

*Bogusław Michalec, Karol Pęczek*

**ZASTOSOWANIE METODY CHURCHILLA  
W OKREŚLENIU ZDOLNOŚCI ZBIORNIKA WODNEGO  
W KREMPNEJ DO ZATRZYMYWANIA RUMOWISKA**

***APPLICATION OF CHURCHILL METHOD IN  
THE QUALIFICATION OF SEDIMENT TRAP EFFICENCY  
OF WATER RESERVOIR AT KREMPNA***

**Streszczenie**

W światowej literaturze fachowej odnaleźć można wiele wzorów i nomogramów służących określeniu zdolności zbiorników do zatrzymywania rumowiska. Zdolność zbiorników wodnych do zatrzymania rumowiska, przedstawiona w postaci nomogramów lub wzorów, określana jest w funkcji wskaźników, którymi najczęściej są: współczynnik pojemności zbiornika (ang. *capacity-inflow ratio* – C/I) i współczynnika zlewniowy (ang. *capacity-watershed ratio* – C/W). W zależności od współczynnika pojemności zdolność zbiornika do zatrzymywania rumowiska wyznaczana jest ze wzorów Łopatina, Drozda, Karauševa, Brune'a. Współczynnik C/W wykorzystany w metodzie Brune'a-Allena, Browna Gottschalka. Churchill uzależnił zdolność zbiornika do zatrzymywania rumowiska od wskaźnika sedymentacji – SI (ang. *sedimentation index*). Wyznaczenie zdolności do zatrzymania rumowiska małych zbiorników wodnych stwarza znaczne trudności, gdyż większość istniejących wzorów i nomogramów służących wyznaczeniu tej zdolności została opracowana w wyniku badań dużych i średnich zbiorników wodnych.

W pracy przedstawiono wyniki obliczeń rzeczywistej zdolności małego zbiornika wodnego do zatrzymywania rumowiska  $\beta_{rz}$  w kolejnych latach eksploatacji. Zdolność ta została określona na podstawie kilku pomiarów zamulania i obliczeń ilości rumowiska unoszonego dopływającego do zbiornika wodnego. Do badań wytypowano zbiornik w miejscowości Krempana na rzece Wistoce. Obliczony wskaźnik sedymentacji, uwzględniający zmianę pojemności zbiornika w wyniku zamulania, wynosi  $5,0 \cdot 10^5 \div 1,4 \cdot 10^6 \text{ s}^2 \cdot \text{ft}^{-1}$ . Zdolność zbiornika w Krempanej do zatrzymywania rumowiska w pierwszym roku eksploatacji, określona na podsta-

wie pomiarów zamulania wynosi 77,1% i jest wyższa od wartości określonej według wzoru Churchilla, wynoszącej 65%. Wzór Churchilla może służyć określeniu w sposób przybliżony wartości początkowej  $\beta$ . Określona redukcja wartości  $\beta_{Ch}$  w okresie osiemnastu lat eksploatacji zbiornika w Krempnej jest ponad dwukrotnie niższa od redukcji rzeczywistej zdolności od zatrzymania rumowiska –  $\beta_{rz}$ . Zależność regresyjna w postaci  $\beta_{rz} = 21,044\text{Ln}(SI) - 222,35$  umożliwia określenie zdolności zbiornika w Krempnej do zatrzymania rumowiska w kolejnych latach eksploatacji.

Wprowadzony przez Churchilla wskaźnik sedymentacji może zostać wykorzystany do opracowania zależności umożliwiającej wyznaczenie zdolności małych zbiorników wodnych do zatrzymywania rumowiska. Wymaga to jednak prowadzenia systematycznych pomiarów zamulania oraz możliwości określenia ilości rumowiska dopływającego do zbiornika na podstawie danych hydrologicznych.

**Słowa kluczowe:** mały zbiornik wodny, rumowisko, wskaźnik sedymentacji, zdolność zbiornika do zatrzymania rumowiska

### Summary

*In the world professional literature can find many formulae and the nomograph using to apprise of sediment trap efficiency of water reservoirs. Sediment trap efficiency of water reservoirs, introduces in the form of nomograph or formulae, is defined in the function of the coefficients which they are the most often: capacity-inflow ratio – C/I and capacity-watershed ratio – C/W. The reservoir sediment trap efficiency is determined from Lopatin's, Drozd's, Karaušev's, Brune's formulae in dependence on the capacity-inflow ratio. The C/W ratio is used methods of Brune-Allen's, Brown's and Gottschalk's. Churchill defined the reservoir sediment trap efficiency in function of sedimentation index. Qualification of sediment trap efficiency of small water reservoirs creates considerable difficulties, because the majority of existing formulae and nomograph using to apprise of sediment trap efficiency was worked out in the result of the investigations of large and middle water reservoirs.*

*The results of real sediment trap efficiency of the small water reservoir  $\beta_{rz}$  in the following years of operation were introduced in this work. Sediment trap efficiency was qualified on the basis of several the measurements of silting and on the basis of calculations of the quantity of suspended sediment delivered to the water reservoir. The reservoir at locality Krempna on the river Wisłoka was chosen to investigations. Calculated sedimentation index of the studied reservoir, taking into account the change of the reservoir capacity in the result of silting, equals  $5.0 \cdot 10^5 \div 1.4 \cdot 10^6 \text{ s}^2 \cdot \text{ft}^{-1}$ . The sediment trap efficiency reservoir at Krempna in first year of operation, definite on the basis of measurements of silting carries out 77.1 % and is higher than the definite value according to the Churchill's formula, equal to 65%. Churchill's formula can be used to approximate qualification of the initial value  $\beta$ . Reduction of the value  $\beta_{Ch}$  in period eighteen years of the exploitation of the reservoir at Krempna is above twice lower than the reduction of real sediment trap efficiency -  $\beta_{rz}$ . Regression relationship in form  $\beta_{rz} = 21.044\text{Ln}(SI) - 222.35$  makes possible the qualification of the sediment trap efficiency of the reservoir at Krempna in the several years of operation.*

*Introduced by Churchill sedimentation index can be used to the study of dependence enabling delimitation of the sediment trap efficiency of small water*

*reservoirs. This requires however executing the systematic measurements of silting and the possibility of the qualification of the quantity of suspended sediment delivered to the reservoir on the basis of the hydrological data.*

**Key words:** *small water reservoir, suspended sediment, sedimentation index, sediment trap efficiency of reservoir*

## WSTĘP

Procesy erozyjne w zlewniach przyczyniają się zmniejszeniu tak zwanej żywotności zbiorników wodnych. Produkty erozji powierzchniowej transportowane przez rzeki, dopływając do zbiorników wodnych, zostają w znacznej części w nich zatrzymane. Określenie ilości zatrzymanego rumowiska w zbiorniku wodnym wymaga ustalenia ilości rumowiska dopływającego do zbiornika wodnego i wyznaczenia zdolności zbiornika do zatrzymywania rumowiska.

Natężenie procesów erozyjnych może zostać określone poprzez ustalenie wielkości erozji wyrażonej za pomocą średniej z wielolecia rocznej masy wyerodowanej gleby z jednostki powierzchni. Wielkość tę można ustalić za pomocą uniwersalnego równania strat glebowych (*Universal Soil Loss Equation – USLE*) opracowanego w USA przez Wischmeiera i Smitha [1965]. Ilość rumowiska odpływającego ze zlewni można zatem obliczyć na podstawie wyników uzyskanych z równania strat glebowych z uwzględnieniem parametru dostawy rumowiska DR określanego według Roehla [1962]. Ilość transportowanego rumowiska może zostać również określona na podstawie wielkości denudacji odpływowej, za pomocą metody Reniger-Dębskiego [Reniger 1959; Dębski 1959] lub metody Brańskiego [1968]. Według Łajczaka [1989] obliczenie transportu rumowiska metodą bezpośrednią, zgodnie z instrukcją IMGW, zezwala na uzyskanie wyników zbliżonych do wartości rzeczywistych. Zastosowanie tej metody w obliczeniach transportu rumowiska dopływającego do małych zbiorników wodnych niejednokrotnie nie jest możliwe. Wynika to z lokalizacji tych zbiorników, głównie na małych ciekach, które nie są objęte obserwacjami hydrologicznymi. Jak wykazały badania transportu rumowiska Michalca i Tarnawskiego [2006], stosując metodę DR-USLE, można uzyskać wyniki obliczeń transportu rumowiska zbliżone do wyników obliczeń według metody batymetrycznej.

Wyznaczenie zdolności do zatrzymania rumowiska małych zbiorników wodnych stwarza znaczne trudności, gdyż większość istniejących wzorów i nomogramów służących wyznaczeniu tej zdolności została opracowana w wyniku badań dużych i średnich zbiorników wodnych. Nomogram Brune'a [1953] został opracowany w wyniku badań małych zbiorników wodnych w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. Próba zastosowania tego nomogramu do wyznaczenia zdolności do zatrzymania rumowiska małych zbiorników wodnych w Polsce południowej wykazała znaczne różnice wyników otrzymanych z tego nomogramu i wartości rzeczywistej [Bednarczyk, Michalec 2002].

Zdolność zbiorników wodnych do zatrzymania rumowiska, przedstawiona w postaci nomogramów lub wzorów, określana jest w funkcji wskaźników, którymi najczęściej są: współczynnik pojemności zbiornika (ang. *capacity-inflow ratio* – C/I) i współczynnik zlewniowy (ang. *capacity-watershed ratio* – C/W). Zdolność zbiorników wodnych do zatrzymania rumowiska, nazywana jest również zdolnością retencyjną i oznaczana jest symbolem  $\beta$ . Stosując wzory i nomogramy Łopatina, Drozda, Karauševa [Dąbkowski i in. 1982], Brune'a [1953] wyznacza się wartość  $\beta$  w funkcji współczynnika pojemności. Współczynnik ten, oznaczany symbolem  $\alpha$  [Wiśniewski, Kutrowski 1973], określa stosunek pojemności zbiornika wodnego i sumy średniego rocznego dopływu wody. Współczynnik C/W został wykorzystany w metodzie Brune'a-Allena, Browna Gottschalka [Heinemann 1984].

Churchill [Batuca, Jordaan 2000], badając dwa zbiorniki o podobnej wielkości, uzależnił zdolność zbiornika do zatrzymywania rumowiska od wskaźnika sedymentacji – SI (ang. *sedimentation index*) podając równanie w postaci:

$$\beta_{Ch} = 100 - (800 \cdot SI^{-0.2} - 12) \quad (1)$$

W równaniu tym wskaźnik sedymentacji SI wyrażony jest w  $s^2 \cdot \text{feet}^{-1}$  i określany jest ze wzoru:

$$SI = \frac{T_R}{\bar{V}_R} \quad (2)$$

gdzie:

$T_R$  – czas zatrzymania wody w zbiorniku [s],

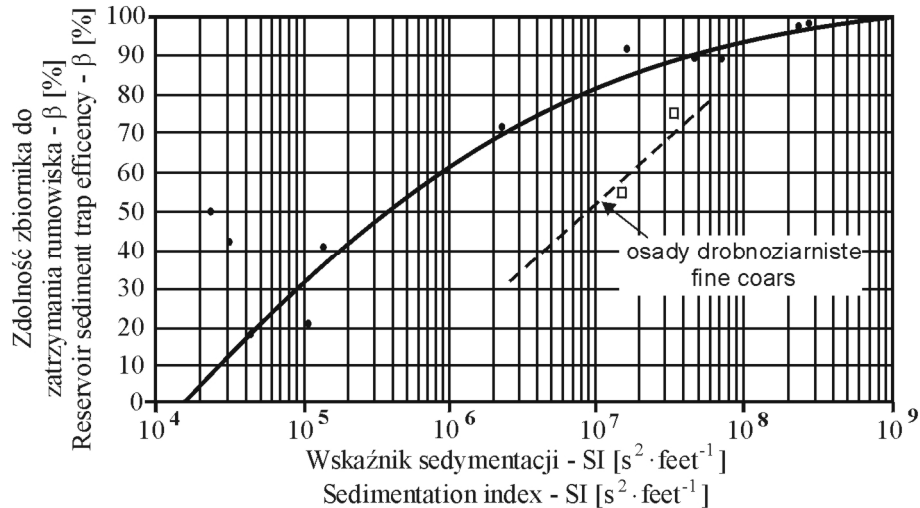
$\bar{V}_R$  – średnia prędkość przepływu wody przez zbiornik [ $\text{feet} \cdot \text{s}^{-1} = 0,3048 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Wskaźnik sedymentacji obliczany jest w jednostkach anglosaskiego systemu miar. Zależność opisaną wzorem (1) Churchill przedstawił w postaci nomogramu (rys. 1).

Formuła Churchilla (1) może służyć wyznaczeniu początkowej zdolności zbiornika do zatrzymywania rumowiska –  $\beta_0$ . Badania Michalca i Tarnawskiego [2004] transportu rumowiska i zamulania ośmiu małych zbiorników wodnych wykazały, że największą zgodność wyników oznaczeń wartości rzeczywistej  $\beta_0$  i wyznaczonej z nomogramów i formuł empirycznych uzyskano, stosując metodę Churchilla.

W pracy przedstawiono wyniki obliczeń rzeczywistej zdolności małego zbiornika wodnego do zatrzymywania rumowiska  $\beta_{rz}$  w kolejnych latach eksploatacji. Zdolność ta została określona na podstawie kilku pomiarów zamulania i obliczeń ilości rumowiska unoszonego dopływającego do zbiornika wodnego. Otrzymane wartości  $\beta_{rz}$  porównano z wartościami zdolności zbiornika do zatrzymywania rumowiska oznaczonej formułą Churchilla, umożliwiając tym samym ocenę możliwości zastosowania tego nomogramu w badanym małym

zbiorniku wodnym. Ocena taka możliwa jest w przypadku dysponowania danymi z cyklicznych pomiarów zamulania. Do badań wytypowano zbiornik miejscowości Krempna na rzece Wisłoce.



**Rysunek 1.** Zdolność zbiornika do zatrzymywania rumowiska ( $\beta_{Ch}$ ) według Churchilla [za Batuca, Jordaan 2000]

**Figure 1.** Reservoir sediment trap efficiency ( $\beta_{Ch}$ ) according to Churchill [after Batuca and Jordaan 2000]

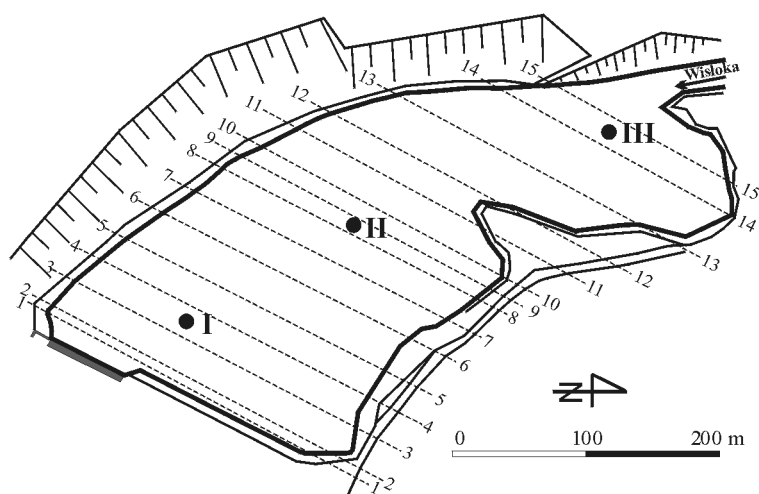
### CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Zbiornik Krempna (rys. 2) zlokalizowany jest w km 145+023 rzeki Wisłoki i zamyka zlewnię cząstkową o powierzchni 165,3 km<sup>2</sup>. Długość rzeki Wisłoki do profilu zapory wynosi 18,6 km.

Zbiornik o charakterze rekreacyjnym został wykonany w latach 1970–1972. Ogólna powierzchnia zalewu stanowi około 3,2 ha, a objętość wynosi 119 tys. m<sup>3</sup>. W roku 1987 zbiornik został odmulony, a jego pojemność została zmniejszona do 112 tys. m<sup>3</sup>.

Zbiornik położony jest na obszarze Beskidu Niskiego zbudowanego z fli-szu karpackiego, pokrytego glinami zwietrzelinowymi i stokowymi powstałymi przede wszystkim w wyniku wietrzenia skał podłoża. Pokrywy zwietrzelinowe, leżące w miejscu są wykształcone jako gliny pylaste z okruchami piaskowców, niekiedy rogowców i margli. Dominują tu także gleby gliniaste (rzadziej piasz-

czysto-gliniaste) mniej lub bardziej szkieletowe. Gleby te są słabo przepuszczalne, a nawet niekiedy nieprzepuszczalne. Grunty orne stanowią zaledwie 4% powierzchni zlewni. Jedynie około 2% powierzchni zlewni stanowi infrastrukturę dróg i zabudowy. Użytki zielone stanowią przeszło 14% powierzchni. Obszar zlewni ze względu na jej górski charakter w dużej mierze zajmowany jest przez lasy stanowiące około 80% powierzchni zlewni.



**Rysunek 2.** Zbiornik wodny Krempna-2 z zaznaczonymi przekrojami pomiarowymi i miejscami poboru prób osadów dennych (I-III)  
**Figure 2.** Water reservoir Krempna-2 with marked measuring cross-sections and points of the bottom sediment sampling (I-III)

Szczegółowa charakterystyka zbiornika i zlewni została przedstawiona w pracach Bednarczyka i in. [1997] oraz Bednarczyka i Michalca [2002].

#### METODYKA BADAŃ

Pomiary zamulania zbiornika w Krempnej wykonano sondą drążkową z łodzi w przekrojach poprzecznych oraz metodą punktów rozproszonych. Lokalizację przekrojów poprzecznych przedstawiono na rysunku 2. Dokładność pomiarów rzędnych dna wynosiła  $\pm 3$  cm i odpowiadała grubości stopki sondy drążkowej, zapobiegającej wbiciu w warstwę osadu. Taką dokładność pomiarów zamulania, potwierdzają w swoich badaniach Rausch i Heinemann [1984]. Pobrano również próby osadów dennych ze zbiornika w celu określenia gęstości objętościowej osadów, które umożliwiła porównanie objętości rumowiska zgro-

madzonego w zbiorniku z masą rumowiska dopływającego do zbiornika. Miejsca poboru prób zaznaczono na rysunku 2.

Ilość rumowiska unoszonego dopływającego do zbiornika w Krempnej określono metodą bezpośrednią [Brański 1968], zgodnie z instrukcją IMGW. Metoda ta według Łajczaka [1989] umożliwia uzyskanie wyników zbliżonych do wartości rzeczywistych. Masę rumowiska dopływającego do zbiornika w Krempnej obliczono na podstawie danych hydrologicznych, takich jak przepływ średni dobowy i odpowiadająca mu koncentracja rumowiska unoszonego. Przepływy średnie dobowe z okresu 1987–2005 zostały określone przez służby hydrologiczne IMGW w posterunku wodowskazowym w Kotani w km 147+625 rzeki Wisłoki. Obliczenia transportu zostały przeprowadzone według „Wytycznych do opracowania materiałów rocznikowych z zakresu rumowiska unoszonego” [Fall 1963] i metodyki przedstawionej przez Brańskiego [1968]. W przeprowadzonej analizie posłużono się wynikami obliczeń transportu rumowiska przedstawionymi w pracach Bednarczyka i in. [1997] oraz Michalca i Tarnawskiego [2006].

Rzeczywistą zdolność zbiornika wodnego w Krempnej do trwałej retencji rumowiska ( $\beta_{rz}$ ) w kolejnych latach eksploatacji, w których wykonano pomiary zamulania, określono jako iloraz masy osadów rumowiska w zbiorniku i masy rumowiska do niego dopływającego. Wartości  $\beta_{rz}$  porównano z wartościami  $\beta_{Ch}$ , obliczonymi według wzoru (1). Określenie  $\beta_{Ch}$  wymaga obliczenia czasu zatrzymania wody w zbiorniku ( $T_R$ ), będącego ilorazem pojemności i przepływu średniego rocznego. W obliczeniach pojemności zbiornika w poszczególnych latach, w których wykonano pomiary zamulania, uwzględniono zmniejszoną pojemność zbiornika, spowodowaną odkładaniem się rumowiska. Średnią prędkość przepływu wody przez zbiornik ( $\bar{V}_R$ ) obliczono jako iloraz przepływu średniego rocznego i średniego pola powierzchni przekroju poprzecznego zbiornika.

## WYNIKI BADAŃ

Objętość osadów rumowiska w zbiorniku wodnym w Krempnej została określona na podstawie pomiarów zamulania wykonanych w okresie 1996–2005. Wyniki pomiarów zamulania zamieszczono w tabeli 1. Określona średnia gęstość objętościowa osadów wynosi  $1,23 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$ . Rzeczywista początkowa zdolność zbiornika w Krempnej do zatrzymywania rumowiska wynosi 77,1% i w ciągu dziewięciu lat eksploatacji uległa redukcji do poziomu ponad 58% (tab. 1). W osiemnastym roku eksploatacji  $\beta_{rz}$  wynosi niespełna 50%.

**Tabela 1.** Zdolność zbiornika w Krempej do zatrzymywania rumowiska ( $\beta_{rz}$ ) ustalona na podstawie objętości zamulenia i objętości rumowiska dostarczonego  
**Table 1.** Sediment trap efficiency of the reservoir at Krempeja ( $\beta_{rz}$ ) established on the basis of silting volume and volume of delivered sediment

Rok pomiaru Year of measurement	Rok eksploatacji Year of operation	Objętość odkładów rumowiska Volume of deposited sediment [m <sup>3</sup> ]	Objętość rumowiska dostarczonego Volume of delivered sediment [m <sup>3</sup> ]	$\beta_{rz}$ [%]
1988	1	3272	4242	77,1
1996	9	27041	46462	58,2
1997	10	30464	50858	59,9
1998	11	34637	53124	65,2
1999	12	38002	61294	62,0
2000	13	40144	66907	60,0
2002	15	44200	79496	55,6
2003	16	44901	84084	53,4
2005	18	45810	91804	49,9

Przepływ średni roczny w analizowanym okresie 1988–2005 w przekroju wodowskazowym w Kotani na rzece Wisłocze wynosi  $2,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Obliczony czas zatrzymania wody w zbiorniku i średnią prędkość przepływu wody w poszczególnych latach, w których wykonano pomiary zamulenia oraz wartości  $\beta_{Ch}$  zamieszczono w tabeli 2.

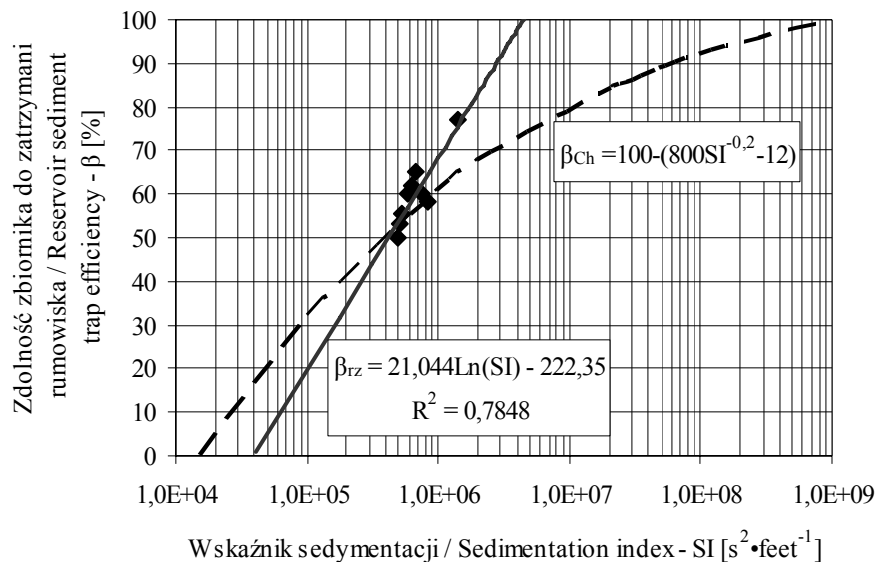
**Tabela 2.** Wskaźnik sedymentacji i zdolność zbiornika w Krempej do zatrzymywania rumowiska ( $\beta_{Ch}$ ) ustalona według formuły Churchilla (1)  
**Table 2.** Sediment trap efficiency of the reservoir at Krempeja ( $\beta_{Ch}$ ) established according to Churchill formula (1)

Rok pomiaru Year of measurement	Pojemność zbiornika Reservoir capacity [m <sup>3</sup> ]	Czas zatrzymania wody w zbiorniku Time of water retention in reservoir $T_R$ [s]	Średnia powierzchnia przekroju zbiornika Mean surface of reservoir cross-section $F_R$ [m <sup>2</sup> ]	Średnią prędkość przepływu wody przez zbiornik Mean flow velocity in reservoir $\bar{V}_R$ [m·s <sup>-1</sup> ]	Wskaźnik sedymentacji Sedimentation index SI [s <sup>2</sup> ·ft <sup>-1</sup> ]	$\beta_{Ch}$ [%]
1988	112000	55172	172,3	0,0118	$1,4 \cdot 10^6$	65,0
1996	84959	41852	130,7	0,0155	$8,2 \cdot 10^5$	59,5
1997	81536	40166	125,4	0,0162	$7,6 \cdot 10^5$	58,6
1998	77363	38110	119,0	0,0171	$6,8 \cdot 10^5$	57,5
1999	73998	36452	113,8	0,0178	$6,2 \cdot 10^5$	56,5
2000	71856	35397	110,6	0,0184	$5,9 \cdot 10^5$	55,9
2002	67800	33399	104,3	0,0195	$5,2 \cdot 10^5$	54,5
2003	67099	33054	103,2	0,0197	$5,1 \cdot 10^5$	54,3
2005	66190	32606	101,8	0,0199	$5,0 \cdot 10^5$	54,0



Zdolność zbiornika w Krempnej do zatrzymywania rumowiska w pierwszym roku eksploatacji, określona na podstawie pomiarów wynosząca 77,1% (tab. 1) jest wyższa od wartości określonej według wzoru Churchilla, równej 65% (tab. 2). Za pomocą równania Churchilla można wyznaczyć jedynie w sposób przybliżony redukcję wartości  $\beta$ , gdyż różnica wartości  $\beta_{Ch}$  w pierwszym i osiemnastym roku wynosi 11%. Natomiast różnica wartości  $\beta_{rz}$  jest ponad dwukrotnie większa i wynosi 27%.

Na rysunku 3 przedstawiono wartości  $\beta_{rz}$  (tab. 1) naniesione na wykres zdolności zbiornika do zatrzymania rumowiska ( $\beta_{Ch}$ ) według Churchilla (rys. 1). Określona zależność regresyjna zdolności zbiornika w Krempnej do zatrzymywania rumowiska ( $\beta_{rz}$ ) charakteryzuje się większym nachyleniem niż odcinek krzywej Churchilla, w zakresie odpowiadającym wskaźnikowi sedymentacji  $5,0 \cdot 10^5 \div 1,4 \cdot 10^6 \text{ s}^2 \cdot \text{ft}^{-1}$ .



**Rysunek 3.** Zależność regresyjna rzeczywistej zdolności zbiornika w Krempnej do zatrzymywania rumowiska ( $\beta_{rz}$ ) i wskaźnika sedymentacji (SI) oraz zdolność zbiornika do zatrzymywania rumowiska ( $\beta_{Ch}$ ) według Churchilla  
**Figure 3.** Regressive relationship of real sediment trap efficiency ( $\beta_{rz}$ ) of the reservoir at Krempna and sedimentation index (SI) and reservoir sediment trap efficiency ( $\beta_{Ch}$ ) according to Churchill

## WNIOSKI

Początkowa zdolność zbiornika w Krempnej do zatrzymania rumowiska określona wzorem Churchilla wynosi 65% i jest niższa od wartości rzeczywistej, określonej na podstawie pomiarów zamulania i obliczonej ilości rumowiska dopływającego do zbiornika. Wzór Churchilla może służyć określeniu w sposób przybliżony wartości początkowej  $\beta$ . Tak oszacowana zdolność do zatrzymywania rumowiska może prowadzić do znacznych błędów w prognozowanym zamulaniu zbiornika.

Określona w okresie osiemnastu lat eksploatacji zbiornika w Krempnej redukcja wartości  $\beta_{Ch}$  jest ponad dwukrotnie niższa od redukcji rzeczywistej zdolności od zatrzymania rumowiska –  $\beta_{rz}$ . Zależność regresyjna w postaci  $\beta_{rz} = 21,044\text{Ln}(\text{SI}) - 222,35$  umożliwi określenie zdolności zbiornika w Krempnej do zatrzymania rumowiska w kolejnych latach eksploatacji.

Wprowadzony przez Churchilla wskaźnik sedymentacji może zostać wykorzystany do opracowania zależności umożliwiającej wyznaczenie zdolności małych zbiorników wodnych do zatrzymywania rumowiska. Opracowanie takiej zależności wymaga prowadzenia systematycznych pomiarów zamulania oraz możliwości określenia ilości rumowiska dopływającego do zbiornika na podstawie danych hydrologicznych.

## BIBLIOGRAFIA

- Batua G. D., Jordaan M. J. Jr. *Silting and Desilting of Reservoirs*. A.A.Balkema. Rotterdam, Netherlands 2000.
- Bednarczyk T., Michalec B., Tarnawski M. *Appraisal of Silting in Small Water Reservoir Related to the Eroziional Processes*. 9-th International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles, 2–5 Sept. 1997, Cracow 1997, s. 309–320.
- Bednarczyk T., Michalec B. *Reduction in sediment trap efficiency of small reservoirs during their operation*. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, seria Konferencje XXXVI, Nr 438. 2002, s. 325–334.
- Brański J. *Zmącenie wody i transport rumowiska unoszonego w rzekach polskich*. Prace PIHM, z. 95, Warszawa 1968, s. 49–66.
- Brune G. M. *Trap efficiency of reservoirs*. Transactions, American Geophysical Union, No 34, 1953, 407–418.
- Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A. *Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych*. PWRiL, Warszawa 1982.
- Dębski K. *Próba oszacowania denudacji na obszarze Polski*. Prace i Studia KGW PAN, II, cz. I, Warszawa 1959.
- Dynowska I., Maciejewski M. *Dorzecze górnej Wisły*. Cześć I, II, PWN, Warszawa–Kraków 1991.
- Fall B. *Wytyczne do opracowania materiałów rocznikowych z zakresu rumowiska unoszonego*. PIHM, Warszawa 1963.
- Heinemann H. G. *Reservoir trap efficiency* [in:] *Erosion and Sediment Yield*, Geo Books, Norwich 1963, s. 201–218.
- Łajczak A. *Wpływ pomiaru, obliczeń i okresu obserwacji na wartość miar transportu zawiesiny na przykładzie rzek w polskich Karpatach*. Gospodarka Wodna nr 6, 1989.

- Michalec B., Tarnawski M. *Analysis of sediment trap efficiency of small water reservoirs*. Proc. of 22<sup>st</sup> Conference of the Danube Countries, 30 Aug.-2 Sep. 2004, Brno, Czech Republic. Full text on CD, 2004.
- Michalec B., Tarnawski M. *Assessment of sediment supplied to a small water reservoir at Krempana*. Proc. of XXIII Conference on the Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Serbia, Belgrad, 2006. Full text on CD.
- Rausch D. L., Heinemann H. G. *Measurement of reservoir sedimentation* [in:] *Erosion and Sediment Yield*. Some Methods of Measurement and Modeling, 1984, s. 179–200.
- Reniger A. *Zagadnienia erozji gleb w Polsce*. Prace i Studia KGW PAN, II, cz. I, Warszawa 1959.
- Roehl J. *Sediment source area, delivery ratios and influencing morphological factors*. IAHS publ. 59, 1962, s. 202–213.
- Wischmeier H. W., Smith D. D. *Predicting rainfall erosion losses-a guide from cropland east of the Rocky Mountains*. USDA, Agriculture Handbook, No. 282, 1965.
- Wiśniewski B., Kutrowski M. *Budownictwo specjalne w zakresie gospodarki wodnej*. Zbiorniki wodne. Prognozowanie zamulania. Wytoczne instruktażowe. Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego „Hydroprojekt”, Warszawa 1973.

Dr inż. Bogusław Michalec  
Katedra Inżynierii Wodnej  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
30-059 Kraków  
al. A.Mickiewicza 24/28  
tel. (0-48-12) 633-53-42,  
e-mail: rmmichbo@cyf-kr.edu.pl

Mgr inż. Karol Pęczek  
FWK-Air Sp.z.o.o.  
31-553 Kraków  
ul. Cystersów 13  
e-mail: karol.peczek@interia.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Ratomski