



# **Analiza skuteczności odmulniania zbiorników wodnych Cierpisz i Kamionka jako efektywnej metody rekultywacji ekosystemów eutroficznych**

*Lilianna Bartoszek, Renata Gruca-Rokosz, Piotr Koszelnik*  
*Politechnika Rzeszowska*

## **1. Wprowadzenie**

Większość stosowanych obecnie metod rekultywacji zbiorników wodnych skupia się albo na wyeliminowaniu zanieczyszczenia wtórnego wody substancjami uwalnianymi z osadów dennych lub chociaż na ograniczeniu jego wpływu na dalszą degradację zbiornika. Działania takie muszą zostać poprzedzone właściwym rozpoznaniem i eliminacją innych źródeł zanieczyszczeń biogenicznych (Wojtkowska & Dmochowski 2009, Koszelnik & Gruca-Rokosz 2013, Wiatkowski i in. 2015). Najwięcej uwagi poświęcono zahamowaniu zasilania wewnętrznego toni wodnej w związku fosforu, ze względu na intensywność krążenia tego pierwiastka biogenego w interfejsie woda-osad i jego znaczący wkład w nasilenie procesu eutrofizacji wód (Dondajewska 2008, Dunalska i in. 2012). Jedną z takich metod jest bagrowanie, czyli usuwanie osadów dennych ze zbiornika wodnego. Wraz z wierzchnią warstwą osadów dennych usuwa się z ekosystemu znaczną część zgromadzonych w nich substancji organicznych i nieorganicznych, w tym związków biogenych oraz metali ciężkich, wskutek czego powinno ulec zahamowaniu wydzielanie i powrót tych substancji do toni wodnej, co w konsekwencji ma wpłynąć na poprawę jakości wody i spowolnić proces eutrofizacji wód. Właściwe składowanie, zapobiegające powrotom zanieczyszczonej wody, a następnie zagospodarowanie wydobytego osadu jest bardzo ważnym i często decydującym problemem, również z uwagi na dodatkowe znaczne nakła-

dy techniczne i finansowe, podnoszące koszty rekultywacji (Wiśniewski 1999). Osady dennie mogą być przeznaczone do przyrodniczego wykorzystania na glebach pod uprawy rolnicze lub do rekultywacji terenów zdegradowanych (Ciesielczuk i in. 2011, Bartoszek i in. 2015), pod warunkiem, że będą odpowiednio żyzne (Koszelnik i in. 2008, Bartoszek i in. 2015), a zawartość w nich zanieczyszczeń, w tym metali ciężkich i niebezpiecznych substancji organicznych nie będzie przekraczała dopuszczalnych wartości granicznych dla gruntów występujących w miejscu przeznaczenia (Dz.U. 2016r. Poz. 1395.). Osady umiarkowanie zanieczyszczone lub ubogie w substancje biogenne mogą być wykorzystane w budownictwie po spełnieniu odpowiednich kryteriów geotechnicznych np. do budowy nasypów hydrotechnicznych, drogowych, albo w energetyce pod warunkiem posiadania odpowiednio wysokiej wartości opałowej, co wiąże się z zasobnością w materię organiczną (Koziełska-Sroka & Chęć 2009, Borsuk i in. 2012). W przypadku silnie zanieczyszczonych osadów dennych pozostaje deponowanie na odpowiednio zabezpieczonych składowiskach lub zastosowanie pirolitycznej utylizacji osadów (Wiśniewski & Wojtasik 2014). W Polsce bagrowanie zastosowano bezskutecznie na jeziorze Wegner (1984 r.), Mogileńskim (1991 r.) oraz w zbiorniku Maltańskim (1980-1990). Głównym powodem braku uzyskania trwałych efektów było niewyeliminowanie przyczyn degradacji zbiorników (Jankowski 2007, Szczepańska & Szpakowska 2009). Najczęściej stosowaną metodą rekultywacji płytkich, silnie zdegradowanych zbiorników małej retencji jest odmulanie. Odmulanie, jako przedsięwzięcie hydrotechniczne zaliczane jest do tzw. „prac utrzymaniowych” i ma na celu pogłębienie oraz zwiększenie pojemności użytkowej zbiornika, poprzez usunięcie z jego czaszy nagromadzonych przez lata osadów dennych.

Celem pracy była ocena tempa kumulacji zanieczyszczeń w osadach dennych dwóch zbiorników małej retencji położonych w jednym kontinuum rzeczonym, w których przeprowadzono zabieg odmulania, w aspekcie ich wzmożonej eutrofizacji wód i potrzeb rekultywacyjnych.

## 2. Teren badań

W miejscowości Cierpisz na Podkarpaciu w 23,7 km biegu rzeki Tuszymka Duża przez przegrodzenie jej małą zaporą utworzono w 1953 roku zbiornik wodny o pojemności początkowej 34,5 tys. m<sup>3</sup>. Wskutek znacznego zamulenia (stopień zamulenia 43,5%) w latach 1990-1991 przeprowadzono odmulanie zbiornika. Usunięto wówczas ok. 15 tys m<sup>3</sup> osadu, jednocześnie pogłębiając go (Michalec i in. 2013). Zbiornik Kamionka został utworzony w roku 1957 ok. cztery kilometry niżej w 19,2 km biegu rzeki.

**Tabela 1.** Parametry morfometryczne zbiorników zaporowych Cierpisz i Kamionka (Madeyski i in. 2008, PB 2005)

**Table 1.** Morphometrics parameters of the Cierpisz and Kamionka reservoirs (Madeyski et al. 2008, PB 2005)

Parametr	Cierpisz	Kamionka
Powierzchnia [ha]	2,3	7,0
Objętość [tys. m <sup>3</sup> ]	22	105
Długość zbiornika [m]	340	950
Głębokość średnia (maks.) [m]	0,9 (1,5)	1,5 (3,0)
Powierzchnia zlewni [km <sup>2</sup> ]	54,5	90
Czas retencji wody [d]	1,2	4,8

Zbiornik został zmodernizowany i odmulony w 2007 roku, przy okazji odbudowy zapory zniszczonej podczas powodzi w 2005 roku (PB 2005). Zlewnia całkowita rzeki Tuszymka Duża zajmuje obszar o powierzchni 144,0 km<sup>2</sup>, z czego zlewnia cząstkowa do zbiornika w Cierpishu 54,5 km<sup>2</sup>, do zbiornika Kamionka 90 km<sup>2</sup> (tabela 1). Zlewnia posiada charakter nizinny, rolniczo-leśny. Lasy stanowią ok. 48%, grunty orne 35%, użytki zielone 24% jej powierzchni całkowitej. Na obszarze zlewni przeważają piaski na glinach zwałowych (Madeyski i in. 2008).

## 3. Metodyka badań

Badania prowadzono w dwóch sezonach wegetacyjnych lat 2013 i 2014. Próbkę wody i osadów dennych pobrano czterokrotnie w 2013 roku oraz pięciokrotnie w 2014 roku z 2 stanowisk badawczych na zbiorniku Cierpisz (St. 1 w pobliżu dopływu, St. 2 w pobliżu zapory) i 3 sta-

nowisk badawczych na zbiorniku Kamionka (w pobliżu dopływu St. 1, w okolicy środka zbiornika St. 2 i w pobliżu zapory St. 3) (rys. 1). Osady denne pobierano za pomocą czepacza rurowego typu Kajak. Na każdym ze stanowisk pobierano po trzy próby osadów. Do badań laboratoryjnych brano wierzchnią, pięciocentymetrową warstwę osadu z każdej próby, które uśredniono. W próbkach wody na miejscu mierzono temperaturę, pH i zawartość tlenu rozpuszczonego ( $O_2$ ) za pomocą wieloparametrowego miernika Hach Lange HQ40D.



**Rys. 1.** Rozmieszczenie stanowisk badawczych (St) na zbiornikach wodnych w Cierpiszu i Kamionce

**Fig. 1.** Location of the sampling stations (St) in the Cierpisz and Kamionka reservoirs

W laboratorium dokonano oznaczenia azotu ogólnego (TN) wykorzystując analizator TOC-VCPN (Shimadzu). Metodą spektrofotometryczną oznaczono stężenie fosforu fosforanowego ( $P-PO_4^{3-}$ ) (reakcja z molibdenianem amonowym), fosforu ogólnego (TP) (po mineralizacji w środowisku  $H_2SO_4$  i peroksydisiarczanów) oraz chlorofilu „a” (Chla) (Aquamate, Thermo Spectronic). Na potrzeby tej pracy poziom trofii

wód badanych obiektów określono na podstawie wartości indeksów troficznych (fosforowego –  $TSI_{TP}$  i chlorofilowego –  $TSI_{Chla}$ ) według Carlsona. Osady po wysuszeniu i zhomogenizowaniu poddano prażeniu w temp.  $550^{\circ}C$  przez 4 h, na podstawie pozostałości po prażeniu obliczono zawartość materii organicznej (OM). Mineralizację osadów przeprowadzono w stężonym  $HNO_3$  przy ciśnieniu 2-4,5 MPa w mineralizatorze mikrofalowym (UniClever II, Plazmatronika). W mineralizatach oznaczono metale (spektrometr ICP Integra) i fosfor całkowity (spektrofotometrycznie jako fosforany). Zawartość azotu w osadach oznaczono za pomocą analizatora elementarnego CNS (Flash EA 1112 Finnigan Mat). Do oceny stopnia zanieczyszczenia osadów dennych metalami ciężkimi wykorzystano kryterium geochemiczne oraz ekotoksykologiczne TEC (Threshold Effect Concentration) i PEC (Probable Effect Concentration) (MacDonald i in. 2000, Bojakowska 2001), a także Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2016r. Poz. 1395.).

#### **4. Wyniki badań i dyskusja**

Osady denne omawianych obiektów okazały się bardzo ubogie w materię organiczną, fosfor i azot (tabela 2). Zaobserwowano analogiczną tendencję w zróżnicowaniu zawartości większości analizowanych parametrów w osadach w poszczególnych strefach zbiorników. Wyższe zawartości materii organicznej, fosforu, azotu, a także metali ciężkich obserwowano w osadach zbiornika Cierpisz na stanowisku 1 zlokalizowanym w pobliżu dopływu rzeki Tuszynka w porównaniu do stanowiska 2 w pobliżu zapory (tabela 2).

W większym i o mniejszej dynamice przepływu wód zbiorniku Kamionka na podstawie rozkładu średnich zawartości analizowanych parametrów można było wyróżnić trzy strefy kumulacji substancji w osadach. W osadach w pobliżu dopływu (St. 1) zaobserwowano wyższe zawartości substancji organicznych, fosforu, azotu oraz metali ciężkich. W strefie przejściowej w pobliżu środka zbiornika (St. 2) zawartości w/w parametrów malały, by znów wzrosnąć w strefie w pobliżu zapory (St. 3) za wyjątkiem miedzi. W osadach w pobliżu dopływu stwierdzono największą ilość materii organicznej, azotu, kadmu, miedzi, niklu, ołowiu

i cynku, co wskazuje na rzekę Tuszynkę, jako główne źródło tych zanieczyszczeń dla wód zbiornika Kamionka. W osadach w pobliżu zapory zaobserwowano najwyższe zawartości fosforu oraz chromu.

**Tabela 2.** Średnie zawartości materii organicznej, pierwiastków biogennych i metali ciężkich w osadach dennych zbiorników wodnych Cierpisz i Kamionka. Wartości tła geochemicznego, TEC i PEC (MacDonald i in. 2000, Bojakowska 2001)

**Table 2.** Average contents of organic matter, biogenic elements and heavy metals in the bottom sediments of the Cierpisz and Kamionka reservoirs. The values of geochemical background, TEC and PEC (MacDonald et al. 2000, Bojakowska 2001)

Zbiornik		n = 9	OM	TP	N	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	
			[%]	[mg·g <sup>-1</sup> s.m.o.]				[mg·kg <sup>-1</sup> s.m.o.]				
Cierpisz	St. 1	Średnia	1,78	0,126	0,741	1,50	2,77	4,93	2,62	9,44	27,2	
		SD	1,0	0,04	0,39	0,3	0,9	1,8	0,8	4,6	6,1	
	St. 2	Średnia	1,38	0,079	0,643	0,88	1,82	2,75	2,03	6,02	17,6	
		SD	0,5	0,03	0,14	0,4	1,6	1,1	0,9	2,3	6,9	
	Zbiornik	Średnia	1,58	0,103	0,692	1,19	2,29	3,84	2,33	7,73	22,4	
		SD	0,8	0,04	0,29	0,5	1,3	1,8	0,9	3,9	8,0	
Kamionka	St. 1	Średnia	2,75	0,246	1,15	1,85	3,58	13,1	4,40	16,4	31,5	
		SD	2,5	0,20	0,9	0,8	2,0	7,6	2,4	10	15	
	St. 2	Średnia	2,19	0,157	0,907	1,15	3,47	4,86	2,24	5,01	17,5	
		SD	2,0	0,16	0,72	0,5	3,2	3,4	1,4	2,7	7,6	
	St. 3	Średnia	2,47	0,394	0,993	1,59	1,53	17,7	3,21	10,1	29,3	
		SD	1,0	0,17	0,59	0,3	0,5	9,5	1,2	5,0	11	
	Zbiornik	Średnia	2,47	0,266	1,02	1,53	2,86	11,9	3,28	10,5	26,1	
		SD	1,9	0,20	0,7	0,6	2,3	8,8	1,9	8,1	13	
	Tło geochemiczne						0,5	7,0	6,0	5,0	15,0	73,0
	TEC						0,99	31,6	43,4	22,7	35,8	121
PEC						4,98	149	111	48,6	128	459	

Analizując zanieczyszczenie osadów dennych metalami ciężkimi stwierdzono, że zawartości kadmu, chromu i ołowiu przekroczyły wartości tła geochemicznego, czyli naturalnej zawartości tych pierwiastków wyznaczone dla osadów zbiorników wodnych Polski (tabela 2) (Bojakowska 2001). Tło geochemiczne zostało przekroczone w przypadku kadmu w osadach na wszystkich stanowiskach w obu zbiornikach. Wartość tła geochemicznego dla chromu została przekroczona w osadach zbiornika Kamionka w rejonie dopływu (St. 1) i w rejonie zapory (St. 3), natomiast dla ołowiu w rejonie dopływu (St. 1). Dla porównania prze-

ciężna zawartość kadmu, chromu i ołowiu w osadach dennych zbiorników świata wynosi 0,14; 68; 31 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.o. (odpowiednio) (Wiechuła 2004).

W celu określenia stopnia potencjalnego zagrożenia dla biosfery osadów dennych zanieczyszczonych metalami ciężkimi posłużono się metodą wskaźników numerycznych jakości osadów TEC (Treshold Effect Concentration) i PEC (Probable Effect Concentration) (MacDonald i in. 2000). Wartość progowa TEC została przekroczona przez kadm w osadach zbiornika Kamionka i na stanowisku w pobliżu dopływu (St. 1) zbiornika Cierpisz. Wartości progowe PEC nie zostały przekroczone w przypadku żadnego z metali w osadach obu zbiorników. Przekroczenie wartości progowej TEC przez kadm oznacza, że może już pojawiać się szkodliwe oddziaływanie tego pierwiastka na organizmy wodne, zwłaszcza żerujące przy dnie. Gdyby wartość progowa PEC została przekroczona, toksyczne działanie tego metalu występowałoby stale i takie osady stanowią już poważne zagrożenie dla środowiska wodnego, a pośrednio dla człowieka. Jedną z głównych przyczyn zanieczyszczenia środowiska wodnego kadmem w zlewniach rolniczych jest spływ powierzchniowy z pól uprawnych, na których przez wiele lat stosowano nawozy mineralne i środki ochrony roślin (Bojakowska 2001).

Biorąc pod uwagę zawartości analizowanych metali ciężkich wydobyte osady w razie odmulania obu zbiorników mogą być wykorzystane w pracach ziemnych dla dowolnej grupy gruntów, ponieważ ich stężenia nie przekraczają dopuszczalnych zawartości w glebie oraz ziemi dla wszystkich czterech grup gruntów wyszczególnionych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2016 r., uwzględniając głębokość warstwy, właściwości gleby i jej wodoprzepuszczalność (Dz.U. 2016r. poz. 1395.). Osady analizowanych obiektów, pomimo tego, że nie stwarzają zagrożenia dla środowiska glebowego, nie byłyby przydatne do spożytkowania na glebach wykorzystywanych pod uprawy rolnicze, ponieważ okazały się bardzo ubogie pod względem zawartości materii organicznej, azotu i fosforu. Brak jest odpowiednich kryteriów określających minimalne zawartości materii organicznej i substancji biogennej w wydobytych ze zbiornika osadach kwalifikujących je do zagospodarowania w rolnictwie. W przypadku wprowadzenia do obrotu takiego osadu, jako nawozu lub środka wspomagającego uprawę roślin decyzję w sprawie pozwolenia wydaje Minister właściwy do spraw rolnictwa (Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033). Dla dostępnego w handlu nawozu organicznego, który według

informacji dystrybutora jest osadem dennym zbiorników słodkowodnych, Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi wydając pozwolenie na wprowadzenie do obrotu określił w decyzji wymagania jakościowe, które zawierają m.in. minimalną zawartość substancji organicznej w suchej masie na poziomie 30%, azotu całkowitego  $3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m.o, fosforu całkowitego  $0,87 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m.o (Mat. Sapropel). Takie wymagania ostatecznie dyskwalifikują osady denne większości zbiorników zaporowych w spożytkowaniu, jako nawóz w uprawach rolnych, gdyż mają one przeważnie charakter mineralny i zawartość w nich materii organicznej rzadko przekracza 30%. Dla porównania zawartość materii organicznej w osadach jeziornych może nawet przekraczać 90% (Ciesielczuk i in. 2011). Osady badanych zbiorników mogą być natomiast wykorzystane do piaskowania torfów w celu poprawienia przepuszczalności i przewiewności gleby, a także np. do niwelacji terenu i rekultywacji terenów zdewastowanych.

Wyjątkowo niska zawartość fosforu i materii organicznej w osadach dennych nie wskazuje na możliwość występowania zasilania toni wodnej w fosforany i inne produkty rozkładu związków organicznych. Litoralne osady płytkich, eutroficznych jezior charakteryzujące się niską zawartością fosforu ( $0,3\text{-}0,6 \text{ mg g}^{-1}$  s.m.o.) mogą być jednak znaczącym źródłem fosforanów, zwłaszcza w warunkach deficytu tlenu w wodzie nadosadowej podczas lata (Güde i in. 2000). W płytkich, małych zbiornikach ze względu na niewielką głębokość i intensywne mieszanie do dna, tlen powinien występować bez zakłóceń w całym profilu słupa wody. Z uwagi na niską zawartość materii organicznej w osadach zbiorników Cierpisz i Kamionka, nawet w upalne, bezwietrzne lata i przy bardzo niewielkiej ruchliwości wody nie powinno dochodzić do wystąpienia okresowego zaniku tlenu w strefie nadosadowej.

Szczegółowe wyniki oceny stanu troficznego wód zbiornika Kamionka (na podstawie jednego roku badań) i zbiornika Cierpisz (dla obu lat badawczych) z wykorzystaniem kryteriów stężeniowych Vollenweidera, OECD, Nürnberg oraz Forsberga i Rydinga, a także indeksów troficznych (TSI) Carlsona oraz Walkera przedstawiono w publikowanych już pracach (Bartoszek & Koszelnik 2014, Miąsik i in. 2014). Aktualna ocena stanu troficznego w oparciu o wartości indeksów troficznych (TSI) Carlsona wykazała zaawansowany poziom trofii wód obu zbiorników (tabela 3). Obliczone wartości indeksu troficznego fosforowego ( $\text{TSI}_{\text{TP}}$ ) wskazywały na hipertrofię wód w zbiorniku Cierpisz, natomiast wartości

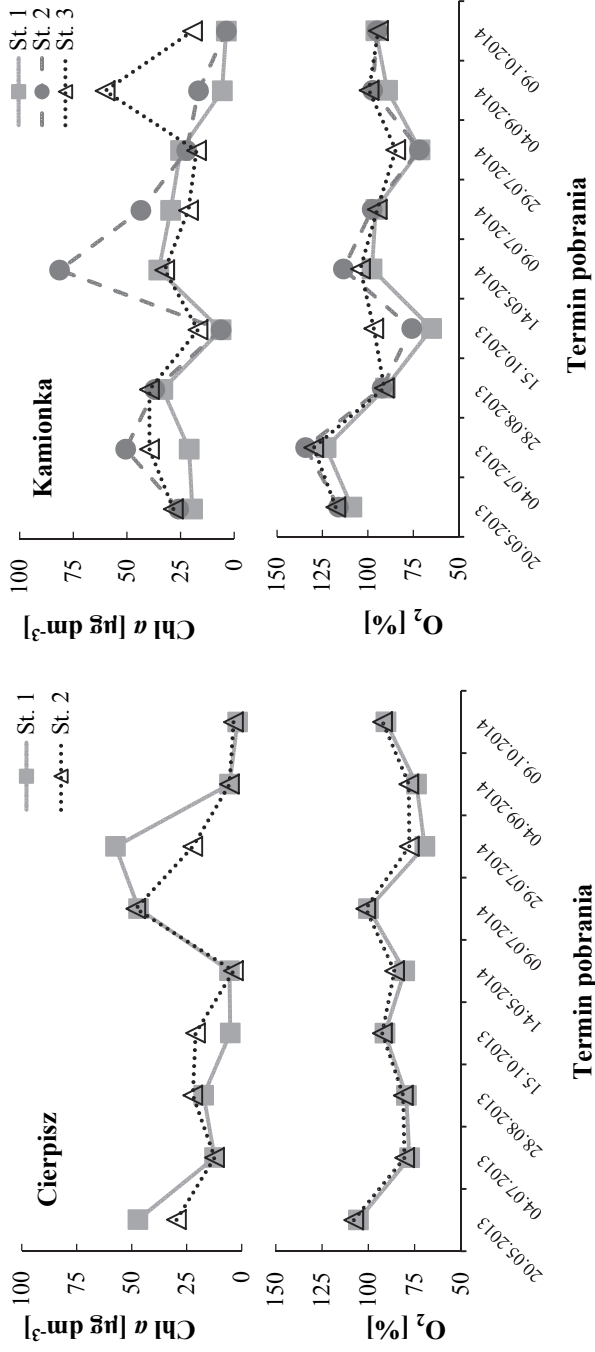


indeksu troficznego chlorofilowego ( $TSI_{Chla}$ ) jeszcze na eutrofię. Ponieważ wartości  $TSI_{TP}$  były niewiele wyższe od 70 ( $TSI > 70$  – hipertrofia) można uznać, że stan troficzny wód zbiornika Cierpisz to eutrofia na pograniczu z hipertrofią. Rozpatrując zbiornik Kamionka obliczone wartości obu indeksów troficznych Carlsona, czyli fosforowego ( $TSI_{TP}$ ) i chlorofilowego ( $TSI_{Chla}$ ) wskazały na eutrofię wód w tym akwenu. Obliczone indeksy osiągnęły wartości w miarę zbliżone na poszczególnych stanowiskach, aczkolwiek indeks chlorofilowy wskazał na nieznacznie wyższą trofię wód w środkowym i przyzaporowym rejonie zbiornika Kamionka.

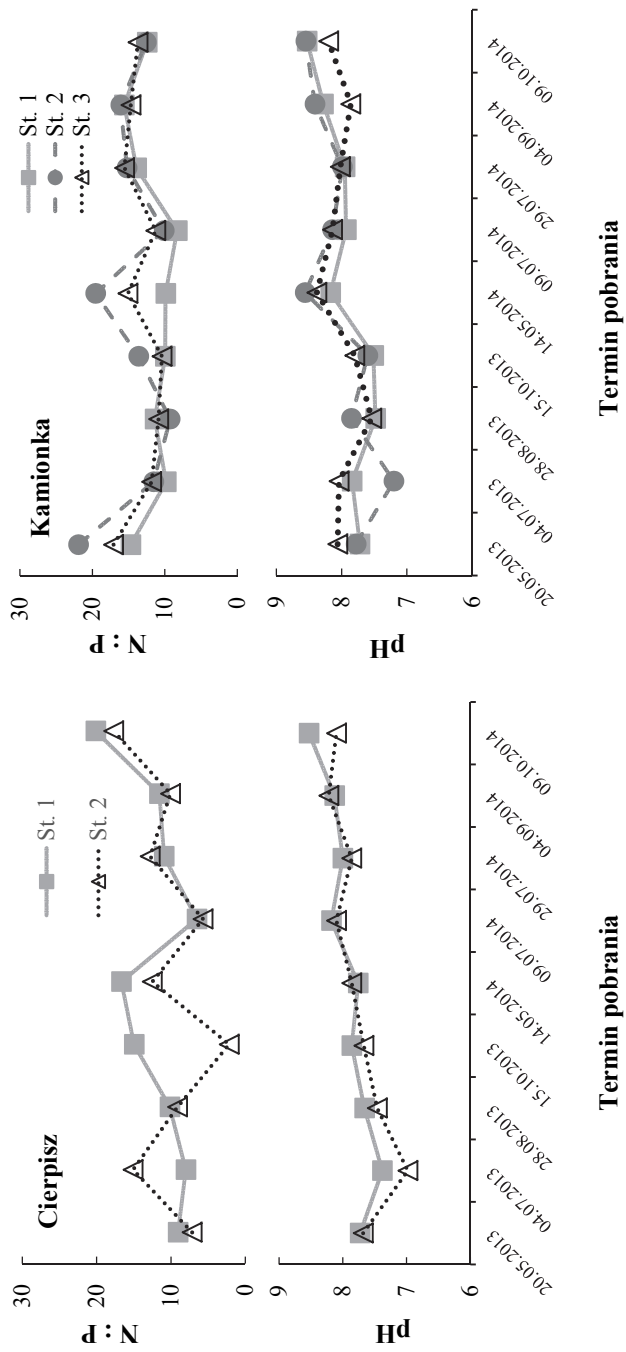
**Tabela 3.** Średnie wartości indeksów troficznych Carlsona ( $TSI_{TP}$ ,  $TSI_{Chla}$ ), stężenia azotu i fosforu w wodach zbiorników Cierpisz i Kamionka,  $\pm$  SD  
**Table 3.** Mean Carlson trophic index values ( $TSI_{TP}$ ,  $TSI_{Chla}$ ), nitrogen and phosphorus concentration in water of the Cierpisz and Kamionka reservoirs,  $\pm$  SD

Zbiornik n = 9		TN	TP	$TSI_{TP}$	Trofia	$TSI_{Chla}$	Trofia
		[mg·dm <sup>-3</sup> ]					
Cierpisz	St1	1,06±0,6	0,097±0,05	73	H	64	E
	St2	1,00±0,4	0,124±0,08	73	H	62	E
	zbiornik	1,03±0,5	0,110±0,06	73	H	63	E
Kamionka	St1	0,96±0,4	0,082±0,03	69	E	62	E
	St2	1,08±0,5	0,075±0,03	68	E	67	E
	St3	0,98±0,4	0,073±0,03	67	E	65	E
	zbiornik	1,00±0,4	0,076±0,03	68	E	65	E

W wodach zbiornika Kamionka odnotowano wyższą zawartość chlorofilu „a” (wskaźnika biomasy fitoplanktonu), przy czym najintensywniej proces wewnętrznej produkcji materii zachodził w rejonie środka zbiornika (St. 2) (rys. 2). Również w wodach zbiornika Kamionka częściej występowało zjawisko przesylenia wody tlenem wskazujące na wzmożony proces fotosyntezy. Najwyższe nasycenie wody tlenem (134%) zaobserwowano w strefie przejściowej tego zbiornika (rys. 2). Warunki tlenowe sprzyjały mineralizacji materii organicznej w obydwu zbiornikach.



**Rys. 2.** Zmienność zawartości chlorofilu „a” [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] i tlenu [ $\%$ ] w wodzie zbiorników Cierpisz i Kamionka  
**Fig. 2.** Variability of chlorophyll "a" [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] and oxygen [ $\%$ ] in water of the Cierpisz and Kamionka reservoirs



**Rys. 3.** Zmienność ilorazu N:P i pH w wodzie zbiorników Cierpisz i Kamionka  
**Fig. 3.** Variability of N:P ratio and pH in the water Cierpisz and Kamionka reservoirs

Częściej pierwiastkiem limitującym rozwój fitoplanktonu w wodach zbiornika Cierpisz mógł być azot (N:P < 10:1) (rys. 3), stąd uzyskane rozbieżności pomiędzy indeksami troficznymi fosforowym (substratu) i chlorofilowym (produktu) dla tego obiektu. Wartość graniczna stężenia fosforu w wodzie, powyżej której występuje proces przeżyźnienia wód wynosi  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  (Berleć i in. 2015). Takie stężenia występowały często w wodzie zbiornika Cierpisz. Na rysunku 3 można zaobserwować postępującą alkalizację wód, wynikającą z postępu procesu eutrofizacji, z bardziej wyraźną tendencją wzrostową pH wody dla zbiornika Cierpisz.

Poziom trofii wód obu akwenów nie znajdował odzwierciedlenia w niewielkim wzbogaceniu osadów dennych w materię organiczną i substancje biogenne. Było to z jednej strony następstwem przeprowadzonych w przeszłości zabiegów odmulania obu obiektów, z drugiej silnie przepływowego charakteru wód obu zbiorników. W osadach zbiornika Kamionka pomimo stosunkowo niedawno przeprowadzonego odmulania (ok. 6 lat temu) zaobserwowano wyższą kumulację wszystkich analizowanych substancji niż w osadach zbiornika Cierpisz poddanego odmulaniu znacznie wcześniej (ok. 22 lata temu). Od tamtego czasu zbiornik w Cierpiszu został zagospodarowany przez wędkarzy. Z przeprowadzonej analizy wynika, że większy wpływ na zanieczyszczenie wód zbiornika Cierpisz miała ta część zlewni całkowitej, z której zanieczyszczenia dostarczane były za pośrednictwem dopływu, niż teren bezpośrednio go otaczający. W strefie w pobliżu dopływu panują warunki rzeczne, wpływające wody cieku bogate są w zawiesinę i substancje rozpuszczone (Wiatkowski i in. 2015), a niewielka głębokość i intensywne mieszanie wód sprzyja występowaniu zjawiska resuspensji osadów i sorpcji w nich zanieczyszczeń. W strefie przy zaporze dominują na ogół procesy wewnętrznej produkcji materii, wskutek czego następuje jej odkładanie po zakończonym sezonie wegetacyjnym w osadach dennych. Jednakże w małych zbiornikach charakter rzeczny często występuje na całej ich długości (Ligęza & Smal 2003). Zbiornik Cierpisz położony ok. 4 km wyżej, mógłby pełnić rolę zbiornika wstępnego przejmując część materii pochodzącej z terenu zlewni rzeki Tuszynka. Jednakże z uwagi na jego silnie przepływowy charakter (czas retencji wody 1,2 doby) znaczna część ładunku zanieczyszczeń transportowana była dalej do zbiornika Kamionka. Ponadto pomiędzy badanymi obiektami rzeka Tuszynka przepływa na odcinku ok. 4 km przez użytki rolne i dwie nieskanalizowane miejscowości.

Przyczyną wyższej kumulacji w osadach dennych w strefie przyzaporowej, jak również ogólnie większego zanieczyszczenia osadów zbiornika Kamionka w porównaniu do położonego wcześniej zbiornika Cierpisz mogła być nieuporządkowana gospodarka wodno-ściekowa w miejscowości, na pograniczu której znajduje się zbiornik. Nie bez wpływu pozostaje też bezpośrednie sąsiedztwo infrastruktury turystyczno-rekreacyjnej oraz szlaków komunikacyjnych.

Pomiary zamulania zbiornika Cierpisz wykonane w latach 2009 i 2011 wykazały, że od 1990 roku (od zabiegu odmulania) do 2011 roku, czyli w ciągu 22 lat eksploatacji stopień zamulenia wyniósł 27,45%, a wyliczone zmniejszenie pojemności tego obiektu o 50% może nastąpić po upływie 40 lat eksploatacji (Michalec i in. 2013). Brak jest danych dotyczących zamulania zbiornika Kamionka, z uwagi na stosunkowo niedawną jego modernizację. Głównym celem odmulania małych, płytkich, lokalnych zbiorników było ich pogłębienie i zwiększenie pojemności użytkowej. Dlatego też osady nie były badane pod kątem ich zanieczyszczenia i możliwości zagospodarowania. Wydobyte z dna osady najczęściej wykorzystywano do wzmocnienia skarp, tworzenia wysp, grobli, plaż i niwelacji terenu. W przypadku dużego zanieczyszczenia, zagospodarowanie ich w bezpośrednim otoczeniu rekultywowanego obiektu stwarza zagrożenie dla jakości jego wód, poprzez ich wtórne zanieczyszczenie.

## **5. Podsumowanie**

Zbiorniki małej retencji są szczególnie narażone na degradację, ponieważ odkładanie w osadach dennych części materii transportowanej przez ciek i pochodzącej ze zlewni bezpośredniej powoduje ich szybkie wypływanie. Zarówno w zbiorniku Kamionka, jak i w zbiorniku Cierpisz pomimo ok. 60 letniego funkcjonowania obu obiektów i zaawansowanego poziomu trofii wód, osady denne okazały się bardzo ubogie pod względem zawartości materii organicznej, substancji biogennej oraz stosunkowo umiarkowanie zanieczyszczone metalami ciężkimi. Bez wątplenia do niewielkiego nagromadzenia substancji w osadach analizowanych zbiorników przyczyniły się zabiegi odmulania przeprowadzone w różnym okresie eksploatacji obu obiektów oraz ich silnie przepływowy charakter. Ze względu na krótki czas retencji wody zbiornik Cierpisz nie przejmował znaczącej ilości zanieczyszczeń transportowanych przez

rzekę. Ilość nagromadzonych substancji w osadach obu zbiorników była nieco zróżnicowana i nie było to powiązane z okresem odmulania, lecz z oddziaływaniem antropogenicznym zlewni i warunkami hydrologicznymi. Analiza wzbogacenia osadów dennych i zagospodarowania terenu wykazała, że zbiornik Kamionka, zwłaszcza w rejonie dopływu narażony był na wyższą presję antropogeniczną ze strony zlewni. Wyższa trofia wód w środkowej części zbiornika Kamionka przy silnie przepływowym ich charakterze może oddziaływać na osady z pewnym opóźnieniem, znajdując odzwierciedlenie w ich użyźnieniu w rejonie strefy przyzaporowej. Ogólnie niska zawartość fosforu i materii organicznej nie wskazuje na możliwość występowania zasilania wewnętrznego toni wodnej i wpływu osadów na postęp procesu eutrofizacji w obu zbiornikach. Umiarkowany stopień zanieczyszczenia osadów metalami ciężkimi nie wyklucza możliwości wykorzystania ich w pracach ziemnych dla dowolnej grupy gruntów, jednak z uwagi na niską zawartość materii organicznej i substancji biogennej zagospodarowanie ich na użytkach rolnych może prowadzić do obniżenia żyzności gleby. Na chwilę obecną brak jest odpowiednich kryteriów pozwalających na właściwą kwalifikację wydobytych podczas bagrowania osadów pod kątem ich zagospodarowania w rolnictwie.

### Podziękowanie

*Badania były finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu badawczego nr 2011/03/B/ST10/04998.*

### Literatura

- Bartoszek, L., & Koszelnik, P. (2014). *Zagrożenie eutroficzne wód podkarpackich zbiorników Kamionka i Ożanna*. [w:] *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód.*, (pod red.) Dymczewski, Z., Jeż-Walkowiak, J. Poznań: PZITS O/ Wielkopolski, 213-229.
- Bartoszek, L., Koszelnik, P., Gruca-Rokosz, R., & Kida, M. (2015). Assessment of agricultural use of the bottom sediments from eutrophic Rzeszów reservoir. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 396-409.
- Berleć, K., Traczykowski, A., Budzińska, K., Szejniuk, B., Michalska, M., Jurk, A., Guścior, A., Majewska, M. (2015). Wpływ niewłaściwej gospodarki ściekowej i rolnej na stan fizykochemiczny wód jeziora Głębocek kilka lat po rekultywacji. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 1449-1462.

- Bojakowska, I. (2001). Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny*, 49(3), 213-218.
- Borsuk, S., Kujawski, E., Borsuk, M. (2012). *Naturalny osad denny (NOD) jako potencjalne źródło ekologicznej energii odnawialnej*. [w:] *Inżynieria i Ochrona Środowiska.*, (pod red.) Granops, M. Bydgoszcz: Wydawnictwo Uczelniane UTP, 43-52.
- Ciesielczuk, T., Kusza, G., Karwaczyńska, U. (2011). Przyrodnicze wykorzystanie osadów dennych w świetle obowiązujących przepisów. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13, 1327-1338.
- Dondajewska, R. (2008). Internal phosphorus loading from bottom sediments of a shallow preliminary reservoir. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, XXXVII(2), 89-97.
- Dunalska, J.A., Górniak, D., Jaworska, B., Gaiser, E.E. (2012). Effect of temperature on organic matter transformation in a different ambient nutrient availability. *Ecological Engineering*, 49, 27-34.
- Dz.U. 2016r. Poz. 1395. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi.
- Dz.U. 2007 Nr 147 poz. 1033. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. O nawozach i nawożeniu.
- Güde, H., Seidel, M., Teiber, P., Weyhmüller, M. (2000). P-release from littoral sediments in Lake Constance. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 27, 2624-2627.
- Jankowski, J. (2007). *Stan prac rekultywacyjnych w Polsce*. VI Konferencja Naukowo-Techniczna: *Ochrona i Rekultywacja Jezior*. Toruń: PZLiTS Oddział Toruń, 83-94.
- Koszelnik, P., Tomaszek, J., & Gruca-Rokosz, R. (2008). Carbon and nitrogen and their elemental and isotopic ratios in the bottom sediment of the Solina-Myczkowce complex of reservoirs. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 37(3), 71-78.
- Koszelnik, P., & Gruca-Rokosz, R. (2013). Determination of nitrate isotopic signature in waters of different sources by analysing the nitrogen and oxygen isotopic ratio, *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(4), 751-759.
- Kozielska-Sroka, E., & Chęć, M. (2009). Właściwości osadów dennych Jeziora Czorsztyńskiego w aspekcie ich wykorzystania w budownictwie ziemnym. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 33(1), 369-376.
- Ligęza, S., & Smal, H. (2003). Skład granulometryczny osadów dennych zbiornika wód zrzutowych zakładów azotowych Puławy. *Acta Agrophysica*, 1(2), 271-277.

- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 20-31.
- Madeyski, M., Michalec, B., Tarnawski, M. (2008). *Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich: Kraków: PAN Komisja technicznej infrastruktury wsi.
- Mat. Sapropel - Materiały firmy Sapropel. Nawóz organiczny <http://www.sapropel.pl/> (data ostatniego dostępu 8.04.2016).
- Miąsik, M., Koszelnik, P., Bartoszek, L. (2014). Trophic water assessment of the small retention reservoirs Blizne and Cierpisz in the Podkarpacie Region (Subcarpathian Province). *Limnological Review*, 14(4), 181-186.
- Michalec, B., Tarnawski, M., Koniarz, T. (2013). Zamulenie jako czynnik ograniczający zasoby wodne zbiorników małej retencji. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, 60(3), 129-142.
- PB 2005 - Projekt budowlany, Budowa zapory ziemno-betonowej na rzece Tuszymka Duża w miejscowości Kamionka gm. Ostrów, woj. podkarpackie. Zespół Usług Technicznych NOT 2005.
- Szczepańska, M., & Szpakowska, B. (2009). Rekreacyjne znaczenie zbiornika Maltańskiego i problemy związane z jego użytkowaniem. *Nauka Przyroda Technologie*, 3(1), 1-10.
- Wiatkowski, M., Rosik-Dulewska, C., Kasperek, R. (2015). Inflow of Pollutants to the Bukówka Drinking Water Reservoir from the Transboundary Bóbr River Basin. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 316-336.
- Wiechuła, D. (2004). *Ekotoksykologia osadów dennych zbiorników o różnej charakterystyce limnologicznej*. Katowice: Wydawnictwo Śląska Akademia Medyczna.
- Wiśniewski, R. (1999). *Próby inaktywacji fosforanów w osadach dennych i zahamowania zakwitów sinic w jeziorze Łasińskim jako potencjalne metody rekultywacji*. I Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna: *Postęp w Inżynierii Środowiska*. Rzeszów-Polańczyk: Oficyna Wydawnicza PRz. 189-202.
- Wiśniewski, W., & Wojtasik, B. (2014). *Wyprażacz zanieczyszczonych osadów pólplłynnych*. Patent nr 218690, Urząd patentowy RP.
- Wojtkowska, M., & Dmochowski, D. (2009). Seasonal character of changes in nitrogen forms in waters of Korytów and Łąki Korytowskie retention reservoirs. *Environment Protection Engineering*, 35(2), 57-66.



## **Analysis of the Desludging Effectiveness of the Cierpisz and Kamionka Reservoirs as an Effective Method of the Eutrophic Ecosystems Recultivation**

### **Abstract**

Reservoir desludging is its simultaneous deepening and involves the removal of the accumulated over the years sediments from the bowl. It is the most commonly used method of recultivation of the shallow, strongly degraded small retention reservoirs. Two small retention reservoirs created on the river Tuszynka Duża (Sub-Carpathian region) were the research objects. The reservoir in Cierpisz (with a capacity of 22,000 m<sup>3</sup>) was formed in 1953 and was subjected to desludging in 1990, whereas the reservoir in Kamionka (with a capacity of 105,000 m<sup>3</sup>) was formed in 1957 and modernized and dredged in 2007. The research was conducted in two vegetation seasons the years 2013 and 2014. The samples of water and sediments were collected four times in 2013 and five in 2014 from 2 stations on the Cierpisz reservoir and 3 stations on the Kamionka reservoir. The sediments both of Kamionka and Cierpisz reservoirs despite the advanced eutrophication were very poor in terms of organic matter, phosphorus and nitrogen contents. Also, contamination of the sediments with heavy metals was moderate and except for cadmium, chromium and lead did not exceed the geochemical background. Generally, low content of phosphorus and organic matter does not indicate possibility of the occurrence of the internal supply of the water column and the sediment impact on the progress of eutrophication in both reservoirs. The amount of the accumulated substances in the sediments of the two reservoirs was slightly differentiated, and it was not related to the period of the desludging, but with the anthropogenic impact of the catchment and hydrological conditions.

### **Streszczenie**

Odmulanie zbiornika jest jego jednoczesnym pogłębieniem i polega na usunięciu z jego czaszy nagromadzonych przez lata osadów dennych. Jest to najczęściej stosowana metoda rekultywacji płytkich, silnie zdegradowanych zbiorników małej retencji. Obiektami badawczymi były dwa zbiorniki małej retencji utworzone na rzece Tuszynka Duża na Podkarpaciu. Zbiornik wodny w Cierpisz (o pojemności 22 tys m<sup>3</sup>) powstał w roku 1953 i był poddany odmulaniu w roku 1990, natomiast zbiornik wodny w Kamionce (o pojemności 105 tys m<sup>3</sup>) powstał w roku 1957 i został zmodernizowany oraz odmulony w roku 2007. Badania prowadzono w dwóch sezonach wegetacyjnych lat 2013 i 2014. Próbkę wody i osadów dennych pobrano czterokrotnie w 2013 roku oraz

pięciokrotnie w 2014 roku z 2 stanowisk badawczych na zbiorniku Cierpisz i 3 stanowisk badawczych na zbiorniku Kamionka. Zarówno w zbiorniku Kamionka, jak i w zbiorniku Cierpisz pomimo zaawansowanej eutrofizacji wód osady denne były bardzo ubogie pod względem zawartości materii organicznej, fosforu i azotu. Również zanieczyszczenie osadów metalami ciężkimi było umiarkowane i za wyjątkiem kadmu, chromu i ołowiu nie przekraczało tła geochemicznego. Ogólnie niska zawartość fosforu i materii organicznej nie wskazuje na możliwość występowania zasilania wewnętrznego toni wodnej i wpływu osadów na postęp procesu eutrofizacji w obu zbiornikach. Ilość nagromadzonych substancji w osadach obu zbiorników była nieco zróżnicowana i nie było to powiązane z okresem odmulania, lecz z oddziaływaniem antropogenicznym zlewni i warunkami hydrologicznymi.

**Słowa kluczowe:**

małe zbiorniki wodne, odmulanie, osady denne, poziom zanieczyszczenia

**Keywords:**

small reservoirs, desludging, bottom sediments, pollution levels