

Marcin GORĄCZKO<sup>1</sup>  
Zbigniew WOZIWODZKI<sup>2</sup>  
Andrzej ZAWALSKI<sup>3</sup>  
Piotr DZIEWECZYŃSKI<sup>4</sup>

## OCENA MOŻLIWOŚCI OCZYSZCZANIA DNA ZBIORNIKA WODNEGO ZA POMOCĄ SPUSTU RUROWEGO W KORPUSIE GROBLI

W artykule dokonano oceny możliwości wymuszonej redepozycji osadów gromadzących się na dnie dawnego portu rzecznego. Jest to obiekt o powierzchni 60 ha i pojemności około 1,5 mln m<sup>3</sup>, pierwotnie stanowiący fragment terasy zalewowej, która została zatopiona na skutek podpiętrzenia rzeki jazem. Weryfikowane rozwiązanie techniczne polega na umiejscowieniu w korpusie grobli zbiornika spustu rurowego, umożliwiającego interwencyjny zrzut wody. W założeniach wraz z masą odprowadzanej wody do rurociągu przedostawać się mają wyerodowane w ten sposób osady denne, których nadmierne gromadzenie się stanowi główny problem eksploatacji obiektu. Proponowane rozwiązanie ma więc być alternatywą dla dotychczas stosowanego mechanicznego usuwania osadów dennych (bagrowania). Na podstawie przeprowadzonych obliczeń hydraulicznych i hydrologicznych wykazano, że zasięg oddziaływania zaprojektowanego urządzenia wodnego, rozumiany jako strefa wzbudzonego na skutek zrzutu wody ruchu turbulentnego, ograniczy się jedynie do jego bezpośredniego sąsiedztwa, nie może więc mieć istotnego wpływu na zredukowanie zalegającej na dnie warstwy osadów. Dodatkowo, bazując na wynikach rozpoznania właściwości geotechnicznych osadów dennych i podścielającego je pierwotnego podłoża gruntowego, stwierdzono, że utwory te należą do trudno rozmywalnych (namuły, gytie i torfy). Brak jest więc racjonalnych przesłanek do zastosowania spustu rurowego jako metody zmniejszenia замуlenia dna na obiektach tej wielkości co analizowany.

**Słowa kluczowe:** budownictwo hydrotechniczne, zbiorniki wodne, osady denne, zamulanie, rewitalizacja

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Marcin Gorączko, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, telefon: 523408769, gorgon@utp.edu.pl

<sup>2</sup> Zbigniew Woziwodzki, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, zbigwoz@utp.edu.pl

<sup>3</sup> Andrzej Zawalski, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, zawalski@utp.edu.pl

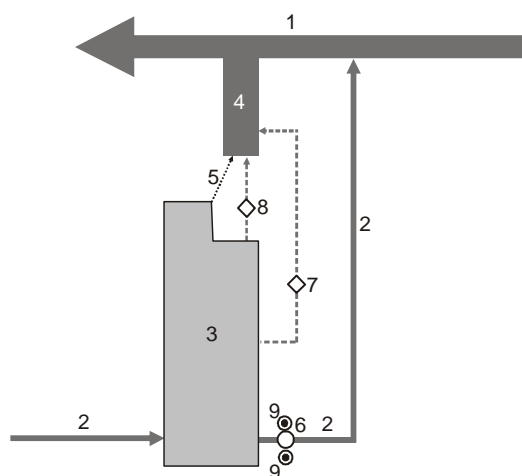
<sup>4</sup> Piotr Dziejewczyński, B.T.P Progres, pimad-49@utp.edu.pl

## 1. Wprowadzenie

Zamulanie dna stanowi jeden z podstawowych problemów eksploatacyjnych większości zbiorników wodnych. Zjawisko to występuje zarówno na dużych akwenach [2,4,7,10], jak również na obiektach współtworzących tzw. małą retencję wodną [9,11,12]. Skutkiem sedimentacji rumowiska, zarówno pochodzenia mineralnego jak i organicznego, jest przyrost miąższości osadów dennych w zbiorniku, prowadzący do zmniejszenia pojemności jego misy poprzez jej spływanie [2,5,14]. Ponadto osady denne absorbują znaczną część wprowadzanych do wód powierzchniowych zanieczyszczeń antropogenicznych, które wraz z upływem czasu ulegają kumulacji [1,3,7,15,16]. Oczywiście najbardziej skutecznym sposobem na ograniczenie tempa zamulania zbiornika wodnego byłoby zmniejszenie rozmiarów denudacji w jego zlewni, co w praktyce jest jednak trudne do przeprowadzenia. Przeważają więc prace prowadzone w obrębie samych zbiorników mające na ogół charakter doraźny, tzn. wyplukiwanie osadów z czaszy zbiornika, wydobywanie hydrauliczne i mechaniczne rumowiska, zarówno spod wody, jak i na sucho [2,6,14,17].

Rozważany zbiornik wodny (Rys.1) jest basenem dawnego portu rzecznego (3), którego geneza związana jest z podpiętrzeniem rzeki (2) na jazie (6) znajdującym się w odległości około 1 km od jej ujścia, czego efektem było trwałe zatopienie obwałowanego wcześniej

fragmentu terasy zalewowej. Jest to akwen o powierzchni ok. 60 ha i wydłużonym kształcie o przebiegu SW-NE. Jego długość wynosi ponad 2000 m, natomiast szerokości waha się w zakresie 250-350 m, za wyjątkiem części północnej akwenu, gdzie występuje zatoka o powierzchni 7 ha o szerokości ok. 90 m. Zbiornik można uznać za przepływowy o umiarkowanym tempie wymiany wody. Czasza



Rys. 1. Schemat rozrzędu wody w rejonie analizowanego zbiornika. Oznaczenia: 1 - ciek I rzędu, 2 - ciek II rzędu, 3 - zbiornik wodny, 4 - rozlewisko, 5 - projektowany spust, 6 - jaz, 7 - śluza żegluga, 8 - dawna śluza żegluga, 9 - mała elektrownia wodna

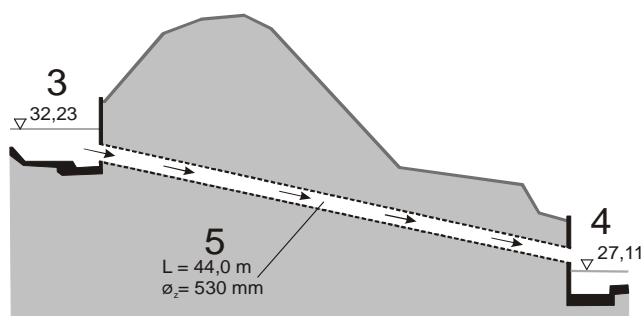
Fig. 1. Scheme of the analyzed hydrotechnical system .Symbols: 1 - river 1<sup>th</sup> range 2 - river 2<sup>th</sup> range, 3 - water reservoir, 4 - pool, 5 -planned culvert, 6 - weir, 7 - lock shipping, 8 - closed lock shipping, 9 - small hydro

zbiornika łączy się bezpośrednio z korytem rzeki o średnim rocznym przepływie (SQ) wynoszącym około  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ . Odpływ ze zbiornika odbywa się w sposób nieciągły, poprzez komorową śluzę żeglugową. Jest on mimo to znaczny, gdyż tą drogą w ciągu roku odpływa woda o objętości pięciokrotnie większej od całkowitej pojemności akwenu, którą szacuje się na ok.  $1,5 \text{ mln m}^3$ . Poziom wody w zbiorniku poza sytuacjami wyjątkowymi jest ustabilizowany na rzędnej  $32,23 \text{ m n.p.m.}$  Spad na jazie i śluzach w warunkach przeciętnych wynosi ok.  $4 \text{ m}$ , jednak wartość ta może ulegać znacznym zmianom w ciągu roku, ze względu na znaczną amplitudę wahań stanów wody na cieku I rzędu, wynoszącą ponad  $7 \text{ m}$ .

Negatywnym skutkiem podpiętrzenia rzeki był znaczący spadek zdolności transportu rumowiska i jego wzmożona sedimentacja w zasięgu utworzonej powyżej budowli cofki, a więc także w obrębie misy zbiornika. Zjawisko to szczególnie ujawniło się w strefie przyległej do koryta rzeki (najbardziej wysunięta na południe część akwenu), gdzie miąższość osadów dennych lokalnie przekracza  $1,5 \text{ metra}$ . W części środkowej wynosi ona  $0,3\text{-}0,5 \text{ m}$ , zaś północnej  $0,15\text{-}0,30 \text{ m}$ . Wartości te wskazują na generalnie zaskakująco małe tempo wypłykania zbiornika, jeśli weźmie się pod uwagę, że funkcjonuje on już od lat siedemdziesiątych XIX wieku, zaś prace bagrownicze prowadzone były tutaj sporadycznie i nigdy na szerszą skalę oraz, że po wyłączeniu z eksploatacji starej śluzy żeglugowej (Rys.1) północna część akwenu przekształciła się w rozległą zatokę o zastoiskowym charakterze. Mimo to poszukiwanie możliwych do zastosowania w analizowanym przypadku metod przeciwdziałania wypłykaniciu się zbiornika w sytuacji kiedy jego średnia głębokość wynosi około  $2,5 \text{ metra}$  wydaje się uzasadnione. Obiekt wykorzystywany jest do uprawiania sportów wodnych.

## 2. Opis weryfikowanego przedsięwzięcia

Planowana inwestycja (Rys.2) polega na budowie urządzenia wodnego, spustu płuczącego (5) w korpusie grobli oddzielającej analizowany zbiornik (3) od rozlewiska (4) bezpośrednio łączącego się z ciekim I rzędu (1). W założeniach ma on na celu interwencyjny zrzut wody wraz z wypłukanym osadem dennym. Spust ma się składać z wlotu w formie komory żelbetowej z zastawką naścienną oraz gęstą kratą, przewodu z rur z żywicy poliestrowej  $\phi_z = 530 \text{ mm}$  (średnica nominalna  $\phi = 500 \text{ mm}$ )



Rys. 2. Schemat projektowanego spustu

Fig. 2. Scheme of planned culvert

o długości 44 m oraz wylotu w postaci komory żelbetowej przepadowej wyposażonej w klapę zwrotną i kratę rzadką. Przed wlotem do spustu planuje się umocnienie dna na powierzchni 40 m<sup>2</sup> w postaci materaca siatkowo-kamiennego o grubości 17 cm na geowłókninie. Urządzenie zostanie wykonane w taki sposób, że górna krawędź wlotu będzie znajdować się minimum 0,5 m poniżej zwierciadła wody o rzędnej 32,23 m n.p.m. (poziom eksploatacyjny analizowanego zbiornika, natomiast dolna krawędź wylotu będzie się znajdować powyżej rzędnej zwierciadła wody 27,11 m n.p.m. odpowiadającego stanowi SNW ciekę I rzędu. Wielkości poboru i zrzutu zwrotnego wody z akwenu wynikające z warunków szczególnego korzystania z wód, przedstawiają się następująco: maksymalny godzinowy  $V_{hmax} = 3670 \text{ m}^3$ , średniodobowy  $V_d = 58700 \text{ m}^3$ , maksymalny roczny  $V_{rmax} = 293500 \text{ m}^3/\text{rok}$ . Wartości te są dostosowane do warunków gospodarowania zasobami wód ciekę II rzędu w rejonie jego ujścia. W związku z tym, że obecnie całość jego przepływu użytkowego jest rozdysponowana na cele energetyczne (dwa obiekty MEW), funkcjonowanie przepławki dla ryb przy jazie oraz na śluzowanie, zamierza się korzystać z wody zarezerwowanej na potrzeby śluzowania, przy czym przyjęto, że pobór wody ze zbiornika będzie się odbywał pięć razy w roku w okresie od kwietnia do września poza godzinami pracy śluzy, każdorazowo przez 16 godzin. Pobór wody przez spust przyjęto na poziomie 1 m<sup>3</sup>/s.

### 3. Określenie warunków hydraulicznych w obrębie spustu

Obliczenie przepływu wody, przez spust traktowany jako układ hydrauliczny, wykonano dla dwóch wybranych przekrojów na podstawie równania Bernoulliego w postaci:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{w_2^2}{2g} + \Delta H_{s1-2} \quad (1)$$

Przekrój pierwszy został przyjęty na poziomie zwierciadła wody górnej  $R_{wg}$  a drugi, w zależności od sytuacji, albo na poziomie wody dolnej  $R_{wd}$  w przypadku pracy spustu przy stanie wody powyżej górnej krawędzi przewodu lub poziomie jego osi przy wylocie. Dla uproszczenia obliczeń przyjęto, że spust pracuje jako zatopiony (hydraulicznie) w przypadku gdy poziom dolnej wody, znajduje się powyżej osi na wylocie a jako niezatopiony gdy ten poziom jest poniżej tej osi.

Dwa pierwsze składniki po obu stronach równania wyrażają energię potencjalną (położenia i ciśnienia) w przekrojach bilansowych. Pierwszy z nich po stronie lewej równania, z uwagi na stabilizację poziomu wody w zbiorniku, w każdym przypadku pracy upustu przyjmuje wartość  $z_1=R_{wg}$ , a odpowiadająca mu wielkość po stronie prawej równania jest równa  $z_2=R_{wd}$ , gdy poziom wody jest powyżej osi wylotu i pracuje on jako zatopiony oraz  $z_2=R_{ord}$  gdy spust działa jako niezatopiony. Ponieważ przepływ wody odbywa się między swobodnymi poziomami wody to drugie wyrazy po obu stronach równania są równe zero.

Trzecie składniki po obu stronach równania wyrażają wartość wysokości prędkości w przekrojach bilansowych. Podczas uruchamiania spustu prędkość dopływu wody jest równa zero a tym samym wysokość prędkości strumienia na wlocie jest także równa zero. Po stronie wylotowej wysokość prędkości jest równa zero gdy spust pracuje jako zatopiony, natomiast przy odsłoniętym wypływie należy ją uwzględnić.

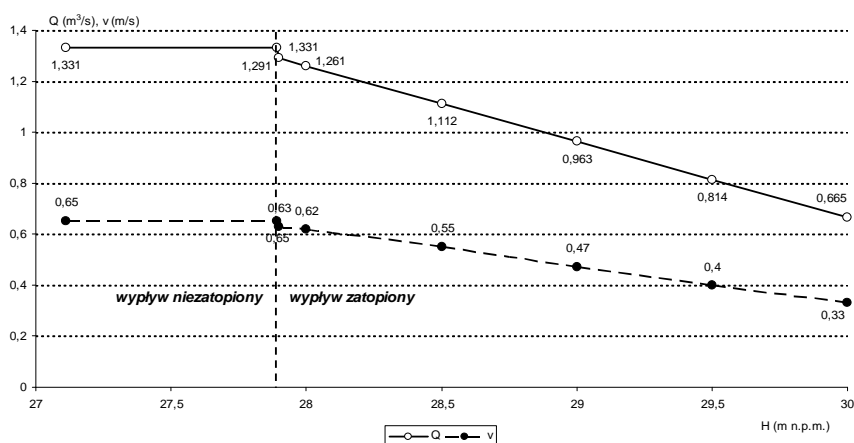
Ostatni składnik po prawej stronie równania (1) wyraża straty hydrauliczne na długości i lokalne przy przepływie przez przewód. Straty te wyrażane są równaniem Darcy-Weisbacha. Wartość współczynnika oporów  $\lambda$  na długości przewodu można obliczyć stosunkowo dokładnie z podanych w literaturze [8] wzorów aproksymacyjnych (w analizowanym przypadku zastosowano wzór Phama). Obliczenia hydrauliczne wykonano za pomocą arkusza kalkulacyjnego, dla ich uproszczenia stosując metodę kolejnych przybliżeń.

Dla sytuacji, w której wylot spustu pracuje jako niezatopiony uzyskano następujące wyniki obliczeń:

- przepływ wody w przewodzie  $Q_s = 1,33 \text{ m}^3/\text{s}$
- prędkość przepływu w przewodzie  $v_r = 7,06 \text{ m/s}$
- średnia prędkość napływu do komory  $v_{kw} = 0,65 \text{ m/s}$

Ponadto obliczenia wykonano wariantowo, gdzie wielkościami zmienianymi były różne poziomy wody na wylocie ze spustu. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono wykres (Rys. 3) ilustrujący przeprowadzone obliczenia symulacyjne, za wyjściowe przyjmując warunki wynikające z projektu, tzn. przy rzędnej poziomu dolnej wody  $R_{wd} = 27,11 \text{ m n.p.m.}$  oraz średnicy zewnętrznej przewodu  $D_z = 530 \text{ mm.}$

Początkowo wraz ze wzrostem poziomu wody dolnej przepływ w przewodzie oraz prędkość napływu do komory wlotowej nie ulegają zmianie aż do osiągnięcia



Rys. 3. Wartości przepływu w przewodzie oraz prędkości napływu do komory wlotowej w zależności od rzędnej poziomu wody dolnej

Fig. 3. The relationship between the elevation of the lower water level and flow values in the pipeline and the speed of inflow to the inlet chamber

przez zwierciadło wody osi przewodu na wylocie. Od tego momentu stan pracy wypływu należy traktować jako zatopiony a efektywność urządzenia wyraźnie się obniża. Przy rzędnej poziomu wody dolnej  $R_{wd} = 28,0$  m n.p.m. przepływ w przewodzie oraz prędkość średnia na wlocie do komory stanowią 95% wartości wyjściowej natomiast przy rzędnej poziomu wody dolnej  $R_{wd} = 29,5$  m n.p.m. już tylko 60%. Bezpośrednio przekłada się to na maksymalną godzinową wielkość poboru wody możliwą do uzyskania za pomocą spustu.

#### 4. Budowa dna zbiornika w strefie oddziaływania spustu

Rozpoznanie budowy warstw dennych oraz podłoża gruntowego w obrębie misy zbiornika przeprowadzono w jego północnej części, a więc w strefie potencjalnego oddziaływania upustu płuczającego. Wyniki oznaczeń wybranych parametrów gruntów (osadów) tzn. wilgotności naturalnej ( $w_n$ ), granic plastyczności ( $w_p$ ), zawartości substancji organicznych ( $I_z$ ) oraz zawartości węgla wapnia zestawiono w tabeli (Tab.1).

Stwierdzono, że pierwotne podłoże zbiornika zbudowane jest z gruntów organicznych reprezentowanych przez torfy, namuły i gytie. Właściwy osad denny będący efektem sedymentacji zbiornikowej pod względem klasyfikacji uziarnienia odpowiada pyłowi na pograniczu gliny pylastej, tj. gruntowi mało spoistemu na pograniczu średnio spoistego, względnie pyłowi piaszczystemu, tj. gruntowi mało spoistemu. Obydwa rodzaje osadów dennych wykazują charakter gruntów spoistych – muł (szlam) oraz mocno ograniczoną podatność na rozmywanie [13].

Tab. 1. Wyniki badań laboratoryjnych wybranych próbek gruntów i osadów dennych

Tab.1. The results of laboratory tests of selected samples of bottom sediments

Głęb. zbiornika / Głęb. pobrania próbek [m]	$w_n$ [%]	$w_p$ [%]	$I_z$ [%]	Zawartość $CaCO_3$ [%]	Rodzaj gruntu
1,9/3,0	386	-	76,2	-	Torf
2,05/2,5	117	-	44,4	-	T//Nmg
2,55/3,0	491	-	80,1	-	Torf
2,65/3,2	431	-	78,2	-	Torf
3,0/4,0	183	-	49,8	-	T//Nm
1,9/2,0	73,2	-	14,6	0	Nmg (osad denny)
3/2,1	80,7	-	16,6	0	Nmg (osad denny)
2,85/3,0	52,4	-	8,4	>> 5	Gy (osad denny)
3,15/3,2	60,7		9,6	>> 5	Gy
2,85/3,2	21,5	15,2	-	0	muł (Gp)
3,15/3,5	20,5	14,2	-	0	muł (Pg/Gp)
3,2/3,5	20,5	14,2	-	0	muł (Pg/Gp)
2,8/3,3	36,6	24,5	-	0	muł (Gπ)

## 5. Wnioski

Przeprowadzone badania skłaniają do wniosku, że w przypadku analizowanego zbiornika brak jest racjonalnych przesłanek do zastosowania spustu rurowego jako metody oczyszczania jego dna z nadmiaru osadów dennych. Przy zadanych parametrach pracy tego urządzenia, uzyskane prędkości wody na wlocie do komory będą zbyt małe, aby spowodować uruchomienie erozji masowej w obrębie dna. Dodatkowo rozmycie osadów dennych utrudnia ich spoistość, natomiast bezpośrednio przed wlotem do komory będzie w ogóle wykluczona z uwagi na przewidywane umocnienie dna zbiornika w tym miejscu. Należy mieć na uwadze, że warunki pracy spustu w znacznym stopniu pogorszą się w stosunku do optymalnych w przypadku kiedy wylot rurociągu będzie okresowo zatopiony. Jest to bardzo prawdopodobne, mając na uwadze znaczną amplitudę wahań stanów wody na dolnym stanowisku projektowanego urządzenia. Wzrost prędkości na wlocie do komory można by uzyskać np. poprzez zastosowanie rurociągu o większej niż zaplanowano średnicy, co jednak jest niemożliwe, ponieważ pobór wody przez urządzenie upustowe wykraczałby poza wielkość rezerwy zagwarantowanej na ten cel. Jednak i ta zmiana nie wpłynie w istotny sposób na skuteczność działania spustu w zakresie zmniejszenia zamulenia zbiornika, gdyż przekrój poprzeczny rurociągu nadal będzie znikomo mały w stosunku do przekroju poprzecznego akwenu. Natomiast istnieje możliwość odprowadzania przez planowany spust części rumowiska zawieszonego. Rolę tę spełnia dziś śluza żeglugowa i to - jak oszacowano - z blisko sześciokrotnie większą wydajnością w ciągu roku w stosunku do prognozowanej w przypadku projektowanego urządzenia wodnego - spustu.

## Literatura

- [1] Baran A., Tarnawski M. 2012, Zawartość metali ciężkich w wyciągach wodnych sporządzonych z osadów dennych Zbiornika Rzeszowskiego, Proceedings of ECOpole, 6(2), 671-675.
- [2] Batuca D.G, Jordaan J.M. (Jr) 2000, Silting and Desilting Reservoirs, A.A.Balkema, Rotterdam.
- [3] Dmitruk U., Jancewicz A., Tomczuk U., 2013, Występowanie niebezpiecznych związków organicznych i pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników zaporowych, Ochrona Środow., vol.35, nr 2, 63-68.
- [4] Głowski R., Parzonka W. 2007, Eksploatacja i oddziaływanie zbiornika Brzeg Dolny na rzece Odrze, Nauka Przyr. Technol., 1(2), 1-12.
- [5] Gwóźdź R., 2008. Właściwości geotechniczne osadów zdeponowanych w Jeziorze Rożnowskim oraz możliwości ich wykorzystania do budowy przesłon mineralnych w składowiskach odpadów komunalnych, Czasopismo Techniczne 1-Ś, 13-23.
- [6] ICOLD 1999, Dealing with reservoir sedimentation, Bulletin 115, ICOLD-CIGB, Paris.
- [7] Jezierski P., Trojanowska A., Kurasiewicz M., Mejer T., Drynda R. 2009, Uwarunkowania zmienności stężeń wybranych metali ciężkich w osadach Zbiorników Zaporowych Turawa i Włocławek, [w:] Anthropogenic And Natural Transformations of Lakes. vol. 3, PTLim, 109-116.

- [8] Klugiewicz J. 2007, Mechanika płynów, WU UTP, Bydgoszcz.
- [9] Koś K., Zawisza E. 2012, Charakterystyka geotechniczna osadów dennych Zbiornika Rzeszowskiego, Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus, 11 (4) 2012, 49 – 60.
- [10] Kozielska-Sroka E., Chęć M., 2009. Właściwości osadów dennych Jeziora Czorszyńskiego w aspekcie ich wykorzystania w budownictwie ziemnym, Górn. Inż. 1, 369–375.
- [11] Madeyski M., Michalec B., Tarnawski M. 2008, Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakośc osadów dennych, Infrastr. i Ekol.Ter. Wiejskich, 11, Monografia, Kraków.
- [12] Michalec B., Tarnawski M., Koniarz T. 2013, Zamulenie jako czynnik ograniczający zasoby wodne zbiorników małej retencji, JCEEA, t. XXX, z. 60 (3/13), 129-142.
- [13] Mokwa M. 2002, Sterowanie procesami fluwialnymi w korytach rzek przekształconych antropogenicznie. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej Nr 439, Wrocław 2002.
- [14] Morris G.L., Fan J. 1998, Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use, McGraw Hill Prof.
- [15] Rzymiski P., Sobczyński T., Klimaszuk P., Niedzielski P. 2015, Sedimentary fractions of phosphorus before and after drainage of an urban water body (Maltański Reservoir), Limnol. Rev. (2015) 15, 1: 31-37.
- [16] Szatten D., Habel M., Dąbrowski J. 2013, Oddziaływanie miast na zamulenie dróg wodnych – na przykładzie ujściowego odcinka Brdy w Bydgoszczy, Gosp. Wodn., 6, 224-227.
- [17] Tigrek S., Aras T. 2011, Reservoirs Sediment Management, CRC Press, Netherlands.

## ASSESSMENT OF POSSIBILITIES FOR WATER RESERVOIR'S DESILTING USING CULVERT PIPE

### Summary

The article presents an assessment of possibilities for silting of a former river port. The discussed object has a surface of 60ha and a volume of ca 1.5 million m<sup>3</sup>. It was created as a result of a flooding of a fragment of a fluvial terrace after building a weir on the river. The silt-removal method which is being evaluated in the article involves construction of a culvert pipe through the reservoir's embankment, which would thus allow the periodical removal of water. According to project's assumptions, bottom sediments would be removed along with the pumped water. Their excessive accumulation has been the main obstacle in an efficient utilization of the investigated object. The proposed enterprise is therefore meant to be an alternative to their mechanical removal through dredging, which has been used until now. The hydraulic and hydrological calculations revealed that the proposed project's area of influence upon the bottom of the reservoir is limited to the immediate vicinity of the nozzle. Therefore the method might prove not to be efficient in reducing the sediments resting on the bottom of the reservoir. Additionally, based on the results of geotechnical identification of the sediments and the ground beneath, revealed them to be mainly muds, gyttjas and peats, all of which are resistant to dispersion. In conclusion, there are no rational arguments in favor of implementation of culvert piping as a method for decreasing the siltation on objects of a similar size.

**Keywords:** hydraulic engineering structures, water reservoirs, bottom sediments, silting, revitalization

*Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.*

*Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.*

DOI: 10.7862/rb.2016.55