

METODY OCHRONY I ODTWARZANIA POJEMNOŚCI ZBIORNIKÓW PRZEPLYWOWYCH

THE METHODS FOR PRESERVING AND RECOVERING RESERVOIR CAPACITY STORAGE

Paweł Zawadzki

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Zbiorniki retencyjne buduje się w celu gromadzenia wody, którą można wykorzystać w późniejszym okresie. Utrata pojemności nie jest jedynym szkodliwym efektem osadzania się rumowiska w zbiorniku. Innymi skutkami są: wzrost poziomu wód powodziowych powyżej zbiornika, regresja dna i poziomu wody poniżej zapory, wpływ osadów na jakość zgromadzonej w zbiorniku wody. Zjawiska z tym związane – akumulacja i erozja – ograniczają okres użytkowania zbiornika i bezpiecznej eksploatacji stopnia wodnego. Stosowane dotychczas rozwiązania koncentrują się przede wszystkim na oddzielnym przeciwdziałaniu skutkom erozji poniżej budowli piętrzącej lub usuwaniu osadów z czaszy zbiornika. W artykule zwrócono uwagę na metody ochrony i utrzymania pojemności zbiornika, zapewniające nieprzerwany przepływ całości lub części materiału transportowanego przez rzekę.

Abstract. Reservoirs are used for the storage water, for the purpose of conservation for later use. The loss of storage is only one deleterious effect of sedimentation in reservoirs. Others are increased flood levels upstream of the reservoir, retrogression of the river bed and water levels downstream of the dam, the effect of sedimentation on the reservoir water quality, etc. Phenomena associated with it – the accumulation and erosion – limits the useful life of a reservoir and safe operation of the dam. So far used to solutions is focused primarily on a separate counter the effect of the erosion below the dam or removal of sediment from the reservoir. The article focuses on methods to protect and maintain the capacity storage of the reservoir, to ensure a steady flow of all or part of the material transported by the river.

Słowa kluczowe: budowle wodne, zbiornik wodny, sedymentacja, zbiornik przepływowy

Key words: hydraulic structure, water reservoir, sedimentation

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Paweł Zawadzki, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94a, 60-649 Poznań, e-mail: pzaw@up.poznan.pl.

WSTĘP

Z budową i eksploatacją zbiorników przepływowych na rzekach związane jest przerwanie ciągłości przepływu transportowanego przez wodę rumowiska. Przyczynia się to do powstania dwóch niekorzystnych zjawisk:

- 1) zatrzymywania niesionego przez wodę materiału w zbiorniku i zmniejszanie jego pojemności użytecznej;
- 2) rozmycia dna i brzegów koryta rzeki poniżej piętrzenia.

Wraz z wydłużaniem się okresu eksploatacji zbiornika zaporowego oba zjawiska się przybierają coraz szerszy zasięg i wymagają interwencji administratora obiektu. Działania tego ostatniego często związane są z zaangażowaniem środków technicznych i dużymi nakładami finansowymi, a ich efekt zazwyczaj poprawia warunki eksploatacji zbiornika tylko na krótki okres. Nie bez znaczenia okazuje się również problem, jak zagospodarować wydobyty osad, który może stanowić zagrożenie dla środowiska. Czy istnieją metody pozwalające na powstrzymanie obu tych zjawisk lub ograniczenie ich skutków?

Stosowane dotychczas rozwiązania koncentrują się albo na przeciwdziałaniu skutkom erozji poniżej budowli piętrzącej, albo na usuwaniu osadów z czaszy zbiornika. Tymczasem – biorąc pod uwagę, że przyczyną obu wymienionych wyżej negatywnych zjawisk jest, jak już wspomniano, przerwanie ciągłości przepływu wody i rumowiska spowodowane przegrodzeniem rzeki i spiętrzeniem wody – właściwszym rozwiązaniem wydaje się być stworzenie warunków ciągłego przepływu rumowiska z górnego do dolnego stanowiska budowli piętrzącej.

SKUTKI PRZERWANIA CIĄGŁOŚCI TRANSPORTU RUMOWISKA

Rumowiska, ze względu na wielkość transportowanego materiału i sposób transportu, można podzielić na wleczone, unoszone, zawieszane oraz rozpuszczone. Wzajemne powiązanie przepływu rumowiska z procesami hydraulicznymi w cieku, a w dalszej kolejności z charakterystyką koryta przyczynia się do powstania równowagi dynamicznej rzek. Równowaga w istotny sposób jest zakłócona poprzez wybudowanie budowli piętrzącej (zapory, jazu czy progu). Zmiana warunków przepływu, spowodowana piętrzeniem wody w zbiorniku, powoduje akumulację i sedymentację transportowanego materiału na jego dnie. Natomiast poniżej budowli, gdzie prędkości przepływu są zazwyczaj większe, ulegają rozmyciu dno i brzegi cieku.

W związku z niedoborem rumowiska, w dolnym stanowisku jazu powstają warunki do wzmożonej erozji dna i brzegów. Zjawisko obserwowane początkowo bezpośrednio poniżej budowli w miarę upływu czasu eksploatacji stopnia wodnego rozwija się na odcinku rzeki długości od kilku do kilkudziesięciu kilometrów. Babiński [2007], który analizował zasięg i szybkość rozwoju erozji wgłębną wybranych rzek, określił, że przeciętne tempo przemieszczania się czoła fali erozyjnej wynosi ok. 6,2 km w ciągu roku, a pomijając wartości maksymalne w granicach 1–3 km rocznie. Bezpośrednim efektem erozji wgłębnej cieku jest obniżenie dna koryta, co powodować może pogorszenie warunków żeglugi, zwiększenie spadu, obniżenie zwierciadła wód gruntowych. Po 30 latach funkcjonowania zapory we Włocławku koryto średniej wody obniżyło się na odcinku 33 km od zbiornika, a na ok. 10 km dno koryta zostało oczyszczone z piaszczysto-żwirowych aluwii

[Babiński 2007]. Opisane zjawisko wpływa na stałe pogorszenie się stanu bezpieczeństwa stopnia Włocławek, którego urządzenia nie były projektowane z myślą o pracy w warunkach zwiększonego spadku [Babiński 2007]. Proces erozji koryta Warty poniżej zbiornika Jeziorsko rozpoczął się w momencie przegrodzenia rzeki zaporą ziemną. W czasie ponad 20-letnich obserwacji odnotowano m.in.: erozję liniową na długości 18,5 km, rozmycie lokalne o głębokości 7,70 m, obniżenie zwierciadła wody przy przepływach średnich o 1,95 m, czterokrotny wzrost średnicy najgrubszego (D_{95}) rumowiska dennego. Przedwojski i Wierzbicki [2007] oceniają, że średnie roczne obniżanie się poziomu dna i zwierciadła wody Warty poniżej zbiornika Jeziorsko wynosi 9,3 cm.

W przypadku dużych zbiorników w celu zniwelowanie negatywnych skutków buduje się progi korekcyjne podpiętrzające wodę w dolnym stanowisku budowli lub rozważa się budowę kolejnego zbiornika [Głowski i Parzonka 2007, Przedwojski i Wierzbicki 2007]. Innym sposobem zapobiegania erozji jest zasypywanie powstającego wyboju rumowiskiem wydobywanym w górnej części zbiornika, jak wykonuje się to na stopniu Iffezheim na Renie [Parzonka i in. 2010].

Zamulanie zbiorników jest procesem złożonym, o przebiegu którego decyduje wiele czynników: hydrologia cieków, budowa geomorfologiczna i ukształtowanie zlewni, sposób zagospodarowania i sposób użytkowania terenu, rodzaj i natężenie transportowanego przez rzekę materiału, wielkość zbiornika.

Ilość rumowiska i miejsce jego odkładania się zależą od ukształtowania czaszy zbiornika, natężenia dopływu i odpływu wody, rodzaju i lokalizacji urządzeń zrzutowych oraz wysokości i zmienności wysokości piętrzenia. Czynniki te decydują o kierunkach i prędkościach wpływającej do zbiornika wody i przemieszczającego się wraz z nią rumowiska. W zbiornikach zaporowych ruch rumowiska wleczonego ustaje stopniowo, a jego odkład może rozciągać się na znacznej długości. Najgrubsze ziarna (głównie rumowisko niespoiste) osadzają się tuż przy ujściu rzeki do zbiornika i tworzą stożek nasypowy. Rumowisko drobniejsze opada w środkowej i dolnej części zbiornika. W wyniku podniesienia się dna i poziomu zwierciadła wody na obszarze cofki zbiornika lokalnie wzrasta prędkość przepływu i rumowisko wlezione może być transportowane w głąb zbiornika. Rumowisko wypełnia początkowo stare koryto cieków, a po jego wypełnieniu zajmuje większą szerokość. W miarę zmniejszania się prędkości wody w zbiorniku opada na dno również rumowisko unoszone.

Na szybką utratę pojemności wodnej na rzecz akumulowanego w czaszy rumowiska narażone są szczególnie niewielkie obiekty. Przeciętne roczne zamulenie małych zbiorników w porównaniu z tempem zamulania dużych zbiorników wodnych jest od 9 do nawet 65 razy większe [Madeyski i in. 2008]. Intensywność zamulania zbiorników uwiarygodniana poprzez średnie roczne zmniejszenie się ich pojemności początkowej, a wyrażana w procentach tejże pojemności, wynosi dla zbiorników dużych około 0,25%, dla średnich około 0,5%, a dla małych nawet do 3% [Hartung – za Madeyskim i in. 2008]. Pojemność małych zbiorników wodnych ulega redukcji średnio kilka do kilkudziesięciu razy szybciej niż dużych.

Wielkość zbiornika opisywana jest najczęściej przez takie wskaźniki, jak wysokość zapory i pojemność zbiornika [Mioduszeński 1997]. Do małych zbiorników zalicza się obiekty, w których: (1) wysokość zapory jest mniejsza lub równa 2 m, a pojemność zbiornika dowolnie duża, (2) wysokość zapory jest mniejsza lub równa 5 m, ale pojemność

zbiornika mieści się w przedziale od 50 tys. m³ do 100 tys. m³, (3) wysokość zapory jest dowolna, ale pojemność zbiornika nie przekracza 25 tys. m³.

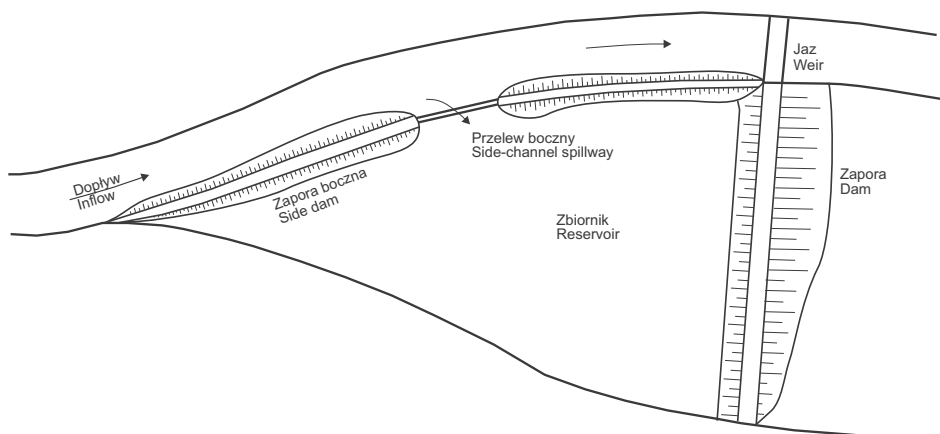
Małe zbiorniki wodne zamulane są głównie drobnoziarnistym materiałem mineralnym, który może zawierać znaczne ilości substancji organicznej. Wyniki badań przedstawionych przez Madeyskiego i in. [2008] pozwalają stwierdzić, że własności drobnego rumowiska (szczególnie rumowiska spoistego) sprzyjają szybkiemu jego zagęszczaniu w czasie rzędu od kilku godzin do kilku dni, uniemożliwiając usunięcie osadów z dna strumieniem wody.

EKSPLOATACJA ZBIORNIKÓW WODNYCH

Zasadniczym czynnikiem ograniczającym prawidłową eksploatację zbiorników przepływowych jest zamulanie, powodujące redukcję ich pojemności. Według Hartunga [za Madeyskim i in. 2008] zbiornik nie spełnia już swojej funkcji, jeżeli jego pojemność zostanie zmniejszona o 80%. Aby nie dopuścić do utraty pojemności, podejmowane są działania, które można podzielić na działania ochraniające zbiornik (prewencja) i na działania odtwarzające pojemność (renowacja). Do pierwszej grupy można zaliczyć:

- zabiegi przeciwdziałające procesom erozyjnym w zlewni, minimalizujące dopływ rumowiska do zbiornika;
- rozwiązania techniczne ograniczające ilości dostarczanego do zbiornika rumowiska, polegające na zabezpieczeniu potencjalnych osuwisk zboczy, ustabilizowaniu brzegów i dna koryt rzecznych;
- wykonanie obejścia (ang. *bypass*) łączącego cofkę zbiornika z jego dolnym stanowiskiem.

Z myślą o ochronie pojemności użytecznej zbiornika i ograniczeniu powierzchni osadzania rumowiska zaprojektowano mały zbiornik nizinny Stare Miasto na rzece Powa [Wicher-Dysarz i Kanclerz 2012]. W górnej części zbiornika wykonano przegrodę w postaci zapory ziemnej z przelewem, wydzielając w ten sposób wstępną część zbiornika, z której łatwiej usunąć nagromadzone osady.



Rys. 1. Schemat obejścia w rzucie poziomym

Fig. 1. Plan view of sediment bypassing arrangement

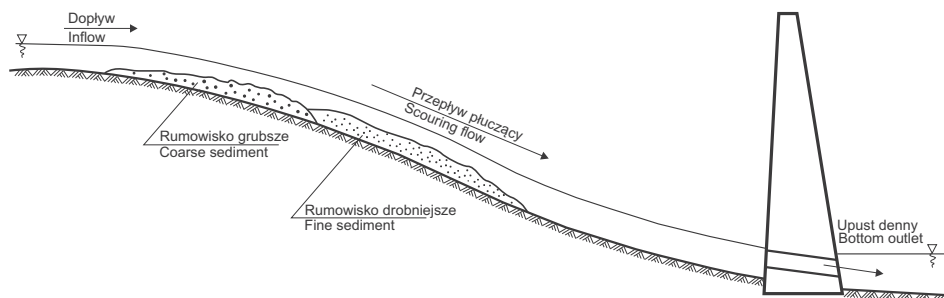
Właściwie zaprojektowane obejścia (rys. 1) mogą stanowić efektywne rozwiązanie problemu dostarczania do zbiornika nadmiernych ilości rumowiska. Obejście wykorzystuje następujące elementy: przeprowadzenie wody i rumowiska kanałem obok zbiornika z ich wypływem poniżej budowli piętrzącej oraz napełnianie zbiornika przelewem bocznym z progiem wyniesionym ponad dno w celu ograniczenia dopływu rumowiska. Z uwzględnieniem powyższych założeń zaprojektowano i wykonano ujęcie wody dla elektrowni Bełchatów ze zbiornika Jankowice na Warcie w miejscowości Zakrzówek Szlachecki.

Innym przykładem wykonania obejścia jest tunel o średnicy 7,5 m i długości 4,3 km wydrążony w skalnym zboczu zbiornika Miwa w Japonii. Tunel ten łączy górną część zbiornika z wylotem poniżej budowli upustowych i zdolny jest przeprowadzić $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wody z rumowiskiem [Inoue 2009, Kantoush i in. 2011].

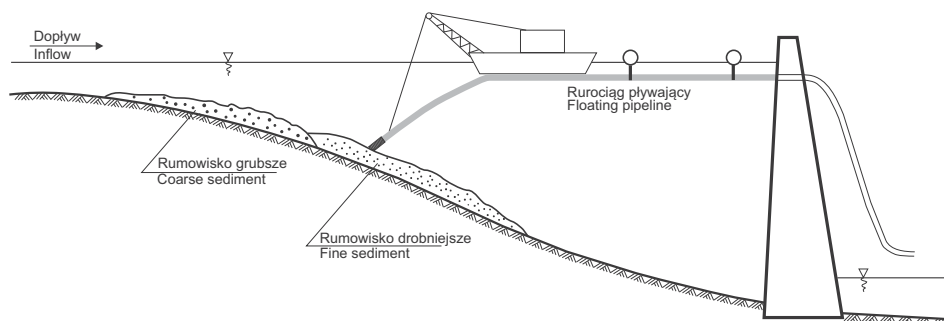
Do zbiegów technicznych usuwających osady i przywracających pojemność zbiornika zaliczyć można:

- płukanie zbiornika (rys. 2);
- bagrowanie osadów (rys. 3).

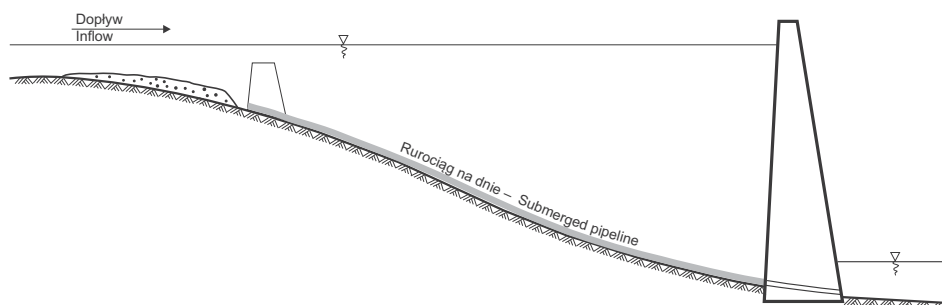
Aby ograniczyć objętość akumulowanego w zbiorniku rumowiska oraz wspomóc płukanie osadów, wykorzystuje się przewody ułożone na dnie lub pływające na powierzchni i przeprowadzone przez zapórę jako lewar lub syfon [Morris i Fan 1997].



Rys. 2. Płukanie zbiornika przez upusty denne
Fig. 2. Sediment flushing through bottom outlets (hard flushing)



Rys. 3. Usuwanie osadów ze zbiornika przez bagrowanie
Fig. 3. Remove sediment from reservoir by hydrosuction dredging



Rys. 4. Schemat obejścia wpomagającego przepływ rumowiska

Fig. 4. Bypassing sediment-laden flows arrangement (hydrosuction bypass)

Przykład syfonu przedstawia rys. 4. W górnej części zbiornika utworzona jest niewielka zapora, której zadaniem jest ograniczenie dopływu rumowiska wleczonego do zbiornika. Powyżej tej zapory znajduje się wlot do podziemnego przewodu, który umożliwia przepływ wody wraz z rumowiskiem do dolnego stanowiska.

Urządzenia takie mogą pracować automatycznie, przy mniejszym zapotrzebowaniu na wodę niż w wypadku płukania zbiornika oraz mniejszych kosztach. Eksperymentalne instalacje, lewary z rurociągów stalowych o średnicy 300–550 mm i długości 20–300 m, wykonano w m.in. Chinach i Francji. Instalacje takie okazały się wydajne, a ich koszt zwrócił się po roku eksploatacji. W latach 1975–1979, w północno-zachodnich Chinach na ponad 10 zbiornikach uruchomiono lewary pozwalające na transport drobnego rumowiska ($d_{50} \approx 0,007\text{--}0,03$ mm) do dolnego stanowiska budowli. Osady te, rozprowadzone kanałami irygacyjnymi, wykorzystywane były w rolnictwie [Liu i in. 2002].

Wydajność tego typu instalacji, pokazuje, że można je z powodzeniem stosować w zbiornikach małych (o pojemności mniejszej niż 10 mln m³), a nawet średnich (do 100 mln m³). W południowych Włoszech po zmniejszeniu pojemności zbiornika Camastra z 36 mln m³ do 20 mln m³, ułożono rurociąg o średnicy 700 mm i długości 1900 m, którym usuwano nagromadzone rumowisko. Mieszanina wody i osadów trafiła do stawów osadowych wykonanych w dolinie rzeki poniżej zapory czołowej [Carone i in. 2006].

Przewody pozwalające transportować rumowisko do dolnego stanowiska muszą być projektowane jako instalacja do hydrotransportu. Niezbędna jest znajomość dyspozycyjnej różnicy poziomów między górną a dolną wodą oraz wartości dwóch podstawowych parametrów przepływu:

- minimalnej średniej prędkości hydromieszaniny, poniżej której następuje osadzanie ziaren na dnie rurociągu;
- strat energii podczas przepływu.

Parametry te są z kolei zależne m.in. od średnicy rur, chropowatości ścianek, spadku rurociągów, średniego zagęszczenia hydromieszaniny, uziarnienia i gęstości cząstek.

Autor artykułu kieruje badaniami laboratoryjnymi prototypowej instalacji pozwalającej na hydromechaniczne usuwanie osadów dennych ze zbiorników retencyjnego, transportowanie ich do dolnego stanowiska z równoczesnym oczyszczeniem [Górny 2011, Kujawiak 2012]. Jeden z elementów instalacji stanowi piaskownik szczelinowy,

którego zadaniem jest oddzielenie rumowiska mineralnego grubego (żwir, piasek) od drobnego i zanieczyszczeń organicznych. W warunkach zbiornika retencyjnego grubsze rumowisko wraz z czystą wodą mogłoby być kierowane bezpośrednio do dolnego stanowiska, poniżej umocnienia dna. Materiał ten powinien ograniczyć rozmiary erozji lokalnej i liniowej. Drobne i lekkie frakcje przepływające ponad szczelinami piaskownika byłyby kierowane osobnym przewodem do osadnika lub hydrocyklonu położonego obok budowli upustowej zbiornika w celu dalszego oddzielenia części stałych od wody. Osad ten może być wykorzystany do produkcji biogazu lub jako nawóz. Wstępne badania instalacji pozwoliły na określanie warunków hydraulicznych (natężenia i prędkości przepływu) w przewodach piaskownika, przy których usuwanie i oczyszczanie osadów będzie efektywne [Kujawiak 2012].

WYBÓR METODY W ZALEŻNOŚCI OD WŁAŚCIWOŚCI OSADÓW

Właściwości fizyczne i reologiczne decydują o możliwości i sposobie wydobycia osadów z dna, a właściwości chemiczne o ewentualnym ich zagospodarowaniu lub wykorzystaniu (ważna jest dokładna analiza obecności w osadach m. in. metali ciężkich).

Madeyski i in. [2008], badając osady małych zbiorników na terenie Małopolski, stwierdzili w nich niewielkie stężenia metali ciężkich. Stężenia te okazały się podobne do stężeń określonych w innych zbiornikach o małym stopniu zanieczyszczenia (zlewnie rolnicze, leśne). Były one również zdecydowanie niższe od stężeń metali w osadach zbiorników i rzek narażonych na silną antropopresję, zlokalizowanych w regionach o wysoko rozwiniętym przemyśle, o dużej gęstości zaludnienia, np. w osadach zbiornika Goczałkowice, czy narażonych na wpływ emisji przemysłowych Górnego Śląska, takich jak zbiornik Rybnik, albo rzeki Wisła i Odra [Madeyski i in. 2008].

Brandt [1999] zwraca uwagę na pogorszenie się jakości wody poniżej piętrzenia w okresie płukania zbiornika. Wśród negatywnych skutków autor wymienia m.in.:

- zmniejszenie pH wody,
- wzrost stężeń związków fosforu i azotu,
- znaczny wzrost zawartości materii organicznej w rumowisku,
- zmniejszenie ilości tlenu rozpuszczonego w wodzie.

Jakość wody może osiągnąć poziom zagrażający organizmom żyjącym poniżej zbiornika.

Istotną rolę w składzie osadów zbiornikowych i stawowych odgrywa procentowa zawartość części organicznych. Z wielu badań wynika, że zawartość ta w osadach rzecznych wynosi do 10%, ale w osadach zbiornikowych już powyżej 10%, natomiast w osadach stawów rybnych nawet do 25% [Madeyski 1998]. Części organiczne odgrywają znaczącą rolę w łączeniu się namulów osadzanych w zbiornikach w większe agregaty. Madeyski i in. [2008] podkreślają istotny wpływ zawartości materii organicznej w namulach na ich właściwości reologiczne oraz na przebieg procesu osadzania i konsolidacji. Wchodząca w skład osadów materia organiczna pochodzi z organizmów zwierzęcych bądź roślinnych. Żywe organizmy mogą przyczyniać się do wzmacniania struktury osadów (sklejania cząstek) lub ich osłabiania (rozpułchnianie struktury). Brandt [1999] stwierdza istotny związek między wielkością ziaren osadu a zawartością materii organicznej – jest ona większa dla drobniejszych ziaren. Badania Madeyskiego i in.

[2008] potwierdzają zdolności absorpcji metali ciężkich przez części organiczne zawarte w osadach dennych, jednak nie wskazują na istotny związek granulacji osadu dennego (udziału drobnych frakcji) z zawartością w nim metali ciężkich.

O wyborze metody usuwania osadów ze zbiornika decyduje bardzo często tylko doświadczenie projektanta, który ogranicza się do rozwiązań dobrze sobie znanych. Kasprzak [2010], po porównaniu metod renowacji kilku zbiorników przepływowych na terenie Wielkopolski, stwierdziła, że projektanci wybierają najczęściej jedną z dwóch metod: (1) usuwanie osadów z opróżnionego zbiornika przy użyciu koparek lub (2) refulację osadów prowadzoną z wykorzystaniem sprzętu pływającego i transportu hydromieszanki przewodami na poletka filtracyjne. O wyborze pierwszej metody decyduje niższy koszt, druga zaś wybierana jest na obszarach chronionych lub terenach, na których dostęp do brzegu zbiornika jest utrudniony.

WNIOSKI

1. Projektując nowe zbiorniki retencyjne, należy uwzględnić przepływ rumowiska, procesy akumulacji i erozji oraz ich wpływ na długość planowanego okresu eksploatacji zbiornika.
2. Właściwie zaprojektowane obejście zapewnia ciągły przepływ rumowiska z górnej części zbiornika do dolnego stanowiska budowli piętrzącej, nie pozwalając na znaczącą utratę pojemności użytecznej.
3. Okresowe płukanie osadów przywraca zbiornikowi projektowaną pojemność, ale może też być przyczyną drastycznych zmian warunków przepływu wody i życia organizmów żywych poniżej zapory.

PIŚMIENNICTWO

- Babiński Z., 2007. Erozja wgłębna poniżej zbiorników wodnych na przykładzie wybranych zapór świata. *Nauka Przyr. Technol.* 1(2), 16–22.
- Bagiński L., 2007. Wybrane problemy bezpieczeństwa stopnia wodnego Włocławek. *Nauka Przyr. Technol.* 1(2), 23–33.
- Brandt S.A., 1999. Reservoir Desiltation by Means of Hydraulic Flushing: Sedimentological and Geomorphological Effects in Reservoirs and Downstream Reaches as Illustrated by the Cachí Reservoir and the Reventazón River, Costa Rica. Ph.D. thesis. Institute of Geography, Faculty of Science, University of Copenhagen. *Geographica Hafniensia* A8.
- Carone M.T., Greco M., Molino B., 2006. A sediment-filter ecosystem for reservoir rehabilitation. *Ecol. Engineer.* 26, 182–189.
- Głowski R., Parzonka W., 2007. Eksploatacja i oddziaływanie zbiornika Brzeg Dolny na rzece Odrze. *Nauka Przyr. Technol.* 1(2), s. 99–110.
- Górny K., 2011. Segregacja materiału gruntowego przy przepływie przez piaskownik szczelinowy. Praca dyplomowa. Maszynopis. Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy Poznań.
- Inoue M., 2009. Promotion of Field-verified Studies on Sediment Transport Systems Covering Mountains, Rivers, and Coasts. *Sci. Technol. Trends Quart. Rev.* 33, 89–108.
- Kantoush S.A., Sumi T., Takemon Y., 2011. Lighten the load. *Intern. Water Power Dam Constr.* 5, 38–45.

- Kasprzak J., 2010. Porównanie metod renowacji małych zbiorników wodnych. Praca dyplomowa. Maszynopis. Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy Poznań.
- Kujawiak S., 2012. Efektywność usuwania osadów ze zbiornika zaporowego przez piaskownik szczelinowy. Praca dyplomowa. Maszynopis. Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy Poznań.
- Liu J., Liu B., Ashido K., 2002. Reservoir Sedimentation Management in Asia. German Coastal Engineering Research Council. Intern. Conf. on Hydro-Scienc and Engineering, Warszawa, 309–316.
- Madeyski M., 1998. Hydrauliczna i reologiczna charakterystyka procesu zamulania stawów rybnych. Zesz. Nauk. AR Krak., Rozprawy 236.
- Madeyski M., Michalec B., Tarnawski M., 2008. Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* 11.
- Mioduszewski W., 1997. Mała retencja a ochrona zasobów wodnych. *Gosp. Wodna* 3, 66–70.
- Morris G.L., Fan J., 1997. Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. McGraw-Hill New York.
- Parzonka W., Kasperek R., Głowski R., 2010. Ocena degradacji koryta właściwego Odry środkowej i program działań naprawczych. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* 8(1), 59–68.
- Przedwojski B., Wierzbicki M., 2007. Skutki działania progów stabilizujących w korycie Warty poniżej zbiornika Jeziorsko. *Nauka Przyr. Technol.* 1(2), 219–227.
- Wicher-Dysarz J., Kanclerz J., 2012. Funkcjonowanie małych zbiorników nizinnych z wydzieloną częścią wstępną na przykładzie zbiorników Jezioro Kowalski i Stare Miasto. *Rocz. Ochr. Środ.* 14, 885–897.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.12.2013