

Bogusław Michalec

**OCENA WPLYWU STOPNIA WODNEGO
NA PRZEPUSTOWOŚĆ KORYTA
POTOKU CZARNA WODA W MIEJSCOWOŚCI ŁĄCKO**

***ASSESSMENT OF INFLUENCE OF RIVER BARRAGE
ON THE HYDRAULIC CAPACITY OF THE STREAM
CZARNA WODA IN LOCALITY ŁĄCKO***

Streszczenie

Zmniejszenie skutków powodzi może zostać osiągnięte poprzez zmniejszenie ryzyka powodziowego. Wymaga to niejednokrotnie kompleksowych prac obejmujących nie tylko ocenę zdolności przepustowej koryta cieką na obszarze zagrożonym powodzią, ale również koryta znajdującego się w wyższych częściach zlewni. Uniknięcie znacznych nakładów finansowych na usuwanie skutków powodzi może zostać dokonane między innymi poprzez poprawę przepustowości koryta. Wcześniej należy dokonać oceny aktualnego stanu zabudowy cieką. W wyniku oceny zniszczeń wywołanych wystąpieniem wód z koryta potoku Czarna Woda stwierdzono, że fala wodno-błotna dotarła do centrum Łącka, płynąc całą szerokością zurbanizowanej, przykorytowej części doliny.

Celem badań jest wskazanie przyczyn stwarzających zagrożenie powodziowe dla miejscowości Łącko. W tym celu dokonano oceny stanu zabudowy i przepustowości potoku Czarna Woda, którego koryto biegnie przez górne dzielnice oraz centrum miejscowości Łącko. Wody potoku Czarna Wodna prowadzone są żłobem kamiennie-betonowym. Dokonana ocena możliwości przepustowej koryta umożliwiła wskazanie odcinków potoku o niskiej przepustowości. Wykonane pomiary spadku podłużnego dna potoku Czarna Woda na odcinku 553 m oraz dziewięciu wyznaczonych przekroji poprzecznych stanowiły podstawę obliczeń napełnienia dla przepływu miarodajnego. Przepływ ten o prawdopodobieństwie przewyższania wynoszącym 1%, służący do wymiarowania koryt potoków, obliczono wzorem karpackim Punzeta. Obliczony wzorem przepływ miarodajny $Q_{1\%}$ wynosi $94,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na badanym odcinku żłobu znajdują się dwa mosty i stopień wodny. Zdolność przepustową koryta potoku określono dla przepływu miarodajnego.

Wykazano, że na odcinku o długości ponad 100 m, znajdującym się powyżej centrum Łącka nastąpi wystąpienie wody z brzegów wskutek zbyt płytkiego

koryta. Zlokalizowane mosty w km 1+110 i w km 1+554 nie powodują spiętrzenia wody miarodajnej w świetle mostów. Stopień wodny, znajdujący się powyżej odcinka żłobu o niskiej przepustowości, charakteryzuje się zbyt małym wydatkiem wynoszącym jedynie $65,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zwiększenie zdolności przepustowej stopnia, zapewniającej przepływ wody miarodajnej w korycie, wymagałoby zwiększenia wysokości przyczółków o co najmniej 0,56 m.

Stwierdzono, że straty powodziowe w centrum Łacka spowodowane są głównie przez wystąpienie wody ze żłobu, biegnącego od stopnia wodnego do nowego odcinka żłobu, znajdującego się w centrum miejscowości. Przyczyną istniejącego zagrożenia powodziowego jest zarówno stopień wodny znajdujący się w km 1+506, powodujący znaczne spiętrzenie przepływu miarodajnego, jak również zbyt niskie obwałowanie koryta potoku Czarna Woda powyżej stopnia.

Słowa kluczowe: przepustowość, koryto potoku, stopień wodny, most

Summary

The reduction of flood effects may be attained by lowering the risk of flood. This often requires complex works not only on the assessment of conveyance of the open channel on the territory exposed of flood but also of the capacity of the upper part of the river channel. Great cost for decrease of flood damages can be avoided by improving the conveyance of the channel. This can be proceeded by assessment of the existing state of the open channel development. In result of assessment of damages caused by overflow from the the Czarna Woda channel it was established, that a water-muddy wave reached the center of the locality Łacko flowing over the whole width of the urbanized adjacent part of the valley.

The aim of the studies was to point out the causes of flood threat to the locality Łacko. The state of development and conveyance of the Stream Czarna Woda, flowing across the upper districts and the center of Łacko was assessed. The Stream Czarna Woda flows in a trained open channel constructed by a stone-concrete channel. The performed evaluation of conveyance capacity of channel permits to identify sections of low conveyance of the stream. The performed measurements of the longitudinal slope of bed of the Stream Czarna Woda on the length of 460 m and in nine cross-sections have constituted the basis for calculations for reliable flow. This flow of probability 1%, is used to dimensioning of channel was calculated by use of the Carpathian Punzet's formula. The reliable flow equals $94,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. In the studied section of the stone-concrete channel there are two bridges and one river barrage. The conveyance of the stream bed conditions of reliable flow trough these structures was determined.

It was shown that in the stream bed in a section of length of 100 m located above the center of Łacko, overflow of water from the too shallow bed will occur. The bridges located at km 1+110 and km 1+554 do not cause the rise of water level at reliable flows. The river barrage, ensuring flow of reliable flow in the stream bed would require the elevation of side-walls by 0,56 m.

It was stated that flood damages in the canter of Łacko are caused by overflow from stone-concrete channel funning from the river barrage to the new section of stone-concrete channel located in the center of the locality. Both the river barrage located at km 1+506 causing considerable damming up of the reliable flow and a too low embankment of the Stream Czarna Woda upstream of barrage are the causes of the existing flood threat.

Key words: conveyance, open channel, river barrage, bridge

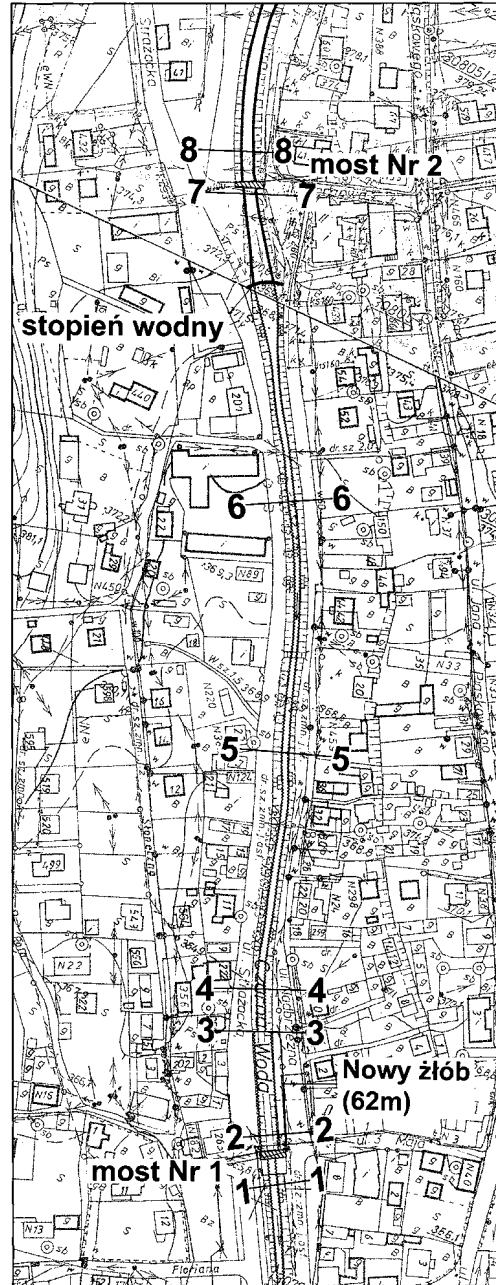
WSTĘP

Skutki powodzi w roku 1997 i 2001 zwróciły ponownie uwagę na istniejące zagrożenie powodziowe obszarów Polski południowej. Szczególnie dotkliwe w skutkach wezbrania rzek i potoków górskich obszaru karpackiego spowodowały znaczne straty gospodarcze. Usuwanie skutków powodzi wymaga przeznaczenia dużych nakładów finansowych. Zmniejszenie tych nakładów zostać osiągnięte poprzez zmniejszenie ryzyka powodziowego. Wymaga to niejednokrotnie kompleksowych prac, obejmujących nie tylko ocenę zdolności przepustowej koryta cieku na obszarze zagrożonym powodzią, ale również koryta znajdujące się w wyższych częściach zlewni. Przyczyną zatopienia obszarów niżej położonych jest przeważnie fala wezbraniowa, która występując z brzegów cieku, powoduje zatopienie obszaru przyległego. Według takiego schematu przebiegała w latach 1997 i 2001 powódź w miejscowości Łącko. Straty wywołane powodzią w 2001 roku, określone przez Komisję Wojewódzką ds. szacowania skutków klęsk spowodowanych zjawiskami atmosferycznymi, wyniosły ok. 5287 tys. zł. W wyniku analizy istniejących warunków przepustowości koryta mogą zostać wykonane prace zapewniające zminimalizowanie ryzyka powodziowego, poprzez zwiększenie przepustowości koryta, na przykład poprzez jego obwałowanie, czy też modernizację obiektów mostowych lub hydrotechnicznych. Przeprowadzona analiza przepustowości koryta, uwzględniająca zabudowę techniczną, może wskazać jakie środki lub metody działania mogą przyczynić się do ograniczenia zagrożenia powodziowego. Celem wykonanych prac badawczych jest określenie wpływu stopnia wodnego na przepustowość koryta potoku Czarna Wodna oraz wskazanie przyczyn stwarzających zagrożenie powodziowe miejscowości Łącko. W tym celu dokonano oceny stanu zabudowy regulacyjnej, stopnia wodnego i obiektów mostowych oraz określono przepustowość potoku Czarna Woda, którego koryto biegnie przez górne dzielnice oraz centrum miejscowości Łącko. Dokonana ocena możliwości przepływu w korycie wody miarodajnej umożliwiła wskazanie odcinków potoku charakteryzujących się niską przepustowością. Może ona również stanowić podstawę opracowania koncepcji zabezpieczenia zagrożonej powodziami miejscowości Łącko.

Zlewnia potoku Czarna Woda położona jest na wysokości 350–400 m n.p.m. Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 29,3 km². Średni roczny opad wynosi 697 mm. Obszar zlewni charakteryzuje łagodny klimat, należący do piętra klimatycznego umiarkowanie ciepłego [Dynowska, Maciejewski 1991]. W przypadku gwałtownych opadów szybki spływ wód i silnie rozwinięta sieć dopływów przyczyniają się do tworzenia krótkotrwałych, lecz intensywnych wezbrań.

METODYKA I MATERIAŁY BADAWCZE

Badaniami objęto odcinek żłobu od przekroju zlokalizowanego w centrum Łącka w km 1+028 rzeki Czarna Woda do przekroju poprzecznego w km 1+581 powyżej stopnia wodnego (rys. 1).



Rysunek 1. Lokalizacja przekroji poprzecznych, stopnia wodnego i obiektów mostowych na potoku Czarna Woda w miejscowości Łącko
Figure 1. Location of cross-sections, of water barrage and of bridges on Czarna Woda stream in the locality Łącko

Wykonano pomiary spadku podłużnego dna potoku Czarna Woda na odcinku 553 m oraz dziewięciu wyznaczonych przekroji poprzecznych. W trakcie pomiarów terenowych dokonano inwentaryzacji stanu koryta i budowli hydrotechnicznych. Przeprowadzono także pomiary inwentaryzacyjne stopnia wodnego w km 1+506 i dwóch mostów drogowych (Nr 1 w km 1+110 i Nr 2 w km 1+554).

Zdolność przepustową stopnia wodnego w km 1+506 określono ze wzoru [Sobota 1994]:

$$Q = m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{1,5} \quad (1)$$

gdzie:

m – współczynnik wydatku; $m = 0,495$,

B – szerokość przelewu; $B = 10,2$ m,

H – wysokość wody na przelewie.

Obliczenia przepustowości koryta potoku i stopnia wodnego wykonano dla przepływu miarodajnego o prawdopodobieństwie przewyższania wynoszącym 1%. Badane dwa mosty klasyfikowane są zgodnie z przepisami Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r., dotyczącym warunków technicznych drogowych obiektów inżynierskich, jako obiekty na drogach lokalnych (symbol L). Według „Rozporządzenia...” [2000] światło tych mostów wymiaruje się dla przepływu o prawdopodobieństwie wynoszącym 1%. Obliczono wysokość spiętrzenia przepływu miarodajnego w świetle mostów.

Wysokości spiętrzenia powyżej mostów (h_1^*) określono według wzoru [Kubrak, Nachlik 2003]:

$$h_1^* = K \cdot \alpha_m \cdot \frac{V_m^2}{2g} + \alpha_1 \cdot \left[\left(\frac{A_m}{A_2} \right)^2 - \left(\frac{A_m}{A_1} \right)^2 \right] \cdot \frac{V_m^2}{2g} \quad (2)$$

gdzie:

K – współczynnik strat energii,

α_m – współczynnik St. Venanta w przekroju mostowym,

α_1 – współczynnik St. Venanta w przekroju koryta przed mostem,

V_m – średnia prędkość przepływu w przekroju mostu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

A_m – pole powierzchni przekroju poprzecznego w świetle mostu [m^2],

A_1 – pole powierzchni przekroju poprzecznego powyżej mostu [m^2],

A_2 – pole powierzchni przekroju poprzecznego poniżej mostu [m^2],

g – przyspieszenie ziemskie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

Współczynnik strat energii K , występujący we wzorze (2), obliczono zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej [2000]. Współczynniki strat w przekroju koryta przed mostem i w przekroju mostu oraz współczynniki kontrakcji M ustalono według zasad podanych przez Instytut

Badawczy Dróg i Mostów [Światła mostów i przepustów. Zasady... 2000]. Obliczono także wysokości spiętrzenia Δz przed mostem według formuły zalecanej w Rozporządzeniu [2000]:

$$\Delta z = K \cdot \frac{\alpha_m \cdot V_m^2}{2g} + \frac{\alpha_1 \cdot (V_2^2 - V_1^2)}{2g} \quad (3)$$

gdzie:

V_1 – średnia prędkość przepływu w przekroju poprzecznym powyżej mostu po spiętrzeniu,

V_2 – średnia prędkość przepływu w przekroju poprzecznym poniżej mostu, pozostałe oznaczenia jak we wzorze (2).

Ze względu na brak posterunków wodowskazowych na potoku Czarna Woda nie dysponowano ciągami danych hydrologicznych, umożliwiającymi obliczenie przepływów o zadanym prawdopodobieństwie. Przepływy te obliczono wzorem empirycznym Punzeta. Obliczenia wykonano, wyznaczając parametry zlewni zamkniętej przekrojem poprzecznym w km 1+028. Powierzchnia wyznaczonej zlewni cząstkowej wynosi 28,5 km², a różnica wzniesień między najwyższymi położonymi źródłami ciek i przekrojem w km 1+028 jest równa 0,484 km. Obliczona odległość od badanego przekroju do najwyższych położonych źródeł ciek wynosi 9,228 km. Wskaźnik przepuszczalności gleby równy 84 przyjęto wg opracowania „Regulacja...” [1985].

Prawidłowo zaprojektowane koryto powinno gwarantować przeprowadzenie przepływu miarodajnego. Obliczono napełnienia w poszczególnych przekrojach poprzecznych dla przepływu miarodajnego. W przypadkach, gdy przepływ miarodajny nie mieścił się w korycie, obliczono maksymalny przepływ mieszczący się w linii brzegowej. W tym celu posłużono się równaniem Chézy, w którym współczynnik prędkości obliczono według wzoru Manninga. Współczynniki szorstkości koryta zostały ustalone na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji stanu koryta.

WYNIKI BADAŃ

Obliczony wzorem Punzeta przepływ miarodajny $Q_{1\%}$ wynosi 94,32 m³·s⁻¹. Na podstawie obliczeń określono wysokość napełnienia dla tego przepływu w wydzielonych przekrojach poprzecznych (tab. 1). Poza przekrojami nr 4, 5 i 6 zwierciadło wody przepływu miarodajnego kształtuje się na poziomie od 0,30 m do nawet 1,53 m poniżej korony żłobu. W wymienionych przekrojach nr 4, 5 i 6 przepływ maksymalny (brzegowy) jest niższy od miarodajnego o 5% do 35%. Na odcinku koryta potoku o długości ponad 100 m, znajdującego się powyżej centrum Łącka i prowadzonego starym żłobem wzdłuż ulicy Strażackiej, nastąpi wystąpienie wody z brzegów. Podniesienie korony brzegów na wysokość 0,75 m,

poprzez wykonane obwałowania lub, ze względu na wąską zabudowę wzdłuż żłobu, poprzez wybudowanie murów podnoszących koronę obu brzegów żłobu, umożliwi przepuszczenie przepływu miarodajnego.

Tabela 1. Wyniki obliczeń przepływów i napieńń w przekrojach poprzecznych potoku Czarna Woda
Table 1. Results of computations of discharges and depths in cross-sections at Czarna Woda stream

Przekrój Nr / Cross-section No	Głębokość koryta / Depth of channel h_k [m]	Spadek / Slope i [%]	Przeptyw miarodajny Q_m lub maksymalny Q_{max} / The required discharge Q_m and maximal discharge Q_{max}	Średnia prędkość przepływu / Mean water flow V [$m \cdot s^{-1}$]	Napętnienie w korycie / Water depth h [m]	Różnica głębokości koryta i napętnienia w korycie / The difference between depth of channel and water depth $h_k - h$ [m]
1 (km 1+028)	3,22	1,10	$Q_m = 94,32$	5,46	2,82	0,40
2 (km 1+100)	3,88	1,10	$Q_m = 94,32$	5,01	3,58	0,30
3 (km 1+120)	3,50	1,10	$Q_m = 94,32$	5,29	1,97	1,53
4 (km 1+170)	2,46	1,45	$Q_m = 94,32$	5,29	1,97	0,49
5 (km 1+194)	2,50	1,45	$Q_{max} = 61,09$	5,22	2,50	0,00
6 (km 1+303)	3,12	1,45	$Q_{max} = 74,52$	5,46	3,12	0,00
7 (km 1+426)	2,83	1,45	$Q_{max} = 89,72$	5,91	2,83	0,00
8 (km 1+541)	3,01	1,45	$Q_m = 94,32$	5,94	2,66	0,35
9 (km 1+581)	2,54	1,77	$Q_m = 94,32$	5,27	2,12	0,42

Poniżej tego odcinka żłobu przepływ miarodajny w korycie mieści się ze znacznym zapasem, gdyż różnica głębokości koryta i napętnień wynosi 0,49 w przekroju 3 i 1,53 m w przekroju 2 (tab.1). Wynika to z przebudowy koryta na długości 145 m, którego wymiary w przekroju poprzecznym gwarantują przepuszczenie przepływów większych od miarodajnego. Dolne stanowisko przebudowanego odcinka żłobu zamyka nowy most, oznaczony jako Nr 1 na rysunku 1. Poniżej tego mostu (przekrój nr 1) wymiary żłobu gwarantują przepuszczenie przepływu miarodajnego.

Stan istniejącego koryta na odcinku od przekroju 6 do przekroju 9 gwarantuje przepływ wody miarodajnej. W tej części koryta znajdują się stopień wodny i most Nr 2.

Wysokość H wody na przelewie stopnia wodnego przyjęto równą wysokości przyczółków stopnia. Wynosi ona 2,05 m, a obliczony wydatek przelewu to

65,64 m³·s⁻¹. Przepływ miarodajny, wynoszący 94,32 m³·s⁻¹ wystąpi z koryta i zatopi tereny przyległe. Aby zdolność przepustowa stopnia była równa przepływowi miarodajnemu, należałoby zwiększyć wysokość przyczółków, gdyż przy obecnej szerokości przelewu napełnienie na przelewie dla $Q_{1\%}$ wynosi 2,61 m. Również zbyt niskie obwałowanie koryta powyżej stopnia, aż do mostu Nr 2, powoduje wystąpienie przepływu miarodajnego z koryta. Wzniesienie korony wałów brzegu lewego, w stosunku do korony progu, wynosi zaledwie 1,73 m, a wałów brzegu prawego 2,28 m. Podniesienie korony wałów niższego brzegu lewego o 1 m, a brzegu prawego o 0,5 m może ograniczyć ryzyko wystąpienia wody miarodajnej z koryta na tym odcinku.

Wysokości spiętrzania przed badanymi mostami określono według wzorów (2) i (3). W tabeli 2 zamieszczono wyniki obliczeń wysokości spiętrzania przepływu miarodajnego w mostach Nr 1 i Nr 2 oraz tzw. zapas w świetle każdego mostu. Zapas w świetle mostu określono jako różnicę rzędnej spągu belki przęsła mostu i rzędnej zwierciadła wody miarodajnej spiętrzonej w moście.

Tabela 2. Wysokość spiętrzania wody przez mosty potoku Czarna Woda
Table 2. Height of water swelling on the bridges at stream Czarna Woda

Nr mostu / The number of bridge	Przekrój Cross-section						Współczynnik strat / The losses coefficient		Wysokość spiętrzania wody miarodajnej / Height of base water swelling		Zapas w świetle Reserve at the bridge [m]
	powyżej mostu / above the bridge		mostowy / in the bridge		poniżej mostu / below the bridge						
	A ₁ [m ²]	V ₁ [m·s ⁻¹]	A _m [m ²]	V _m [m·s ⁻¹]	A ₂ [m ²]	V ₂ [m·s ⁻¹]	K ₀ [-]	K [-]	h ₁ [*] [m]	Δz [m]	
Nr 1	17,81	5,29	21,43	4,40	18,82	5,01	0,05	0,05	0,00	0,00	1,13
Nr 2	17,91	5,27	28,62	3,29	32,07	2,94	0,05	0,05	0,00	0,00	0,78

Badane mosty nie wpływają na warunki przepływu i nie powodują spiętrzania wody miarodajnej w świetle mostów. Znaczny zapas w świetle mostów zapewnia niezakłócony przepływ wód wezbraniowych.

WNIOSKI

Wykazano, że w wydzielonych przekrojach poprzecznych koryta, na odcinku powyżej centrum Łącka, przepływ brzegowy jest znacznie mniejszy od przepływu miarodajnego $Q_{1\%}$, służącego wymiarowaniu koryt potoków. Stwierdzono, że straty powodziowe w centrum Łącka spowodowane są w wyniku wystąpienia wód ze żłobu, biegnącego od stopnia wodnego do nowego odcinka żłobu, znajdującego się w centrum miejscowości. Spływające wody z zatopio-

nych terenów doliny, położonych powyżej Łącka, mają zasadniczy wpływ na zatapianie centrum miejscowości. Biegąca wzdłuż potoku droga stwarza dogodne warunki dla przepływu wody z dużą prędkością po terenie zalewowym. Przyczyną istniejącego zagrożenia powodziowego jest zarówno stopień wodny w km 1+506, powodujący znaczne spiętrzenie przepływu miarodajnego, jak również zbyt niskie obwałowanie koryta potoku Czarna Woda powyżej stopnia. Znajdujące się na badanym odcinku mosty nie powodują spiętrzenia wód przepływu miarodajnego.

Występujące na obszarze zlewni potoku Czarna Woda intensywne opady, jak również sprzyjająca powstawaniu szybkich i gwałtownych wezbrań konfiguracja terenu zlewni powoduje erozję powierzchniową przez powstawanie przepływów powodziowych o charakterze wodno-błotnym. Zabezpieczenie Łącka przed tego rodzaju powodziami mogłoby nastąpić w przypadku zabudowy technicznej zlewni, między innymi poprzez budowę suchych zbiorników o maksymalnym wydatku mniejszym od zdolności przepustowej koryta. Pociągnęłoby to za sobą konieczność zabezpieczenia zbiorników przed gwałtownym zamulaniem i wypełnianiem rumowiskiem gruboziarnistym, a więc budowy zapór przeciwrumowiskowych.

BIBLIOGRAFIA

- Dynowska I., Maciejewski M. *Dorzecze górnej Wisły*. Cześć I, PWN, Warszawa–Kraków, 1991, s. 68–82.
- Kubrak J., Nachlik E. *Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2003, s. 240–260.
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r.* Dziennik Ustaw 63, poz.735. Załącznik nr 1, rozdział: 2.4. Spiętrzenie przed mostem. (<http://www.abc.com.pl/serwis/edu/2000/0735.htm>)
- Sobota J. *Hydraulika*. Wydawnictwo AR Wrocław, tom II, 1994, s. 175.
- Utrysko B. *Światła mostów i przepustów. Zasady obliczeń z przykładami*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Wrocław–Żmigród, 2000, s. 43.
- Regulacja odcinka potoku Czarna Woda powyżej dopływu Zakiczańskiego*. Hydroprojekt Kraków, materiały archiwalne RZGW, nr arch. 3465, 1985.

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

Recenzent: Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka