

*Marek Madeyski, Marek Tarnawski*

**WSTĘPNA OCENA ILOŚCI I JAKOŚCI OSADÓW DENNYCH  
WYDZIELONEJ CZĘŚCI ZBIORNIKA WODNEGO „BESKO”  
NA RZECE WISŁOK**

***PRELIMINARY QUALITATIVE AND QUANTITATIVE  
EVALUATION OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE SIDE  
PART OF THE STORAGE RESERVOIR “BESKO”  
ON THE RIVER WISŁOK***

**Streszczenie**

Zbiornik „Besko” na rzece Wisłok składa się z dwóch części: z zasadniczej, na rzece Wisłok (objętość około 11 mln m<sup>3</sup>) i z bocznej, na rzece Czernisławka – dopływie Wisłoka (objętość ok. 3 mln m<sup>3</sup>), która wpada do zbiornika kilkaset metrów przed zaporą tego zbiornika.

Badaniami objęto boczną część zbiornika, na rzece Czernisławce. Określono właściwości fizyczne osadów dennych m.in. procentową zawartość części organicznych oraz ich skład granulometryczny, według metody Prószyńskiego w dwóch wariantach: z dodatkiem deflokulanta Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> i bez tego dodatku, wykazując istotne różnice. Również zbadano właściwości chemiczne: odczyn pH i zawartość metali ciężkich. Określenie zawartości metali śladowych pozwoliło na kwalifikację osadów w sześciostopniowej skali wg Kabaty-Pendias, według której oceniana jest możliwość ich rolniczego wykorzystania. Według wstępnych wyników osady klasyfikują się do pierwszego i drugiego stopnia zanieczyszczenia chemicznego gleby, co pozwala na rolnicze ich wykorzystanie i uzupełnianie nimi pobliskich gruntów uprawnych. Określono również przyrosty osadów w poszczególnych przekrojach pomiarowych tej części zbiornika, wykazując znaczne różnice w porównaniu z pomiarami wykonanymi w roku 1987. Ocena ta wykazała, że w ciągu ostatnich 20 lat przyrost miąższości osadów wyniósł około 1,8 metra w przekroju najbliższym od zbiornika głównego, a od początku istnienia zbiornika przyrost ten wyniósł około 3,20 m. Natomiast w przekroju najdalszym od zbiornika głównego przyrosty te wyniosły odpowiednio około 1,30 m i 2,10 m.

**Słowa kluczowe:** zbiornik wodny, zamulanie, osady denne

### Summary

*The storage reservoir "Besko" on the River Wisłok consists of two part: the main part, on the River Wisłok (volume of about 11 mln m<sup>3</sup>), and the other one, the side part, on the River Czernisławka – tributary of the River Wisłok (volume of about 3 mln m<sup>3</sup>).*

*The research covered this side part of the reservoir. Physical properties of the bottom sediments were determined among others the granulometric composition according to Prószyński by use of two method: with addition of a defloculant Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and without, showing significant differences. Chemical properties were also determined among others the pH reaction, percentage content of organic particles and also presence of heavy metals – cadmium, copper, chromium, nickel, lead, zinc – and depending on it sediments were qualified for agriculture use. According to preliminary results the bottom sediments belong to first degree or not higher than second of chemical pollution what qualifies them for agriculture use and improvement of agricultural grounds. According to the accepted Polish standards either all agricultural crops (at zero pollution) or at the second degree of pollution with heavy metals, fodder crops, root crops can be cultivated or this grounds can be used as pastures.*

*Increments of sediments in particular measurement sections of this part of the reservoir were determined and significant differences compared with measurements made in 1987 i.e. twenty years earlier were shown. Evaluation of the measure quantities of the deposited sediments showed that within the last twenty years the sediment increment was about 1,8 meter in the section closest to the main reservoir (from the beginning of the existence of the reservoir the increment was equal about 3,2 m). Whereas, in the forest section of the main reservoir the increments were 1,3 and 2,1 meters, respectively.*

**Key words:** storage reservoirs, silting, bottom sediments

### WSTĘP

Wszystkie zbiorniki wodne zbudowane na ciekach ulegają zamulaniu z różną intensywnością, w wyniku czego, po określonym czasie zachodzi konieczność ich odmulenia i renowacji. Pozostaje zatem problem zagospodarowania osadów wydobytych z dna. Możliwości zagospodarowania tych osadów zależą od ich cech fizycznych i chemicznych, a przede wszystkim od zawartości metali ciężkich [Madeyski, Tarnawski, 2006]. Jakość, skażenie lub ewentualna żyzność są to cechy indywidualne namulów pochodzących z danego akwenu, które należy każdorazowo ocenić, kierując się normami i zarządzeniami Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, dotyczącymi przyrodniczego ich wykorzystania [Tarnawski 2003]. Istnieją bowiem kryteria pozwalające na rolnicze wykorzystanie gleb (w tym osadów), szczególnie w zależności od chemicznego ich zanieczyszczenia [Kabata-Pendias 1995; Dz.U. Nr 165, poz. 1359, 2002].

Osady mogą być wykorzystane do rekultywacji terenów pod warunkiem, że nie zawierają nadmiernych ilości metali ciężkich, a także bakterii chorobotwórczych [Szyper, Gołdyn 2000], jak również, że mają odpowiedni skład granulometryczny. Zapewnienie odpowiedniej struktury gruntu jest niezwykle istotne do stworzenia optymalnych warunków dla wzrostu i rozwoju roślin. Namuły o zwartej strukturze powinny być stosowane do użyźniania gruntów luźnych i odwrotnie, osady o charakterze luźnym należy stosować do gruntów zwięzłych (ilastych i glin ciężkich), poprawiając strukturę i warunki powietrzno-wodne warstwy gleby.

Dotychczasowe nieliczne badania i doświadczenia pokazują jednak, iż istnieją możliwości przyrodniczego zagospodarowania osadów dennych z wielu małych zbiorników wodnych [Tarnawski 2003].

Niniejsza praca zawiera wyniki pomiarów miąższości osadów odłożonych w ciągu ostatnich 20 lat oraz ich cech chemicznych, a zwłaszcza obecności metali ciężkich w wydzielonej części zbiornika „Besko”.

## METODYKA I MATERIAŁY BADAWCZE

Metodyka badań polegała na pobraniu z 5 przekrojów poprzecznych bocznej odnogi zbiornika „Besko” osadów dennych i poddaniu ich analizie jakościowej – fizycznej i chemicznej. Przy okazji pomierzono głębokości dna i porównano z poziomem dna sprzed 20 lat (1987 r.) oraz z roku oddania zbiornika do eksploatacji (1978 r.) tak, aby ocenić przyrost miąższości osadów w tej części zbiornika.

Skład granulometryczny osadów został oznaczony klasyczną metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Metoda ta zakłada, że do roztworu zawiesiny glebowej w kolbie dodaje się 1,5 g bezwonnego węgla sodu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Dodatek ten działa jak deflokulant i powoduje rozbicie flokuł na części elementarne. Dlatego też w przeprowadzonych badaniach metodą Prószyńskiego w jednej wersji dodano przepisową ilość węgla sodu, a w drugiej wersji określono skład granulometryczny bez tego dodatku. Określono również gęstość właściwą i objętościową, a także procentową zawartość części organicznych poprzez wyżarzenie osadu.

Badanie cech chemicznych obejmowało natomiast określenie procentowej zawartości przyswajalnego fosforu (metodą Schachtschablera), przyswajalnego potasu (metodą Egnera-Riehma), odczynu pH oraz obecności metali ciężkich w osadach (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr) metodą spektrofotometrii ASA.

Obiektem badań była część zbiornika „Besko”, który zlokalizowany jest na rzece Wisłok koło Rymanowa. Część badawczą zbiornika stanowiła odnoga zlokalizowana na potoku Czernisławka, który dopływa do zbiornika głównego tuż przed zaporą czołową.

Zbiornik wraz z odnogą powstał w 1978 r. na skutek przegrodzenia rzeki Wisłok w km 172,8 zaporą betonową typu ciężkiego, zlokalizowaną na prostym, wąskim odcinku rzeki mającym charakter głęboko wciętego jaru. Zapora ma wysokość korpusu 38 m, długość w koronie 174,00 m i piętrzy wodę rzeki Wisłok do rzędnej 336,00 m n.p.m. (N.P.P.). Dla tej rzędnej objętość zbiornika wynosi 14 mln m<sup>3</sup>, a pojemność bocznej części zbiornika, na potoku Czernisławka ok. 3,0 mln m<sup>3</sup>.

Na rysunku 1 pokazano plan sytuacyjny zbiornika głównego wraz z badaną odnogą, na której zaznaczono rozmieszczenie przekrojów poprzecznych (nr 11 do 15). W roku 1986, tj. 8 lat po oddaniu zbiornika do eksploatacji zostały przeprowadzone pomiary głębokości w przekrojach poprzecznych, zarówno w części głównej zbiornika (10 przekrojów poprzecznych), jak i w części bocznej (przekroje 11–15) [Politechnika Krakowska 1986]. Pomierzono wówczas przyrost miąższości osadów w przekrojach badawczych oraz określono średnie roczne załadowanie zbiornika w okresie 1978–86, wynoszące 0,065 hm<sup>3</sup>·rok<sup>-1</sup>.



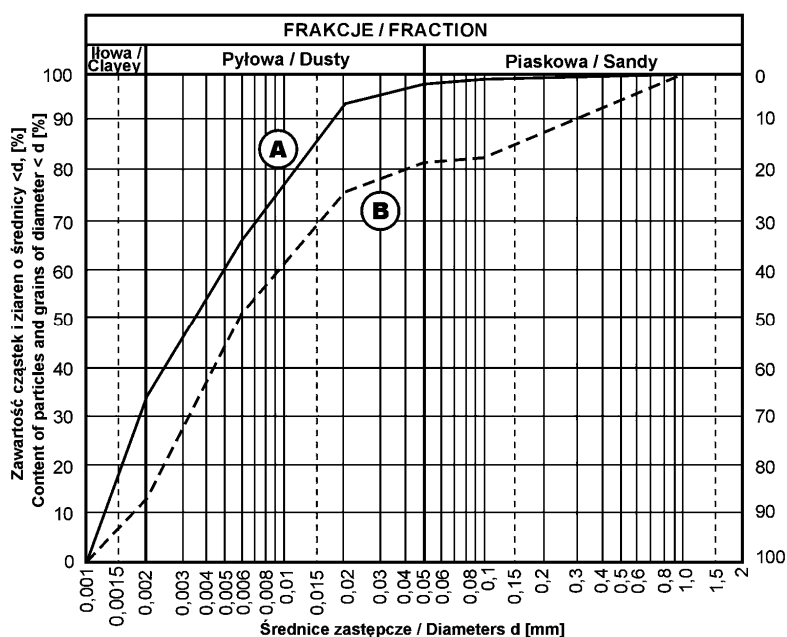
**Rysunek 1.** Plan sytuacyjny zbiornika „Besko” wraz z badaną odnogą 11–15 numery przekrojów badawczych  
**Figure 1.** Plan of the reservoir ”Besko” including the examined branche 11–15 numbers of examined sections

## WYNIKI BADAŃ

Z przeprowadzonych pomiarów uziarnienia i z krzywych granulometrycznych osadów wynika, że krzywe te mają odmienne kształty w zależności od tego czy użyto podczas analizy metodą Prószyńskiego deflokulanta, czy też nie. W przekroju 11 (najbliższym od zbiornika głównego) średnica  $d_{50}$  krzywej uziarnienia określona z dodatkiem  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  wynosiła 0,0035 mm, a bez dodatku 0,006 mm. Wynika stąd, że w pierwszym przypadku grupa gruntu ustalona na podstawie krzywej uziarnienia to ilt pylasty, a w drugim przypadku to glina pylasta.

Natomiast w przekroju 15 położonym najbliżej od ujścia potoku Czernisławka do zbiornika, średnica  $d_{50}$  w pierwszym przypadku wynosi 0,014 mm, a w drugim 0,030 mm. Przebieg krzywych granulometrycznych wybranych badanych próbek osadów pokazano na rysunku 2 i 3.

Wyniki potwierdzają wcześniej opisywane prawidłowości [Parzonka 1994; Madeyski 1998], że użycie  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  w analizie Prószyńskiego zmienia kształt krzywych uziarnienia. Pobrane próbki osadów dennych poddano analizom cech fizycznych i chemicznych, których wyniki przedstawia tabela 1.

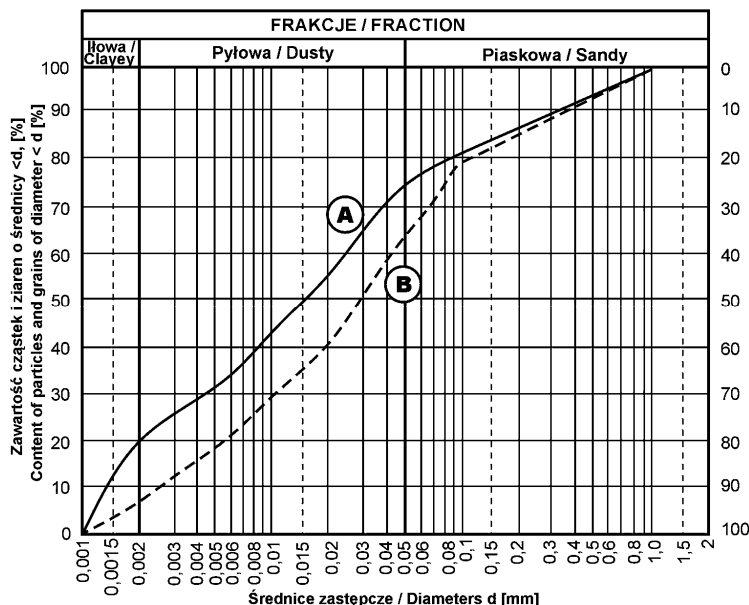


**Rysunek 2.** Krzywa uziarnienia w przekroju badawczym nr 11

A – z dodatkiem  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , B – bez dodatku  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

**Figure 2.** Granulometric curve in the examined section nr 11

A – with addition of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , B – without addition of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$



**Rysunek 3.** Krzywa uziarnienia w przekroju badawczym nr 15  
 A – z dodatkiem  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , B – bez dodatku  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

**Figure 3.** Granulometric curve in the examined section nr 15  
 A – with addition of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , B – without addition of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

**Tabela 1.** Skład chemiczny badanych osadów  
**Table 1.** Chemical composition of tested sediments

Nr próby Number of sample	Gęstość właściwa Solid density [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	Zawartość substancji organicznej Organic content [%]	Zawartość metali ciężkich [ppm] Heavy metals content [ppm]					
			Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
11	2676,80	6,50	0,53	16,00	98,90	26,00	34,80	85,10
12	2671,90	6,70	0,63	17,60	114,30	27,60	37,40	81,60
13	2647,10	7,10	0,80	17,90	115,10	27,70	26,50	79,00
14	2659,60	6,40	0,66	17,70	107,60	27,70	37,50	69,90
15	2649,30	5,60	0,67	16,80	86,80	22,30	25,30	64,20

Biorąc pod uwagę ilości metali ciężkich, odczyn pH osadów (jedynie próbka nr 13 miała odczyn pH równy 7,0, a pozostałe 6,9) oraz procentowe zawartości części spławialnych, należy zakwalifikować badane osady do nastę-

pujących stopni zanieczyszczenia (według obowiązującej normy zanieczyszczeń Kabaty-Pendias [1995]):

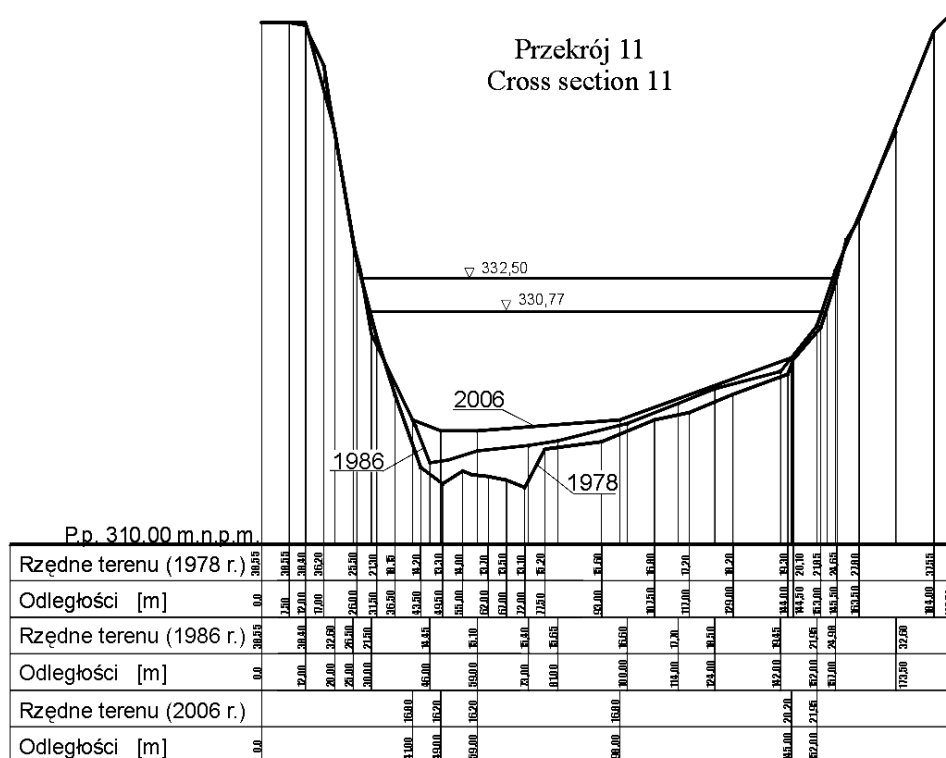
próbka 11 – stopień II, jedynie dlatego, że przekroczone została dopuszczalna zawartość chromu (pozostałe stężenia metali ciężkich kwalifikują osad do zerowego stopnia zanieczyszczenia),

próbka 12 – stopień II, z uwagi na przekroczenie zawartości chromu oraz cynku,

próbka 13 – stopień I, z uwagi na przekroczone dopuszczalne zawartości chromu i cynku,

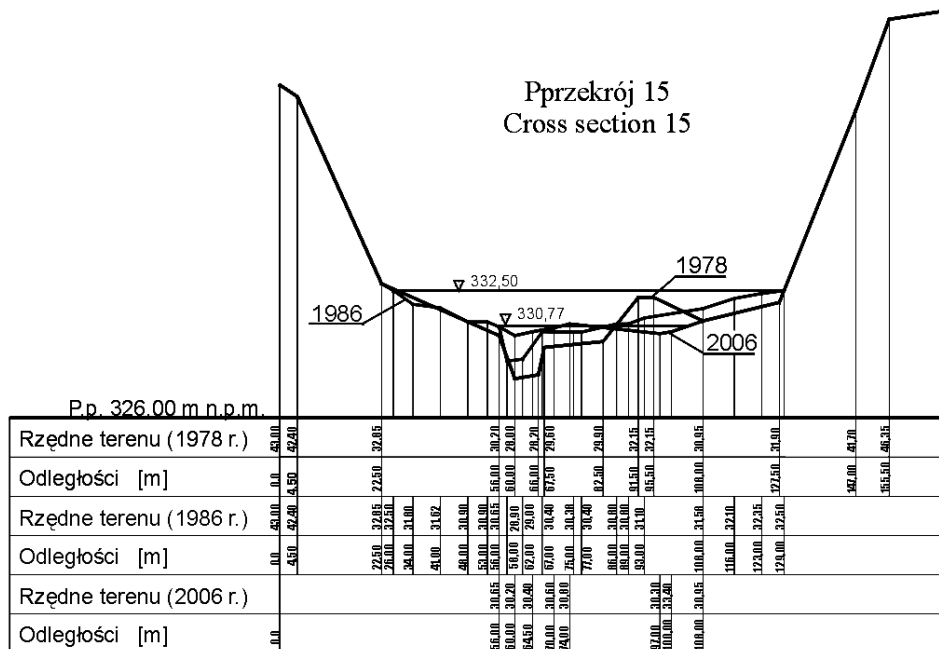
próbka 14 – stopień I, również z uwagi na podwyższone zawartości chromu i cynku,

próbka 15 – stopień I, z uwagi na przekroczenie dopuszczalnej zawartości chromu.



**Rysunek 4.** Przekrój poprzeczny nr 11 z zaznaczonymi poziomami dna z roku 1978, 1987 i 2006

**Figure 4.** Cross section number 11 with marked levels of the bottom in the years 1978, 1987, 2006



**Rysunek 5.** Przekrój poprzeczny nr 15 z zaznaczonymi poziomami dna z roku 1978, 1987 i 2006

**Figure 5.** Cross section of number 15 with marked levels of the bottom in the years 1978, 1987, 2006

Pomiary poziomu dna zbiornika, przeprowadzone w październiku 2006 r. w tych samych pięciu przekrojach poprzecznych (przekrój 11–15) co w roku 1987 i 1978, wykazują znaczny przyrost osadów. Pomierzony w 2006 r. przyrost rzędnej dna w przekroju 11, w porównaniu z rokiem 1987 wynosi +1,80 m, a z rokiem 1978 +3,20 m. W przekroju 12 maksymalne różnice poziomów dna wynoszą odpowiednio +2,0 m (1987) i +3,40 m (1978), w przekroju 13: +1,50 m (1987) i +1,90 m (1978), w przekroju 14: +1,70 m (1987) i +1,70 m (1978 – w roku tym nastąpiło wyraźne przemieszczenie odłożonych osadów), a w przekroju 15 +1,30 m (1987) i +2,10 m (1978). Dla przykładu na rysunku 4 i 5 pokazano przekroje poprzeczne nr 11 i 15 z pomierzonymi poziomami dna z roku 2006, 1987 i 1978.



## WNOSKI

Z przeprowadzonych badań ilościowych i jakościowych cech osadów dennych wydzielonej części zbiornika wodnego „Besko” można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W badanej odnodze zbiornika „Besko” uwidacznia się wyraźnie zjawisko segregacji ziarnowej, zmniejszanie się średnicy  $d_{50}$  od 0,03 do 0,006 mm, wzdłuż drogi osiadania. Sytuacja analizowanego zbiornika jest nietypowa, gdyż nie jest on bezpośrednio zamknięty zaporą i cząstki rumowiska wpadają do głównej części zbiornika „Besko”.

2. Badane osady zawierają znaczne ilości materiały ilastego i pylastego i niewiele piasku, świadczą o tym krzywe uziarnienia wykonane z użyciem deflokulanta. Zastosowanie węgla sodu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) do analizy wg Prószyńskiego, zgodnie z Polską Normą, zmienia kształt krzywych uziarnienia. Jest to tym istotniejsze, że na bazie tej metody klasyfikuje się typ gleby na podstawie przykładu o trójkąt Fereta. Również przebieg procesu sedymentacji jest odmienny dla cząstek zflokuowanych i deflokuowanych, co zostało potwierdzone podczas badań w kolumnach sedymentacyjnych.

3. Obciążenie osadów metalami ciężkimi jest nieznaczne. Zgodnie z wynikami zawartości metali ciężkich osady denne z poszczególnych przekrojów badawczych mogłyby, po wydobyciu być wykorzystane rolniczo, pod wszystkie uprawy polowe, do pełnego użytkowania rolniczego z wyłączeniem upraw roślin ogrodniczych (np. sałata, szpinak, kalafior, marchew) oraz roślin do produkcji żywności o szczególnie małej zawartości pierwiastków i substancji szkodliwych. Dozwolona jest uprawa roślin zbożowych, okopowych, pastewnych i wszystkich roślin przemysłowych oraz użytkowanie pastwiskowe. Wykorzystanie rolnicze osadów jest możliwe również ze względu na korzystną ilość substancji organicznych oraz przyswajalnego fosforu i potasu.

4. Na uwagę zasługuje fakt podwyższonych ilości chromu i cynku, przekraczających wartości tła geochemicznego oraz wytycznych normowych. Wartości stężeń tych metali nie stanowią jednak zagrożenia dla ekosystemu wodnego zbiornika. Malejące obciążenie osadów chromem od przekroju 11 (najbliższego zapory) do 15, skłania do kontynuacji badań jakościowych osadów dennych w głównej części zbiornika oraz identyfikacji w zlewni źródeł zanieczyszczenia cynkiem i chromem.

5. W odnodze powstałej na rzece Czernisławka w pierwszych latach eksploatacji następowało przemieszczanie się materiału, zarówno w dnie, jak i na skarpach powstałego zbiornika. W późniejszym okresie, po ustabilizowaniu się skarp i dna, wyraźnie uwidacznia się w badanych przekrojach przyrost materiału dennego. Oszacowany stopień zamulenia badanej części zbiornika „Besko” wynosi ok. 10%.

## BIBLIOGRAFIA

- Kabata-Pendias A. *Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb*. Biblioteka Monitoringu Środowiska IUNG w Puławach. Warszawa 1995.
- Madeyski M. *Hydrauliczna i reologiczna charakterystyka procesu zamulania stawów rybnych*. Zesz. Nauk. AR Kraków, nr 236, 1998, ser. Rozprawy.
- Madeyski M., Tarnawski M. *Ocena stanu ekologicznego osadów dennych wybranych małych zbiorników wodnych*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, PAN Kraków, z. 4/3, 2006, s. 107–116.
- Politechnika Krakowska. *Badania stanu zalądowienia i opracowanie aktualnej pojemności zbiornika „Besko” na rzece Wisłok*. Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej. 1986, maszynopis.
- Parzonka W. *Deposition and erosion of fine sediments in reservoirs*. Tempus-Eva-Ring Course on Erosion Sediment Transport and Deposition Processes. Warsaw 13–18 June 1994.
- Szyper H, Gołdyn R, *Ochrona i rekultywacja zbiorników wodnych*. IV International Conference „Water supply and water quality” Kraków–Zakopane 11–13 VII. 2000.
- Tarnawski M. *Charakterystyka osadów dennych w niektórych małych zbiornikach wodnych*. Rozprawa doktorska, AR Kraków, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, 2003.

prof. dr hab. inż. Marek Madeyski  
dr inż. Marek Tarnawski  
Akademia Rolnicza w Krakowie  
Katedra Inżynierii Wodnej  
30-059 Kraków  
al. Mickiewicza 24/28  
tel.: 0 12 633-53-42  
e-mail: [rmmadeys@cyf-kr.edu.pl](mailto:rmmadeys@cyf-kr.edu.pl)  
[rmtarnaw@cyf-kr.edu.pl](mailto:rmtarnaw@cyf-kr.edu.pl)

Recenzent: Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka