

*Robert Kasperek, Mirosław Wiatkowski, Włodzimierz Czamara*

## **OCENA TRANSPORTU RUMOWISKA DOPLÝWAJĄCEGO DO ZBIORNIKA MŚCIWOJÓW**

### ***ESTIMATION OF SEDIMENT TRANSPORT FLOWING TO MŚCIWOJÓW RESERVOIR***

#### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów i analiz transportu rumowiska dostającego się do małego zbiornika wodnego Mściwojów. Pomiaru transportu rumowiska unoszonego i wleczonego na dwóch dopływach do tego zbiornika potok Zimnik i Wierzbiak wykazały, że dostaje się do niego rocznie ok. 167 ton sedymentu. Udział rumowiska unoszonego w całkowitym transporcie wynosi ok. 97%. Z własnych badań batymetrycznych autorów wynika, że zbiornik ten jest coraz intensywniej zamulany, głównie w osadnikach i we wstępnym zbiorniku. Powoduje to ciągłą redukcję jego pojemności oraz wskazuje na dalszą potrzebę prowadzenia pomiarów batymetrii czaszy zbiornika oraz ilości i rodzaju dopływającego rumowiska. Ostatnie badania na zbiorniku Mściwojów wykazały, że został on częściowo odmulony w części, gdzie znajdują się osadniki, a odkłady zostały zdeponowane w jego rejonie.

**Słowa kluczowe:** rzeka, zbiornik, transport rumowiska

#### ***Summary***

*Paper presents results of measurements and analyses of sediment transport flowing to the water small Mściwojów reservoir. Measurements of suspended and bed load transport on two tributaries (stream Zimnik and Wierzbiak) to this reservoir showed that annually it gets to this one about 167 T of sediment. Part of suspended load in total transport is about 97%. From the self bathymetry author's studies follows that this reservoir is better intensively silted up, mainly in settling tanks and pre-dams. It causes the continuous reduction of its storage and shows on further necessity operation of the bathymetry reservoir bowl measurements and quantity, and kind of flowing sediment. The last studies at Mściwojów reservoir showed that it has been partly elutriated in part, where are the settling tank, and dumps have been deposited in its region.*

**Key words:** river, reservoir, sediment transport

## WSTĘP

Transport rumowiska unoszonego jest wskaźnikiem intensywności procesów erozyjnych w zlewni rzecznej oraz elementem wyrażającym zagrożenia z tytułu zamulania zbiorników wodnych. Materiał osadzany w zbiornikach, pochodzący głównie z denudacji zlewni oraz z erozji brzegów i dna cieków, może podlegać trwałej bądź okresowej depozycji w czasach zbiorników. Procesy sedymentacyjne w zbiornikach zaporowych należą do najbardziej intensywnych w dolinach rzecznych będących pod wpływem antropopresji [Łajczak 1995]. Zmiany wywołane przez spiętrzenie wody zbiorników zaporowych w środowisku wodnym są złożone i mogą mieć różny przebieg w czasie, w zależności od sposobu użytkowania i wieku zbiornika. Zmniejszenie prędkości przepływu powoduje zatrzymanie się w różnych miejscach zbiornika rumowiska wlezonego po dnie oraz materiału unoszonego [Mokwa 2002]. W obszarze zbiornika rumowisko podlega wpływom warunków hydrodynamicznych, zmieniających się w kierunku przepływu. Badaniem procesu zamulania zbiorników wodnych w Polsce zajmował się również Bednarczyk, Madeyski i Parzonka [Madeyski 1998; Parzonka 1974].

Celem pracy jest ocena ilości rumowiska unoszonego i wlezonego w dwóch przekrojach zbiornika retencyjnego Mściwojów. Została ona wykonana na podstawie pomiarów transportu rumowiska unoszonego i wlezonego na dwóch dopływach do zbiornika, tj. na cieku Zimnik i Wierzbiak.

## METODY OGRANICZANIA ZAMULANIA

Przeciwdziałanie zamulaniu zbiorników najbardziej skuteczne, lecz trudne do wykonania, mogłoby polegać na zabiegach zmniejszających denudację w zlewni, a więc na zalesieniu, zamianie gruntów ornych na użytki zielone itp. Jednak efekty tych zabiegów są widoczne dopiero po długim czasie. Mało realne jest również wykorzystanie prądów gęstościowych, płukanie zbiornika i przeprowadzenie najbardziej obciążonych rumowiskiem wód wezbraniowych poza zbiornik. Nieco łatwiejsze do stosowania środki, jak orka wzdłuż warstw i przedłużone przetrzymywanie roślinności przez przedplony i poplony dają rezultaty stosunkowo szybsze, lecz niewielkie [Żbikowski, Żelazo 1993]. Poza omówionymi wyżej zabiegami przeciwdziałania zamulaniu zbiorników, można spotkać rozwiązania przewidujące zastosowanie zapór przeciwrumowiskowych na dopływach do zbiornika, a także zbiorniki wstępne lokalizowane powyżej głównego zbiornika [Wiatkowski 2003].

W początkowym okresie istnienia zbiornika małej retencji Mściwojów oprócz systematycznych badań hydrologicznych i jakości wody wykonywanych na terenie zbiornika przeprowadzono pomiary rumowiska unoszonego i wlezonego na dopływach do zbiornika [Wiatkowski 2003].

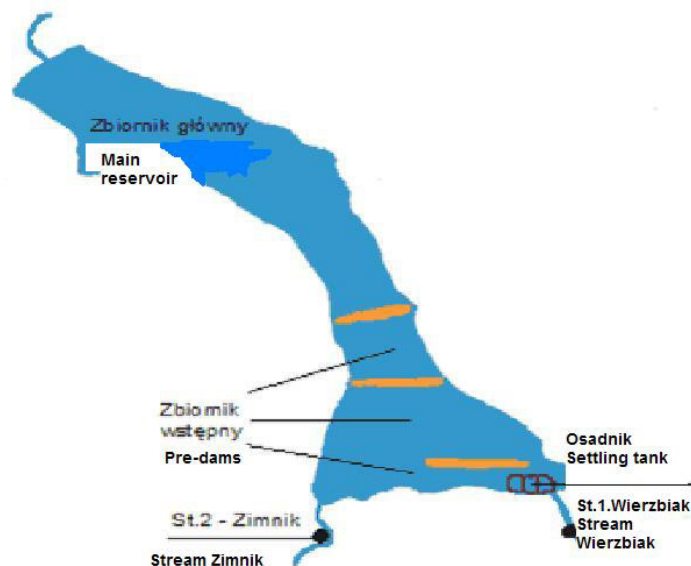
### CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

Zbiornik w Mściwojowie zlokalizowano na cieku Wierzbiak w km 35,375. Powierzchnia jego zalewu obejmuje również ciek Zimnik. Wierzbiak jest prawobrzeżnym dopływem Kaczawy, do której uchodzi w km 17,750. Funkcją zbiornika jest rolnicze wykorzystanie retencjonowanej wody, ochrona przeciwpowodziowa i rekreacja.

Zbiornik ma następujące parametry:

- pojemność przy normalnym poziomie piętrzenia (NPP) wynosi 0,73 mln m<sup>3</sup>,
- pojemność przy maksymalnym poziomie piętrzenia Max PP wynosi 1,35 mln m<sup>3</sup>,
- powierzchnia przy NPP obejmuje 34,59 ha,
- powierzchnia przy Max PP obejmuje 57,07 ha.

Napełnianie zbiornika rozpoczęto w 1999 roku. Czasę zbiornika podzielono na zbiornik główny, zbiornik wstępny i osadnik (rys. 1). Podział ten wynika z potrzeby częściowego oczyszczenia dopływającej wody ze zbiornika wstępnego do głównego z substancji biogenych i zawiesin. Średni przepływ w okresie 2001/2002 w przekroju Wierzbiaka wyniósł 0,120 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, a w przekroju Zimnika 0,048 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Powierzchnia zlewni Wierzbiaka w przekroju na wlocie do zbiornika wynosi 47 km<sup>2</sup>, z czego 14,3 km<sup>2</sup> przypada na Zimnik. Zlewnia zbiornika obejmuje teren podgórski. Dla zlewni zbiornika średni roczny opad z wielolecia wynosi 601 mm, a średnia roczna temperatura 8,6°C.



**Rysunek 1.** Zbiornik Mściwojów  
**Figure 1.** Mściwojów reservoir

## GLEBY I UŻYTKOWANIE

Dolinę Wierzbiaka stanowi rynna erozyjna sięgająca utworów trzeciorzędowych. Grunty zalegające pod osadami czwartorzędu stanowią: gliny, żwiry i piaski. W późniejszym okresie rynna ta została wypełniona utworami lodowcowymi, które stanowią żwiry i pospółki wodnolodowcowe oraz gliny morenowe. W warstwie o miąższości 2–3 m w dolinie zlewni zalegają najmłodsze, słabo skonsolidowane osady rzeczne (namuły) zawierające znaczną ilość części organicznych. Zlewnia Wierzbiaka ma charakter rolniczy. Słabe zalesienie zlewni w sąsiedztwie dopływów, a w tym przewaga powierzchni rolniczej, stwarzają zagrożenie dla wód powierzchniowych i podziemnych. Główne zagrożenia środowiska wodnego ze strony przestrzeni rolniczej wynikają z nawożenia, stosowania chemicznych środków ochrony roślin, obecności ferm hodowlanych i składowania kiszonki. Na terenach przyległych do zbiornika uprawiane jest zboże, ziemniaki, kukurydza itp., które wymagają stosowania intensywnych zabiegów agrotechnicznych, środków ochrony roślin i nawozów mineralnych. Komponenty wchodzące w skład tych środków stanowią zagrożenie dla zbiornika. Znajduje się tu również obszar leśny z olszą i dębem (ok. 60% drzewostanu), jesionem, lipą, klonem, brzozą, osiką i topolą. Ze względu na ukształtowanie terenu oraz warunki geologiczne i wodno-gruntowe obszar obejmujący zbiornik (tzw. obszar ochrony ekologicznej) podzielono na cztery strefy:

- I: użytki zielone poniżej zapory z płytko zalegającymi wodami gruntowymi.
- II: użytki zielone i grunty orne na prawym brzegu zbiornika, z głęboko położonymi wodami gruntowymi.
- III: przybrzeżny pas terenu zalewowego na lewym brzegu z użytkami zielonymi i gruntami ornymi.
- IV: podmokłe tereny położone powyżej zalewu, przylegające do górnych odcinków Wierzbiaka i Zimnika z użytkami zielonymi oraz gruntami ornymi.

## PODATNOŚĆ NA EROZJĘ

Obszar zlewni oceniono również pod względem stopnia zagrożenia erozją wodną terenów przyległych do zbiornika [Czamara 2002]. Określono miarodajne natężenie deszczu nawalnego i długotrwałego oraz obliczono natężenie erozji wodnej w poszczególnych częściach cząstkowych zlewni. Rozważano dwie grupy czynników związane ze:

- spływem powierzchniowym (opad, długość drogi spływu, nachylenie terenu),
- odpornością gruntu na proces erozji (wytrzymałość gruntu na rozmycie, sposób zagospodarowania terenu).

Wyniki badań i analiz wykazały, że na tych gruntach w czasie opadów występuje intensywna erozja powierzchniowa. Ilość wymytej gleby z 1 ha podczas deszczu o prawdopodobieństwie wystąpienia  $p = 80\%$  i czasie trwania  $t = 30$  min. jest rzędu 2,6 t, podczas gdy dla  $p = 1\%$  i  $t = 40$  godz. sięgała 180 t. Na użytkach zielonych natężenie erozji jest niewielkie. W celu ograniczenia dopływu gleby z pól do zbiornika Mściwojów oraz zawartych w nim związków chemicznych pochodzących z nawożenia i ochrony roślin niezbędne jest wykonanie następujących prac: zmiana sposobu użytkowania najbardziej zagrożonych obszarów, m.in. gruntów ornych na użytki zielone, wykonanie rowu opaskowego wokół zbiornika i prawidłowa eksploatacja zbiornika wstępnego.

### **METODYKA BADAWCZA**

Badania dotyczące zamulania zbiornika Mściwojów prowadzone były w okresie 2001/2002. Na początku okresu badawczego założono na Wierzbiaku i Zimniku po 1 przekroju pomiarowym St. 1 i St. 2 (rys. 1). W celu określenia całkowitego dopływu rumowiska do zbiornika dopływami Wierzbiakiem i Zimnikiem wykonano pomiary łapaczkowe unosin i wleczyn.

### **RUMOWISKO UNOSZONE I WLECZONE**

Pomiary rumowiska unoszonego przeprowadzono za pomocą butłowej łapaczki AR-RUG [Banasiak 1999]. Umożliwia ona pomiar transportu rumowiska unoszonego na różnych głębokościach w korycie rzeki. Sprawność pobierania rumowiska tą łapaczką zmienia się od 20– 80% w zależności od wielkości rumowiska oraz prędkości wody. Pomiary rumowiska unoszonego pozwoliły oszacować natężenie transportu rumowiska na dopływach do zbiornika Mściwojów oraz określić jego granulometrię. Autorzy stwierdzili, że w Wierzbiaku i Zimniku wystarczający jest pomiar rumowiska unoszonego na głębokości 5–20 cm od dna koryta. Pomiary rumowiska wleczzonego wykonywano za pomocą łapaczki Bedman [Kasperek 1997] w tych samych przekrojach, gdzie pobierano unosiny. Czas pomiaru wynosił średnio 45–60 minut.

### **WYNIKI BADAŃ**

Pomiary transportu rumowiska unoszonego w Wierzbiaku wykonano w km 37,54. Przeprowadzono je przy przepływie SQ. Stwierdzono, że na głębokości 10 cm od dna koryta intensywność unoszenia wahała się między  $0,62 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  a  $1,68 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Natomiast na wyższych głębokościach (rzędu 25 cm) unoszenie oscylowało między  $0,10 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  a  $0,43 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Całkowity dopływ materiału unoszonego do zbiornika wynosi  $72,53 \text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$ .

Transport rumowiska unoszonego w Zimniku był mierzony podczas trwania przepływów średnich SQ, w km 0,8. Pomiar wykazały, że:

– na głębokości wody 10 cm od dna natężenie unoszenia było rzędu  $2,7\div 6,73 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ,

– na większych głębokościach intensywność unoszenia była znacznie mniejsza, bo ok.  $0,9 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Przeciętny przepływ materiału unoszonego w ciągu roku wynosi 88,93 t. Reasumując, całkowity dopływ rumowiska unoszonego do zbiornika Wierzbiakiem i Zimnikiem wynosi 161,46 t·rok<sup>-1</sup>.

Na podstawie pomiarów terenowych stwierdzono, że w obu dopływach natężenie transportu rumowiska unoszonego jest znacznie wyższe od wlezonego. Intensywność transportu rumowiska wlezonego w Wierzbiaku i Zimniku była znacznie mniejsza niż unoszonego i wynosiła odpowiednio  $0,04 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  i  $0,08 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ . W ciągu roku natężenie transportu rumowiska wlezonego w Wierzbiaku wynosi 2,77 t, natomiast w Zimniku 2,52 t. Oszacowano, że sumaryczny dopływ rumowiska unoszonego i wlezonego Wierzbiakiem i Zimnikiem do zbiornika Mściwojów wynosi w ciągu roku 166,75 t. Udział rumowiska unoszonego, transportowanego dwoma dopływami, w całkowitej ilości materiału zasilającego zbiornik jest wysoki i wynosi 97%.

### INTENSYWNOŚĆ ZAMULANIA

W wyniku zamulania powstają w zbiornikach istotne dla ich użytkowników zmiany pojemności, a tym samym maleje jego znaczenie gospodarcze. Na ogół przyjmuje się, że gdy pojemność zbiornika zmniejsza się o 75–80% można uznać, że nie spełnia on swojej funkcji. W Polsce intensywność zamulania zbiorników jest niewielka [Wiśniewski 1969]. Najszybciej ulegają zamulaniu zbiorniki na karpaccich dopływach Wisły (70–120 lat). Natomiast zbiorniki w Sudetach (z wyjątkiem małych) są bardziej długowieczne, gdyż ich podłoże jest zbudowane ze skał mniej podatnych na erozję (granity, gnejsy, łupki krystaliczne). Żywotność tych zbiorników oszacowano na okres od 700 lat do 2000 lat. Czas poprawnego funkcjonowania zbiornika może być znacznie zmniejszony na skutek erozji jego brzegów, która jest intensywna w początkowym okresie istnienia zbiornika. Udział materiału pochodzącego z abrazji jest jednak znacznie mniejszy niż materiału niesionego przez rzekę. Charakterystyczną miarą intensywności zamulania zbiornika retencyjnego jest wskaźnik zamulenia stanowiący stosunek średniego rocznego zamulenia do powierzchni zlewni w przekroju zapory [Wiśniewski 1969]. Dla zbiornika Mściwojów, przyjmując średnie zamulenie roczne (sumę dopływu rumowiska unoszonego i wlezonego zmierzoną przy przepływach średnich SQ) w ilości  $334 \text{ m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$  i powierzchnią zlewni  $47 \text{ km}^2$ , wskaźnik ten wynosi  $0,0071 \text{ mm/rok}$ ). Dla porównania wskaźnik ten

dla zbiornika w Otmuchowie wynosi  $0,125 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$  a dla zbiorników położonych w Sudetach  $0,017 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$  (Pilchowice) i  $0,063 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$  (Lubachów). Pomiar transportu rumowiska unoszonego w rzekach są często niedokładne, głównie ze względu na trudności w odtworzeniu zmienności natężenia transportu w czasie wezbrań. W przypadku małych cieków, do których zaliczyć można dwa dopływy zbiornika Mściwojów: Wierzbiak i Zimnik, należy zachować odpowiednią częstość poboru prób rumowiska. Pomiar rumowiska z wykorzystaniem łapaczki AR-RUG i łapaczki typu Bedman przeprowadzane były przy przepływach średnich, więc w celu dokładnego określenia ilości dopływającego rumowiska należałoby pomiary te przeprowadzić także przy przepływach większych od SQ. Na podstawie pomiarów transportu rumowiska oszacowano, że po rocznym okresie eksploatacji zbiornika do jego czaszy dopłynęło ok. 167 t sedymentu, co stanowi 0,136% jego pojemności. Jednak należy się liczyć z tym, że z roku na rok dynamika zamulania zbiornika będzie wyższa [Kasperek, Wiatkowski 2002].

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analiza uzyskanych wyników pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Pomiar transportu rumowiska unoszonego i wleczonego na dopływach zbiornika Mściwojów wykazały, że dostaje się do niego rocznie 167 ton sedymentu.
2. Udział rumowiska unoszonego, transportowanego dwoma dopływami, w całkowitej ilości materiału zasilającego zbiornik jest wysoki i wynosi 97%.
3. Postępujący proces zamulania zbiornika Mściwojów i ciągła redukcja jego pojemności wskazują na potrzebę prowadzenia dalszych pomiarów transportu rumowiska.
4. Duże znaczenie w dokładniejszym określeniu ilości rumowiska dopływającego do zbiornika Mściwojów ma większa częstotliwość jego pomiarów, zwłaszcza przy przepływach większych od średnich, gdyż wtedy następuje duża zmienność w transporcie rumowiska.

## BIBLIOGRAFIA

- Banasiak R. *Badania transportu rumowiska unoszonego w korytach otwartych*. Rozprawa doktorska, AR we Wrocławiu, 1999.
- Bednarczyk T., Michalec B., Tarnawski M. *Intensywność zamulania się małych zbiorników wodnych*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Inżynieria Środowiska, nr 393, z. 23, 2002.
- Czamara W. *Ocena obszarów znajdujących się w zlewni zbiornika Mściwojów pod względem stopnia zagrożenia erozją wodną*. Maszynopis, AR we Wrocławiu, 2002.
- Czamara W., Wiatkowski M. *Zastosowanie zbiornika wstępnego w Mściwojowie do ochrony retencjonowanej wody*. Roczn. AR w Poznaniu, CCCXLII, Melior. i Inż. Środ. 23, 2002.

- Kasperek R. *Flume calibration of a bed-load sampler*. Report, University Gent 1997.
- Kasperek R., Wiatkowski M. *Pomiary rumowiska w Wierzbiaku i Zimniku oraz osadów ze zbiornika Mściwojów*. Maszynopis, AR we Wrocławiu, 2002.
- Łajczak A. *Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły*. Monografie Komit. Gosp. Wodnej PAN, Oficyna Politechniki Warszawskiej, z 8, 1995.
- Madeyski M. *Hydrauliczna i reologiczna charakterystyka procesu zamulania stawów rybnych*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozprawy 236, 1998.
- Mokwa M. *Sterowanie procesami fluwialnymi w korytach rzek przekształconych antropogenicznie*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Nr 439, Rozprawy CLXXXIX, 2002.
- Parzonka W. *Ocena zmienności własności fizycznych i reologicznych osadów ze zbiorników wodnych Sautet i Lubachów*. Archiwum Hydrotechniki, t. XXI, z. 4, Warszawa 1974.
- Wiatkowski M. = *Wpływ zbiornika wstępnego na jakość magazynowanej wody w zbiorniku głównym*. Rozprawa doktorska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, 2003.
- Wiśniewski B. *Zamulanie zbiorników wodnych w Polsce oraz próba jego prognozy na podstawie intensywności denudacji*. Archiwum hydrotechniki, t. XVI, z. 4, Warszawa 1969.
- Żbikowski A., Żelazo J. *Ochrona środowiska w budownictwie wodnym*. MOŚZNiL, Warszawa 1993.

Dr inż. Robert Kasperek  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska  
50-363 Wrocław, Pl. Grunwaldzki 24  
tel. 0 71 3205501, e-mail: kasperek@iis.ar.wroc.pl

Dr inż. Mirosław Wiatkowski  
Uniwersytet Opolski, Katedra Ochrony Powierzchni Ziemi  
45-052 Opole, ul. Oleska 22  
tel. 0 77 4016027, e-mail: wiatkowski@uni.opole.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Marek Madeyski*