

*Marek Madeyski, Marek Tarnawski*

## **OCENA STANU EKOLOGICZNEGO OSADÓW DENNYCH WYBRANYCH MAŁYCH ZBIORNIKÓW WODNYCH**

### **Streszczenie**

Jak wynika z wielu prac naukowych, zbiorniki wodne ulegają замуłaniu z różną intensywnością i w związku z tym wymagają po określonym czasie odmulenia i renowacji. Sposobów odmulenia jest kilka, jednakże pozostaje problem zagospodarowania osadów wydobytych z dna. To z kolei zależy od jakości osadów dennych, ich stanu ekologicznego, a przede wszystkim od cech chemicznych (zwłaszcza od zawartości metali ciężkich). Właściwości chemiczne osadów zależą mogą od lokalizacji zbiorników, na obszarach zmienionych antropogenicznie, czy też w terenach czystych ekologicznie.

W pracy porównano wyniki badań właściwości osadów kilku wybranych małych zbiorników wodnych oraz stawu rybnego. Zbadano skład granulometryczny osadów, jego zmienność na obszarze dna, zawartość części organicznych oraz obecność sześciu podstawowych metali ciężkich i ich rozkład w zbiorniku. Podjęto próbę określenia matematycznej zależności między składem granulometrycznym i metalami ciężkimi oraz między zawartością części organicznych a metalami ciężkimi. Określono także (na podstawie tabel dopuszczalnego, chemicznego zanieczyszczenia gleb) możliwość rolniczego wykorzystania osadów po ich wydobyciu z dna zbiorników.

**Słowa kluczowe:** zbiorniki wodne, osady denne, metale ciężkie

## WPROWADZENIE

Wszystkie zbiorniki wodne, zbudowane na rzekach, ulegają procesowi zamulania. W Polsce południowej według planów tzw. małej retencji planuje się budowę ok. 140 małych zbiorników wodnych, które mają służyć rolnictwu, zaopatrzeniu osiedli w wodę, bądź rekreacji.

Większość docierających do wód powierzchniowych, a później do zbiornika metali ciężkich i toksycznych związków organicznych o małej rozpuszczalności i trudno ulegających degradacji, w końcowym etapie migracji w środowisku zatrzymywana jest w osadach. Dlatego też w tworzących się obecnie osadach wielu rzek i zbiorników wodnych, jako niepożądany skutek działalności gospodarczej człowieka, obserwowana jest podwyższona zawartość pierwiastków śladowych oraz trwałych zanieczyszczeń organicznych. Szczególnie wysokie zawartości szkodliwych składników wykrywane są w pobliżu punktowych antropogenicznych źródeł zanieczyszczenia – zrzutów ścieków z terenów zurbanizowanych (metale ciężkie) i rolniczych. W zanieczyszczonych osadach często stwierdzane są koncentracje kadmu rzędu kilku  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , chromu, miedzi, ołowiu – kilkuset  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a cynku nawet kilku tysięcy  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , podczas gdy ich naturalna zawartość w osadach słodkowodnych, poza obszarami występowania kompleksów skalnych wzbogaconych w pierwiastki śladowe, jest bardzo niska.

Osady są nie tylko główną „przechowalnią” trwałych i toksycznych zanieczyszczeń trafiających do środowiska, ale są również integralną częścią środowiska wodnego, miejscem bytowania, odżywiania, rozmnażania i wzrostu wielu organizmów wodnych. Szkodliwy wpływ zanieczyszczeń zawartych w osadach na organizmy wodne został szeroko udokumentowany.

Badania przebiegu procesu zamulania zbiorników, a także stawów rybnych wymagają rozpoznania nie tylko rozmieszczenia i ilościowego oszacowania zdeponowanych w zbiorniku osadów, ale także określenia ich cech. Cechy fizyczne i chemiczne osadów dennych świadczyć mogą o ich stanie ekologicznym oraz o możliwości ich rolniczego wykorzystania. Natomiast cechy sedymentacyjne i reologiczne o możliwościach ich wydobywania z dna [Parzonka, Kempański 1991; Mokwa 2002; Tarnawski 2003; Madeyski 2006].

Określając stan ekologiczny osadów zbiornikowych, należy zwrócić szczególną uwagę na ich właściwości chemiczne, a zwłaszcza obecność metali ciężkich. Jeśli ich obecność jest nieszkodliwa, o czym decyduje klasyfikacja jakościowa opracowana przez Instytut Uprawy,

Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach [Kabata-Pendias 1995] oraz Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska z 09. 09. 2002 roku (Dz.U. Nr 165, poz. 1359), wówczas można osady użyć do nadbudowy brzegów zbiornika, grobli pobliskich stawów rybnych lub wykorzystać przyrodniczo, a nawet rolniczo.

Ponadto stan ekologiczny ekosystemu zależy od położenia zbiorników, lokalizacji na terenach zmienionych antropogenicznie, czy też na obszarach czystych ekologicznie.

### **OBIEKTY BADAŃ**

Do badań wybrano następujące obiekty:

a) zbiornik wodny w Krempnej na rzece Wisłóce w okolicy Jasła, o pojemności 112 tys. m<sup>3</sup>, którego zlewnia na charakter górski, leży w na terenie Karpat Zachodnich i jest w ok. 80% zalesiona;

b) zbiornik wodny w Majdanie Sopockim, na rzece Sopot (dopływ Tanwi), w okolicach Tomaszowa Lubelskiego o pojemności ca 250 tys. m<sup>3</sup>, o zlewni nizinnej graniczącej z Krasnobrodzkim Parkiem Krajobrazowym i obejmującej Rezerwat Nowiny i część Parku Krajobrazowego Puszczy Solskiej;

c) zbiornik wodny w Rybniku, który szczegółowo badał i opisał Kostecki [Kostecki, Kowalski 2004], na rzece Ruda i Nacyna, o pojemności ca 24 mln m<sup>3</sup>, stanowiący element ciągu technologicznego Elektrowni Rybnik S.A., wraz z sąsiednimi zbiornikami stanowi jedyny tego typu antropogeniczny ekosystem w Polsce;

d) zbiornik wodny w Zesławicach na rzece Dłubni o pojemności 228 tys. m<sup>3</sup>, którego zlewnia ma charakter rolniczy, gdyż ok. 80% stanowią użytki rolne, a obszary leśne nie przekraczają 10% powierzchni zlewni;

e) mały staw rybny (karpiowy) „Dwójka”, własność Rybackiej Stacji badawczej w Mydlnikach k/Krakowa, o pojemności ca 60 tys. m<sup>3</sup> i powierzchni 3,75 ha zasilany poprzez doprowadzalnik z rzeki Rudawy, która przepływa przez południową część Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, a której zlewnia jest typowo rolnicza (67% gruntów ornych, 5% użytków zielonych).

### **METODYKA BADAŃ**

Z dna każdego z badanych obiektów pobrano próbki osadów dennych, w formie nienaruszonej i poddano je analizie fizycznej (określono granulometrię próbki oraz zawartość części organicznych) oraz

chemicznej (określając odczyn pH oraz zawartość sześciu metali ciężkich – kadm, ołów, cynk, miedź, nikiel, chrom – metodą absorpcji atomowej ASO). Ilość i miejsce pobieranych próbek osadów były różne – zależnie od wielkości zbiornika i od przyjętego przez autorów celu badań.

W Krempnej z dna zbiornika o powierzchni 3,2 ha pobrano 32 próbki, które uśredniono do 8 prób poddanych dalszej analizie. Probki pobierano spod powierzchni wody, wykorzystując sondę rurową.

W Majdanie Sopockim wykorzystano czas opróżnienia zbiornika dla celów remontowych jazu i zapory czołowej, pobierając 12 prób z dna zbiornika o powierzchni ok. 18 ha, który jest bardzo długi (1100 m) i stosunkowo wąski (max 180 m). Z mocno zanieczyszczonego zbiornika w Rybniku, o powierzchni ok. 470 ha, pobrano spod wody czerpakiem Birge-Eckmana, w sumie 125 prób osadów dennych, z 10 profili poprzecznych [Kostecki, Kowalski 2004].

Również pobrano 30 próbek osadów z dna napełnionego zbiornika w Zesławicach, którego powierzchnia wynosi ok. 9,5 ha. Probki pobrano z 3 przekrojów poprzecznych: z przekroju wlotowego, środkowego oraz najbliższego zapory czołowej. Pobrano również próbę z nurtu rzeki Dłubni tuż przy wlocie do zbiornika. Probki uśredniono do 10 poddanych dalszej analizie. Natomiast próbki osadów z dna stawu rybnego „Dwójka”, o powierzchni 3,75 ha, pobrane zostały z pustego stawu (po odłowieniu ryb) w węzłach siatki kwadratów o boku 40 m. W sumie pobrano 22 próbki [Madeyski i in. 2005].

Z literatury wiadomo [Kyzioł 1994; Kostecki 2000], że części organiczne osadów mogą absorbować metale ciężkie. Przeprowadzono, więc próbę określenia zależności funkcyjnej między ilością metali ciężkich i zawartością części organicznych w osadach dennych, a także między ilością metali ciężkich i granulacją próbki osadów (frakcją spławianą i średnicą charakterystyczną  $d_{50}$ ).

## WYNIKI

Szczegółowe wyniki obecności metali ciężkich w osadach zbiornikowych oraz ich rozkład na powierzchni dna podano w literaturze cytowanej dla zbiornika Rybnickiego dla zbiorników w Krempnej, Zesławicach, Majdanie Sopockim – w poniższej tabeli, a w stawie rybnym – w pracy [Madeyski i in. 2005]. Ogólne zestawienie zakresu zawartości metali ciężkich w badanych osadach podano w ppm, w tabeli 1.

**Tabela 1.** Minimalne i maksymalne wartości pierwiastków metali ciężkich w osadach dennych badanych zbiorników  
**Tabele 1.** Minima and maximal values of heavy metal elements in bottom sediments of the examined water reservoirs

Pier- wias- tek / Ele- ments	Wartości dla zbiorników podane w ppm / Values for reservoirs given in ppm									
	Krempna		Majdan Sopocki		Rybnik		Zesławice		Staw / Fisch pond	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Cr	38,2	70,0	1,4	34,8	15,0	140,0	29,0	29,9	20,9	31,0
Ni	28,3	52,3	1,0	15,8	10,0	55,0	5,9	9,0	14,0	25,9
Cu	14,2	33,2	0,5	11,8	100,0	1000,0	5,1	7,7	10,5	23,0
Zn	39,7	79,5	3,85	94,1	100,0	1300,0	55,0	72,6	60,0	190,0
Cd	0,14	0,32	0,02	1,04	5,0	30,0	0,27	0,41	0,6	1,75
Pb	9,30	17,2	1,41	21,6	20,0	160,0	9,7	13,9	25,5	51,5

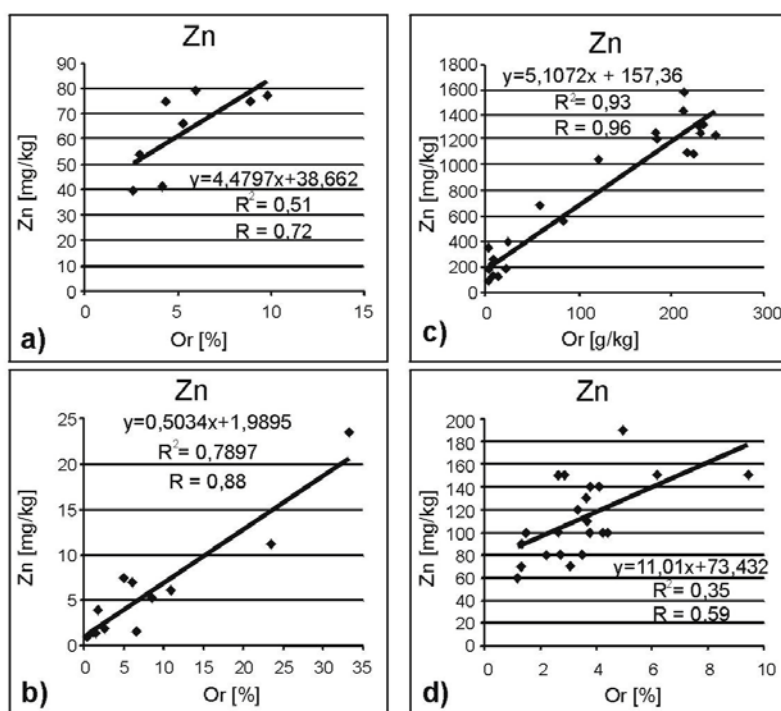
Z przedstawionych wyników badań wyraźnie widać, że zanieczyszczony zbiornik w Rybniku, w wyniku zrzucania do niego wód chłodniczych z elektrowni, posiada w osadach dennych zdecydowanie więcej metali ciężkich niż pozostałe zbiorniki. Rozkład tych pierwiastków związany jest z cyrkulacją wody w samym zbiorniku (na skutek zrzutu wody z elektrowni powstają specyficzne prądy w zbiorniku powodujące powstanie w obszarze zrzutu strefy o wyraźnie większej ilości odłożonych na dnie metali ciężkich).

Oprócz zbiornika w Rybniku, również w zbiorniku Krempna, jak i w stawie rybnym, rozkład metali ciężkich na dnie jest związany z zawartością części organicznych w osadach. Dla wszystkich badanych zbiorników określono funkcyjną zależność między metalami ciężkimi i częściami organicznymi. Przykładowe zależności dla Zn i Pb zestawiono na rysunkach 1 i 2. Wynika z nich, że taka zależność jest wyraźna, a wartości współczynników korelacji mieszczą się z przedziale: dla zbiornika w Krempnej od 0,65÷0,75; w Majdanie Sopockim od 0,74÷0,93; w Rybniku 0,84÷0,96. Słabe natomiast zależności wykazano w osadach stawu rybnego – najwyższe R na poziomie 0,59 dla Zn i dla zbiornika w Zesławicach (R = 0,54 dla Pb).

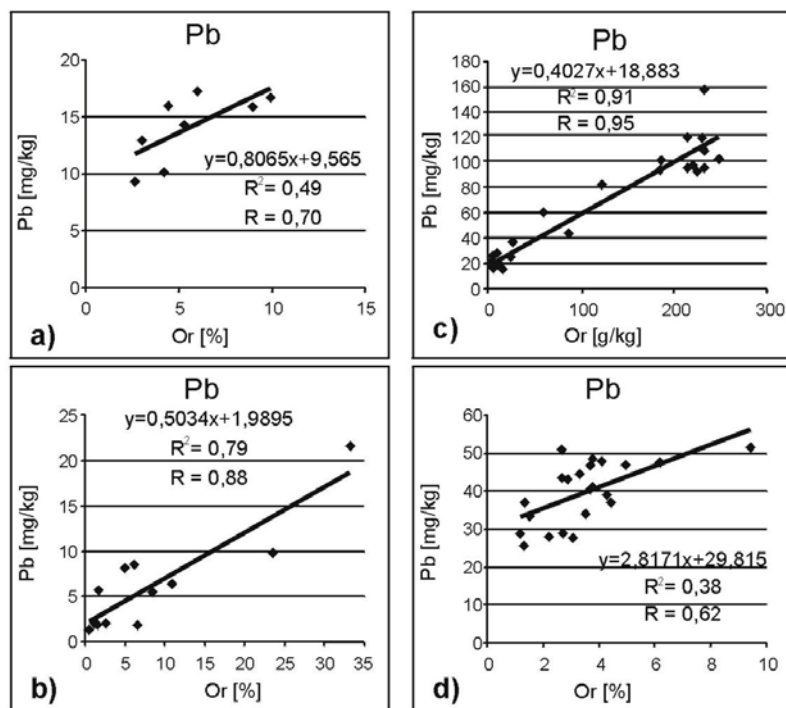
Analizując moc zależności metali ciężkich i zawartości części spławianych w osadach dennych, można ze względu na współczynniki korelacji uszeregować je w ciągi malejące dla zbiornika w Krempnej Cr>Zn>Cu>Pb,Ni>Cd, dla Majdanu Sopockiego Cu,Cr>Zn,Ni>Pb>Cd, dla stawu rybnego Ni>Cu>Pb>Zn,Cd,Cr, dla zbiornika w Zesławicach Ni>Cu>Zn>Pb>Cd,Cr. Najsilniej skorelowane z częściami spławianymi

w pierwszych dwóch zbiornikach są Cr i Zn, a najslabiej Cd. W kolejnych dwóch zbiornikach powtarza się jedynie słaba korelacja kadmu z najdrobniejszymi frakcjami osadu.

Podjęto również próbę zbadania korelacji między zawartością metali ciężkich a wartością średnicy  $d_{50}$ , uznając ją za charakterystyczną dla całej próbki osadu. Charakter związku korelacyjnego dla tych zmiennych jest słaby – wartości współczynników korelacji są na poziomie nieistotnym statystycznie.



**Rysunek 1.** Zależności korelacyjne Zn i materii organicznej w osadach zbiorników: a) Krempna, b) Majdan, c) Rybnik, d) staw rybny  
**Figure 1.** Correlation between Zn and organic matter in bottom sediments water reservoirs: a) Krempna, b) Majdan, c) Rybnik, d) fish pond



**Rysunek 2.** Zależności korelacyjne Pb i materii organicznej w osadach zbiorników: a) Krempna, b) Majdan, c) Rybnik, d) staw rybny  
**Figure 2.** Correlation between Pb and organic matter in bottom sediments water reservoirs: a) Krempna, b) Majdan, c) Rybnik, d) fish pond

Określono możliwość rolniczego wykorzystania osadów zbiornikowych o różnym stopniu jakości chemicznej, wykorzystując do tego celu opracowanie przez Kabatę-Pendias [1995] wytyczne dotyczące oceny zanieczyszczenia gleb. Szczegółowe wyniki przedstawiono w publikowanych już pracach [Tarnawski 2003; Madeyski i in. 2005]. Osady zbiornika Majdan Sopocki (których jakość nie była do tej pory opisywana) klasyfikują się na pograniczu zerowego i pierwszego stopnia zanieczyszczenia. Natomiast jakość chemiczna osadów zbiornika Rybnickiego, w zależności od dopuszczalnego poziomu poszczególnych metali ciężkich, klasyfikuje je do II, III, a nawet IV stopnia zanieczyszczenia. Stosując do oceny jakości osadów Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska (Dz.U. Nr. 165, poz. 1359) dotyczące standardów jakości gleb należy stwierdzić, że osady badanych zbiorników należy zakwalifikować do gruntów grupy B z wyłączeniem utworów

dennych zbiornika Rybnickiego. Grupę tę stanowią grunty użytków rolnych i leśnych. Stężenia metali Cu, Zn, Cd, Pb zaliczają osady Rybnickiego zbiornika wodnego do grupy C, która charakteryzuje się najniższym standardem, a stanowią ją grunty terenów przemysłowych i komunikacyjnych.

## WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań i analiz dotyczących stanu ekologicznego osadów dennych wybranych małych zbiorników wodnych można wyciągnąć następujące wnioski:

- stan ekologiczny oraz właściwości chemiczne (w tym zawartość metali ciężkich w osadach) zależą od wpływu antropopresji (sąsiadującego ze zbiornikami ekologicznie uciążliwego przemysłu) lub jej braku w przypadku zbiorników zlokalizowanych na terenach czystych ekologicznie,

- potwierdzają się zauważone wcześniej zdolności absorpcji metali ciężkich przez części organiczne zawarte w osadach dennych,

- nie zauważono wyraźnej zależności między granulacją osadów dennych i zawartością metali ciężkich,

- rozkład metali ciężkich w osadach zbiorników zależy może nie tylko od zawartości metali ciężkich, ale również od rozkładu przepływów wody w zbiorniku,

- porównując dopuszczalne ilości metali ciężkich w osadach z wymaganiami dotyczącymi ich skażenia, stwierdzić można, że osady z niezanieczyszczonych zbiorników wodnych (tj. badane zbiorniki w Krempnej, Zesławicach czy Majdanie Sopotkim) mogą być przeznaczone do pełnego wykorzystania rolniczego i nadają się nawet pod uprawy ogrodnicze,

- osady zanieczyszczone mogą zawierać nadmierne ilości metali ciężkich z punktu widzenia toksycznego. Należy szczególnie wykluczyć uprawę na nich warzyw, ale dozwolona jest uprawa roślin zbożowych i pastewnych oraz użytkowanie pastwiskowe (dotyczy to I i II stopnia skażenia metalami ciężkimi). Natomiast III i IV stopień skażenia wyklucza te gleby z produkcji rolniczej, a nawet ogranicza wykorzystanie pastwiskowe zezwala jednak na zagospodarowanie przyrodnicze (zbiornik Rybnicki). W niektórych przypadkach konieczne są jednak zabiegi rekultywacyjne.



## BIBLIOGRAFIA

- Kabata-Pendias A. *Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb*. IUNiG, Puławy, Biblioteka Monitoringu środowiska, Warszawa 1995.
- Kostecki M. *Metale ciężkie w osadach dennych zbiorników zaporowych*. Materiały Konferencji Naukowej Odra 2000, Karpacz 2000.
- Kostecki M., Kowalski E. *Alokacja metali ciężkich w osadach dennych zbiornika rybnickiego*. Archiwum Ochrony Środowiska, 2004, vol. 30, nr 4, s. 53–62.
- Kyziół J. *Minerały ilaste jako sorbent metali ciężkich*. Prace i Studia IPIŚ PAN, 43, 1994.
- Madeyski M., Florencka N., Tarnawski M. *Rozkład przestrzenny zawartości metali ciężkich w osadach dennych wybranego stawu rybnego*. Zeszyty Naukowe AR Kraków 2005, Inżynieria Środowiska, z. 26, s. 381–390.
- Madeyski M. *Charakterystyka osadów stawowych oraz możliwość ich rolniczego wykorzystania*. Zeszyty Naukowe ATH, Bielsko-Biała, Inżynieria Włókiennicza i Ochrona Środowiska, 2006 (w druku), nr 23.
- Mokwa M. *Sterowanie procesami fluwialnymi w korytach rzek przekształconych antropogenicznie*. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, nr 439, 2002, Rozprawy.
- Parzonka W., Kempniński J. *Reologiczna ocena procesu sedimentacji i osadzania namulów jeziornych*. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, 1991, nr 209, Melioracja XXXIX, s. 177–187.
- Tarnawski M. *Charakterystyka osadów dennych w niektórych małych zbiornikach wodnych*. Rozprawa doktorska AR Kraków 2003.

Prof. dr hab. inż. Marek Madeyski  
Dr inż. Marek Tarnawski  
Katedra Inżynierii Wodnej  
Akademia Rolnicza w Krakowie  
al. Mickiewicza 24/28  
30-059 Kraków  
rmmadeys@cyf-kr.edu.pl;  
rmtarnaw@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Jerzy Ratomski*

**Marek Madeyski, Marek Tarnawski**

**EVALUATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF BOTTOM SEDIMENTS IN CHOSEN SMALL WATER RESERVOIRS**

**SUMMARY**

As follows from a number of scientific works, water reservoirs are subjected to sedimentation at a higher or lower intensity requiring in consequence, after a time, desedimentation and renovation. There are several ways of desedimentation but the problem remains what to do with the sediments removed from the bottom. This depends on the quality of bottom sediments, their ecological state and, first of all, of their chemical properties (especially of heavy metal content). Chemical properties of sediments may depend on the reservoir location whether in anthropogenic transformed territories or in ecologically undisturbed ones.

In the paper results of works on chemical composition of sediments of some chosen small water reservoirs were compared. Subsequently these compared with fish pond and granulometric composition and its variability on bottom area, content of organic particles and presence of six basic heavy metals and their distribution in reservoir were examined. An attempt at mathematical relation between granulometric composition and heavy metals and between the percentage relation between organic particles and heavy metals was undertaken. The possibility of agricultural utilization of sediments after removal from the bottom was determined on the basis of the tables of permissible chemical soil pollution.

**Key words:** water reservoirs, bottom sediment, heavy metal