

WERYFIKACJA KRZYWEJ NATĘŻENIA PRZEPŁYWU W PRZEKROJU WODOSKAZOWYM IMGW NA RZECE DŁUBNI

VERIFICATION OF THE RATING CURVE FOR WATER-GAUGE CROSS-SECTION OF IMWM ON THE DŁUBNIA RIVER

Bogusław Michalec

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów geodezyjnych i hydrometrycznych oraz obliczeń wykonanych w celu weryfikacji krzywej natężenia przepływu przekroju wodowskazowego IMGW w km 8+400 rzeki Dłubni. Wodowskaz ten, znajdujący się ponad 300 m poniżej zapory zbiorników wodnych w Zesławicach, umożliwia rejestrację stanów wód, będących sumą odpływu ze zbiorników i dopływu wód potoku Baranówka. Natężenie przepływu obliczono metodą Harlachera na podstawie danych hydrometrycznych i za pomocą wzoru Chézy’ego. Opierając się na uzyskanych wynikach pomiarów i obliczeń, opracowano krzywą natężenia przepływu, którą porównano z krzywą opracowaną w 1993 roku przez IMGW Oddział Kraków. Określona maksymalna przepustowość koryta w przekroju wodowskazu według opracowania IMGW wynosi $95,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast określona w wyniku obliczeń wykonanych na podstawie pomiarów zrealizowanych w 2011 roku, maksymalna przepustowość przekroju wodowskazowego jest równa $88,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Skorygowana, niższa przepustowość koryta Dłubni poniżej zbiorników wodnych powinna zostać uwzględniona w instrukcji eksploatacji zbiorników w zapisie dotyczącym zrzutu wód w trakcie wezbrania.

Abstract. The results of survey and hydrometric measurements and calculations made aimed for verifying of the rating curve of the cross-section in the km 8+400 of river Dłubnia, elaborated by Institute of Meteorology and Water Management (IMWM), were introduced in the work. This water-gauge, located above 300 m below the dam of water reservoirs in Zesławice, enables the recording of the water states, being the sum of outflow from reservoirs and the tributary of the waters of the Baranówka stream. The intensity of the water flow was calculated on the basis of the hydrometric data using the Harlachier’s method and using the Chézy’s formula. The rating curve, which was worked out on the

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr hab. inż. Bogusław Michalec, prof. UR, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: rmmichbo@cyf-kr.edu.pl.

results of measurements and calculations, was compare with the rating curve worked out in 1993 by IMWM Branch Cracow. It was stated that the maximal conveyance of river channel in water-gauge section, established according to the IMWM study, is $95.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. However the maximal conveyance qualifying in results of calculation executed according to measurements carrying out in 2011 is equal $88.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Corrected, the lower conveyance of the channel of the Dłubnia river below water reservoirs, should be considered in the operation instruction of reservoirs in note relating to the outflows during the freshet.

Słowa kluczowe: krzywa natężenia przepływu, przepustowość koryta, szorstkość koryta

Key words: rating curve, channel conveyance, channel roughness

WSTĘP

Kontrolowanie zjawisk hydrologicznych jest oczywistą potrzebą, umożliwiającą gromadzenie danych do prognozowania ich przebiegu, a tym samym do podejmowania działań zmniejszających zagrożenie. W Polsce sieć posterunków hydrologicznych służąca rejestracji stanów wód płynących nie jest nazbyt rozwinięta, stąd szczególna konieczność dysponowania rzetelnymi danymi, stanowiącymi podstawę wszelkich działań związanych z prowadzeniem gospodarki wodnej. Przykład rzeki, której przepływy kontrolowane są w jednym przekroju wodowskazowym, stanowi Dłubnia. Jej długość wynosi ponad 53 km, powierzchnia zlewni przekracza 272 km^2 . W 44,5 kilometrze biegu Dłubni znajdują się dwa zbiorniki wodne w Zesławicach. Na całym odcinku rzeki, od jej źródła do przekroju zapory zbiorników, nie zainstalowano posterunku wodowskazowego, który umożliwiłby kontrolę natężenia dopływu wody do zbiorników, zwłaszcza że ze względu na ich niewielką retencję fali wezbraniowej istnieje konieczność przepuszczenia przez upusty zbiorników znacznych przepływów. Poniżej zbiorników znajduje się ujście potoku Baranówka, którego powierzchnia zlewni wynosi $42,6 \text{ km}^2$. Odpływ ze zbiorników skierowany do rzeki Dłubni zostaje zwiększony przez dopływ wód tego potoku. Napełnienie w korycie Dłubni jest rejestrowane na wodowskazie znajdującym się poniżej ujścia Baranówki. Wodowskaz ten został usytuowany na prawym brzegu rzeki, ok. 100 m poniżej ujścia potoku Baranówka, i składa się z dwóch łat dębowych z aluminiowymi segmentami o podziale W1: 100–250 cm, i W2: 250–250 cm, przymocowanych do dwuteowników wbitych w koryto rzeki [Jedzok i Nowak 1993]. Rzędna zera wodowskazu wynosi 210,00 m n.p.m. (Kronszadt). Określenie natężenia przepływu wody w Dłubni w tym przekroju jest istotne ze względu na przebieg jej koryta przez tereny miasta Krakowa. Rejestracja stanów wody na tym wodowskazie stanowi podstawę do podjęcia decyzji o wielkości odpływu wód ze zbiorników w Zesławicach. Natężenie przepływu wód zrzutowych ze zbiorników nie powinno, wraz z dopływem wód z potoku Baranówka, przekraczać przepustowości koryta Dłubni, znajdującego się na terenach zabudowanych miasta Krakowa. W Instrukcja gospodarowania wodą... [2003] podano, że przepływ brzegowy dolnego stanowiska upustów zapory zbiorników wodnych w Zesławicach wynosi $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Według dokumentacji IMGW [Jedzok i Nowak 1993] przepływ brzegowy w przekroju wodowskazowym wynosi $95,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W pracy przedstawiono wyniki weryfikacji krzywej natężenia przepływu w przekroju wodowskazowym w km 8+400 rzeki Dłubni, opracowanej przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział Kraków w 1993 roku.

METODYKA BADAŃ

W dniu 27 października 2011 roku wykonano pomiary geodezyjne w przekroju wodowskazowym w km 8+400 rzeki Dłubni, obejmujące pomiary przekroju poprzecznego i spadku zwierciadła wody przy różnych natężeniach przepływu. Pomiary geodezyjne wykonano za pomocą niwelatora AT-G6 i tachimetru elektronicznego Leica TS 02. Zróżnicowanie natężenia przepływu wody w przekroju wodowskazowym uzyskano w wyniku zrzutu wód zgromadzonych w zbiornikach wodnych w Ześlawicach.

Pomiary hydrometryczne, służące określeniu prędkości średniej w poszczególnych punktach pionów hydrometrycznych, wykonano w przekroju wodowskazowym. Pomiary prędkości przepływu wody wykonano za pomocą indukcyjnego młynka hydrometrycznego Nautilus C2000 OTT Hydrometrie, zgodnie z procedurą pomiarową IMGW [Procedura pomiarowa 2002]; prędkość przepływu wody mierzono na różnych wysokościach pionów hydrometrycznych, rejestrując wartość średnią otrzymaną z 15-sekundowego pomiaru. W każdym punkcie wykonano serię trzykrotnych pomiarów. Przepływ całkowity (Q) obliczono według wzoru Harlachera [Byczkowski 1996] postaci:

$$Q = \sum_1^n \Delta Q \quad (1)$$

gdzie:

ΔQ – elementarna część bryły przepływu, obliczona ze wzoru:

$$\Delta Q = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \Delta b \quad (2)$$

w którym:

F_i – powierzchnia tachoidy,

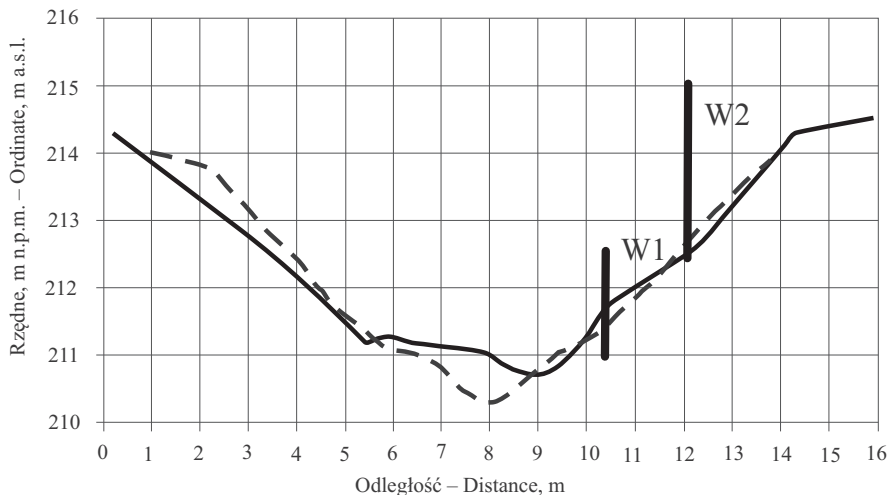
Δb – odległość pomiędzy płaszczyznami sąsiednich tachoid.

Wyniki obliczeń natężenia przepływu, określonego na podstawie pomiarów hydrometrycznych prędkości przepływu wody, porównano z natężeniem przepływu obliczonym według wzoru Chézy'ego [Byczkowski 1996]. Współczynnik szorstkości koryta przyjęto do wzoru Manninga z tablic Ven Te Chowa [Książczyński i in. 2000]; odpowiednio: $n = 0,025$ – koryto ciekłu, dno pokryte mułem, $n = 0,030$ – koryto ciekłu (podstawa skarpy) wyłożone płytami betonowymi, a także skarpy koryta ciekłu z niską trawą, i $n = 0,050$ – skarpy koryta ciekłu z pojedynczymi krzakami wraz z dużą ilością pni i niewielkim poszyciem lasu.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Rys. 1 przedstawia przekrój poprzeczny rzeki Dłubni określony na podstawie pomiarów geodezyjnych w 2011 roku wraz z przekrojem zamieszczonym w opracowaniu IMGW [Jedzok i Nowak 1993].

W wyniku przeprowadzonego sondowania dna stwierdzono znaczne uszkodzenia i przemieszczenia płyt żelbetowych, ułożonych w dnie rzeki w przekroju wodowskazowym. Spowodowało to powstanie lokalnych przegłębień (rys. 1). W przekroju wodowskazowym najniższy punkt dna (rz. 210,30 m n.p.m.) jest położony o 0,41 m niżej w porównaniu z najniższym punktem dna, określonym w opracowaniu IMGW [Jedzok i Nowak 1993]. Porównując przekroje poprzeczne, przedstawione na rys. 1, można stwierdzić, że tak znaczne zmiany ich geometrii przyczyniają się istotnie do zmiany krzywej natężenia przepływu.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny w profilu wodowskazowym rzeki Dłubnia z wodowskazami W1 i W2 określony według pomiarów geodezyjnych w 2011 r. (linia przerywana) i według dokumentacji IMGW z 1993 r. (linia ciągła)

Fig. 1. Cross-section in water-gauge profile on the Dłubnia river with water-gauge W1 and W2 stated according to survey measurements in 2011 (dashed line) and according to IMWM study from 1993 (undashed line)

Natężenie przepływu wody w przekroju wodowskazowym obliczono na podstawie wyników trzech pomiarów prędkości przepływu wody. Przepływy te, obliczone metodą Harlachera na podstawie danych hydrometrycznych, zamieszczono w tab. 1 i porównano z wynikami obliczeń wzorem Chézy'ego oraz z przepływami podanymi w opracowaniu IMGW.

Ustalone współczynniki szorstkości koryta przyjęto do dalszych obliczeń przepływów dla różnych stanów w celu opracowania krzywej natężenia przepływu. W trakcie pomiarów hydrometrycznych wykonano również pomiary spadku zwierciadła wody, który wynosił 0,03, 0,05 i 0,09‰ odpowiednio dla przepływów 0,791, 1,247 i 1,826 m³ · s⁻¹. Według opracowania IMGW [Jedzok i Nowak 1993] należy dążyć do określenia zależności stan wody–przepływ odpowiadającej spadkom zwierciadła wody w ruchu ustalonym. Jak wynika z danych zamieszczonych we wspomnianym opracowaniu, określając natężenia przepływu w przekroju wodowskazowym za pomocą wzoru Chézy'ego, przyjęto

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeń przepływu w przekroju wodowskazowym

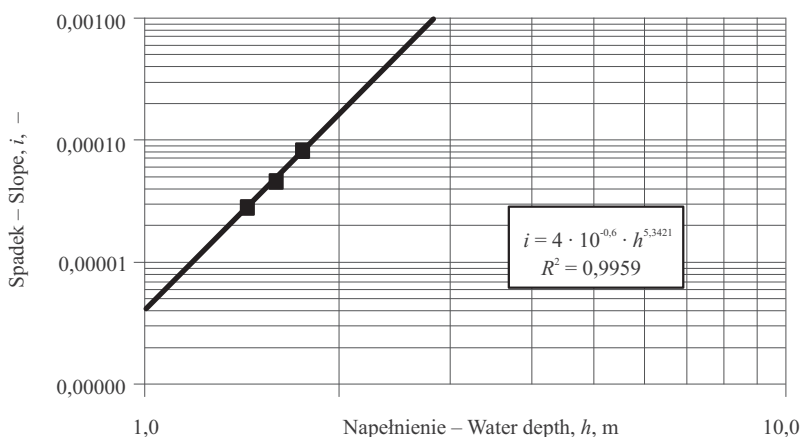
Table 1. Comparison of calculation results of water discharge in water-gauge cross-section

Napełnienie Water depth h_{max} , m	Rzędne zwierciadła wody m n.p.m. Ordinates of water level m a.s.l.	Stan na wodowskazie Water state on water-gauge cm	Przepływ Water discharge $Q, m^3 \cdot s^{-1}$		
			według pomiarów hydrometrycznych according to hydrometric measurements	wg wzoru Chézy'ego according to Chézy's formulae	według opracowania IMGW according to IMWM study
1,45	211,75	175	0,791	0,699	0,290
1,61	211,91	191	1,247	1,181	0,740
1,76	212,06	206	1,826	2,051	2,070

różne spadki zwierciadła wody dla przepływów niskich i średnich oraz wysokich, tj. dla przepływów niskich i średnich przyjęto $i = 0,01\%$, natomiast dla wód wielkich $i = 2,0\%$.

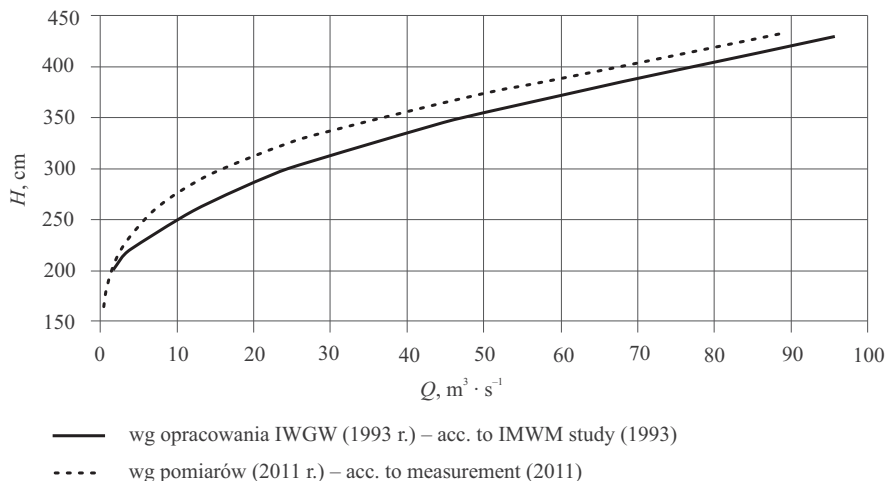
Dysponując wynikami pomiarów przepływów dla trzech napełnień w przekroju wodowskazu i odpowiadającymi im pomierzonymi spadkami zwierciadła wody, opracowano zależność korelacyjną spadku zwierciadła wody od napełnienia w korycie (rys. 2). Opracowaną zależność korelacyjną należy traktować jako przybliżoną ze względu na zbyt krótki ciąg danych, obejmujących napełnienia i spadki zwierciadła wody.

Określona zależność w postaci $i = 4 \cdot 10^{-6} \cdot h^{5,3421}$ (rys. 2) umożliwiła obliczenie spadków zwierciadła wody dla poszczególnych napełnień, odpowiadających odpowiednim stanom wody rejestrowanym na łacie wodowskazowej. Obliczenia natężenia przepływu wzorem Chézy'ego wykonano za pomocą autorskiego programu komputerowego



Rys. 2. Zależność korelacyjna spadku zwierciadła wody i napełnienia w przekroju wodowskazowym

Fig. 2. Correlation dependence of water slope and water depth in water-gauge cross-section



Rys. 3. Krzywe natężenia przepływu przekroju wodowskazowego IMGW na rzece Dłubnia
 Fig. 3. Rating curves for water-gauge cross-section of IMGW on the Dłubnia river

„ciec v.2.9.xls”. Na rys. 3 przedstawiono opracowaną krzywą natężenia przepływu wraz z krzywą według opracowania IMGW [Jedzok, Nowak 1993].

Weryfikując obliczenia krzywej natężenia przepływu przekroju wodowskazowego w km 8+400 rzeki Dłubni opracowanej w 1993 r., przyjęto zgodnie z opracowaniem IMGW [Jedzok i Nowak 1993] szorstkość koryta n równą 0,025, brzegów (do wysokości 211,03 m n.p.m.) i terenu zalewowego równą 0,035, natomiast spadek zwierciadła wody wynoszący 6,6‰, określony według zależności przedstawionej na rys. 2 – uzyskano przepływ wynoszący zaledwie $85,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dla stanu 430 cm, a nie $95,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, jak wykazano w opracowaniu IMGW. Zastanawiające jest zatem, jak przy nieznacznie mniejszym polu powierzchni przekroju poprzecznego i przy spadku wynoszącym 2‰, tj. ponad trzykrotnie mniejszym od określonego z zależności przedstawionej na rys. 2, uzyskano natężenie przepływu o około $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ większe.

Określona maksymalna przepustowość koryta w przekroju wodowskazu według opracowania IMGW wynosi $95,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast określona w wyniku pomiarów i obliczeń w 2011 r. maksymalna przepustowość przekroju wodowskazowego jest równa $88,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Poszukując odpowiedzi na pytanie, dla jakich danych uzyskano tak znaczną przepustowość, wykonano obliczenia, przyjmując współczynnik szorstkości całego koryta (dna i skarp) równy 0,025, oraz spadek 2‰, tj. dane jak w opracowaniu IMGW, przy czym mniejszą szorstkość dla terenu zalewowego, tzn. równą 0,025, a nie 0,035. Uzyskane natężenie przepływu przy stanie 430 cm wynosi $84,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a nie $95,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, jak podano w opracowaniu IMGW. Aby uzyskać natężenie przepływu wynoszące $95,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, przy spadku zwierciadła wody równym 2‰ należałoby przyjąć współczynnik szorstkości całego przekroju niższy od 0,025.

WNIOSKI

Niezależnie od stwierdzenia stałości przekroju wodowskazowego, na którą wskazywała lokalizacja analizowanego przekroju, konieczne są cykliczne weryfikacje geodezyjne zmian kształtu przekroju, co jest kwestią oczywistą, oraz weryfikacje obliczeń krzywych natężenia przepływu.

Według określonej, w wyniku pomiarów i obliczeń weryfikujących, krzywej natężenia przepływu przekroju wodowskazowego w km 8+400 rzeki Dłubni maksymalny przepływ w tym przekroju wynosi $88,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a nie $95,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, jak podano w opracowaniu IMGW. Informacja ta będzie miała wpływ na warunki prowadzenia gospodarki wodnej zbiorników wodnych w Zesławicach, znajdujących się ponad 300 m powyżej wodowskazu. Skorygowana, niższa przepustowość koryta Dłubni poniżej zbiorników wodnych powinna zostać uwzględniona w instrukcji eksploatacji zbiorników w zapisie dotyczącym zrzutu wód w trakcie wezbrania.

PIŚMIENNICTWO

- Byczkowski A., 1996. Hydrologia. T. 1. Wydawnictwo SGGW Warszawa.
- Instrukcja gospodarowania wodą, utrzymania i eksploatacji zbiornika. 2003. Archiwum Krakowskiego Związku Spółek Wodnych Kraków (maszynopis).
- Jedzok H., Nowak M., 1993. Założenie wodowskazu i opracowanie krzywej konsumcyjnej dla profilu Zesławice na rzece Dłubni. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział Kraków (maszynopis).
- Książczyński K., Jeż P., Gręplowska Z., 2000. Tablice do obliczeń hydraulicznych. Wyd. 2 popr. Politechnika Krakowska Kraków.
- Procedura pomiarowa. Pomiar natężenia przepływu za pomocą młynka hydrometrycznego – wykonany w bród. IMGW/PSHM/SPO/POM/2002 (maszynopis).
- Szcutnicki J., Kadłubowski A., Chudy Ł., 2007. Metody wyznaczania krzywej natężenia przepływu. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Warszawa.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 24.08.2012