

LITERATURA

- [1] Calmano W., U. Forster: *Chemical Extraction of Heavy Metal in Polluted River Sediments in Central Europe*, The Science of the Total Environment, **28**, 163–172 (1983).
- [2] Helios-Rybicka E.: *Rola mineralów ilastych w wiązaniu metali ciężkich przez osady rzeczne górnej Wisły*, Zeszyty Naukowe AGH, Geologia 32, 1986.
- [3] Kostecki M.: *Alokacja i przemiany wybranych zanieczyszczeń w zbiornikach zaporowych hydrowęzła rzeki Kłodnicy i Kanale Gliwickim*, Prace i Studia IPIŚ-PAN, nr 57, 2003.
- [4] Kostecki M.: *Wpływ zabudowy kaskadowej na zawartość metali ciężkich w osadach dennych Kanalu Gliwickiego*, Archiwum Ochrony Środowiska, **27**, 4, 63–87 (2001).

- [5] Kostecki M.: *Metale ciężkie w osadach dennych zbiorników zaporowych Hydrowęzła rzeki Kłodnicy (Dzierżno Duże, Dzierżno Małe, Pławniowice)*, Konferencja Naukowa Odra 2000, Karpacz 2000.
- [6] Kostecki M.: *Zawiesina jako element zanieczyszczeń antropogenicznego ekosystemu wodnego na przykładzie zbiornika zaporowego Dzierżno Duże*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, **26**, 4, 75–94, (2000).
- [7] Kostecki M., A. Domurad, E. Kowalski, J. Kozłowski: *Badania limnologiczne zbiornika zaporowego Dzierżno Małe. Część III. Metale ciężkie w osadach dennych zbiornika*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, **2**, 73–81, (1998).
- [8] Kostecki M., M. Czaplicka, A. Węglarz: *Wybrane związki organiczne (BTEX, WWA) w osadach dennych antropogenicznego zbiornika wodnego Dzierżno Duże*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, **26**, 4, 95–108, (2000).
- [9] Kostecki M., E. Kowalski, A. Domurad, J. Kozłowski, B. Zych: *Ocena stopnia skażenia wody i osadów dennych systemu transportu wodnego Kłodnica – Kanał Gliwicki*, *Prace IPIS PAN*, 1999–2000, Raport końcowy – Etap I (niepublikowane).
- [10] Kostecki M., M. Leśniak, M. Stenzel: *Metale ciężkie w opadach atmosferycznych na terenie wyrobiska popiaskowego KPP „Szczakowa” oraz zbiornika retencyjnego „Dzieńkowice”*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 1-2, 93–103, (1993).
- [11] Kyzioł J.: *Minerały ilaste jako sorbenty metali ciężkich*, *Prace i studia IPIŚ PAN*, **43**, (1994).
- [12] Tessier A., P.G.C. Campbell, M. Bisson: *Trace Metal Speciation in the Yamashé and St. Francois River (Quebec)*, *Canadian Journal of Earth Sciences*, **4**, 92–107 (1980).

Wpłynęło: 18 sierpnia 2003, zaakceptowano do druku: 16 sierpnia 2004.