

MACIEJ KOZAK, MAREK MADZIA, PAULINA TYCZYŃSKA

Institut Ochrony i Inżynierii Środowiska  
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

## WPLYW WYBRANYCH METOD OBLICZENIOWYCH NA UZYSKANE WARTOŚCI PRZEPLYWU WODY MIERZONEGO MŁYNKIEM HYDROMETRYCZNYM

**Streszczenie.** Celem artykułu jest przedstawienie wpływu metod obliczeniowych na uzyskaną wartość natężenia przepływu wody w przekroju poprzecznym koryta cieku. Pomiary hydrometryczne zostały przeprowadzone na rzece Białej w przekroju wodowskazowym Mikuszowice w Bielsku-Białej. Wykonano je młynkiem hydrometrycznym SEBA F1. Pomiar miał charakter pomiarów punktowych zupełnych i polegał na określeniu powierzchni przekroju poprzecznego koryta oraz prędkości przepływu wody w tym przekroju. Wartość przepływu wody w badanym przekroju wyznaczono, korzystając z czterech metod obliczeniowych, co pozwoliło porównać uzyskane wyniki. Wykorzystano metodę rachunkową, metodę Harlachera, metodę Culmanna oraz metodę bryłową, która jest modyfikacją metody Harlachera i jest metodą innowacyjną testowaną w niniejszej pracy. Wyniki przepływu wody uzyskane metodą bryłową są najbardziej zbliżone do obliczonych metodą Harlachera. Można wręcz przypuszczać, że metoda bryłowa daje najdokładniejsze wyniki.

**Słowa kluczowe:** młynek hydrometryczny, metoda Culmanna, metoda Harlachera, metoda rachunkowa, metoda bryłowa, natężenie przepływu

### Wstęp

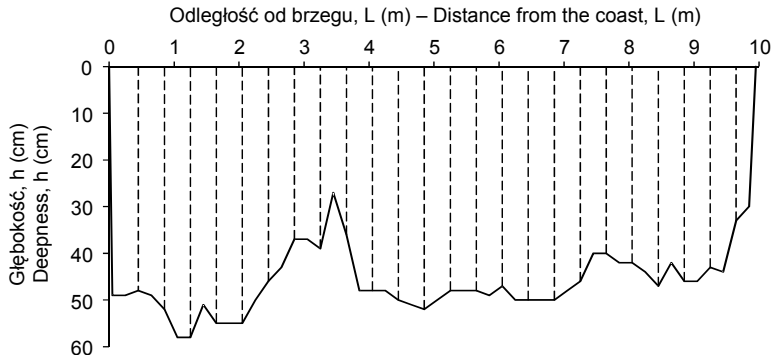
Natężenie przepływu jest to objętość wody, jaka w jednostce czasu przepływa przez określony przekrój poprzeczny koryta. Za jednostkę czasu najczęściej przyjmuje się sekundę (LAMBOR 1971). W zależności od warunków przepływu dobiera się odpowiednią metodę jego pomiaru. Biorąc pod uwagę rodzaj mierzonych elementów, można wyróżnić takie metody pomiarowe, jak: metoda wolumetryczna, metoda znacznikowa, pomiar za pomocą przelewu lub koryta pomiarowego, za pomocą pływaków bądź młynka hydrometrycznego (BAJKIEWICZ-GRABOWSKA i IN. 1993).

Pomimo wprowadzania nowych technik pomiarowych w służbie hydrologicznej, młynek hydrometryczny jest obecnie podstawowym narzędziem wykorzystywanym w przypadku wód średnich i niskich. Metoda z wykorzystaniem młynka hydrometrycznego jest jedną z najdokładniejszych i najczęściej stosowanych metod do wyznaczenia natężenia przepływu. Pomiar polega na wyznaczeniu prędkości przepływu wody w poszczególnych pionach hydrometrycznych (RADLICZ-RÜHLOWA i SZUSTER 1995). Korzystając z danych, jakie otrzymuje się podczas pomiarów, w prosty sposób można wyznaczyć wartość przepływu wody w badanym przekroju rzeki. Do dyspozycji pozostaje kilka metod obliczeniowych wyznaczania przepływu, z których każda ma swoje zalety i wady. Każda z nich daje ostatecznie również inne wartości przepływu. Celem niniejszej pracy jest weryfikacja poszczególnych metod.

## Material i metody

Praca została wykonana na podstawie pomiarów hydrometrycznych na rzece Białej w Bielsku-Białej, w przekroju wodowskazowym Mikuszowice. Pomiar prędkości przepływu wody wykonano młynkiem hydrometrycznym SEBA – Universal Current Meter F1, przy różnych stanach wody, w okresie od 16 marca 2009 do 3 listopada 2009 roku.

Pomiary polegały na punktowym pomiarze prędkości przepływu wody w wyznaczonych pionach hydrometrycznych w przekroju poprzecznym koryta. Miały charakter pomiarów zupełnych, czyli takich, które polegają na pomiarze prędkości w wielu punktach płaszczyzny przekroju poprzecznego w poszczególnych pionach hydrometrycznych. Prędkość określa się na podstawie liczby obrotów wirnika młynka, poruszanego nurtem wody, w określonej jednostce czasu (BYCZKOWSKI 1999). Piony hydrometryczne zostały rozmieszczone co 0,40 m (rys. 1). Prędkości w każdym pionie wyznaczono na sześciu głębokościach: przy dnie, 0,2 h, 0,4 h, 0,6 h, 0,8 h oraz tuż przy powierzchni (h – głębokość w pionie hydrometrycznym). Czas zliczania obrotów wirnika młynka hydrometrycznego ustawiony został na 30 s.



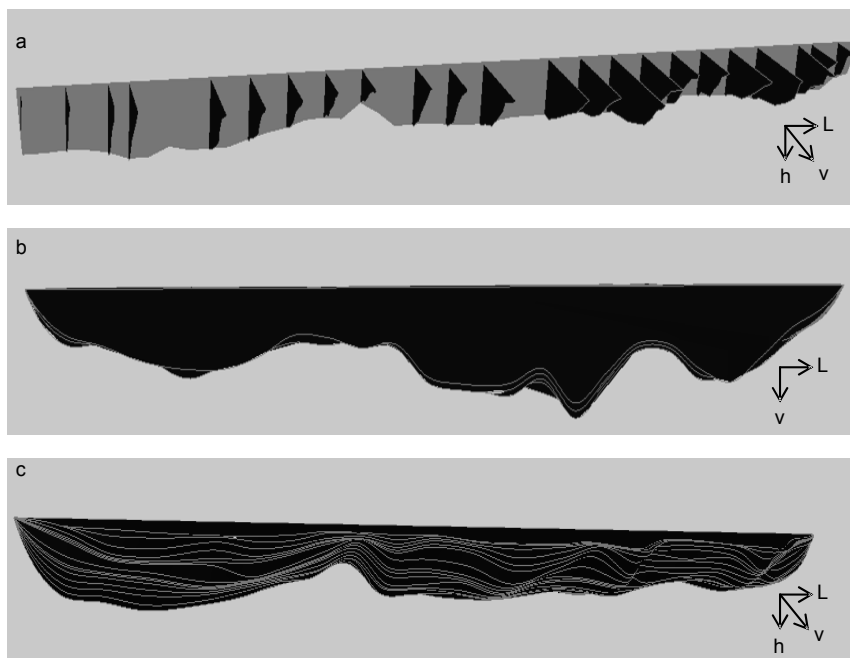
Rys. 1. Rozkład pionów hydrometrycznych w przekroju poprzecznym koryta rzeki Biała w profilu wodowskazowym Mikuszowice (pomiar z dnia 16 marca 2009 r.)

Fig. 1. Resolution of vertical hydrological cross-section of the trough on the Biała river in cross water gauge Mikuszowice (measurement of 16 March 2009)

Dysponując dla każdego dnia pomiarowego szeregiem danych, tj. parametrami przekrojów poprzecznych koryta oraz prędkościami średnimi (prędkość średnia została wyznaczona na podstawie tachoidy) w poszczególnych pionach hydrometrycznych, wyznaczono natężenie przepływu wody w badanym przekroju poprzecznym koryta. Natężenie przepływu obliczono czterema metodami, z których trzy są metodami podstawowymi, opisywanymi w literaturze (DĘBSKI 1964, BAJKIEWICZ-GRABOWSKA i IN. 1993). Wykorzystano metodę Harlachera, metodę Culmanna, metodę rachunkową oraz metodę bryłową.

Metoda bryłowa jest metodą innowacyjną – modyfikacją metody Harlachera. Zgodnie z definicją, natężenie przepływu to objętość wody, jaka w jednostce czasu przepływa przez przekrój poprzeczny cieku z określoną prędkością. W wyniku tego tworzy się bryła ograniczona przekrojem poprzecznym, zwierciadłem wody oraz powierzchnią, którą wyznacza zbiór końców wektorów prędkości prostopadłych do płaszczyzny przekroju poprzecznego (BYCZKOWSKI 1999). Natężenie przepływu tą metodą wyznaczono za pomocą programu AutoCad 2009, z wykorzystaniem techniki 3D. Tok postępowania przy wyznaczeniu przepływu wody obejmował:

- wykreślenie przekroju poprzecznego koryta oraz lokalizację pionów hydrometrycznych (na podstawie danych terenowych),



Rys. 2. Bryła natężenia przepływu: a – rozkład tachoid w przekroju poprzecznym koryta, b – widok z góry na utworzoną bryłę, c – widok przestrzenny bryły rozkładu prędkości; L – odległość, v – prędkość, h – głębokość

Fig. 2. A lump of flow: a – distribution velocity curve in cross-section trough, b – top view of the formed lump, c – spatial view of the solid distribution velocity; L – distance, v – velocity, h – deepness

- wprowadzenie informacji dotyczących rozkładu prędkości w poszczególnych pionach hydrometrycznych (tachoidy),
- wygenerowanie bryły (rys. 2) oraz wyznaczenie jej objętości.

## Wyniki

Na podstawie obliczeń wykonanych czterema badanymi metodami uzyskano wartości przepływu wody w przekroju wodowskazowym Mikuszowice na rzece Białej. Wyniki dla każdego dnia pomiarowego zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki obliczeń natężenia przepływu wody rzeki Biała w profilu wodowskazowym Mikuszowice ( $m^3/s$ )

Table 1. The results of calculations of water flow on the Biała river in cross water gauge Mikuszowice ( $m^3/s$ )

Data pomiaru Measurement date	Stan wody Water state (cm)	Metoda obliczeniowa – Computational method			
		Harlachera Harlacher's method	rachunkowa method of accounting	Culmanna Culmann's method	bryłowa method of solid
16.03.2009	130	1,952	1,913	1,954	1,957
1.04.2009	132	2,188	2,114	2,082	2,174
10.06.2009	103	0,361	0,362	0,358	0,353
3.07.2009	116	0,994	1,009	0,960	0,991
22.10.2009	118	1,061	1,070	1,027	1,072
27.10.2009	109	1,013	1,013	1,017	1,021
3.11.2009	110	0,504	0,519	0,523	0,510

Po porównaniu obliczonych wartości przepływów wody w każdym z dni pomiarowych stwierdzono, że różnice pomiędzy zastosowanymi metodami są nieznaczne. W tabeli 2 przedstawiono różnice między wartościami przepływów wody wyrażonymi w procentach i odniesionymi do metody Harlachera. Obecnie metoda Harlachera jest standardową metodą wyznaczania przepływu wody na podstawie punktowych pomiarów prędkości przepływu i uważa się, że jest obciążona najmniejszym błędem obliczeniowym.

## Dyskusja

W zastosowanej metodyce pomiarów nie było możliwości odniesienia uzyskanego wyniku do rzeczywistej wartości przepływu wody, a jedynie do metody Harlachera, uważanej za dokładną.

Po analizie otrzymanych wyników przepływów wody w poszczególnych dniach pomiarowych stwierdzono, że wyznaczone wartości różnią się od siebie w niewielkim

Tabela 2. Odniesienie wyników przepływu wody uzyskanych trzema metodami do metody Harlachera (%)

Table 2. Comparing of the results of water flow obtained with three methods to Harlacher's method (%)

Data pomiaru Measurement date	Metoda obliczeniowa – Computational method		
	rachunkowa method of accounting	Culmanna Culmann's method	bryłowa method of solid
16.03.2009	2,0	-0,1	-0,3
1.04.2009	3,4	4,8	0,6
10.06.2009	-0,4	2,7	0,8
3.07.2009	-1,4	3,5	0,3
22.10.2009	-0,9	3,2	-1,1
27.10.2009	0,1	-0,4	-0,8
3.11.2009	-2,9	-3,8	-1,1

stopniu, na poziomie 5%. Największe rozbieżności w wynikach odniesionych do metody Harlachera wystąpiły w metodzie Culmanna – od 0,4 do 4,8%. Różnice takie mogły być spowodowane subiektywnym sposobem przeprowadzenia linii jednakowych prędkości (izotach) w metodzie Culmanna.

Metoda rachunkowa pozwala najszybciej uzyskać wyniki, jednak ze względu na stosowanie dużych uśrednień prędkości przepływu wody jest uważana za mało dokładną. W przeprowadzonej analizie różnica w wynikach otrzymanych tą metodą w odniesieniu do metody Harlachera zawierała się w przedziale od 0,1 do 3,4%.

Wyniki najbardziej zbliżone do wartości obliczonych metodą Harlachera uzyskano w metodzie bryłowej (od 0,3 do 1,1%). Przepływ w tej metodzie został wyznaczony techniką komputerową, w której nie stosowano uśrednień prędkości przepływu wody. Przepływ określono jako całkowitą objętość bryły wyznaczonej przez zbiór końców wektorów prędkości prostopadłych do płaszczyzny przekroju poprzecznego, co nawiązuje bezpośrednio do definicji przepływu wody. Można wręcz przypuszczać, że metoda bryłowa daje najbardziej dokładne wyniki.

## Wnioski

1. Każda z omawianych metod obliczania przepływu wody, ze względu na niewielki błąd, może być wykorzystywana w praktyce hydrologicznej.

2. Wyniki najbardziej zbliżone do wartości obliczonych metodą Harlachera uzyskano w zastosowanej innowacyjnej metodzie bryłowej. Świadczy to o jej dokładności oraz możliwości stosowania w hydrometrii.

## Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z., 1993. *Hydrometria*. PWN, Warszawa.
- BYCZKOWSKI A., 1999. *Hydrologia*. T. I. Wyd. SGGW, Warszawa.
- DĘBSKI K., 1964. *Hydrologia i hydraulika*. PWSZ, Kraków.
- LAMBOR J., 1971. *Hydrologia inżynierska*. Arkady, Warszawa.
- RADLICZ-RÜHLOWA H., SZUSTER A., 1995. *Hydrologia i hydraulika z elementami hydrogeologii*. WSiP, Warszawa.

## EFFECT OF SELECTED CALCULATION METHODS ON FLOW VALUE MEASURED WITH CURRENTMETER

**Summary.** This article presents the impact of computational methods on flow rate in cross-section trough. Hydrometric measurements were carried out on the Biała River in cross water gauge Mikuszowice in Bielsko-Biała. They were made with currentmeter SEBA F1. The measurements were of complete measurement type and depended on determining cross-sectional area, as well as water flow speed in the section. The water flow in the cross-section was determined using four computational methods, allowing to compare the values of flow. The used methods of accounting were: Harlacher's method, Culmann's method and the method of solid, which is a modification of Harlacher's method and innovative method introduced in this article. In this method of solid, the results obtained for flow of water were closest to the Harlacher's method. It can be thus assumed that the method gives the most accurate results.

**Key words:** currentmeter, Culmann's method, Harlacher's method, method of accounting, method of solid, rate of flow

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Marek Madzia, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Poland, e-mail: mmadzia@ath.bielsko.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*16.08.2011*

*Do cytowania – For citation:*

*Kozak M., Madzia M., Tyczyńska P., 2011. Wpływ wybranych metod obliczeniowych na uzyskane wartości przepływu wody mierzonego młynkiem hydrometrycznym. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #71.*