

METODA PROGNOZOWANIA ZAMULENIA ZBIORNIKA WODNEGO NA PODSTAWIE POMIARU POJEMNOŚCI

Łukasz BĄK, Szczepan Ludwik DĄBKOWSKI, Jarosław GÓRSKI

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Katedra Geotechniki i Inżynierii Wodnej

Słowa kluczowe: mały zbiornik wodny, prognoza zamulenia, zamulenie

Streszczenie

Prognozowanie czasu zamulania małych zbiorników, gdy nie dysponujemy wynikami pomiarów dopływu rumowiska rzecznego, napotyka na liczne trudności. Prognozę można uściślić po pewnym okresie eksploatacji, dokonując pomiaru objętości osadów zgromadzonych w zbiorniku. Sposób postępowania został opisany w pracy na przykładzie zbiornika wodnego Suchedniów. W pracy przedstawiono również wyniki pomiarów zamulenia zbiornika wodnego w Suchedniowie po 32 latach eksploatacji. Objętość materiału zdeponowanego w zbiorniku oszacowano na 78 tys. m³.

Sporządzono prognozę zamulania na podstawie intensywności transportu rumowiska dopływającego do zbiornika, obliczonej metodami Brańskiego i Wilhelma oraz bezpośredniego pomiaru zamulenia obiektu. Najlepszą zgodność prognozy, opartej na pomiarze bezpośrednim, uzyskano z prognozą, w której intensywność transportu unosin określono metodą Brańskiego. Efektywny czas eksploatacji zbiornika określono na 175 lat.

WSTĘP

Jedną z form zwiększenia retencji wodnej jest budowa małych zbiorników zaporowych. Pełnią one rozmaite funkcje – od zapewnienia wody dla rolnictwa, poprzez poprawę stosunków wodnych przyległych obszarów i ochronę przed erozją do zwiększenia atrakcyjności turystycznej terenów przyległych. Powodują jednak również zatrzymywanie i osadzanie się w zbiorniku rumowiska unoszonego i wle-

czonego oraz substancji chemicznych transportowanych wraz z wodą. Lokalizowane są na ogół na rzekach II lub wyższych rzędów, na których nie prowadzi się ani pomiarów przepływu, ani pomiarów transportu rumowiska rzeczno-ego.

Ilość rumowiska dopływającego do zbiornika zależy od wielu czynników. Najważniejsze z nich to: topografia zlewni, reżim hydrologiczny rzeki, budowa geologiczna zlewni, zagospodarowanie i sposób użytkowania gleb oraz erozyjność opadów i spływów [BANASIK, GÓRSKI 1992; BANASIK i in. 1995a, b; 2001]. Zdolność zbiornika do trwałego zatrzymywania produktów erozji zależy od jego geometrii, zastosowanych urządzeń upustowych oraz warunków hydrodynamicznych przepływu, związanych z warunkami eksploatacji zbiornika. Charakter i budowa brzegów zbiornika decydują o intensywności procesów abrazji, a więc i o ilości powstających w ten sposób osadów. Proces ten może ulec nasileniu w przypadku intensywnej gospodarki turystycznej, prowadzonej na zbiorniku. Ilość rumowiska i zdolność do trwałej jego akumulacji wpływają istotnie na „żywność” zbiornika. Uważa się, że zbiornik zamulony w 80% jest praktycznie wyłączony z eksploatacji i nie może właściwie spełniać swoich funkcji. Małe zbiorniki wodne charakteryzuje szybsze tempo zamulania, przekraczające kilka, a niekiedy nawet kilkanaście procent ich pojemności rocznie [DĄBKOWSKI i in. 1982]. Po stosunkowo krótkim okresie eksploatacji, wynoszącym od 10 do 50 lat, niektóre zbiorniki muszą być odmulane. Rodzi to dodatkowe koszty oraz problemy związane z zagospodarowaniem dużej ilości osadów dennych, często skażonych różnymi substancjami szkodliwymi dla środowiska.

Prognozowanie procesu zamulania małego zbiornika jest trudne, gdyż zwykle nieznana jest ilość dopływającego rumowiska rzeczno-ego. Pomiaru transportu rumowiska zostały zaniechane przez IMGW ze względu na ich koszt. Równie rzadko są prowadzone przez administratorów zbiorników pomiary aktualnej ich pojemności.

Intensywność zamulania może być w znacznym stopniu ograniczona przez odpowiednią lokalizację i konstrukcję zbiornika. Wymaga to uprzedniego sporządzenia prognozy zamulania, a więc wiedzy o transporcie rumowiska rzeczno-ego. Gdy brakuje takiej wiedzy, korzysta się z metod pośrednich określenia ilości transportowanego materiału stałego przez ciek. Innym rozwiązaniem byłoby wykorzystanie do prognoz wyników pomiarów zamulania zbiorników przez zastosowanie metody analogii. Takie pomiary są jednak nieliczne, dlatego ważne jest gromadzenie ich wyników.

W pracy przedstawiono ocenę stanu zamulenia zbiornika Suchedniów na rzece Kamionka, określono jego pojemność po 32 latach eksploatacji oraz zaproponowano sposób opracowania prognozy zamulania zbiornika z wykorzystaniem wyniku pomiaru jego pojemności po znanym okresie użytkowania.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Zbiornik retencyjny Suchedniów w województwie świętokrzyskim powstał w wyniku przegrodzenia rzeki Kamionka (prawobrzeżny dopływ rzeki Kamienna) w kilometrze 7+754 zaporą ziemną długości 320 m. Całkowita powierzchnia zlewni rzeki liczy 107,26 km², a do przekroju zamkniętego zaporą – 83 km². Średni spadek całej rzeki jest równy 0,5%, a odcinka rzeki od źródeł do zbiornika – 0,59%. Duża nierównomierność przepływów oraz znaczny spadek koryta nadają tej rzece charakter rzeki górskiej. W takich rzekach erozja gleb w zlewni i transport rumowiska są wywoływane głównie intensywnymi deszczami. Ponad 45% powierzchni zlewni stanowią lasy, pozostałą część zajmują łąki (32%), grunty orne (18%) oraz tereny zabudowane (5%). Podstawowe parametry zlewni zbiornika Suchedniów zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry zlewni rzeki Kamionka do przekroju zamkniętego zaporą zbiornika Suchedniów

Table 1. Basic parameters of the Kamionka River basin to the cross-section closed by reservoir's dam

Rzeka River	A km ²	L km	I_{sr} %	H_{max} m n.p.m.	H_{min} m n.p.m.	H_{sr} m n.p.m.	C_k	C_w	SSQ m ³ ·s ⁻¹	W 10 ⁶ m ³
Kamionka	83,00	12,70	0,59	411,00	258,00	334,50	0,73	0,78	0,63	19,90

Objaśnienia: A – powierzchnia zlewni zbiornika Suchedniów, L – długość rzeki Kamionka od źródeł do profilu zamkniętego zaporą, I_{sr} – średni spadek rzeki na odcinku od źródeł do zapory, H_{max} – wzniesienie najwyższego punktu zlewni zbiornika, H_{min} – wzniesienie najniższego punktu zlewni zbiornika, H_{sr} – średnia wysokość zlewni zbiornika, C_k – wskaźnik kolistości zlewni, C_w – wskaźnik wydłużenia zlewni, SSQ – średni roczny przepływ w profilu zapory [BĄK i in. 2010], W – średnia roczna objętość dopływu wody do zbiornika.

Źródło: opracowanie własne na podstawie mapy topograficznej 1:10 000.

Explanations: A – surface area of the Suchedniów Reservoir catchment, L – length of the Kamionka River from springs to the dam profile, I_{sr} – mean gradient of the river from springs to the dam profile, H_{max} – the highest point in the catchment, H_{min} – the lowest point in the catchment, H_{sr} – mean altitude of the reservoir catchment area, C_k – roundness index of the catchment, C_w – elongation index, SSQ – mean annual water flow [BĄK et al. 2010], W – mean annual volume of water inflow into the reservoir.

Source: own studies acc. to topographic map 1:10 000.

Średnia roczna suma opadów w analizowanej zlewni wynosi 750 mm [STACHY 1987]. Zlewnia Kamionki leży w regionie klimatycznym Gór Świętokrzyskich, w którym średnie sumy miesięczne opadów osiągają największe wartości w miesiącach letnich: lipcu (105 mm), czerwcu (90 mm) i sierpniu (70 mm) oraz w maju (65 mm). Najmniejsze wartości średnich sum miesięcznych przypadają na październik (38 mm). Maksymalne sumy opadów dobowych zaobserwowane w latach 1951–1970 na stacjach meteorologicznych w Kielcach i Bodzentynie wyniosły odpowiednio 72,5 i 71,5 mm. Sumy dobowe opadów P_d o różnym prawdopodobieństwie przekroczenia ($p\%$) dla omawianego obszaru przedstawiono w tabeli 2.

Średni roczny przepływ SSQ w profilu piętrzenia (tab. 1) obliczono metodą analogii hydrologicznej. Jako analog przyjęto zlewnię rzeki Kamienna po przekroju Wąchock.

Tabela 2. Opady w basenie zbiornika Suchedniów o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia $p\%$ **Table 2.** Precipitations for the Suchedniów Reservoir basin of a given probability $p\%$

$p, \%$	Czas trwania deszczu, min Duration of the rainfall, min				Maksymalna suma dobową Maximum daily precipitation mm
	15	30	60	120	
1	27,5	40,0	37,5	45,0	120
10	20,0	22,5	27,5	40,0	75
50	10,0	15,0	17,5	22,5	40

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Budowę zbiornika realizowano w latach 1965–1974. W 1974 r. podczas wstępnej eksploatacji, w wyniku przepływu wielkich wód, zbiornik uległ awarii (uszkodzony został przelew ulgi). Odbudowę i modernizację zbiornika (wg projektu opracowanego przez Biuro Projektów Wodnych Melioracji w Kielcach z 1975 r.) ukończono w 1978 r. Zbiornik jest wyposażony w jaz o świetle $2 \times 2,50$ m, przelew stały w korpusie zapory czołowej o świetle 20 m (rzędna korony przelewu 258,00 m n.p.m.) oraz dwa upusty denne, umożliwiające całkowite opróżnienie zbiornika. Jeden jest zlokalizowany w prawym przyczółku jazu ($\varnothing 0,50$ m), a drugi – w pobliżu lewego przyczółka przelewu stałego ($\varnothing 1,25$ m). Powierzchnia zalewu w warunkach normalnego poziomu piętrzenia NPP = 258,00 m n.p.m. po odbudowie wynosiła 21,40 ha, a pojemność całkowita zbiornika – 304 tys. m³. Średnia głębokość zbiornika wynosiła 1,42 m, a maksymalna 4,00 m (w pobliżu jazu). Przekroje czaszy zbiornika, pomierzone po zakończeniu robót (tzw. powykonawcze), zachowały się i zostały wykorzystane w niniejszej pracy do określenia objętości osadów w zbiorniku.

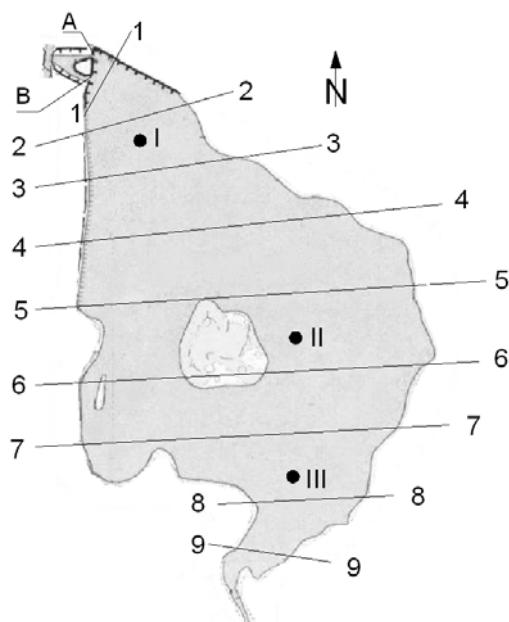
Z uwagi na niewielką pojemność oraz rekreacyjny charakter obiektu zbiornik w Suchedniowie nie ma większego wpływu na gospodarowanie wodą w zlewni rzeki Kamionka. Jedynie w sposób automatyczny następuje pewne obniżenie szczytów fal wezbrań, gdy poziom lustra wody w zbiorniku podnosi się powyżej NPP, czyli dzięki wykorzystaniu pojemności forsowanej zbiornika.

METODY BADAŃ

Stan zamulenia zbiornika został określony na podstawie bezpośrednich pomiarów głębokości, z użyciem sondy drążkowej. Sondowanie wykonano z łodzi w przekrojach poprzecznych oraz w punktach rozproszonych, z geodezyjnym dowiązaniem do lokalnej osnowy. Lokalizację przekrojów poprzecznych przedstawiono na rysunku 1. Uzyskane wyniki zostały naniesione na przekroje powykonawcze. Następnie w każdym z przekrojów określono pole powierzchni odkładów. Objętość odkładów określono jako iloczyn odległości między przekrojami i śred-

Rys. 1. Plan zbiornika z lokalizacją przekrojów poprzecznych i miejsc poboru prób materiału dennego (I, II, III); *A* – jaz, *B* – przelew ulgi; źródło: opracowanie własne na podstawie mapy topograficznej 1:10 000

Fig. 1. Map of reservoir and location of cross-sections and bottom material sampling sites (I, II, III); *A* – weir, *B* – overflow spillway; source: own studies acc. to topographic map 1:10 000



niej arytmetycznej pola powierzchni osadów w sąsiednich przekrojach. Objętość osadów wynosi 78 tys. m³.

W celu określenia gęstości objętościowej osadów zdeponowanych w czaszy zbiornika pobrano 3 próby osadów (tab. 3) w stanie quasi-nienaruszonym, używając do tego sondy „Eijkelkamp”. Miejsca poboru prób (I–III) pokazano na rysunku 1. Do dalszych obliczeń przyjęto średnią gęstość ze wszystkich oznaczeń równą $\rho_o = 1160 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabela 3. Gęstość objętościowa ρ_o osadów dennych zbiornika Suchedniów

Table 3. Bulk density ρ_o of bottom sediment in Suchedniów Reservoir

Numer próby Number of the sample	Objętość, cm ³ Volume, cm ³	Masa, g Mass, g	Gęstość objętościowa, kg·m ⁻³ Bulk density, kg·m ⁻³
1	317,9	359,2	1 130
2	476,9	549,6	1 150
3	397,4	477,5	1 200

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Gęstość osadów jest największa w górnej części zbiornika i maleje w kierunku zapory, co wiąże się z uziarnieniem osadów.

Największą utratę pojemności obserwuje się we wlotowej części czaszy zbiornika (przekroje 8–10), gdzie miąższość osadów dennych miejscami przekracza

0,90 m. Grubość warstwy namulów maleje w kierunku do zapory i w pobliżu przekroju 1. wynosi 0,05–0,20 m.

Ocena żywotności zbiornika. Spośród kilku formuł, opisujących zmianę objętości osadów gromadzonych w zbiorniku w czasie jego eksploatacji, najwygodniejsza jest formuła GONČAROVA [1962]:

$$V_{zt} = V_p \left[1 - \left(1 - \frac{R_1}{V_p} \right)^t \right] \quad (1)$$

gdzie:

- V_{zt} – objętość osadów w zbiorniku po t latach eksploatacji, m^3 ;
- V_p – pojemność początkowa zbiornika, m^3 ;
- R_1 – objętość odkładów po pierwszym roku eksploatacji, m^3 ;
- t – liczba lat eksploatacji.

Na jej podstawie opracowano prognozę zamulenia zbiornika. Z uwagi na najczęściej nieznaną objętość odkładów R_1 po pierwszym roku eksploatacji zbiornika wielkość tę określa się w sposób pośredni. W pracy uczyniono to za pomocą wzoru:

$$R_1 = \frac{\beta R_u + R_w}{\rho_o} \quad (2)$$

gdzie:

- β – zdolność zbiornika do zatrzymywania unosin, przedstawiająca stosunek masy unosin zatrzymanych w zbiorniku i dopływających do niego w analizowanym okresie;
- R_u, R_w – roczna masa rumowiska odpowiednio unoszonego i wlezonego, dopływająca do zbiornika, $Mg \cdot rok^{-1}$;
- ρ_o – gęstość osadów w zbiorniku, $Mg \cdot m^{-3}$.

Mając na uwadze fakt, że budowla upustowa jazu ma próg wznoszący się 1,60 m ponad dno zbiornika, można przyjąć, iż rumowisko wlezione dopływające do zbiornika jest w całości w nim deponowane.

W razie braku pomiarów rumowiska na dopływie i odpływie ze zbiornika parametr β można określić na podstawie nomogramów, opracowanych przez Łopatina, Brune'a i Drozda, którzy uzależnili jego wartość od współczynnika pojemności zbiornika α , wyrażonego jako stosunek pojemności zbiornika i średniej rocznej objętości dopływu wody [BRAŃSKI, DĄBKOWSKI 1976]. Zatem, aby określić wartość β , należy uprzednio znać średnią roczną masę rumowiska unoszonego, dopływającego do zbiornika. W pracy, dla zbiornika Suchedniów, określono ją metodami empirycznymi, gdyż nie dysponowano wynikami pomiarów. Masę dopływają-

cych do zbiornika produktów denudacji oceniono za pomocą metody BRAŃSKIEGO [1975]. Autor ten wykorzystał wyniki pomiarów intensywności transportu rumowiska unoszonego i na ich podstawie opracował mapę wskaźników denudacji dla całego obszaru Polski. Ostateczna jej forma znajduje się w „Atlasie hydrologicznym Polski” [STACHY 1987]. Dla zlewni Kamionki wskaźnik denudacji odpływowej przyjęto taki sam, jak dla rzeki Kamienna w profilu Wąchock $39,9 \text{ Mg}\cdot\text{km}^{-2}$.

Średnią roczną masę rumowiska wlezonego, doprowadzanego do zbiornika, obliczono dwoma sposobami. W pierwszym wykorzystano wzór Wilhelma, zastosowany też przez ŁAJCZAKA [1995], MICHALCA [2001] oraz BODULSKIEGO i GÓRSKIEGO [2006] do określenia ilości rumowiska dostarczanego do zbiorników przez rzeki górskie. Ma ona postać:

$$R_w = 523 SSQ I_{sr} \quad (3)$$

gdzie:

- R_w – średnia roczna masa rumowiska wlezonego dostarczonego do zbiornika, $\text{Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$;
- SSQ – średni roczny przepływ w rozpatrywanym przekroju rzeki, $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$;
- I_{sr} – średni spadek rzeki, %.

Sposób drugi to – przyjęcie za SKIBIŃSKIM [1976], że masa rumowiska wlezonego dla wielu rzek Polski stanowi ok. 0,3–0,35 masy rumowiska unoszonego.

WYNIKI I DISKUSJA

Średnia roczna masa rumowiska unoszonego, dopływającego do zbiornika, obliczona metodą Brańskiego, wynosi $3312 \text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$. Masa rumowiska wlezonego, dopływającego do zbiornika Suchedniów, określona wg równania (3), wynosi $1944 \text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$. Wartość ta stanowi 51% masy rumowiska unoszonego (wyznaczonej metodą Brańskiego), transportowanego przez rzekę Kamionka. Jest zatem większa od sugerowanej przez SKIBIŃSKIEGO [1976] dla rzek środkowej Polski, o znacznie mniejszych spadkach i dużo większych zlewniach niż zlewnia Kamionki. Różnica wartości określonej obiema metodami wynika też z faktu, że wzór Wilhelma (3) dotyczy rzek typowo górskich, o grubym rumowisku w dnie, podczas gdy Kamionka ma koryto wyścielone drobniejszym materiałem.

Stwierdzono na podstawie bezpośrednich badań terenowych, wykonanych w 2010 r., że zmniejszenie pojemności zbiornika Suchedniów po 32 latach eksploatacji wynosi 78 tys. m^3 , co stanowi 25,7% jego pojemności początkowej. Średnie roczne tempo zamulania zbiornika wyniosło 0,8%. Jest to wartość mieszcząca się w przedziale wartości podawanych przez Hartunga [DĄBKOWSKI i in. 1982]: 0,5% w przypadku zbiorników średnich i 3,0% w przypadku małych zbiorników,

a większa od podawanych dla dużych zbiorników południowej Polski przez CYBERSKIEGO [1970] i ŁAJCZAKA [1995]. Obliczone tempo zamulania zbiornika Suchedniów zawiera się w przedziale podanym przez MICHALCA [2004], TARNAWSKIEGO i MICHALCA [2006] oraz MICHALCA i TARNAWSKIEGO [2008]. Stwierdzili oni, że dla małych zbiorników wodnych południowej Polski, o pojemności $<0,5$ mln m^3 , średnie tempo zamulania zawiera się w szerokim przedziale – od 0,15% (zbiornik Cierpisz) do 3,0% (zbiornik Zesławice).

Dla średniego rocznego przepływu Kamionki w przekroju piętrzenia ($0,63 m^3 \cdot s^{-1}$) współczynnik pojemności zbiornika α jest równy 1,53%. Zdolność zbiornika o takiej charakterystyce do trwałego zatrzymywania rumowiska unoszonego wynosi według: Łopatina – 65%, Brune’a – 55% i Drozda – 50%. Do dalszych obliczeń, jako reprezentatywną, przyjęto wartość średnią $\beta \cong 57\%$.

Prognozę zamulenia według wzoru Gončarova (1) opracowano w trzech wariantach (a, b, c), różniących się sposobem określenia wielkości R_1 w tym wzorze. W wariancie „a” masę rumowiska unoszonego, dostarczanego ze zlewni do zbiornika, określono metodą Brańskiego, a wleczonemu przyjęto jako równą 0,30 masy unosin. W wariancie „b” masę unosin wyznaczono tak samo, jak w „a”, a masę rumowiska wleczonemu – wg równania Wilhelma (3). Zdolność zbiornika do zatrzymywania unosin β w obu tych metodach przyjęto jako równą 0,57, tak jak omówiono wyżej. Wariant „c” opracowano na podstawie bezpośredniego pomiaru zamulenia zbiornika w niżej opisany sposób. Z przekształconego wzoru (1), po uwzględnieniu znanych wartości V_p i V_{zt} , obliczono wartość R_1 równą $2805 m^3$, czyli 3254 Mg.

Wyniki trzech wariantów prognozy przedstawiono na rysunku 2. Zaznaczono na nim również wielkość zamulenia, stanowiącą 80% początkowej pojemności zbiornika, równą 243 tys. m^3 , po przekroczeniu której zbiornik staje się praktycznie wyłączony z eksploatacji.

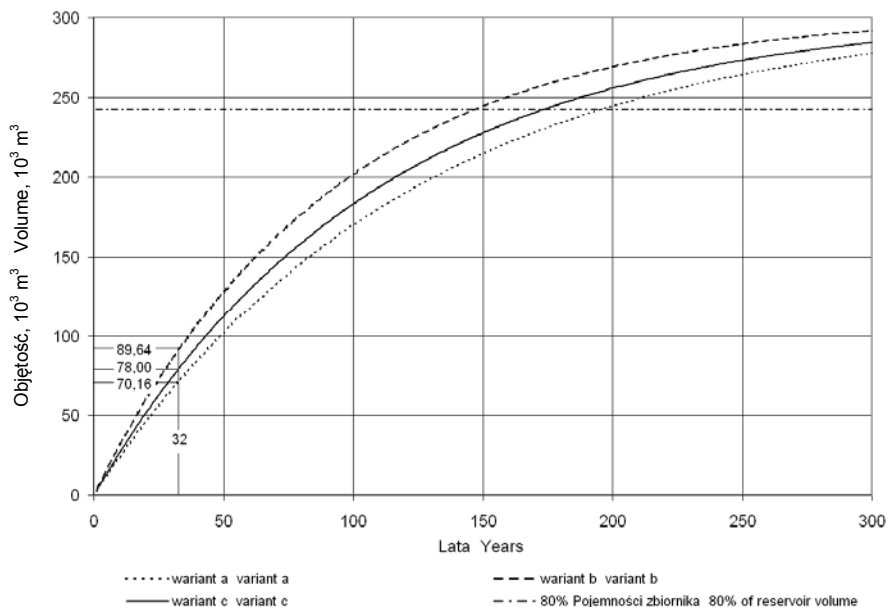
Mając wartość R_1 przeciętnej rocznej objętości osadów w zbiorniku po pierwszym roku eksploatacji, określoną z przekształconego wzoru (1), można przeanalizować wzór (2) po przekształceniu go do postaci:

$$\rho_o R_1 = \beta R_u + R_w \quad (2a)$$

Jeśli uwzględnić w nim wartość R_w według Skibińskiego (jak przyjęto w wariancie prognozy „a”), to ze wzoru (2a) dla danych analizowanego zbiornika uzyska się:

$$R_u(\beta + 0,30) = 1,16 \cdot 2805 \cong 3254 \text{ Mg}$$

Uznając za miarodajną wartość przeciętnej rocznej masy rumowiska unoszonego, określoną według wskaźników Brańskiego, uzyskuje się z powyższego wyrażenia $\beta = 0,68$. Jest ona, biorąc pod uwagę brak bezpośrednich pomiarów unosin,



Rys. 2. Prognoza zamulenia zbiornika Suchedniów; źródło: wyniki własne

Fig. 2. The prediction of siltation of Suchedniów Reservoir; source: own studies

zadowalająco bliska średniej z wartości β , uzyskanych dla tego zbiornika z nomogramów Łopatina, Brune'a i Drozda. Świadczy to i tym, że:

- nawet jednorazowy pomiar pojemności zbiornika po pewnym okresie jego eksploatacji umożliwia uściślenie prognozy przebiegu procesu zamulania;
- wartość β , jako kluczową charakterystykę zbiornika niezbędną do uproszczonego prognozowania zamulenia, wskazane jest określać, uśredniając wyniki jej obliczeń różnymi metodami, jeśli nie istnieją zależności opracowane dla danego regionu.

Gdyby we wzorze (2a) uwzględnić wartość R_w obliczoną wg wzoru Wilhelma (3), równą $1944 \text{ Mg} \cdot \text{rok}^{-1}$, to uzyska się $\beta = 0,35$. Wiele przesłanek wskazuje na to, że należy tę wartość uznać za mniej wiarygodną. Najważniejsze z nich wynikają z faktu, że:

- wzór Gončarova właściwie opisuje przebieg procesu zamulania zbiornika w czasie i jest zalecany w wielu wytycznych do prognozowania tego procesu;
- masa rocznego transportu unosin nie jest wprawdzie określona z pomiarów bezpośrednich, lecz metoda jej określenia opiera się na takich pomiarach;
- stosunek masy materiału wleczonego do masy unosin wyniósłby $1944 : 3776 = 0,51$, co znacznie przekracza szacunki spotykane w literaturze tego zagadnienia.

Według prognozy zamulenia w wariantcie „a”, zbiornik w Suchedniowie przestanie pełnić swoją funkcję po ok. 195 latach, w przypadku wariantu „b” po ok. 145 latach, a w przypadku wariantu „c” – po upływie ok. 175 lat.

WNIOSKI

Zamulenie zbiornika Suchedniów po 32 latach eksploatacji wyniosło 78 tys. m³, co odpowiada średniej rocznej utracie pojemności równej 0,8%.

Zdolność zbiornika Suchedniów do akumulowania rumowiska unoszonego, wyznaczona na podstawie nomogramów Łopatina, Brune'a i Drozda, jest zbliżona i zawiera się w przedziale 50–65%. Przyjęta na podstawie tych metod średnia zdolność zbiornika do zatrzymywania unosin $\beta \cong 0,57$ jest bliska zdolności, uzyskanej po przyjęciu założenia, że masa rumowiska wleczonego, dopływającego do zbiornika Suchedniów, jest równa ok. 0,3 masy rumowiska unoszonego, transportowanego przez rzekę Kamionka, obliczonego według „Atlasu hydrologicznego Polski”. Nawet jednorazowy pomiar pojemności zbiornika po pewnym okresie eksploatacji umożliwi uściślenie prognozy jego zamulenia.

Według prognozy zamulenia, wykonanej na podstawie pomierzonej objętości odkładów w zbiorniku Suchedniów, stwierdzono, że efektywny czas eksploatacji tego zbiornika wynosi ok. 175 lat.

W zlewniach podobnych do zlewni Kamionki, w przypadku braku danych hydrologicznych, prognozę zamulenia nowo projektowanych zbiorników można opracowywać w oparciu o intensywność transportu unosin, określoną na podstawie wskaźnika denudacji odpływowej Brańskiego, powiększoną o wielkość transportu materiału wleczonego, zalecaną przez Skibińskiego.

LITERATURA

- BANASIK K., GÓRSKI D. 1992. Wykorzystanie uniwersalnego równania strat glebowych USLE do oceny ilości rumowiska unoszonego odpływającego z małych zlewni. *Gospodarka Wodna*. Nr 3 s. 62–65.
- BANASIK K., GÓRSKI D., SKIBIŃSKI J. 1995a. Metodyka oceny intensywności erozji gleb w zlewni i akumulacji rumowiska w zbiornikach wodnych. W: *Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych w małych zlewniach rzecznych*. Pr. zbior. Red. A. Ciepiewski. Warszawa. Wydaw. SGGW s. 63–76.
- BANASIK K., GÓRSKI D., SKIBIŃSKI J. 1995b. Obliczanie akumulacji rumowiska w zbiorniku Staw Górny. W: *Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych w małych zlewniach rzecznych*. Pr. zbior. Red. A. Ciepiewski. Warszawa. Wydaw. SGGW s. 136–143.
- BANASIK K., GÓRSKI D., MITCHELL J.K. 2001. Rainfall erosivity for east and central Poland. W: *Soil erosion research for the 21st Century. Proceedings of the Internationale Symposium*. Honolulu, Hawaje. ASAE s. 279–282.
- BAK Ł., GÓRSKI J., SZELAĞ B. 2010. Operat wodnoprawny dla uzyskania pozwolenia wodnoprawnego na piętrzenie wody i utrzymanie zbiornika wodnego „Suchedniów” na rzece Kamionka w powiecie skarżyskim woj. świętokrzyskie. Kielce. Urząd Miasta i Gminy Suchedniów ss. 38.
- BODULSKI J., GÓRSKI J. 2006. Evolution and prediction of silting in reservoir Cedzyna on the Lubrzanka river. *Journal of Water and Land Development*. No. 10 s. 133–149.
- BRAŃSKI J., DĄBKOWSKI SZ.L. 1976. Uwagi o prognozowaniu zamulenia zbiorników wodnych na rzekach nizinnych. *Archiwum Hydrotechniki*. T. 23 z. 3 s. 375–392.

- BRAŃSKI J. 1975. Ocena denudacji dorzecza Wisły na podstawie wyników pomiarów rumowiska unoszonego. *Prace IMGW*. Nr 6 s. 6–58.
- CYBERSKI J. 1970. Badania akumulacji rumowiska w zbiornikach retencyjnych w Polsce. *Gospodarka Wodna*. Nr 2 s. 43–46.
- DĄBKOWSKI SZ. L., SKIBIŃSKI J., ŻBIKOWSKI A. 1982. Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych. Warszawa. PWRiL ss. 534.
- GONČAROV V. N., 1962. *Dynamika rusłowych potoków*. Leningrad. Gidrometeoizdat s. 323–326.
- ŁAJCZAK A. 1995. Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN*. Z. 8 ss.108.
- MICHALEC B. 2001. Ocena stopnia zamulenia małych zbiorników karpaccich na tle natężenia transportu rumowiska unoszonego i wlezonego. *Rozprawa doktorska*. Kraków. AR ss. 215.
- MICHALEC B. 2004. Próba prognozy zamulenia małego zbiornika wodnego na cieku niekontrolowanym hydrologicznie. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*. Vol. 3 no 1 s. 63–71.
- MICHALEC B., TARNAWSKI M. 2008. The influence of small water reservoir operation changes on capacity reduction. *Environmental Protection Engineering*. Vol. 34 no 3 s. 117–124.
- SKIBIŃSKI J. 1976. Próba ilościowej oceny intensywności transportu rumowiska wlezonego w rzekach środkowej Polski. *Zeszyty Naukowe SGGW-AR. Rozprawy Naukowe*. Nr 74 ss. 111.
- STACHÝ J. (red.) 1987. *Atlas hydrologiczny Polski*. Warszawa. Wydaw. Geol. ss. 79.
- TARNAWSKI M., MICHALEC B. 2006. Charakterystyka ilościowa i jakościowa osadów dennych zbiornika wodnego w Wilczej Woli. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 3 (1) s. 31–43.

Lukasz BĄK, Szczepan Ludwik DĄBKOWSKI, Jarosław GÓRSKI

METHOD OF PREDICTING SILTATION OF A WATER RESERVOIR BASED ON MEASUREMENTS OF ITS CAPACITY

Key words: silting, silting forecast, small water reservoir

S u m m a r y

Predicting siltation time of a small water reservoir without measurements of the input of riverine settling matter faces some difficulties. The forecast can be made more precise by measuring the accumulated sediment in the reservoir after a certain period of its exploitation. The procedure was described in this paper using Suchedniów Reservoir as an example.

The results of measurements of siltation in Suchedniów Reservoir after 32 years of its operation were described in this paper. The volume of material deposited in the reservoir was estimated at 78 thousand m³. Obtained results were compared with predicted volumes calculated with different models. The best agreement was obtained when the intensity of suspended load transport was determined with the Brański's method. The effective life of the reservoir was set at 175 years.

Praca wpłynęła do Redakcji 02.06.2011 r.