

## WYZNACZENIE KRZYWEJ NATĘŻENIA PRZEPIYU DLA PRZEKROJU ZLOKALIZOWANEGO W STREFIE ODDZIAŁYWANIA SPIĘTRZENIA PRZEPIYWÓW NISKICH

### DETERMINATION OF THE RATING CURVE FOR CROSS-SECTION SITUATED IN THE ZONE OF THE INFLUENCE OF LOW FLOWS DAMMING UP

Bogusław Michalec

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki pomiarów geodezyjnych i hydrometrycznych oraz obliczeń wykonanych w celu opracowania krzywej natężenia przepływu przekroju Dłubni zlokalizowanego 810 m powyżej wlotu do zbiorników wodnych. Natężenie przepływu obliczono metodą Harlachera na podstawie danych hydrometrycznych i za pomocą wzoru Chézy'ego. Stwierdzono, że przepływy obliczone wg wzoru Chézy'ego są znacznie wyższe od określonych metodą Harlachera. Przy napełnieniach wynoszących 1,00 i 1,06 m przepływ obliczony wg wzoru Chézy'ego jest odpowiednio ponad pięciokrotnie i ponad półtorakrotnie wyższy od obliczonego na podstawie pomiarów hydrometrycznych. Wraz z napełnieniem różnica ta ulega zmniejszeniu. Przyczyną tak znacznych różnic w wynikach obliczeń natężania przepływu jest wpływ układu podłużnego dna koryta, zakłóconego oddziaływaniem mostu. Stwierdzono, że wykonanie pomiarów spadku dna cieku na dłuższym odcinku poniżej rozpatrywanego przekroju rzeki może wykazać ewentualny wpływ spiętrzenia przepływów strefy stanów niskich wynikający z układu podłużnego dna.

**Abstract.** The results of survey and hydrometric measurements and calculations made in the aim of the study of the rating curve of the cross-section in the river Dłubnia situated 810 m above inlet to water reservoirs were introduced in the work. The intensity of the water flow was calculated on the basis of the hydrometric data using the Harlachier's method and for the help of the Chézy's formula. It was stated that the water flows calculated using Chézy's formula were considerably higher than determined the Harlachier's method. The water flow calculated using Chézy's formula with water depths carrying out 1.00 and 1.06 m

---

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.

is suitably above five times and above 1,5 times higher than calculated on the basis of hydrometric measurements. This difference gets smaller together with enlarging the water depth. The cause so considerable differences of the got calculations results of the water flow intensity is the influence of the arrangement of the longitudinal profile of channel bottom, disturbed the influence of the bridge. It was stated that the realization of the measurements of the bottom slope of channel on longer section below the considered cross-section of the river could show the possible influence of water damming up of the water flows of low states resulting from the

**Słowa kluczowe:** wodowskaz, krzywa natężenia przepływu, spiętrzenie

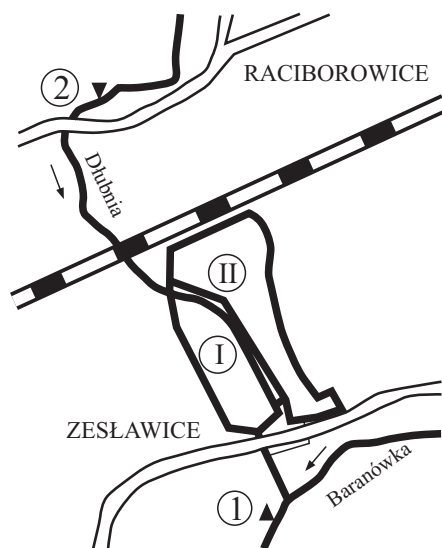
**Key words:** water-gauge, rating curve, damming up

## WSTĘP

Właściwa eksploatacja urządzeń wodnych, wymienionych w ustawie Prawo wodne [2001], wymaga między innymi określenia natężenia przepływów dobowych. W tym celu wyznacza się przekroje w ciekach, w których instaluje się posterunki wodowskazu, umożliwiające określenie natężenia przepływów dobowych na podstawie związku przepływu i stanu wody. Metody wyznaczania krzywej natężenia przepływu są opisane w wielu pracach, m.in. Byczkowskiego [1996], Bajkiewicz-Grabowskiej i Mikulskiego [1999], Szkutnickiego i in. [2007]. Opracowane krzywe natężenia przepływu dla przekrojów koryt naturalnych i sztucznych nie mają cech trwałości i ścisłości. Jak podaje Byczkowski [1996], rozrzut punktów, przedstawiających wyniki pomiaru natężenia przepływu przy danym stanie wody w korycie, może być spowodowany przez wiele różnych czynników i może stanowić również efekt błędów pomiarów i obliczeń. Spośród czynników mających wpływ na trwałe zmiany związku stan–przepływ najczęściej wymienia się procesy akumulacji i erozji materiału dennego powodujące zmiany poziomu zera wodowskazu oraz przekroju poprzecznego rzeki. Zmiany te mogą być również spowodowane pracami regulacyjnymi, obwałowaniem rzeki. Ustalając związek stan–przepływ, należy, w zależności od intensywności zmian naturalnych w korycie ciek, dokonywać weryfikacji krzywej natężenia przepływu. Zmiany krzywej natężenia przepływu mogą również mieć charakter nietrwały i być spowodowane zarastaniem koryt rzecznych, zjawiskami lodowymi i spiętrzeniem zwierciadła wody. Wpływ spiętrzenia zwierciadła wody na zmiany krzywej natężenia przepływu jest przeważnie okresowy. Stały wpływ spiętrzenia wody w ciek na związek stan–przepływ dotyczy szczególnych przypadków, takich, kiedy wodowskaz został zlokalizowany w strefie cofki utworzonej w warunkach normalnego piętrzenia wody budowlą piętrzącą. W pracy przedstawiono szczególny przypadek stałego wpływu spiętrzenia wody w ciek na związek stan–przepływ, spowodowanego układem dna ciek w profilu podłużnym. Celem pracy jest przedstawienie przyjętej metodyki wyznaczenia krzywej natężenia przepływu dla przekroju zlokalizowanego w strefie oddziaływania spiętrzenia przepływów niskich. Przekrój ten został wyznaczony w korycie rzeki Dłubni powyżej zasięgu cofki zbiorników wodnych w Zesławicach.

Zapora zbiorników wodnych w Zesławicach została zlokalizowana w km 8+400 rzeki Dłubni i zamyka jej zlewnię o powierzchni 218,1 km<sup>2</sup>. Rzeka Dłubnia, której całkowita długość wynosi 53,2 km, a jej źródła znajdują się na Wyżynie Krakowskiej, przepływa przez Wyżnę Miechowską oraz Wysoczyznę Proszowicką, znajdując swoje ujście w Do-

linie Wisły, stając się lewobrzeżnym dopływem tej rzeki w km 89+400. Powierzchnia zlewni Dłubni jest równa 274 km<sup>2</sup>. Przepływy w Dłubni kontrolowane są na jedynym wodowskazie, znajdującym się w km 8+400, oznaczonym cyfrą 1 na rys. 1. Wodowskaz ten został założony przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział Kraków w 1993 r. na prawym brzegu Dłubni, około 100 m poniżej ujścia potoku Baranówka.



Rys. 1. Przekroje wodowskazowe na rzece Dłubni: 1 – istniejący, 2 – projektowany, oraz zbiorniki wodne w Zesławicach: I – zbiornik główny, II – zbiornik remontowy

Fig. 1. Water-gauge stations on the Dłubnia river: 1 – existing, 2 – designed, and water reservoirs at Zesławice: I – main reservoir, II – assistant reservoir

W odległości około 300 m powyżej wodowskazu znajduje się zapora ziemna zbiorników wodnych w Zesławicach. Przekrój, w którym planowana jest lokalizacja wodowskazu służącego określeniu natężenia przepływu wód Dłubni dopływających do zbiorników w Zesławicach, oznaczono na rys. 1 cyfrą 2.

Zbiornik główny w Zesławicach został oddany do eksploatacji w 1966 r. Po siedemnastu latach eksploatacji został zamulony w ponad 50%. Przed przystąpieniem do jego odmulenia wybudowano w latach 1986–1987 zbiornik remontowy. Odmulenie zbiornika głównego wykonano w 1989 r. Pojemność zbiorników głównego i remontowego wynosi odpowiednio 228 tys. m<sup>3</sup> i 198 tys. m<sup>3</sup> [Michalec 2008]. Powierzchnia zalewu przy normalnym poziomie piętrzenia wody zbiornika głównego wynosi 9,5 ha, a zbiornika remontowego 11,3 ha. Ze względu na niską jakość wody zgromadzonej w zbiornikach od 2000 r. nie pełnią one funkcji awaryjno-zapasowego ujęcia wody pitnej dla Krakowa. Poza funkcją rekreacyjną zbiorniki te służą do wyrównania stanów niżówkowych w korycie Dłubni.

Jedną z funkcji obu zbiorników była ochrona przeciwpowodziowa, która ze względu na intensywność zamulania została ograniczona. W ciągu całego okresu eksploatacji zbiorników ekstremalne wezbrania powodowały zagrożenie powodziowe zarówno powy-

zej, jak i poniżej zbiorników. Szczególne skutki wezbrania miały miejsce 18 lipca 2010 r. Spowodowało ono zatopienie zabudowań w Zesławicach, znajdujących się poniżej zapory zbiorników. Według danych Krakowskiego Związku Spółek Wodnych kilka dni przed tym zdarzeniem dokonano zrzutu wody ze zbiorników w celu zwiększenia możliwości retencjonowania wód wezbraniowych. Intensywne deszcze nawalne 18 lipca 2010 r. przyczyniły się powstaniu fali powodziowej w zlewni Dłubni zamkniętej zaporą zbiorników i w zlewni potoku Baranówka, wpływającego do Dłubni poniżej zapory zbiorników w Zesławicach. Pomimo utworzonej rezerwy powodziowej w zbiornikach część dopływających do nich wód została przepuszczona przez urządzenia upustowe zapory, co było związane z zachowaniem warunków bezpieczeństwa zapory. Zrzut części przepływu wód wezbraniowych wraz z przepływem wody w potoku Baranówka przekraczał zdolność przepustową koryta Dłubni poniżej zbiorników, co spowodowało zatopienie terenów przybrzeżnych. Ze względu na zaistniałą sytuację powodziową Krakowski Związek Spółek Wodnych został decyzją wodnoprawną zobligowany do wykonania posterunku wodowskazowego ze stacją telemetryczną, który to posterunek powinien być zlokalizowany w przekroju Dłubni powyżej zbiorników. Wodowskaz ma umożliwić określenie natężenia przepływu wody dopływającej do zbiorników i umożliwić optymalne sterowanie gospodarką wodną zbiorników wodnych w Zesławicach [Michalec i in. 2011]. Sterowanie to ma polegać na odpowiednio regulowanym odpływie wody ze zbiorników i odpowiednim zmniejszeniu poziomu piętrzenia wody, umożliwiającym redukcję fali webraniowej. Dzięki tym działaniom zamierza się zmniejszyć ryzyko zatopienia terenów miejscowości Zesławice i miasta Krakowa. W celu dokładniejszego śledzenia sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej planuje się założenie kilku stacji wodowskazowych i pluwiografowych na terenie zlewni rzeki Dłubni.

## METODYKA BADAŃ

W wytypowanym przekroju poprzecznym w km 10+110 rzeki Dłubni, oznaczonym cyfrą 2 na rys. 1, wykonano pomiary geodezyjne i pomiary hydrometryczne prędkości przepływu wody. Pomiary geodezyjne przekroju poprzecznego i spadku podłużnego zwierciadła wody wykonano za pomocą niwelatora Topcon AT-G6, a pomiary hydrometryczne przy użyciu młynka indukcyjnego Nautilus C2000 OTT Hydrometrie. Pomiary geodezyjne, obejmujące określenie spadku podłużnego zwierciadła wody na odcinku 120 m, a także pomiary rzędnych dna, brzegów i terenów przybrzeżnych, przeprowadzono 19 października 2011 r.

W celu określenia związku stan–przepływ pomiary prędkości przepływu wody wykonano przy zróżnicowanych przepływach. Ze względu na okres jesiennych niżówek i w związku z tym niewielkie zróżnicowanie przepływów, pomiary hydrometryczne prędkości przepływu wody przeprowadzono w trakcie zrzutów wody zgromadzonej na jazie w Raciborowicach znajdującym się 960 m powyżej przyjętego przekroju wodowskazowego. W przekroju wodowskazowym wyznaczano pionki hydrometryczne w odległościach 0,4–0,6 m. W każdym z pionów, w zależności od napełnienia, mierzono prędkości przepływu wody na co najmniej trzech wysokościach pionu hydrometrycznego [Procedura pomiarowa 2002]. Przepływ całkowity obliczano metodą Harlachera [Byczkowski 1996]. W trakcie pomiarów hydrometrycznych wykonano również kontrolne

pomiary geodezyjne przekroju poprzecznego i spadku zwierciadła wody. Wyniki tych pomiarów umożliwiły przeprowadzenie weryfikujących obliczeń przepływu według wzoru Chézy'ego, w którym współczynnik szorstkości koryta przyjęto z tablic Ven Te Chow [Książczyński i in. 2000], a współczynnik prędkości obliczono wzorem Manninga. Obliczenia teoretyczne przepływu w korycie, według powyższej metodyki, zrealizowano za pomocą opracowanego programu komputerowego „cieq v.2.9.xls” (Microsoft Visual Basic for Application).

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Pierwszy pomiar hydrometryczny wykonano w trakcie pomiarów geodezyjnych 19 października 2011 r. Napęlenie w korycie rzeki wynosiło 1,06 m (tab. 1). Kolejne trzy pomiary hydrometryczne przeprowadzono w ciągu jednego dnia, tj. 25 października 2011 r., a zróżnicowanie napęleń i natężenia przepływu wody uzyskano w wyniku zrzutów wody z jazu w Raciborowicach. Pierwszy z tych pomiarów hydrometrycznych wykonano przy natężeniu przepływu wody utrzymywanym zgodnie z instrukcją eksploatacji jazu w Raciborowicach. W trakcie pomiarów napęlenie w korycie rzeki wynosiło 1,05 m (tab. 1). Drugi pomiar hydrometryczny wykonano przy zwiększonym przepływie, spowodowanym otwarciem zamknięć jazu w Raciborowicach. Napęlenie w korycie rzeki w trakcie drugiego pomiaru wynosiło 1,44 m (tab. 1). Trzeci pomiar hydrometryczny miał miejsce po całkowitym zamknięciu zamknięć jazu w Raciborowicach, powodującym zmniejszenie natężenia przepływu wody. Napęlenie w korycie rzeki w trakcie tego pomiaru wynosiło 1,00 m (tab. 1). Wykonując pomiary hydrometryczne przy różnych napęleniach w korycie Dłubni, określono również spadek zwierciadła wody.

Prędkość przepływu wody mierzono na różnych wysokościach pionów hydrometrycznych, rejestrując wartość średnią z 15-sekundowego pomiaru. W każdym punkcie wykonano serię trzykrotnych pomiarów. Wyniki pomiarów prędkości w pionach hydrometrycznych umożliwiły obliczenie natężenia przepływu całkowitego według wzoru Harlachera [Byczkowski 1996]. Wyniki tych obliczeń porównano z natężeniami prze-

Tabela 1. Napęlenia, spadki i rzędne zwierciadła wody w przekroju projektowanego wodowskazu rzeki Dłubni

Table 1. Water depth, slopes and ordinates of water level in cross-section of designed gauge station in the Dłubnia river

Data pomiaru Measurement date	Napęlenie w korycie rzeki Water depth in river channel m	Rzędne zwierciadła wody w przekroju wodowskazowym m n.p.m. Ordinate of water level in gauge station m a.s.l.	Spadki zwierciadła wody Slope of water ‰
19.10.2011	1,06	215,81	0,58
25.10.2011 (pomiar 1)	1,05	215,80	0,56
25.10.2011 (pomiar 2)	1,44	216,19	1,16
25.10.2011 (pomiar 3)	1,00	215,75	0,69

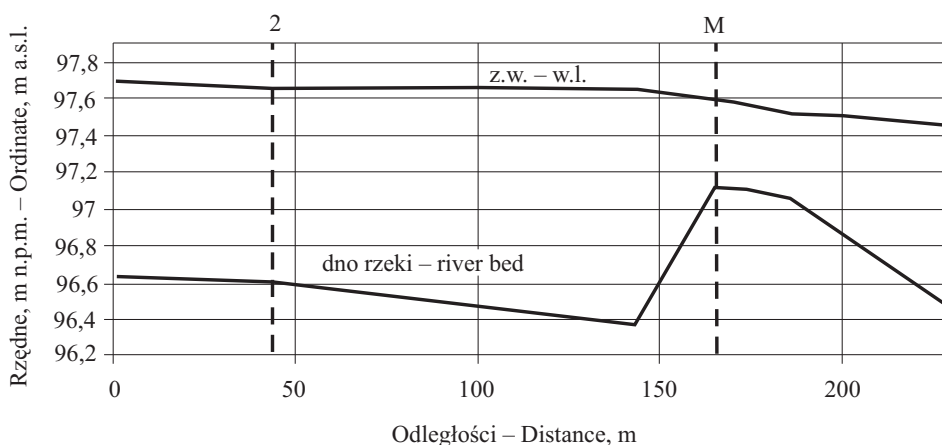
plywu określonymi za pomocą wzoru Chézy'ego, w którym współczynnik szorstkości koryta przyjęto do wzoru Manninga z tablic Ven Te Chow [Michalec i in. 2012], wynoszący odpowiednio:  $n = 0,025$  – koryto ciek, dno pokryte mułem;  $n = 0,030$  – koryto ciek (podstawa skarpy) wyłożone płytami betonowymi, a także skarpy koryta ciek z niską trawą;  $n = 0,050$  – skarpy koryta ciek z pojedynczymi krzakami. Obliczenia natężenia przepływu w korycie wykonano za pomocą autorskiej aplikacji – programu komputerowego „cieq v.2.9.xls” (Microsoft Visual Basic for Application). Natężenia przepływu obliczone metodą Harlachera na podstawie danych hydrometrycznych i natężenia przepływu obliczone wg wzoru Chézy'ego przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników obliczeń natężenia przepływu w przekroju projektowanego wodowskazu rzeki Dłubni

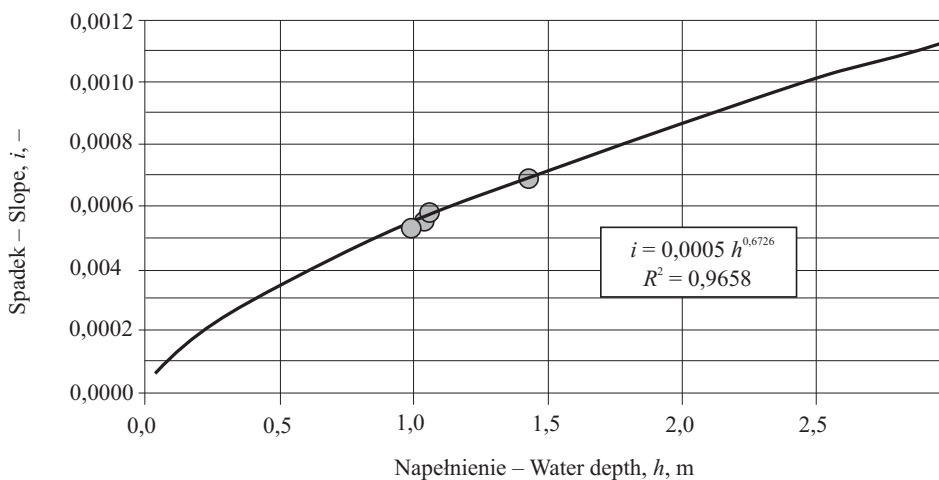
Table 2. Comparison of results of water flow calculations in level in cross-section of designed gauge station in the Dłubnia river

Napełnienie w korycie rzeki Water depth in river channel m	Przepływ obliczony na podstawie Water flow calculated on basis of $m^3 \cdot s^{-1}$	
	pomiarów hydrometrycznych hydrometric measurements	wzoru Chézy'ego Chézy formula
1,00	0,28	1,75
1,05	0,71	1,98
1,06	0,79	2,04
1,44	2,58	4,15

Przepływy obliczone wg wzoru Chézy'ego są znacznie wyższe od określonych metodą Harlachera. Przy napełnieniach wynoszących 1,00 i 1,06 m przepływ obliczony wzorem Chézy'ego jest odpowiednio ponad pięciokrotnie i ponad półtorakrotnie wyższy od obliczonego na podstawie pomiarów hydrometrycznych. Wraz z napełnieniem różnica ta ulega zmniejszeniu – dla napełnienia  $h = 1,44$  m przepływ obliczony wg wzoru Chézy'ego okazuje się o 61% wyższy od określonego na podstawie pomiarów. Uzyskanie tak znacznych różnic wyników zostało wyjaśnione po wykonaniu dodatkowych pomiarów geodezyjnych dna Dłubni na dłuższym odcinku poniżej analizowanego przekroju. Przyczyną tak znacznych różnic uzyskanych wyników obliczeń natężenia przepływu dla danego napełnienia jest wpływ układu podłużnego dna koryta, zakłóconego wpływem mostu, znajdującego się 121 m powyżej przyjętego przekroju wodowskazowego (rys. 2). Rzędna dna w przekroju projektowanego wodowskazu jest o ponad 0,5 m niższa od rzędnej dna w przekroju mostu. Taki układ dna powoduje spiętrzenie przepływów niskich i średnich, dlatego według obliczeń wzorem Chézy'ego napełnienie dla przepływu  $Q = 0,28 m^3 \cdot s^{-1}$  powinno wynosić ok. 0,42 m, a nie 1,00 m, jak stwierdzono w trakcie pomiarów (tab. 2). Obliczenia wykonane za pomocą programu „cieq v.2.9.xls” (wg wzoru Chézy'ego) są poprawne w przypadku zachowania stałego spadku dna (zwierciadła wody) na całej długości analizowanego odcinka rzeki, tzn. nie uwzględniają wpływu spiętrzenia przepływu wywołanego tak znacznym wzniesieniem dna – rzędna dna w przekroju mostu jest o ponad 0,70 m wyższa od rzędnej dna przekroju w odległości około 20 m od mostu.



Rys. 2. Profil podłużny dna rzeki Dłubnia; 2 – projektowany wodowskaz, M – most  
 Fig. 2. Longitudinal profile of the Dłubnia river; 2 – designed gauge station, M – bridge



Rys. 3. Zależność korelacyjna spadku zwierciadła wody i napelniania w przekroju projektowanego wodowskazu  
 Fig. 3. The correlation relationship of the slope of water and water depth in the cross-section of designed gauge station

Krzywą natężenia przepływu opracowano zarówno na podstawie wyników pomiarów, jak i na podstawie obliczeń wg wzoru Chézy’ego. Wykonując obliczenia zgodnie z tym wzorem, uwzględniono zmianę spadku zwierciadła wody, stwierdzoną w trakcie pomiarów hydrometrycznych (tab. 1). W tym celu, uwzględniając uwagę zamieszczoną w opracowaniu IMGW [Szkutnicki i in. 2007], według której należy dążyć do ustalenia zależności stan wody–przepływ odpowiadającej spadkom zwierciadła wody w ruchu ustalonym, określono zależność korelacyjną przedstawiającą związek napelnień i spadku

zwierciadła wody. Niezbędne do tego dane przyjęto z tab. 1. Zależność korelacyjną, przedstawioną na rys. 3, należy traktować jako przybliżoną ze względu na zbyt małą liczbę danych.

Głębokość koryta Dłubni w przekroju projektowanego wodowskazu wynosi 2,90 m, a spadek zwierciadła wody przy maksymalnym napełnieniu, określony z zależności przedstawionej na rys 3, wynosi 1,01‰. Zatem przepływ brzegowy w tym przekroju obliczony według wzoru Chézy'ego, bez uwzględnienia spiętrzenia przepływów spowodowanego wzniesieniem dna znajdującego się poniżej w przekroju mostu, jest równy  $19,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Wyniki obliczeń krzywej natężenia przepływu, wyznaczonej na podstawie obliczeń hydraulicznych przy użyciu wzoru Chézy'ego, zostaną porównane z krzywą natężenia przepływu opracowaną na podstawie pomiarów hydrometrycznych.

Równanie krzywej natężenia przepływu obliczono dla danych uzyskanych z pomiarów hydrometrycznych równaniem Bubendeya [Byczkowski 1996]. Równanie to opracowano metodą najmniejszych kwadratów, rozwiązując układ równań:

$$n + b \sum_1^n H_i + c \sum_1^n H_i^2 = \sum_1^n Q_i \quad (1)$$

$$a \sum_1^n H_i + b \sum_1^n H_i^2 + c \sum_1^n H_i^3 = \sum_1^n Q_i H_i \quad (2)$$

$$a \sum_1^n H_i^2 + b \sum_1^n H_i^3 + c \sum_1^n H_i^4 = \sum_1^n Q_i H_i^2 \quad (3)$$

Układ równań rozwiązano metodą wyznaczników, określając współczynniki  $a$ ,  $b$  i  $c$  równania Bubendeya, uzyskując krzywą natężenia przepływu w funkcji napełnienia  $h$  (m) w postaci:

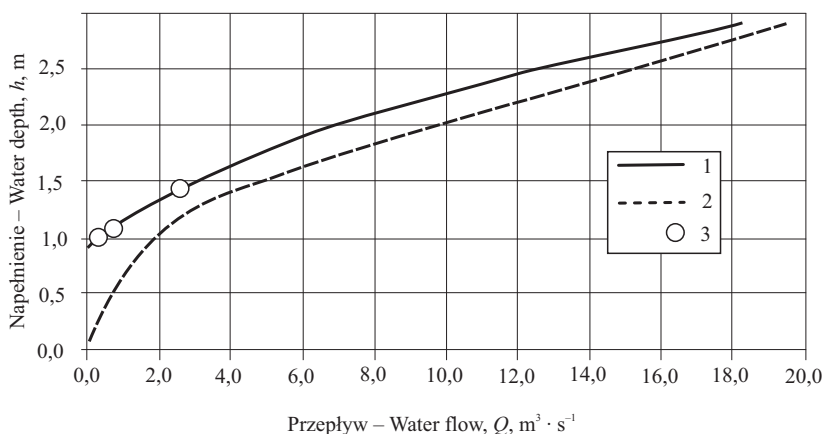
$$Q = 3,0697 \cdot h^2 - 2,61336 \cdot h - 0,00278 \quad (4)$$

gdzie:

- $Q$  – natężenie przepływu,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,
- $h$  – napełnienie w korycie, m

Na rys. 4 zamieszczono krzywą natężenia przepływu (krzywa 1), wyznaczoną według równania (4). Opracowana krzywa jest ważna dla napełnień w korycie rzeki Dłubni w badanym przekroju mieszczących się w przedziale od 0,86 do 2,90 m. Na rycinie 4 zamieszczono również krzywą natężenia przepływu (krzywa 2) opracowaną na podstawie obliczeń hydraulicznych wzorem Chézy'ego.





Rys. 4. Krzywe natężenia przepływu przekroju projektowanego wodowskazu opracowane; 1 – według równania Bubendeya, 2 – na podstawie obliczeń hydraulicznych wzorem Chézy’ego, 3 – dane z pomiarów hydrometrycznych

Fig. 4. The rating curves of the cross-section of the designed water-gauge worked out; 1 – according to Bubendey’s equation, 2 – on the basis of hydraulic calculations the Chézy’s formula, 3 – the data from hydrometric measurements

## WNIOSKI

Opracowanie krzywej natężenia przepływu wymaga – poza wykonaniem pomiarów geodezyjnych przekroju poprzecznego cieku i spadku dna oraz zwierciadła wody wraz z pomiarami hydrometrycznymi przy zróżnicowanych przepływach wody – stwierdzenia, czy przekrój, dla którego wyznaczana jest ta krzywa, nie znajduje się w zasięgu spiętrzenia wód, spowodowanego różnymi przyczynami. Wykonanie pomiarów spadku dna cieku na dłuższym odcinku poniżej rozpatrywanego przekroju rzeki może wykazać ewentualny wpływ spiętrzenia przepływów strefy stanów niskich wynikający z układu podłużnego dna.

W przypadku analizowanego przekroju rzeki Dłubni przyczyną niezgodności wyników obliczeń natężenia przepływu na podstawie wyników pomiarów i obliczeń wg wzoru Chézy’ego był wpływ spiętrzenia wody spowodowanego wzniesieniem dna w świetle mostu, znajdującego się 121 m poniżej tego przekroju. Rzędna dna w świetle mostu jest o ponad 0,5 m większa od rzędnej dna przekroju projektowanego wodowskazu. Powoduje to zmianę warunków przepływu wody stanów niskich, co znajduje odzwierciedlenie w przebiegu krzywej natężenia przepływu badanego przekroju Dłubni. Krzywa ta, wyznaczona na podstawie pomiarów hydrometrycznych i opisana równaniem Bubendeya, jest ważna dla napień w korycie rzeki mieszczących się w przedziale od 0,86 do 2,90 m. Uściślenie przebiegu krzywej w zakresie napień w przedziale od 0,50 do 0,86 m wymaga wykonania pomiarów hydrometrycznych przy tych napienieniach. Dotychczasowe pomiary hydrometryczne wykonano przy niskich przepływach w okresie

jesiennych niżówek, a najniższy pomierzony przepływ, wynoszący  $0,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , otrzymano w korycie poprzez zmniejszenie przepływu spowodowanego zamknięciem zamknięć jazu w Raciborowicach, który znajduje się powyżej, w celu spiętrzenia wody. Wykonanie pomiarów hydrometrycznych przy niższych przepływach może okazać się trudne do zrealizowania.

## PIŚMIENNICTWO

- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1999. Hydrologia ogólna. PWN Warszawa.
- Byczkowski A., 1996. Hydrologia. Wyd. SGGW Warszawa.
- Książczyński K., Jeż P., Gręplowska Z., 2000. Tablice do obliczeń hydraulicznych. Wyd. 2 popr. i uzup. Politechnika Krakowska Kraków.
- Michalec B., 2008. Ocena intensywności procesu zamulania małych zbiorników wodnych w dorzeczu Górnej Wisły. Zesz. Nauk. UR Krak. 451, Rozprawy 328.
- Michalec B., Tarnawski M., Olearczyk D., Stonawski J., 2011. Projekt posterunku wodowskazowego na rzece Dłubni umożliwiającego kontrolę dopływu wody do zbiornika wodnego Zesławice. Opracowanie wykonane na zlecenie Krakowskiego Związku Spółek Wodnych w Krakowie, z dnia 10.10.2011. Maszynopis. Archiwum Katedry Inżynierii Wodnej i Geotechniki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.
- Procedura pomiarowa. Pomiar natężenia przepływu za pomocą młynka hydrometrycznego – wykonany w bród. Maszynopis. IMGW/PSHM/SPO/POM/2002.
- Szkutnicki J., Kadłubowski A., Chudy Ł., 2007. Metody wyznaczania krzywej natężania przepływu. IMGW Warszawa.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne. Dz.U. z 2001 r. Nr 115, poz. 1129 (tekst jednolity: Dz.U. z 2012 r. Nr 0, poz. 145).

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.12.2012*