

PRZEGLĄD METOD ODMULANIA ZBIORNIKÓW WODNYCH

Paweł Zawadzki, Ryszard Błażejowski, Maciej Pawlak

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. W artykule przedstawiono historyczne i współczesne metody odmulania średnich i dużych zbiorników wodnych na rzekach. Odmulanie jest problemem aktualnym, gdyż rocznie w skali globu wskutek zamulania co roku tracone jest 0,5–1% pojemności retencyjnej zbiorników wodnych. Na podstawie literatury przedstawiono rodzaje osadów deponowanych w zbiornikach wodnych, krótką charakterystykę metod odmulania oraz porównanie tych metod według kryteriów technicznych, ekonomicznych, społecznych i środowiskowych.

Słowa kluczowe: zamulanie, odmulanie, płukanie, wydobywanie, bagrowanie, analiza kosztów

WSTĘP

Przegrodzenie rzeki przy budowie zbiornika wodnego przerywa ciągłość przepływu transportowanego przez wodę rumowiska. Powstają warunki do rozwoju niepożądanych procesów: akumulacji niesionego przez wodę materiału, zmniejszania się pojemności użytecznej zbiornika, podnoszenia się dna i zwierciadła wody w cofce zbiornika oraz rozmyć dna i brzegów poniżej piętrzenia. Długi okres eksploatacji zbiorników wymaga od gospodarza obiektu podjęcia działań, które przeciwdziałałyby niekorzystnym procesom, a które często związane są z zaangażowaniem poważnych środków technicznych i dużymi nakładami finansowymi. Usuwanie osadów zgromadzonych w zbiorniku wodnym zazwyczaj poprawia warunki eksploatacji zbiornika, odtwarza jego pojemność, lecz często po kolejnych latach prace trzeba powtarzać. Dlatego też istotną rolę odgrywa prewencja, tj. działania w zlewni cieką ograniczające dopływ rumowiska.

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Paweł Zawadzki, prof. dr hab. Ryszard Błażejowski, dr inż. Maciej Pawlak, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94a, 60-649 Poznań; e-mail: pzaw@up.poznan.pl, rblaz@up.poznan.pl, mpawlak@up.poznan.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

RODZAJE OSADÓW

W zbiornikach nie osłoniętych poprzez zaporę przeciwrumowiskową lub wyżej leżący zbiornik należy liczyć się ze złożonym charakterem procesu osadzania się rumowiska. Podstawowe parametry fizyczne i reologiczne osadów zależą w znacznym stopniu od rodzaju rumowiska doprowadzanego do zbiornika oraz od gospodarki wodnej na zbiorniku. Inne czynniki wpływające na proces transportu rumowiska w obrębie zbiornika to: geometria zbiornika, podział zbiornika na strefy pojemności, temperatury wody w rzece i zbiorniku, koncentracja cząstek stałych. W zbiornikach ze znacznymi wahaniami zwierciadła wody strefa wlotu cieku do zbiornika jest zmienna, a rumowisko wlezione odkłada się nie tylko w cofce, lecz także w całym obszarze strefy użytkowej. Powoduje to również duże przemieszczanie osadów spoistych i niespoistych. Przykładem zmiany funkcji zbiornika w czasie, a co za tym idzie charakteru jego pracy, jest zbiornik Lubachów na Bystrzycy Kamiennej. Oddany został do eksploatacji w 1918 r., pełnił funkcje przeciwpowodziowe oraz energetyczne, przy czym do 1970 r. elektrownia pracowała jako szczytowa, co powodowało częste zmiany położenia zwierciadła wody [Parzonka 1974].

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 nawet do 26% [Kempiński i Parzonka 2006]. 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 przyczynić się do wzmacniania struktury osadów (sklejania cząstek) lub ich osłabiania (rozpulchnianie 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 stwierdzają istotnego związku granulacji osadu dennego (udziału drobnych frakcji) z zawartością w nim metali ciężkich.

PODZIAŁ I KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA METOD ODMULANIA

Usuwanie osadów

Gromadzenie się osadów jest głównym czynnikiem wpływającym na żywotność (okres eksploatacji) zbiorników. Aby prognozować ograniczenia w funkcjonowaniu zbiornika, czas ich wystąpienia oraz aby dobrać odpowiednie metody (strategie) zaradcze, wymagana jest znajomość zarówno tempa, jak i wzorca depozycji osadów w zbiorniku [Morris i Fan 1998]. Utrata ok. 80% pierwotnej pojemności może powodować, że zbiornik nie spełnia już swoich funkcji. Michalec [2012] na podstawie badań uważa, że ograniczenie funkcji małych zbiorników wodnych następuje już przy redukcji pojem-

ności od 40 do 60% i dlatego żywotność tych zbiorników powinna być określana dla zamulenia wynoszącego 50% pojemności pierwotnej.

Aby nie dopuścić do utraty pojemności, podejmowane są działania, które można podzielić na działania ochraniające zbiornik (prewencja) lub na odtwarzające pojemność (renowacja). Ograniczenie dopływu rumowiska do zbiornika odbywa się dzięki różnym zabiegom w zlewni lub odpowiedniemu zaprojektowaniu zbiornika (część wstępna, obejście); zagadnienia te nie będą tu jednak rozwijane. Odtworzenie pojemności zbiornika odbywa się zazwyczaj poprzez mechaniczne usuwanie osadów, rzadziej są to zabiegi chemiczne lub biologiczne.

Brown [1944] wyróżnił następujące sposoby usuwania osadów ze zbiorników zaporyowych:

- kopanie, wydobywanie (ang. excavation) za pomocą koparek z odsłoniętego dna zbiornika;
- bagrowanie (ang. dredging): mechaniczne pogłębianie za pomocą pogłębiarek chwytakowych lub wieloczerpakowych, zasysanie wody z osadami za pomocą pogłębiarek ssących (refulerów), zasysanie wody z osadami za pomocą syfonu przerzuconego przez zaporę (zwykle z pompą zalewającą syfon, umieszczoną na barce) lub rury podłączonej do upustu dennego (ryc. 1);
- powolne spuszczenie wody ze zbiornika i płukanie naturalnym przepływem rzeki (ang. draining and flushing) (ryc. 2);
- sterowane spuszczenie wody ze zbiornika przez upust płuczący (ang. sluicing with controlled water) (ryc. 2);
- szybkie spuszczenie wody ze zbiornika przez duże denne upusty płuczące lub podczas wezbrań (ryc. 2) (ang. flood sluicing);
- spuszczenie wody ze zbiornika wspomagane hydraulicznym lub mechanicznym wzruszaniem osadów (ang. sluicing with hydraulic and mechanical agitation).

Podział taki utrzymuje się do lat współczesnych i z niewielkimi zmianami opisywany jest przez innych autorów [Morris i Fan 1998, Palmieri i in. 2003]. Warto wspomnieć, że bagrowanie hydrauliczne (ryc. 1a) przy niewielkich modyfikacjach wykorzystywane może być również do zapewnienia ciągłego przepływu rumowiska z górnej części zbiornika do dolnego stanowiska [Utah 2010, Zawadzki 2013]. Transportowany w ten sposób materiał może trafić bezpośrednio do rzeki lub na pola [Liu i in. 2002]. Zawadzki i Błazejewski [2017] zaproponowali prototypową instalację, która pozwoliłaby na sortowanie transportowanych osadów, z których grubsze rumowisko mineralne kierowane jest do rzeki, poniżej umocnienia dna, a drobne frakcje mineralne i organiczne, po odwodnieniu mogłyby być wykorzystywane rolniczo.

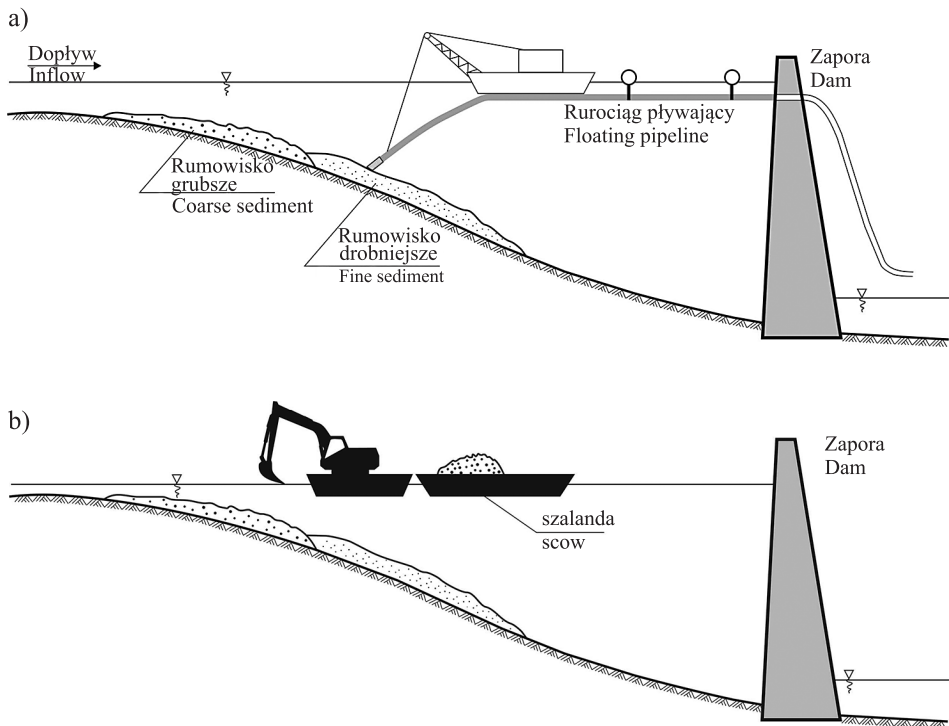
Splukiwanie osadów – to hydrauliczne wymywanie osadów przy obniżonym poziomie piętrzenia lub opróżnionym zbiorniku. Po otwarciu upustów dennych niezbędne jest tymczasowe utworzenie rzecznej reżimu przepływu wody w zbiorniku, tj. utworzenie kanałów, wzdłuż których następuje erodowanie nagromadzonych osadów, a następnie ich wypływ przez upusty denne. Technika ta i jej odmiany (tab. 1.) stosowana jest na wielu zbiornikach. Czynniki wpływającymi na efektywność płukania są [White 2000]:

- kształt zbiornika (najlepsze wyniki w długich i wąskich zbiornikach);
- pojemność zbiornika (mniejsza objętość zbiornika w stosunku do objętości przepływów powodziowych daje lepsze wyniki);

- warunki hydrauliczne (najlepsze wyniki indukcji nadrzecznych warunki w zbiorniku);
- przewidywalność i wielkość rocznych przepływów powodziowych;
- mobilność osadów zbiornikowych.

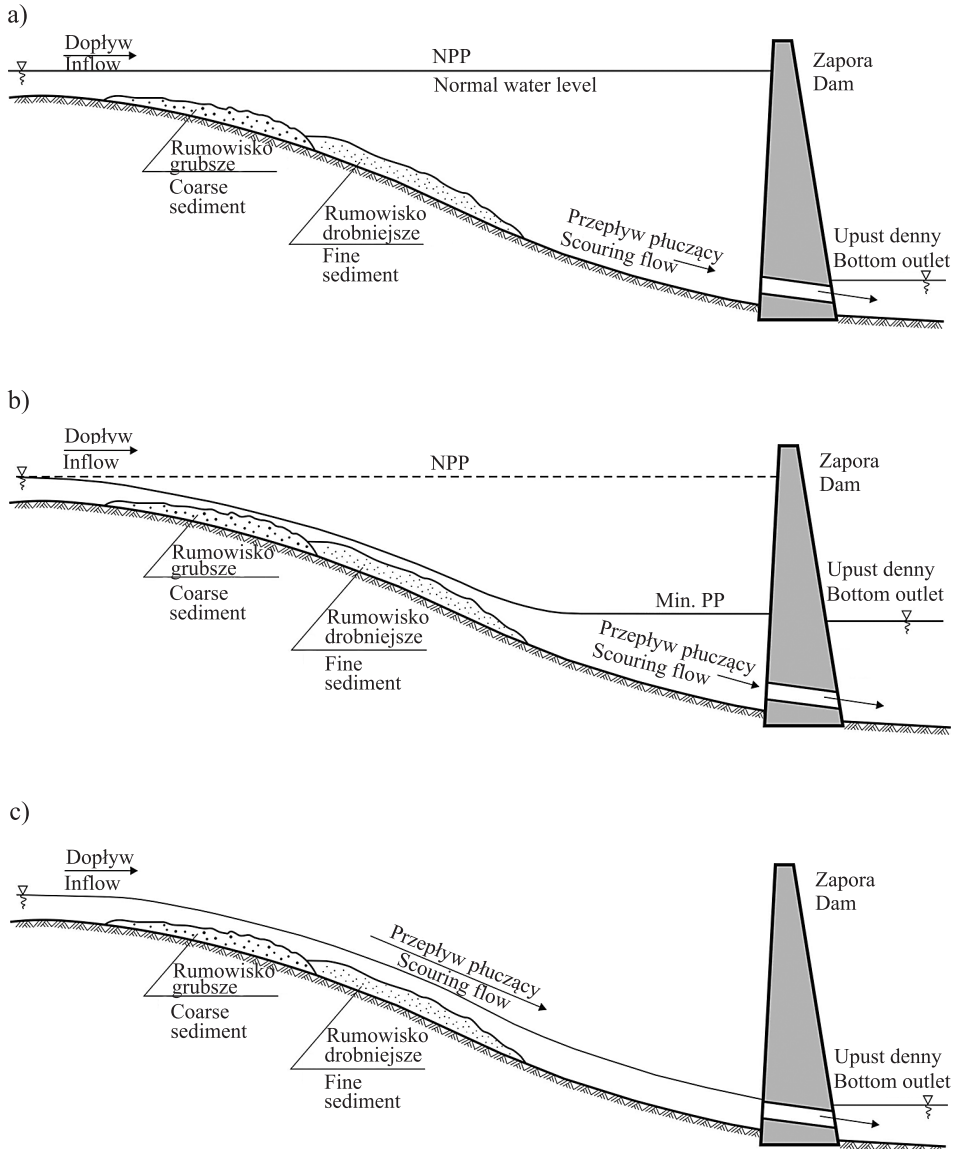
Głównymi czynnikami ograniczającymi stosowanie splukiwania są: duże i szybkie zmiany warunków przepływu poniżej piętrzenia, tymczasowa utrata pojemności i wysokości piętrzenia wody w zbiorniku (szczególny problem dla elektrowni wodnych).

Pogłębianie – to technika polegająca na pogłębianiu zbiornika poprzez mechaniczne lub hydrauliczne usuwanie osadów, ich transporcie i zdeponowaniu na przygotowanym składowisku. Przy tradycyjnym bagrowaniu osad pompowany jest z dna zbiornika, przy założeniu, że w mieszaninie jest 20–30% osadu. Zbiornik nie musi być opróżniany. Pogłębianie może być prowadzone tylko w części czaszy zbiornika, np. przy ujęciach wody, wzdłuż szlaków żeglugowych. Wymagane jest przygotowanie odpowiednich składowisk, na których osady będą odwadniane.



Ryc. 1. Bagrowanie – zasysanie wody z osadami za pomocą pogłębiarek ssących: a) odsysanie osadów za pomocą pompy zatapialnej, b) bagrowanie mechaniczne z wywozieniem urobku za pomocą szalandy i samochodu ciężarowego (opracowanie własne za Zawadzki 2013)

Fig. 1. Dredging – sucking slurry by means of suction dredgers a) suction of deposits using a submersible pump, b) mechanical dredging and transport using a scow and truck (authors' study based on Zawadzki 2013)



Ryc. 2. Usuwanie osadów przez upusty: a) podczas normalnego piętrzenia wody naturalnym przepływem rzeki; b) spłukiwanie osadów przy obniżonym poziomie wody w zbiorniku; c) szybkie spuszczenie wody ze zbiornika przez duże upusty płuczące lub podczas we brania (opracowanie własne za Zawadzki 2013)

Fig. 2 Sediment removal by bottom outlet: a) at the normal water level by natural flow of the river – bottom gate flushing, b) drawdown flushing at the lowering the water level in reservoir, c) rapid draining of water from reservoir through a large bottom flushing outlets or during flood – hard flushing (authors' study based on Zawadzki 2013)

Tabela 1. Działania mechaniczne w celu odtworzenia i utrzymania pojemności zbiornika
 Table 1. Mechanical actions to restore and preserve the reservoir capacity

Spłukiwanie – wymywanie osadów ze zbiornika Flushing – sediment removal from the reservoir	Pogłębianie – usuwanie z pełnego zbiornika Dredging – removal of the full reservoir	Wydobycie usuwanie z opróżnionego zbiornika Extraction – removing the emptied reservoir
<ul style="list-style-type: none"> – przy normalnym piętrzeniu – at the normal damming 	<ul style="list-style-type: none"> – zasysanie osadów z użyciem pomp – sediment sucked using a pump 	<ul style="list-style-type: none"> – użycie ciężkiego sprzętu do prac ziemnych – the use of heavy earthmoving equipment
<ul style="list-style-type: none"> – przy obniżonym piętrzeniu – at the decreased damming 	<ul style="list-style-type: none"> – zasysanie osadów bez użycia pomp – sediment sucked without a pump 	<ul style="list-style-type: none"> – wywóz osadu z dna zbiornika – export of sediment from the bottom of the reservoir
<ul style="list-style-type: none"> – przy braku piętrzenia – in the absence of damming 	<ul style="list-style-type: none"> – bagrowanie za pomocą koparek i sprzętu pływającego – dredging using excavators and floating equipment 	

Kopanie suchych osadów wymaga przynajmniej częściowego opróżnienia zbiornika przez dłuższy okres. W tym czasie zbiornik całkowicie lub częściowo traci swoją funkcjonalność (zmniejszenie pojemności, wysokości piętrzenia, ograniczone możliwości korzystania ze zgromadzonej wody). Konieczne jest wyznaczenie miejsca do tymczasowego lub stałego deponowania osadów. Techniczna wykonalność zależy od tego, czy objętość usuwanych osadów pozwala na ich fizycznie wywiezienie w krótkim czasie. Inną kwestią jest również dostępność czaszy zbiornika dla ciężkiego sprzętu. Użycie ciężkiego sprzętu jest wysoce energochłonne. Wydatki muszą być powiększone o koszty pracy dodatkowych pracowników, naprawy dróg i sprzętu. Powoduje to, że wydobycie metodą kopania może być droższe od pogłębiania.

Wszystkie metody mechanicznego usuwania są kosztowne ze względu na duże ilości materiału i często występujące trudności w uzyskaniu odpowiednich miejsc na umieszczenie urobku w obrębie odległości ekonomicznej od zbiornika. Wybór metody będzie zależeć od czynników takich jak objętość osadu, wielkość ziaren i geometria złoża, dostępne opcje usuwania i ponownego użycia, poziom wody czy kryteria środowiskowe.

Metody biologiczne polegają na intensyfikacji naturalnych mechanizmów samooczyszczania się wód. W ostatnim czasie popularna jest metoda z wykorzystaniem z tzw. efektywnych mikroorganizmów (EM). Są to m. in.: bakterie fotosyntetyzujące, promieniowce, bakterie kwasu mlekowego, drożdże i grzyby. Zdaniem Sitarka [Sitarek 2016] metoda ta jest całkowicie nieinwazyjna, nieszkodliwa dla środowiska oraz bezpieczna dla ryb i innych organizmów wodnych, gdyż działa głównie na osady organiczne, powodując ich mineralizację. W efekcie dno akwenu z mulistego i grząskiego zmienia się w twarde i piaszczyste, a dodatkowo znika gnilny odór towarzyszący mułowi. Ponadto możliwe

jest zmniejszenie deficytu tlenu przy dnie zbiornika, a tym samym ograniczenie tzw. przyduchy zimą. Metoda ta wykorzystywana jest głównie w małych i średnich zbiornikach wodnych i wymaga okresowego powtarzania, np. kilka razy w roku i oddziałuje tylko na osady organiczne, zmieniając je w osady mineralne. Niestety, inni badacze [Luring i in. 2009] nie potwierdzają tak skutecznego działania EM.

PORÓWNANIE METOD

Porównanie metod odmulania danego zbiornika wodnego należy prowadzić dla konkretnego przypadku z uwagi na różnorodność warunków przyrodniczych panujących w różnych zbiornikach wodnych. Do szczegółowych analiz wyboru metody odmulania zbiornika wodnego można użyć programu RESCON [Palmieri i in. 2003] jednak złożoność i ilość danych wejściowych do analizy powoduje, że program ten jest bardzo skomplikowany, a praktyczne zastosowanie go niemożliwe.

W celu porównania wyżej wymienionych metod odmulania zbiorników wodnych w pracy zaproponowano cztery podstawowe kryteria oceny przydatności danej metody, odniesione do zasad ekorozwoju. Każdemu z kryteriów przypisano sześciostopniową skalę: od 0 do 5, gdzie 0 oznacza przeciwwskazania lub bardzo duże trudności w spełnieniu danego kryterium, a 5 – bardzo dobre warunki dla spełnienia tego kryterium. Do oceny danej metody wyróżniono następujące kryteria:

- techniczne, którego miarą jest udział fazy stałej (zawiesiny) w usuniętym osadzie;
- ekonomiczne, w którym miarą jest całkowity (wraz z kosztami odtworzeniowymi) koszt usunięcia i zagospodarowania 1 m³ osadu;
- społeczne, w którym określa się uciążliwość związaną z wykonaniem usunięcia i czas ograniczenia użytkowania danego obiektu;
- środowiskowe, gdzie określa się przyjazność danej metody dla organizmów żywych, w szczególności chronionych.

W tabeli 2 przedstawiono poszczególne kryteria i wartości oceny punktowej, a na ryc. 3 przykładowy wykres radarowy do wizualizacji wyników oceny poszczególnych rozpatrywanych metod odmulania dużych zbiorników wodnych.

Kryterium techniczne odniesiono do udziału fazy stałej w usuwanym osadzie. Najwięcej fazy stałej w objętości usuwanych osadów występuje podczas kopania z odsłoniętego dna, jednak wiąże się to z wyłączeniem danego zbiornika z eksploatacji na czas robót. Wysokim poziomem usunięcia zawiesiny charakteryzuje się także metoda bagrowania. Metoda spuszczenia wody ze zbiornika wspomaganego wruszaniem osadów daje mniejsze efekty niż wymienione wcześniej metody, ale w znacznie mniejszym stopniu zakłóca eksploatację zbiornika. Kolejne trzy sposoby usuwania osadów dają bardziej uwodniony urobek, ale w niewielkim stopniu zakłócają normalną eksploatację zbiornika wodnego. Ich efektywność, która głównie zależy od prędkości przepływu wody transportującej osady, plasuje się odpowiednio (zaczynając od najbardziej efektywnego): sterowane spuszczenie wody ze zbiornika przez upust płuczający, szybkie spuszczenie wody ze zbiornika przez duże denne upusty płuczające lub podczas wezbrań, powolne spuszczenie wody ze zbiornika i płukanie naturalnym przepływem rzeki.

Tabela 2. Skala punktowa poszczególnych kryteriów oceny
Table 2. Score for the assessment criteria

Ocena Score	Kryterium Criterion			
	Techniczne (udział fazy stałej w urobku)* Technical (Part of the solid phase)	Ekonomiczne (koszt usunięcia i zagosp.) zł · m ⁻³ s.m. osadów* Economic (cost of removing and land use) zł · m ⁻³ d. sediment	Społeczne (uciążliwość i ograniczenie użytkowania) Social (burdensome and limiting use)	Środowiskowe (przyjazność dla środowiska) Environmental (Environmentally friendly)
0	Niewielki < 5% Low < 5%	Bardzo duży > 200 Very high ≥ 200	Bardzo duża Very large	Degradacja środowiska Environmental degradation
1	Bardzo mała 5–9,9% Very small 5–9.9%	Duży 150,01–200 High 150.01–200	Duża Large	Bardzo mała Very small
2	Mała 10–14,9% Small 10–14.9%	Średni 100,01–150 Medium 100.01–150	Średnia Standard	Mała Small
3	Średnia 15–19,9% Medium 15–19.9%	Mały 50,01–100 Small 50.01–100	Mała Small	Średnia Standard
4	Duża 20–24,5% High 20–24.9%	Bardzo mały 10,01–50 Very small 10.01–50	Bardzo mała Very small	Przyjazna Friendly
5	Bardzo duża ≥ 30% Very high ≥ 30%	Niewielki ≤ 10 Low ≤ 10	Żadna None	Bardzo przyjazna Very friendly

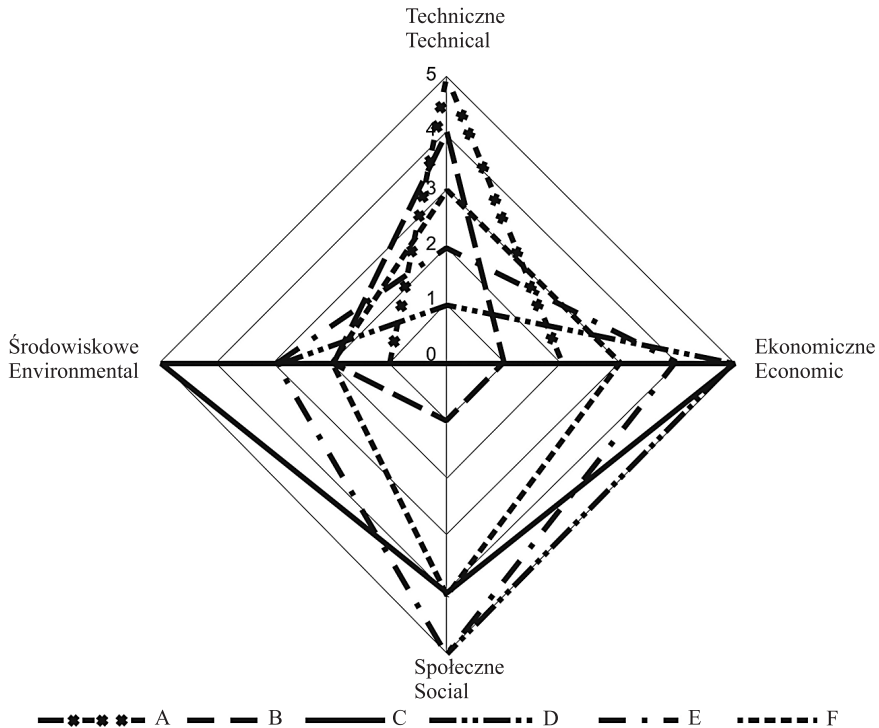
* W przypadku rzeczywistej analizy nie należy stosować miękkiego opisu kryterium technicznego i ekonomicznego; w przedstawionej poniżej analizie oparto się głównie na opisie tych kryteriów w sposób miękki z uwagi na brak kalkulacji dla wszystkich rozpatrywanych wariantów dla jednego konkretnego przypadku

* In case of real analysis, do not use soft description of technical and economic criteria; The analysis presented below is mainly based on the description of these criteria in a soft way because there is no calculation for all the variants under consideration for one particular case.

Biorąc pod uwagę kryterium ekonomiczne, kopanie oraz bagrowanie są metodami najbardziej kosztownymi z uwagi na użycie sprzętu i późniejsze zagospodarowanie wydobytych osadów. Pozostałe cztery sposoby wykorzystują infrastrukturę techniczną wykonaną głównie w celu sterowania ilością wody w zbiorniku, jednie w przypadku spuszczenia wody ze zbiornika wspomaganego wzruszaniem osadów wymagane jest użycie dodatkowego sprzętu. Koszty eksploatacyjne związane z usunięciem osadów zwykle są większe od nakładów inwestycyjnych na budowę nowego zbiornika, jednak możliwości lokalizacji i budowy w Polsce zbiorników o dużej pojemności są znacznie ograniczone, nie można więc dopuścić do degradacji istniejących zbiorników [Sieński 2011].

Miarą kryterium ekonomicznego powinien być koszt usunięcia i zagospodarowania 1 m³ osadu, oszacowany na podstawie kosztorysu dla danego obiektu, uwzględniający charakter danego zbiornika i właściwości osadów. Analizę techniczno-ekonomiczną dla

warunków polskich w cenach z 2011 r., na podstawie kosztów wydobywania osadów z wyrobisk na zbiornikach Mietków i Nysa (o największych wydajnościach w Polsce, sięgających 500 tys. m³/rok) przeprowadził IMGW [Sieński 2011].



Ryc. 3. Porównanie metod odmulniania zbiorników wodnych: A – kopanie, B – bagrowanie, C – powolne spuszczenie wody ze zbiornika i płukanie naturalnym przepływem rzeki, D – szybkie spuszczenie wody ze zbiornika przez duże denne upusty płuczące lub podczas wezbrań, E – sterowane spuszczenie wody ze zbiornika przez upust płuczający, F – spuszczenie wody ze zbiornika wspomagane hydraulicznym lub mechanicznym wzruszaniem osadów

Fig. 3. Comparison of methods of reservoir desilting: A – extraction, B - dredging, C – slow draining of water from the reservoir and sediment flushing the natural flow of rivers, D – fast draining water from the reservoir through a large bottom outlet or during floods, E – controlled draining of water from the reservoir through bottom outlet, F – draining water from the reservoir supported by hydraulic or mechanical agitation

Dla wariantu wydobywania osadu pogłębiarkami wieloczerpakowymi refulującymi, z transportem lądowym do sortowni za pomocą taśmociągu na odległość 0,5 km, sortowaniem i przetrzaniem oraz uprzyzmowaniem, koszt jednostkowy wynosił około 86 zł za 1 m³ osadu, natomiast dla podobnego wariantu co powyżej, lecz przy transporcie osadu z pogłębiarki wieloczerpakowej refulującej barką z załadunkiem przy pomocy przenośnika taśmowego i wyładunkiem koparką na taśmociąg, wynosił około 150 zł za 1 m³ osadu. Przy wydobywaniu osadu pogłębiarkami wieloczerpakowymi refulującymi, z trans-

portem wodnym barką z załadunkiem przy pomocy przenośnika taśmowego i wyładunkiem koparką oraz transportem lądowym do sortowni na tę samą odległość co powyżej, samochodem samowyładowczym oraz sortowaniem i przerzutem, a także z uprzymowaniem – około 200 zł za 1 m³ osadu. Te ostatnie ceny są bardzo wysokie, nawet jeśli pomniejszy je o cenę sprzedaży płukanego żwiru (ok. 80–100 zł · m⁻³). Większość przedziałów cenowych w tabeli 2 przyjęto na podstawie danych literaturowych [Aras 2009, Sieński 2011].

Pod względem społecznym, najmniej uciążliwe są metody wykorzystujące istniejącą infrastrukturę i warunki przepływu panujące w danej chwili na obiekcie. Najbardziej uciążliwe dla otaczającego społeczeństwa oraz korzystających ze zbiornika są metody wymagające opróżnienia zbiornika i wydobywania „suchych” osadów z użyciem koparek, co wyłącza z eksploatacji dany zbiornik. Bagrowanie jest metodą znacznie mniej uciążliwą. Jej uciążliwość związana jest głównie ze zdeponowanymi czasowo na brzegu osadami, ale eksploatacja jest możliwa przeważnie tylko w ograniczonym stopniu. Pozostałe metody są znacznie mniej uciążliwe dla otaczającego społeczeństwa oraz korzystających ze zbiornika. Dodatkowym czynnikiem w społecznym lub ekonomiczno-społecznym kryterium może być ilość miejsc pracy dla lokalnej ludności. Ostatnim, choć nie najmniej ważnym, jest kryterium środowiskowe. Warunki środowiskowe panujące na danym zbiorniku oraz liczebność ważnych dla zachowania bioróżnorodności organizmów, a także występowanie roślin i zwierząt chronionych może zdyskwalifikować daną metodę. Najbardziej uciążliwe dla środowiska, podobnie jak dla społeczeństwa są metody związane z wydobywaniem najzasobniejszych w fazę stałą osadów, wywołujące duże zmiany warunków panujących w zbiorniku. Najmniej uciążliwe są metody wykorzystujące naturalne warunki, tj. powolne spuszczenie wody ze zbiornika i płukanie naturalnym przepływem rzeki, czy w mniejszym stopniu sterowane spuszczenie wody ze zbiornika przez upust płuczący oraz szybkie spuszczenie wody ze zbiornika przez duże denne upusty płuczące lub podczas wezbrań. Inwazyjne są też metody związane z wymuszonym w sposób sztuczny wzruszeniem osadów. Wydobywanie w ten sposób osadów może spowodować usunięcie cennych i ważnych organizmów żyjących w osadach dennych, a także pogorszyć warunki życia innych organizmów (ptaków gniazdujących na wypłyconych przez osady obszarach zbiornika).

WNIOSKI

Wybór metody odmulania zbiornika wodnego jest uzależniony od wielu czynników i warunków lokalnych, dlatego też powinien być rozpatrywany indywidualnie dla każdego zbiornika.

Przy wyborze metody odmulania zbiornika wodnego bardzo pomocna jest wielokryterialna analiza, podobna do przedstawionej w artykule, oraz jej wizualizacja na wykresie radarowym.

PIŚMIENNICTWO

- Aras, T. (2009). Cost analysis of sediment removal techniques from reservoir. Praca magisterska. Middle East Technical University, Ankara.
- Brandt, S.A. (1999). Reservoir Desiltation by Means of Hydraulic Flushing: Sedimentological and Geomorphological Effects in Reservoirs and Downstream Reaches as Illustrated by the Cachi Reservoir and the Reventazón River, Costa Rica. Ph.D. thesis. Institute of Geography, Faculty of Science, University of Copenhagen. Geographica Hafniensia A8.
- Brown, C.B. (1944). The control of reservoir silting. Miscellaneous publication No. 521. United States Department of Agriculture. U.S. Government Printing Office, Washington.
- Kempiński, J., Parzonka, W. (2006). Ocena warunków erozji osadów w zbiorniku Sulejów w rejonie ujęcia wody pitnej dla miasta Łodzi. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus 5(2), 3–15.
- Kwashima, S., Johndrow, T.B., Annandale, G.W., Shah, F. (2003). Reservoir Conservation. Volume II: RESCON model and user manual. Economic and engineering evaluation of alternative strategies for managing sedimentation in storage reservoirs. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.
- Liu, J., Liu, B., Ashido, K. (2002). Reservoir Sedimentation Management in Asia. German Coastal Engineering Research Council. International Conference on Hydro-Science and –Engineering, Warszawa, 309–316.
- Lurling, M., Tolman, Y., Euwe, M. (2009). Mitigating cyanobacterial blooms: how effective are ‘effective microorganisms’? Lakes & Reservoirs: Research and Management, 14, 353–363.
- Madeyski, M., Michalec, B., Tarnawski, M. (2008). Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych. Infrastr. Ekol. Ter. Wiej., 11.
- Michalec, B. (2012). Określenie żywotności małych zbiorników wodnych. Infrastr. Ekol. Ter. Wiej., 3(4), 119–129.
- Morris, G.L., Fan, J. (1998). Reservoir Sedimentation Handbook, design and management of dams, reservoirs and watersheds for sustainable use. McGraw-Hill, New York.
- Palmieri, A., Shah, F., Annandale, G.W., Dinar, A. (2003). Reservoir Conservation. Volume I: The RESCON approach. Economic and engineering evaluation of alternative strategies for managing sedimentation in storage reservoirs. The International Bank for Reconstruction and Development – The World Bank.
- Parzonka, W. (1974). Ocena zmienności właściwości fizycznych i reologicznych osadów ze zbiorników wodnych Sautet i Lubachów. Arch. Hydrotechniki, XXI, 4, 655–674.
- Sieński, E. (2011). Projekt: KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” Zadanie 8: Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych. Raport roczny syntetyczny. Warszawa.
- Sitarek, M. (2016). Nowoczesna metoda oczyszczania i odmulania zbiorników wodnych, <http://emformacja.pl/falaem/pdf/rekultywacja.pdf> [dostęp: 30.05.2016].
- Utah Division of Water Resources (2010). Managing sediment in Utah’s reservoirs. March 2010.
- White, W.R. (2001). Evacuation of Sediments from Reservoirs. Thomas Telford, London.
- Zawadzki, P. (2013). Metoda ochrony i odtwarzania pojemności zbiorników przepływowych. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 12(3), 141–149.
- Zawadzki, P., Błażejowski, R. (2017). Urządzenie do hydromechanicznego oczyszczania i usuwania osadów dennych ze zbiorników zaporowych. Patent P.412852, Biuletyn Urzędu Patentowego, Nr 1, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa

REVIEW OF RESERVOIRS' DESILTING METHODS

Abstract. The paper presents historical and contemporary methods of sediments removal from medium and large reservoirs on rivers. Desilting of reservoirs is still a problem, because every year in the global scale as a result of silting every year is lost 0.5–1% storage capacity of water reservoirs. Types of sediments deposited in reservoirs and a brief description of methods of sediment removal as well as a comparison of these methods according to the criteria of technical, economic, social and environmental were discussed on the basis of the literature.

Key words: silting and desilting, flushing, excavation, dredging, cost analysis

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 2.06.2017

Do cytowań – For citation: Zawadzki, P., Błażejowski, R., Pawlak, M. (2017). Przegląd metod odmulania zbiorników wodnych. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 16(2), 217–228.