

*Bogusław Michalec*

## **OKREŚLENIE ŻYWOTNOŚCI MAŁYCH ZBIORNIKÓW WODNYCH**

---

### ***THE APPRAISAL OF LIFE OF SMALL RESERVOIRS***

#### *Streszczenie*

Pomimo różnych kategorii zdefiniowania żywotności zbiorników wodnych, najczęściej pojęcie żywotność zbiornika dotyczy okresu eksploatacji do stanu zamulenia uniemożliwiającego realizację jego zadań. W pracy przedstawiono zmianę wartości stopnia zamulenia i zdolności do zatrzymywania rumowiska wytypowanych zbiorników wodnych i oszacowano czas, po upływie którego małe zbiorniki wodne zostaną zamulone w 50%. Jest to okres, który przez Pitta i Thomsona [1984] został określony jako HLT (ang. half-life time). Do badań wytypowano zbiorniki: Krempna na rzece Wisłocze, Zesławice na rzece Dłubni i Cierpisz na rzece Tuszynka.

Opracowana prognoza zamiany stopnia zamulenia za pomocą metody Gončarova [Wiśniewski, Kutrowski 1973] umożliwiła określenie czas zamulania małych zbiorników wodnych. Stwierdzono, że żywotność badanych zbiorników zgodnie z kryterium HLT jest stosunkowo krótka i wynosi od 17 do 40 lat. Zróżnicowanie wartości HLT wynika z warunków hydraulicznych dopływu i przepływu przez zbiornik wody i rumowiska, które można w sposób bardzo ogólny scharakteryzować za pomocą zdolności zbiornika do zatrzymywania rumowiska ( $\beta$ ). Wykazano, że dłuższą żywotnością charakteryzuje się zbiornik, którego wartość  $\beta$  ulega niewielkiej redukcji.

**Słowa kluczowe:** mały zbiornik wodny, stopień zamulenia, żywotność zbiornika, zdolność zbiornika do zatrzymywania rumowiska

#### *Summary*

*Despite the various categories of defining the life of water reservoirs, the notion life of reservoir most often relates the period of the operation to such silting degree that makes impossible the realization of the tasks of the reservoir. In this*

work it was show the change of the value of the silting degree and sediment trap efficiency of chosen reservoirs and was estimates the time after which small water reservoirs will be silted in 50%. This is the period, which by Pitt and Thomson [1984] is defined as HLT, i.e. half-life time. The following reservoirs were chosen to studies: Krempna on the Wisłoka river, Zesławice on the Dłubnia river and Cierpisz on the Tuszymka river.

The elaborated silting forecast of the change of the silting degree, make by the Gončarov's method [Wiśniewski, Kutrowski 1973], made possible the qualification the HLT silting time of small water reservoirs. It was stated that the life of studied reservoirs carried out from 17 to 40 years. The differentiation of the HLT value results from the hydraulic conditions of the inflow and flow through the reservoir of the water and sediment which one can characterize in the very general method using the sediment trap efficiency ( $\beta$ ). It was stated, that reservoir with the small reduction on  $\beta$  value is characterized by the longer life.

**Key words:** small reservoir, silting degree, reservoir life, sediment trap efficiency

## WSTĘP

Żywotność, czy też długowieczność zbiorników wodnych, jak określają Wiśniewski i Kutrowski [1973] w wytycznych dotyczących prognozowania przebiegu procesów odkładania się rumowiska rzecznoego w zbiornikach wodnych, jest odwrotnie proporcjonalna do intensywności zamulania. Wiśniewski i Kutrowski [1973], powołując się na kryterium Hartunga [1959] definiują tzw. praktyczną długowieczność zbiornika, określaną jako czas, po upływie którego 80% pojemności pierwotnej zbiornika zostanie zamulona. Pojęcie żywotność lub długowieczność zbiorników wodnych można odnaleźć z wielu publikacjach naukowych m. in. w pracach Wiśniewskiego [1969], Gładki i in [1979], Łajczaka [1995], Bąka [2011]. W polskich pracach naukowych żywotność zbiorników wodnych oznacza przeważnie czas eksploatacji obiektu do stanu osiągnięcia 80% redukcji pojemności pierwotnej. Jednakże pojęcie żywotność zbiorników wodnych ma szersze znaczenie i może być definiowane w różnych kategoriach [Batuca i Jordaan 2000], jako tzw. żywotność użytkowa (ang. *useful life*), ekonomiczna (ang. *economic life*), stanu używalności (ang. *usable life*), projektowa (ang. *design life*) i żywotność pełna (ang. *full life*). Żywotność użytkowa określa okres eksploatacji, podczas którego zbiornik spełnia wszystkie funkcje przewidziane w projekcie. Żywotność ekonomiczna dotyczy okresu eksploatacji, podczas którego koszty utrzymania zbiornika nie przekraczają korzyści ekonomicznych uzyskanych w wyniku eksploatacji zbiornika. Natomiast żywotność stanu używalności to okres eksploatacji, podczas którego zbiornik spełnia niektóre funkcje przewidziane w projekcie, po upływie żywotności ekonomicznej, a żywotność pełna to okres eksploatacji, po upływie którego jego pojemność zostanie całkowicie zredukowana w wyniku sedymentacji materiału mineralnego.

Można ogólnie stwierdzić, że niezależnie od zdefiniowanej w różnych kategoriach żywotności zbiornika wodnego, określa ona okres eksploatacji, którego czas trwania zależy w głównej mierze od intensywności procesu zamulania. Tu można wyróżnić definicje: żywotność użytkowa i żywotność pełna. Pierwsza rozumiana jest jako okres, po upływie którego zamulenie osiągnie taki stopień, który uniemożliwi pełnienie wszystkich funkcji przewidzianych w projekcie. Najczęściej przyjmuje się kryterium Hartunga [1959]. Jednakże, jak podkreślają współcześni badacze, niespełnianie swych funkcji przez zbiorniki zaporowe osiągnięte jest przy znacznie niższym stopniu zamulenia. Łajczak stwierdził, że graniczna wielkość zamulenia jest indywidualna dla każdego zbiornika i nie jest zawsze równa 80%, jak zostało podane przez Hartunga [1959]. Według Morrisa [1995] po przekroczeniu redukcji pojemności zbiornika wodnego, wynoszącej 50%, występują problemy eksploatacyjne, spowodowane odkładami rumowiska. Czas po upływie którego nastąpi 50% redukcja pojemności został określony przez Pitta i Thomsona [1984], jako kryterium HLT (ang. *half-life time*). Problemy eksploatacyjne potwierdzają wyniki badań procesu zamulania średnich i dużych zbiorników zaporowych znajdujących się w Polsce. Jednakże jak podaje Łajczak [1995], z praktycznego punktu widzenia ustalona żywotność użytkowa (ULT - *useful life time*) nawet najszybciej zamulanych zbiorników jest wystarczająco długa dla gospodarki wodnej kraju, a zbiorników praktycznie wolno zamulanych przedstawia już praktycznie nieograniczony czas ich eksploatacji. Stwierdzenie to dotyczy oczywiście średnich i dużych zbiorników wodnych. Konieczność zwrócenia zainteresowania naukowego na proces zamulania małych zbiorników wodnych jest coraz bardziej istotny, ze względu na realizowany program małej retencji, w ramach którego, między innymi, poprawa warunków zarządzania zasobami wodnymi w małych zlewniach realizowana będzie poprzez budowę małych zbiorników. Jak wynika z dotychczasowych badań zbiorniki te ulegają szybkiemu zamulaniu, a określenie warunków ich pełnej eksploatacji wiąże się głównie z określeniem ich żywotności. Można ją określić za pomocą prognozy zamulania, przyjmując wartość graniczną w postaci stopnia zamulenia zbiornika. Jak już wcześniej przedstawiono przyjęcie kryterium Hartunga [1959], nawet w przypadku średnich i dużych zbiorników wodnych nie jest trafne, a najbardziej miarodajnym jest kryterium HLT, według którego żywotność zbiornika ogranicza zamulenie wynoszące 50% pojemności pierwotnej zbiornika wodnego. Określenie HLT nie powinno być rozumiane w dosłownym tłumaczeniu z języka angielskiego, gdyż nie oznacza połowy okresu całkowitego zamulenia zbiornika wodnego, gdyż w początkowym okresie intensywność zamulania zbiornika jest większa niż w latach, gdy jego pojemność coraz bardziej zostaje zredukowana. Określenie HLT dotyczy czasu, po upływie którego stopień zamulenia wynosi 50%.

Celem pracy jest określenie żywotności małych zbiorników wodnych uwzględniając kryterium HLT. Zgodnie z kryterium klasyfikacji zbiorników

wodnych, zamieszczonym w dokumencie pt. „Porozumienie...” [1995], wytypowano trzy małe zbiorniki wodne, których całkowita pojemność nie przekracza 5 mln m<sup>3</sup>. Zbiorniki te ze względu na ograniczenie funkcji eksploatacyjnych założonych w projektach, zostały odmulone.

### **CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ**

Do analizy wytypowano trzy małe zbiorniki wodne, które w czasie swojej eksploatacji były już odmulane ze względu na znaczną redukcję pojemności, spowodowaną zamuleniem. Są to zbiorniki: Krempna na rzece Wisłocze, Ześlawice na rzece Dłubni i Cierpisz na rzece Tuszymka. Szczegółową charakterystykę tych zbiorników i ich zlewni przedstawiono w pracy Michalca [2008].

Zbiornik wodny Krempna został wykonany w latach 1970-1972 w km 145+023 rzeki Wisłoki. W 1987 roku zbiornik został odmulony i przebudowany, w efekcie czego została zmniejszona jego pojemność z 119,1 tys. m<sup>3</sup> do 112 tys. m<sup>3</sup>, przy nie zmienionej powierzchni zalewu, wynoszącej 3,72 ha. W 2005 roku zbiornik ten został ponownie odmulony.

Zbiornik wodny Ześlawicach na rzece Dłubni został oddany do eksploatacji w 1966 roku. Ze względu na znaczne zamulenie, wynoszące ponad 50%, w 1983 roku, podjęto decyzję o jego odmuleniu. Na czas odmulenia zbiornika wybudowano zbiornik boczny, nazywany remontowym, który spełniał funkcje zbiornika głównego. Zbiornik główny po odmuleniu został ponownie użytkowany od 1989 roku. Pojemność pierwotna zbiornika głównego wynosi 228 tys. m<sup>3</sup>, a powierzchnia zalewu jest równa 9,5 ha.

Zbiornik wodny Cierpisz oddany do eksploatacji w 1956 roku, znajduje się w km 23+700 biegu rzeki Tuszymki. Jego pojemność początkowa wynosi 34,5 tys. m<sup>3</sup> przy powierzchni zalewu wynoszącej 2,3 ha. Zbiornik ten został odmulony w latach 1990-1991.

### **METODYKA BADAŃ**

Stopień zamulenia badanych zbiorników wodnych określono na podstawie pomierzonej objętości osadów rumowiska i pojemności pierwotnej zbiornika, jako iloraz tych parametrów. Objętość osadów rumowiska została obliczona na podstawie wykreślonych przekroi poprzecznych zbiorników, na których naniżone zostały pomierzone rzędne dna zbiorników. Pomiar wykonano z pontonu mierząc głębokość w danym punkcie pomiarowym zlokalizowanym w wyznaczonym wcześniej przekroju poprzecznym, zgodnie z projektem zbiornika.

Stopień zamulenia został określony na podstawie wyników pomiarów zamulenia, a stopień zamulenia w ostatnim roku, w którym wykonano pomiar, umożliwił określenie stopnia zamulenia w pierwszym roku eksploatacji ( $S_{z1}$ ). Wartość ta została obliczona z przekształconego równania Gončarova [Wiśniewski, Kutrowski 1973], którego składowe zostały zmodyfikowane tak, aby za pomocą tego równania nie obliczać objętości odkładów rumowiska ( $Z_t$  [ $m^3$ ]) po upływie „t” lat, lecz stopień zamulenia ( $S_z$  [%]). Zmodyfikowane równanie Gončarova ma postać:

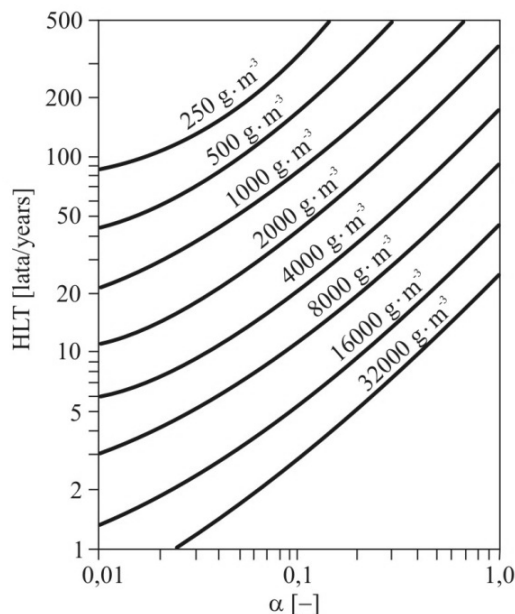
$$S_z = 100 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{S_{z1}}{100} \right)^t \right] \quad (1)$$

gdzie:

- 100 – stopień zamulenia w procentach (w oryginalnym równaniu wprowadzony za  $V_p$  - pojemność pierwotna (początkowa) zbiornika wodnego [ $m^3$ ]),
- $S_{z1}$  – stopień zamulenia po pierwszym roku eksploatacji, wyrażony w procentach (w oryginalnym równaniu wprowadzony za  $R_1$  – objętość odkładów po pierwszym roku eksploatacji [ $m^3$ ]),
- t – lata eksploatacji.

Krzywe prognozowanej zmiany stopnia zamulenia, opracowane według równania (1) umożliwiły określenie żywotności badanych małych zbiorników wodnych, będącej liczbą lat eksploatacji do stanu zamulenia, wynoszącego 50% pojemności (HLT). Na tle krzywych prognozowanej zmiany stopnia zamulenia zamieszczono również krzywe redukcji zdolności zbiornika do zatrzymywania rumowiska ( $\beta$ ). Zdolność ta została obliczona jako iloraz objętości rumowiska zatrzymanego w danym okresie do objętości rumowiska, jaka w tym okresie dopłynęła do zbiornika. W obliczeniach zdolności badanych zbiorników wodnych do zatrzymywania rumowiska posłużono się danymi, dotyczącymi natężenia dopływu materiału mineralnego do zbiorników, zamieszczonymi w pracy Michalca [2008].

Określono również HLT według metody zaproponowanej przez Pitta i Thomsona [1984]. Wyznaczenie HLT wymaga określenia współczynnika pojemności zbiornika i dysponowania średnią roczną koncentracją rumowiska dopływającego do zbiornika (rys. 1). Współczynnik pojemności ( $\alpha$ ) zbiornika to stosunek pojemności zbiornika wodnego ( $V_{zb}$ ) do sumy średniego rocznego dopływu wody ( $\Sigma SQ$ ).



**Rysunek 1.** Żywotność zbiornika wodnego określana w latach, po upływie których zamulenie wynosi 50% (HLT), według Pitta i Thomsona [1984]

**Figure 1.** Reservoir half-life defined as a time taken to fill 50% of reservoir storage with sediment (according to Pitt and Thomson [1984])

### WYNIKI OBLICZEŃ

Zbiornik w Krempnej został odmulony, przebudowany i oddany do użytkowania w 1987 roku. Ze względu na wykonanie jedynie jednego pomiaru zamulania tego zbiornika w latach 1972-1986 do analizy przyjęto okres eksploatacji od 1987-2005 (tab. 1). Stopień zamulenia zbiornika Krempna po 18 latach eksploatacji wynosił niespełna 41%. Ze względu na znaczne wypływanie, uniemożliwiające spełnianie funkcji rekreacyjnych zbiornik ten został w 2006 roku po raz drugi odmulony.

Zbiornik w Zesławicach (zbiornik główny) został pierwszy raz odmulony po 23 latach eksploatacji – stopień zamulenia wynosił 61,5% (tab. 1). Ze względu na postępującą redukcję pojemności planowane jest kolejne odmulenie – po 21 latach eksploatacji stopień zamulenia wynosi niespełna 43%.

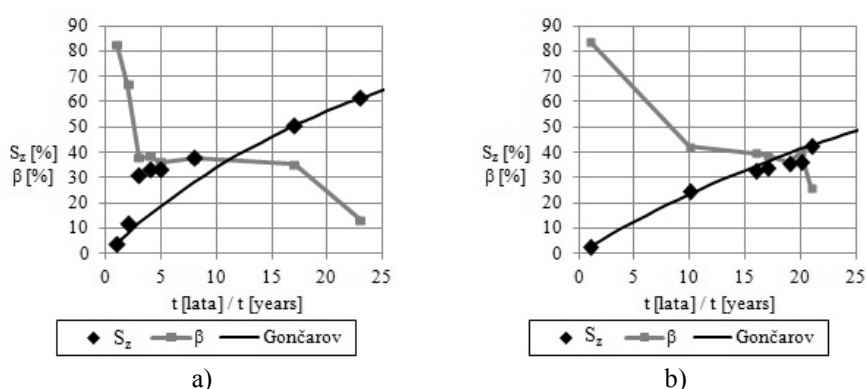
Również zbiornik Cierpisz był odmulany po 34 latach od początku swojej pracy. Prace odmuleniowe wykonano ze względu na zamulenie wynoszące ponad 43% (tab. 1). Po 21 latach od oddania zbiornika do użytkowania, po odmuleniu w 1990 roku, stopień zamulenia wynosi ponad 27%.

**Tabela 1.** Stopień zamulenia w kolejnych latach eksploatacji oraz objętość rumowiska zatrzymanego i dopływającego do badanych zbiorników wodnych**Table 1.** Silting ratio and volume sediment of deposited and delivered to the studied reservoirs

Zbiornik Reservoir	Rok Year	Lata eksploatacji Years of operation	Objętość odkładów rumowiska Volume of deposited sediment $V_Z [m^3]$	Stopień zamulenia Silting ratio $S_Z [%]$	Suma objętości rumowiska dostarczonego Sum of delivered sediment volume $V_R [m^3]$
Krempna	1988	1	3225*	2,9	3991
	1996	9	27041	24,1	46462
	1997	10	30464	27,2	50858
	1998	11	34637	30,9	53124
	1999	12	38002	33,9	61294
	2000	13	40144	35,8	66907
	2002	15	44200	39,5	79496
	2003	16	44901	40,1	84084
	2005	18	45810	40,9	91804
Zesławice	1967	1	9245*	4,1	11220
	1968	2	26968	11,8	40432
	1969	3	70425	30,9	186804
	1970	4	75780	33,2	196831
	1971	5	76251	33,4	210638
	1974	8	86192	37,8	229845
	1983	17	116091	50,9	329804
	1989	23	140020	61,5	1060606
	1990	1	5984*	2,6	7132
	1999	10	56162	24,6	133207
	2005	16	75315	33,0	190296
	2006	17	77232	33,9	199811
	2008	19	81409	35,7	227008
2009	20	82570	36,2	205391	
2010	21	97570	42,8	375265	
Cierpisz	1957	1	591*	1,7	597
	1990	34	15000	43,5	19226
	1992	1	591*	1,7	597
	2001	11	6100	17,7	6220
	2003	13	6745	19,6	7351
	2011	21	9472	27,5	13687,8

Stopień zamulenia badanych zbiorników wodnych w kolejnych latach eksploatacji (tab.1), obliczony na podstawie objętości osadów rumowiska, określonej w trakcie pomiarów terenowych, zamieszczono na rysunkach 2 i 3, przedstawiających zmianę stopnia zamulenia w czasie, obliczoną według równania (1). Wykresy te zawierają również krzywe przedstawiające zmianę w czasie zdolności zbiorników do zatrzymywania rumowiska (linie koloru szarego).

Zdolność ta została obliczona jako iloraz objętości osadów rumowiska ( $V_Z$ ) i sumy objętości rumowiska dostarczonego ( $V_R$ ) do zbiorników (tab. 1). Objętość osadów rumowiska po pierwszym roku eksploatacji, oznaczona symbolem „\*” w tabeli 1, została obliczona z przekształconego równania Gončarova [Wiśniewski, Kutrowski 1973], przyjmując wartość  $Z_t$ , określoną z ostatniego pomiaru zamulania danego zbiornika. Objętość osadów rumowiska po pierwszym roku eksploatacji była niezbędna do obliczeń prognozujących proces zamulania do osiągnięcia stopnia zamulenia wynoszącego 50%.



**Rysunek 2.** Zmiana stopnia zamulenia ( $S_z$ ) i zdolności do zatrzymywania rumowiska ( $\beta$ ) zbiornika Zesławice: a) - przed odmuleniem, b) – po odmuleniu, wraz z prognozą zmiany stopnia zamulenia opracowaną według metody Gončarova

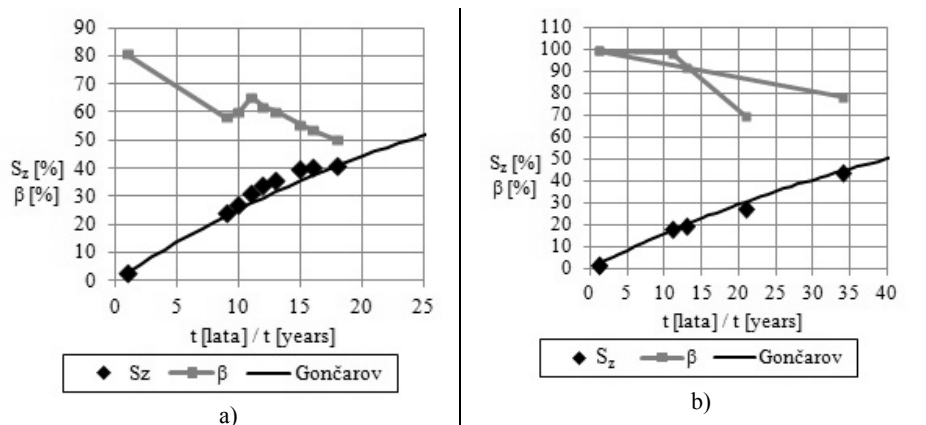
**Figure 2.** The change of silting ratio ( $S_z$ ) and sediment trap efficiency ( $\beta$ ) of Zesławice reservoir: a) – before desilting, b) – after desilting, with forecast of silting ratio change calculated according to Gončarov’s method

Na rysunku 2a) przedstawiono prognozowany przebieg krzywej zamulenia zbiornika Zesławice dla okresu przed jego odmuleniem. Zamulenie wynoszące 50% pojemności zbiornika zostało osiągnięte w 17 roku eksploatacji. Ostatni pomiar zamulania tego zbiornika po odmuleniu został wykonany w 2010 roku (21 rok eksploatacji) – wtedy stopień zamulenia wynosił 50,9% (tab. 1). Według opracowanej prognozy zamulania po 26 latach eksploatacji po odmuleniu (rys. 2b), tj. w 2015 roku, stopień zamulenia ( $S_z$ ) będzie wynosić 50%. Wydłużona żywotność tego zbiornika po odmuleniu jest skutkiem zmniejszenia intensywności zamulania w wyniku skierowania części przepływu wody do zbiornika remontowego. Węzeł wodny, znajdujący się na wlocie do obu zbiorników powoduje rozdzielenie nie tylko natężenia przepływu wody, lecz również rumowiska rzeczno-



Stopień zamulenia zbiornika Krempna, wynoszący 50%, co odpowiada kryterium HLT, został by osiągnięty po 24 latach eksploatacji (rys. 3a), tj. w 2011 roku, co nie nastąpiło, gdyż zbiornik w 2005 roku został odmulony.

Znacznie większą żywotnością charakteryzuje się zbiornik Cierpisz. Po 34 latach eksploatacji (1990 rok) stopień zamulenia wynosił 43,5 % (tab. 1). W trakcie odmulania tego zbiornika nie zmieniono jego pojemności i warunków przepływu wody, jak to miało miejsce w przypadku zbiornika Ześlawice i dlatego możliwe było przedstawienie obliczonych stopni zamulenia na jednym wykresie (rys. 3b). Proces zamulania zbiornika Cierpisz przebiega najwolniej spośród analizowanych zbiorników. Wartość graniczna HLT, według opracowanej krzywej prognozy zmiany stopnia zamulenia, zostanie osiągnięta po 40 latach eksploatacji, czyli w 2030 roku.



**Rysunek 3.** Zmiana stopnia zamulenia ( $S_z$ ) i zdolności do zatrzymywania rumowiska ( $\beta$ ) zbiorników: a) - Krempna, b) - Cierpisz, wraz z prognozą zmiany stopnia zamulenia opracowaną według metody Gončarova

**Figure 3.** The change of silting ratio ( $S_z$ ) and sediment trap efficiency ( $\beta$ ) of reservoirs: a) - Krempna, b) - Cierpisz, with forecast of silting ratio change calculated according to Gončarov's method

Zastosowanie nomogramu Pitta i Thomsona [1984] wymaga ustalenia wartości współczynnika pojemności zbiornika i średniej rocznej koncentracji rumowiska unoszonego, dopływającego do zbiornika wodnego (rys. 1). W pracy Michalca [2008] zamieszczono szereg parametrów badanych dwunastu małych zbiorników wodnych, między innymi wcześniej wymienione. Współczynnik pojemności ( $\alpha$ ) wynosi odpowiednio: 0,0035 - zbiornik Krempna, 0,0065 i 0,1018 - zbiornik Ześlawice, odpowiednio przed i po odmuleniu, oraz 0,00278 - zbiornik Cierpisz. Wszystkie wymienione wartości współczynnika  $\alpha$ , z wyjątkiem zbiornika Ześlawice po odmuleniu, są mniejsze od dolnej granicy zakresu

wartości  $\alpha$ , zamieszczonych na nomogramie Pitta i Thomsona (rys. 1), co umożliwia odczytanie wartości HLT. Wartość HLT, odczytana dla zbiornika Ześlawice po odmuleniu (uwzględniając średnią roczną koncentrację rumowiska unoszonego dopływającego do zbiornika, wynoszącą  $916 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  [Michalec 2008]), wynosi ok. 22 lata i jest bliska wartości określonej z krzywej prognozującej zmianę stopnia zamulania (rys. 2b), równej 26 lat.

## WNIOSKI

Badane małe zbiorniki wodne, ze względu na ograniczenie ich funkcji eksploatacyjnych, spowodowane redukcją pojemności, są odmulane gdy ich zamulenie wynosi od 40 do 60%. Z tego względu żywotność tych zbiorników powinna być określana dla zamulenia wynoszącego 50% pojemności pierwotnej zbiornika, zgodnie z kryterium Morrisa [1995]. Czas zamulenia małych zbiorników wodnych, określane jako HLT, jest stosunkowo krótki i jak wykazano na przykładzie trzech badanych zbiorników, wynosi od 17 do 40 lat. Tak znaczne zróżnicowanie wartości HLT wynika z warunków hydraulicznych dopływu i przepływu przez zbiornik wody i rumowiska. Warunki te można w sposób bardzo ogólny scharakteryzować za pomocą zdolności zbiornika do zatrzymywania rumowiska. Żywotność zbiornika Ześlawice przed odmuleniem, zgodnie z kryterium HLT, wynosi zaledwie 17 lat, a jak wynika z wykresu zamieszczonego na rysunku 2a) redukcja zdolności tego zbiornika do zatrzymywania rumowiska jest największa spośród analizowanych zbiorników – po 23 latach eksploatacji wartość  $\beta$  została zredukowana o ponad 69% i wynosi zaledwie 13,2%. Najdłuższą żywotnością, wynoszącą 40%, charakteryzuje się zbiornik Cierpisz, którego zdolność do zatrzymywania rumowiska w ciągu 21 lat eksploatacji została zredukowana o niespełna 30% i wynosi zaledwie 69,2%.

Proces zamulania małych zbiorników wodnych nie jest dobrze rozpoznany. W polskiej literaturze można odnaleźć stwierdzenia, że okres ULT, tj. okres pełnej żywotności określanej w przybliżeniu według kryterium Hartunga [1959], jako czas po upływie którego zbiornik zostaje zamulony w 80%, w przypadku płytkich zbiorników wynosi 5-20 lat [Łajczak 1995]. Średnia głębokość badanych zbiorników wodnych wynosi 1,5-3,5 m, a określona żywotność HLT jest znacznie dłuższa od podanej przez Łajczaka [1995] żywotności ULT.

Konieczność kontynuacji badań potwierdza brak możliwości zastosowania nomogramu Pitta i Thomsona [1984] w przypadku małych zbiorników wodnych, których współczynnik pojemności ( $\alpha$ ) jest niejednokrotnie mniejszy od 1%.

## BIBLIOGRAFIA

- Batua G. D., Jordaan M. J. Jr. 2000. *Silting and desilting of reservoirs*. A.A.Balkema. Rotterdam, Netherlands, 353.
- Bąk L., Dąbkowski Sz. L., Górski J. 2011. *Metoda prognozowania zamulenia zbiornika wodnego na podstawie pomiaru pojemności*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t.11, z. 4(36). 19-29.
- Gładki H., Bednarczyk T., Myczka J. *Prognoza zamulenia zbiornika wodnego w Rzeszowie na rzece Wisłok*. ODGW Kraków, 1979.
- Hartung F. 1959. *Ursache und Verhuetung der Staumraumverlandung bei Talsperren*. Wasserwirtschaft, 1, 3-13.
- Łajczak A. 1995. *Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Zeszyt 8, Oficyna Wydawnicza PWN, Warszawa, 108.
- Michalec B., 2008. *Ocena intensywności procesu zamulania małych zbiorników wodnych w dorzeczu Górnej Wisły*. Zesz. Nauk. UR Krak. 451, Rozprawy 328.
- Morris, G. L. (1995) *Reservoir sedimentation and sustainable development in India*. In: Proc. Sixth Int. Symp. on River Sedimentation (New Delhi, India), 57-61.
- Pitt J. D., Thompson G. 1984. *The impact of sedimentation on reservoir life*. IAHS Publication No 144 (Proc IAHS Symposium, Harare).
- Porozumienie z dnia 21.12.1995 roku zawarte między Wicepremierem Rady Ministrów, Ministrem Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej a Ministrem Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, dotyczące współpracy w zakresie programu małej retencji*, (<http://www.mos.gov.pl/dzw/dokumenty/porozumienie.shtml>)
- Wiśniewski B. 1969. *Zamulanie zbiorników wodnych w Polsce oraz próba jego prognozy na podstawie intensywności denudacji*. Archiwum Hydrotechniki, z. 4, 481-504.
- Wiśniewski B., Kutrowski M. 1973. *Budownictwo specjalne w zakresie gospodarki wodnej. Zbiorniki wodne. Prognozowanie zamulania*. Wytuczne instruktażowe. Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego „Hydroprojekt”, Warszawa, 55.

Dr hab. inż. Bogusław Michalec, prof. UR  
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki  
Uniwersytet Rolniczy  
al. A. Mickiewicza 24/28  
30-059 Kraków  
rmmichbo@cyf-kr.edu.pl

