

*Bogusław Michalec, Marek Tarnawski, Tomasz Wawro*

**WSTĘPNA OCENA WPLYWU ZATORU  
Z RUMOSZU DRZEWNEGO NA WARUNKI PRZEPIYU  
WÓD WEZBRANIOWYCH NA POTOKU WIEPRZÓWKA**

***ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF WOOD DEBRIS  
BARRIER ON THE FLOW CONDITION DURING FLOODS  
OF IN THE STREAM WIEPRZÓWKA***

**Streszczenie**

Intensywne wezbrania powodziowe w powiecie wadowickim w ciągu ostatnich lat spowodowały znaczne straty materialne. Do powstałych szkód należy zaliczyć zniszczenia obiektów mostowych, spowodowane w większości przypadków poprzez zatory z rumoszu drzewnego. W wyniku badań terenowych i analiz określono warunki przepływu wód wezbraniowych w potoku Wieprzówka. Badaniami objęto górną część zlewni o powierzchni 5,33 km<sup>2</sup>, zamkniętą przekrojem mostowym. Obliczono przepływy o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia metodą Punzeta i tzw. formuły opadowej. Przepływ miarodajny  $Q_{1\%}$  posłużył obliczeniu przepustowości mostu w dwóch wariantach: przy braku zatoru i dla zatoru z rumoszu drzewnego. Powstające zatory powodują zmniejszenia czynnego pola przekroju, wpływając niekorzystnie na warunki przepływu wód wezbraniowych. Rozwiązanie konstrukcyjne mostu w km 27+500 potoku Wieprzówka, jak również jego sytuowanie umożliwi przepuszczenie całości przepływu miarodajnego, wynoszącego 32,31 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, pomimo spiętrzenia równego 0,97 m. W przypadku utworzenia się zatoru zamykającego ponad 50% powierzchni przekroju poprzecznego mostu nastąpi szybki wzrost spiętrzenia, doprowadzając do zatopienia belki przęsła mostu, wystąpienia wody z koryta i ewentualnego rozmycia dna potoku. Przeprowadzona analiza wskazuje na konieczność prowadzenia systematycznych prac konserwacyjnych strefy przybrzeżnej koryt.

**Słowa kluczowe:** przepustowość, koryto ciek, rumosz drzewny, most

### Summary

*Intensive flood freshets occurred in the district of Wadowice during the last couple of years causing serious material damages. These damages include destruction of bridges caused in majority of cases by barriers of wooden debris formed in the light of bridges. In consequence of investigations in situ and calculations conditions of flow of freshet waters in the stream Wieprzówka were assessed. The upper part of the basin closed with a bridge section was subjected to investigations. Its area was 5.33 km<sup>2</sup>. Flows of determined probability of overtopping were assessed by Punzet's and precipitation formula. The calculated flow  $Q_{1\%}$  served for calculation of the bridge flow capacity in two variants: no barrier and barrier of wood debris in the light of the bridge. The barriers cause diminishing of the active field of the section influencing negatively conditions of freshet water flow. The structured solution of the bridge at the 27+500 km of the stream Wieprzówka as well as its location permits the whole flow equaling 32.31 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> to damming in its light in spite of water head being 0.97 m. In case a barrier is formed closing over 50% of the cross section surface of the bridge a quick increase in the flow damming up will occur leading to submergence of the beam of the bridge span, overtopping the river bed by water and possible washout of the ground beyond the abutments. The analysis carried out shows necessity of systematic conservation works of the area close to the river beds.*

**Key words:** hydraulic capacity, stream bed, wood debris, bridge

### WSTĘP

Krótkotrwałe wezbrania wywołane intensywnymi opadami atmosferycznymi powodują znaczne zniszczenia i szkody w infrastrukturze komunalnej. Największe zniszczenia, powstałe w wyniku powodzi, dotyczą najczęściej dróg, mostów i kładek, a także obiektów sieci kanalizacyjnej i wodociągowej. Dotkliwe straty materialne, spowodowane powodziami w ostatnim dziesięcioleciu, dotknęły między innymi rejon Pogórza Karpackiego. Odnotowane straty materialne spowodowane kilkugodzinnym wezbraniem są oszacowane na kilkadziesiąt milionów złotych. Przykładem może być lokalna powódź, jaka miała miejsce na terenie powiatu wadowickiego w dniu 24 sierpnia 2005 roku. W wyniku tej powodzi na terenie gminy zniszczeniu uległo ponad 46 km dróg i sześć mostów, a wartość strat oceniono odpowiednio na 10,13 mln złotych i 4,16 mln złotych, przy całkowitych stratach w infrastrukturze komunalnej wynoszących 21,8 mln złotych.

Ze względu na bezpośrednie oddziaływanie przepływów wezbraniowych szczególnie narażone na zniszczenie są mosty, stanowiące element zabudowy koryt rzecznych. Stanowiąc przeszkodę na drodze płynącego strumienia, mogą powodować zagrożenie dla terenów sąsiadujących i powodować niekorzystne zmiany w środowisku przyrodniczym samej rzeki i najbliższego otoczenia. Tak więc lokalna zmiana warunków naturalnych, wywołana przez most, może przynosić skutki o różnym charakterze, na odcinkach o znacznej długości i na obszarach o dużej powierzchni [Nachlik i in. 2003].

Warunki przepływu wód wezbraniowych powyżej mostu i w jego obrębie mogą zostać zakłócone w wyniku zmniejszenia pola powierzchni przekroju poprzecznego cieku i mostu. Najczęściej przyczyną redukcji pola przekroju poprzecznego w korycie powyżej mostu lub w moście jest utworzony zator z rumoszu drzewnego. Taka sytuacja powstała w trakcie wspomnianej wcześniej powodzi w gminie Andrychów. Niesione przez wezbrane wody potoków Wieprzówka i Targaniczanka konary drzew utworzyły zatopy piętrzące przepływ wody. Spowodowało to w konsekwencji przelanie się wody ponad mostami, podmycie i obsunięcie przyczółków mostów, uszkodzenie konstrukcji nośnych i drewnianych pomostów.

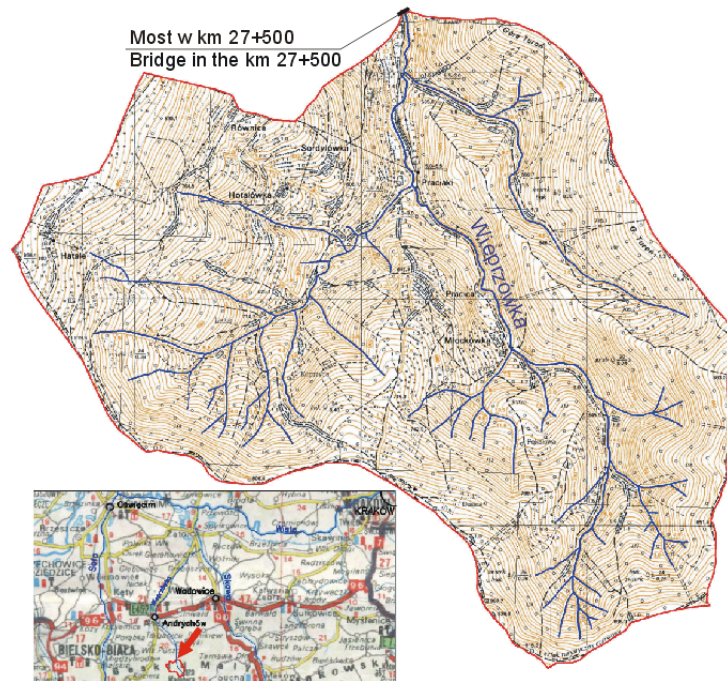
Szukając odpowiedzi na pytanie w jakim stopniu zator z rumoszu drzewnego może spowodować ograniczenie przepustowości mostu oraz jak duże wywoła spiętrzenie zwierciadła wody, podjęto badania terenowe obejmujące analizę wpływu zatoru z rumoszu drzewnego na warunki przepływu wód wezbraniowych w świetle mostu. W tym celu wytypowano do badań odcinek potoku Wieprzówka powyżej miasta Andrychowa. W ramach cyklu pomiarów, obejmujących cztery mosty na potoku Wieprzówka, dokonano oceny warunków przepływu wód wezbraniowych pod mostem znajdującym w km 27+500 potoku.

### CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Badany most, zlokalizowany w 3,34 km, licząc od źródeł potoku Wieprzówka, zamyka niewielką zlewnię o powierzchni 5,33 km<sup>2</sup>. Zlewnia o charakterze górskim położona jest w Beskidzie Średnim. Przekrój mostowy zamykający wydzieloną zlewnię leży na wysokości ponad 505 m n.p.m., a źródła potoku Wieprzówka położone są na wysokości ponad 880 m n.p.m. Potok Wieprzówka płynie Kotliną Rzycką, do której wpływają liczne strumienie i potoki (rys. 1). Większość z nich żłobi bardzo głębokie i długie doliny, podobne do wąwozów [Znikow 2001].

Utworami wodonośnymi są zarówno osady piaszczysto-żwirowe pokrywy czwartorzędowej jak również utwory szczelinowate fliszu. Utwory te stanowią warstwy godulskie pokryte glebami gliniastymi, tj. glinami ciężkimi i iłami. Obszar zlewni pokryty jest lasami w ponad 94%. Drzewa liściaste stanowią ponad 50% lasów. Są to głównie: buk, dąb, jawor, jesion, olsza, brzoza i grab. Spośród drzew iglastych należy wymienić świerk, jodłę, sosnę i modrzew.

Ze względu na postępującą erozję gleb i poszycia leśnego, a także na gwałtowne i obfite opady deszczu, powstają liczne zwały drzew, z rosnących na stromych zboczach nad potokiem Wieprzówka, a część z nich dostaje się do koryta potoku (rys. 2). W warunkach wezbrań rumosz drzewny jest transportowany z biegiem potoków.



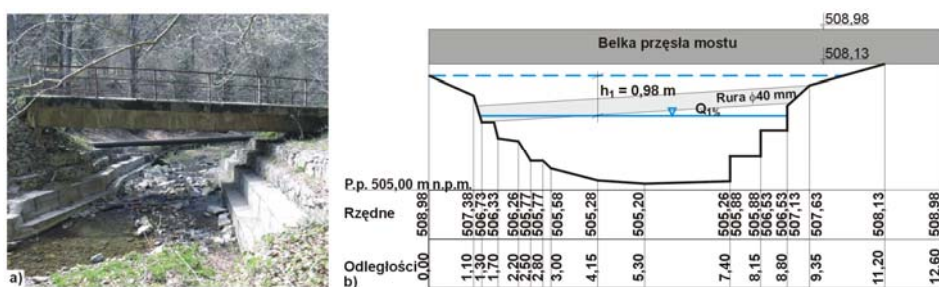
**Rysunek 1.** Zlewnia potoku Wieprzówka z zaznaczonym mostem w km 27+500 potoku  
**Figure 1.** Catchment of the stream Wieprzówka with marked bridge in the km 27+500 of the stream



**Rysunek 2.** Koryto potoku Wieprzówka ze zwałami drzew i kłód  
**Figure 2.** Channel of the stream Wieprzówka with trees and logs

## METODYKA BADAŃ

Wiosną 2007 roku wykonano pomiary terenowe spadku dna potoku na odcinku 240 metrów, wyznaczono przekroje poprzeczne koryta potoku powyżej i poniżej mostu, odpowiednio 12 i 20 metrów od mostu. Wykonano pomiary geodezyjne przekroji oraz wykonano pomiary inwentaryzacyjne mostu (rys. 3).



**Rysunek 3.** Zdjęcie a) i schemat b) mostu w km 27+500 potoku Wieprzówka  
**Figure 3.** The photo a) and the scheme of bridge b) in the km 27+500 of the stream Wieprzówka

Wyznaczono krzywe przepływów w przekrojach poprzecznych potoku, obliczając przepływy dla zadanych napieńń według wzoru Chézy, w którym współczynnik prędkości określony został według wzoru Manninga.

Do oceny wpływu zatoru z rumoszu drzewnego na warunki przepływu wód wezbraniowych w świetle mostu niezbędne jest wyznaczenie przepływu obliczeniowego. Przyjęto przepływ o prawdopodobieństwie przewyższania 1% zgodnie z przepisami Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r., dotyczącym warunków technicznych drogowych obiektów inżynierskich. Most zgodnie z przepisami zaklasyfikowano do obiektów na drogach lokalnych (symbol L). Światło tych mostów, według „Rozporządzenia...” [2000], wymiaruje się na przepływ o prawdopodobieństwie wynoszącym 1%.

Przepływy o określonym prawdopodobieństwie obliczono wzorem empirycznym Punzeta i formułą opadową. Ze względu na małą powierzchnię zlewni przyjęto za miarodajne wyniki obliczeń według formuły opadowej. Obliczenia według wzoru Punzeta stanowiły kontrolę wyników obliczeń formułą opadową.

Wpływ zatoru z rumoszu drzewnego, powstającego w przekroju mostowym, określono poprzez porównanie obliczonej wysokości spiętrzenia przed mostem przyjętych przepływów obliczeniowych w warunkach braku zatoru i powstania zatoru. Badając wpływ zatoru, określono wysokość spiętrzenia dla założonych różnych stopni przesłonięcia przekroju w świetle mostu. Wysokości spiętrzenia przed mostem ( $h_1^*$ ) określono według metody opartej na zasadzie

zachowania energii mechanicznej strumienia wody [Kubrak, Nachlik 2003], zgodnie ze wzorem:

$$h_1^* = K \cdot \alpha_m \cdot \frac{V_m^2}{2g} + \alpha_1 \cdot \left[ \left( \frac{A_m}{A_2} \right)^2 - \left( \frac{A_m}{A_1} \right)^2 \right] \cdot \frac{V_m^2}{2g} \quad (1)$$

gdzie:

- $K$  – współczynnik strat energii,
- $\alpha_m$  – współczynnik St. Venanta dla przekroju mostowego,
- $\alpha_1$  – współczynnik St. Venanta dla przekroju koryta przed mostem,
- $V_m$  – średnia prędkość przepływu w przekroju mostu,
- $A_m$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego w świetle mostu,
- $A_1$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego powyżej mostu,
- $A_2$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego poniżej mostu.

Zasady określenia poszczególnych parametrów równia (1) zostały przedstawione w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej [2000] oraz w pracy Kubraka i Nachlik [2003].

Wytyczne Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej [2000] zalecają określenie wysokości spiętrzania przed mostem według formuły:

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

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 (1).

Spiętrzenie przed mostem obliczono według wzorów (1) i (2) metodą iteracyjną, uwzględniając zmianę prędkości przepływu wody w wyniku spiętrzenia. W pierwszym przybliżeniu oszacowane spiętrzenie przed mostem modyfikuje pole powierzchni przekroju poprzecznego powyżej mostu i głębokość napełnienia redukując jednocześnie wartość prędkości przepływu.

Wpływ zatoru z rumoszu drzewnego na warunki przepływu został określony w wyniku porównania obliczonej wysokości spiętrzenia wody miarodajnej przed mostem w warunkach bez zatoru i z zaturem. Przyjęto w obliczeniach przesłonięcie zaturem przekroju mostowego od 10% do 70%. Pomocnym w ocenie wpływu zatoru na warunki przepływu wody w moście jest określenie tzw. zapasu w świetle mostu, będącego różnicą rzędnej dolnej krawędzi belki przesła mostu i rzędnej zwierciadła wody spiętrzonej w moście.

## WYNIKI OBLICZEŃ

Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, obliczone wzorem Punzeta i formułą opadową, zamieszczono w tabeli 1. Przepływy obliczone formułą opadową są niższe od określonych wzorem karpackim Punzeta. Stosując wzór Punzeta, uwzględniono różnicę wzniesień między najwyższymi położonymi źródłami cieków i przekrojem mostu wynoszącą 0,375 km. Obliczona odległość od badanego przekroju do najwyższych położonych źródeł cieków wynosi 3,34 km, a wskaźnik przepuszczalności gleby jest równy 70. Natomiast stosując formułę opadową, ustalono między innymi: wysokość opadu dobowego  $p = 1\%$  wynoszącą 180 mm, sumę długości cieków wraz z suchymi dolinami równą 26,26 km i łączną długość warstwic równą 92,23 km przy uwzględnionym skoku warstwic wynoszącym 20 m.

**Tabela 1.** Przepływy o określonym prawdopodobieństwie określone formułą opadową i wzorem Punzeta

**Table 1.** Probability of water flows determined according to precipitation formula and to Punzet equation

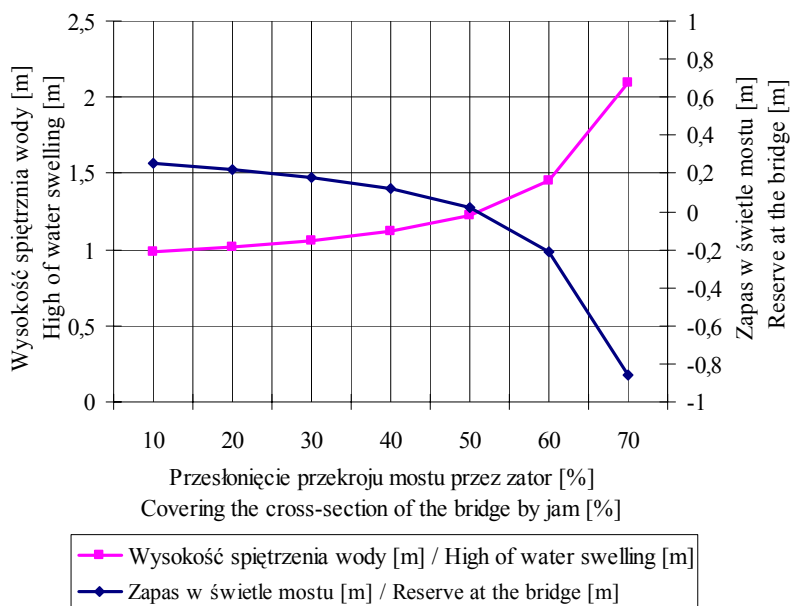
Prawdopodobieństwo / Probability p [%]	Przepływ / Discharge $Q_{p\%} [m^3 \cdot s^{-1}]$	
	wg formuły opadowej / according to precipitation formula	wg Punzeta / according to Punzet equation
0,1	49,75	55,70
0,2	44,26	49,80
0,5	37,48	41,90
1	32,31	35,90
2	27,24	30,00
3	24,07	26,50
5	20,55	22,10
10	15,57	16,10
20	10,79	10,20
30	8,01	7,00
50	4,68	4,00

Szerokość mostu w km 27+500 potoku Wieprzówka wynosi 4,5 m, a długość belki przęsła mostu jest równa 13,3 m. Wysokość położenia dolnej krawędzi belki przęsła nad dnem potoku wynosi 2,93 m. Ze względu na położenie zwierciadła wody miarodajnej w przekroju mostowym, most ten charakteryzujące się spokojnym przepływem wody pod nim. Od strony dolnego stanowiska znajduje się rura o średnicy 0,4 m, prowadząca wodę z wyżej położonego ujęcia (rys. 3). Jej usytuowanie na poziomie zwierciadła wody niespiętrzonej w przekroju mostu sprzyja zatrzymywaniu gałęzi, konarów i drzew.

W tabeli 2 zamieszczono wybrane parametry obliczeń, m.in. wartość współczynnika strat, wysokości spiętrzenia wody miarodajnej przed mostem, obliczonej wzorami (1) i (2) oraz zapas w świetle mostu. Znaczne spiętrzenie przepływu obliczeniowego, wynoszące 0,97 m nie ogranicza przepustowości mostu, a zapas w jego świetle równy 0,27 m gwarantuje przeprowadzenie wody miarodajnej pod belką przęsła mostu. Spiętrzona woda miarodajna mieści się również w korycie potoku.

**Tabela 2.** Wysokość spiętrzenia wody przez most potoku Wieprzówka  
**Table 2.** Height of water swelling on the bridge at Wieprzówka stream

Przepływ / The Flow $Q$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	Przekrój Cross-section			Współczynnik strat / The losses coefficient		Wysokość spiętrzenia wody miarodajnej / high of water swelling		Zapas w świetle Reserve at the bridge [m]
	powyżej mostu / upstream the bridge	mostowy / in the bridge	poniżej mostu / downstream the bridge			$h_1^*$ [m]	$\Delta z$ [m]	
	$A_1$ [ $m^2$ ]	$A_m$ [ $m^2$ ]	$A_2$ [ $m^2$ ]	$K_0$ [-]	$K$ [-]			
32,31	24,69	16,25	7,90	0,2	0,2	0,97	0,96	0,27



**Rysunek 4.** Wysokość spiętrzenia i zapas w świetle mostu w km 27+500 potoku Wieprzówka w przypadku powstania zatoru z rumoszu drzewnego  
**Figure 4.** The height of swelling and reserve at the bridge in the km 27 + 500 of the stream Wieprzówka in the case of the rise of the wood jam



Jak wykazały obliczenia, przesłonięcie przekroju mostowego zatorem z rumoszu drzewnego, w zakresie od 10% do 50%, powoduje spiętrzenie przepływu miarodajnego wynoszące od 1,00 m do 1,22 m, z zachowaniem zapasu w świetle mostu w granicach 0,22 m do 0,00 m (rys. 4).

Gdy wytworzony zator z rumoszu drzewnego spowoduje zmniejszenie pola przekroju poprzecznego w moście o 60%, nastąpi znaczne spiętrzenie przepływu miarodajnego, wynoszące 1,45 m. Natomiast gdy przesłonięcie będzie wynosić 70% – to spiętrzenie byłoby równe 2,1 m, lecz nie zostanie osiągnięte, gdyż ze względu na wysokość brzegu prawego, spiętrzona woda przepływu miarodajnego wystąpi z koryta. Płynąc drogą, poza prawym przyczółkiem mostu, wpłynie do koryta potoku na dolnym stanowisku mostu.

### WNIOSKI

Konstrukcja mostu w km 27+500 potoku Wieprzówka oraz jego usytuowanie umożliwiają przepuszczenie w jego świetle całości przepływu miarodajnego, wynoszącego  $32,31 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Przy tym przepływie wysokość spiętrzenia wynosi 0,97 m, co nie spowoduje zatopienia belki przęsła mostu.

Utworzony w przekroju mostowym zator, powodujący przesłonięcie przekroju mostowego do 50%, wpływa na zmianę warunków przepływu wody miarodajnej, a zatem przepływów wezbraniowych. Pomimo powstającego spiętrzenia wody miarodajnej, wynoszącego maksymalnie 1,22 m, nie nastąpi zatopienie belki przęsła mostu. W przypadku utworzenia się zatoru zamykającego ponad 50% powierzchni przekroju poprzecznego mostu nastąpi szybki wzrost spiętrzenia, doprowadzający do zatopienia belki przęsła mostu, wystąpienia wody z koryta i ewentualnego rozmycia gruntu poza przyczółkami mostu.

Ograniczeniem ryzyka powstania zatorów z rumoszu drzewnego mogłaby być prowadzona odpowiednia konserwacja koryta i brzegów potoku powyżej mostu. Polegałaby ona na usuwaniu zwałów drzew, konarów i pni z dna i skarp koryta, co pozostaje w sprzeczności z zachowaniem ekologicznych walorów cieklu wodnego.

### BIBLIOGRAFIA

- Kubrak J., Nachlik E. *Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych*. Wydawniczo SGGW, Warszawa 2003.
- Nachlik E., Kubrak J., Kozioł A. *Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2003.
- 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/du/2000/0735.htm>).
- Znikow J. Wadowice i okolice. *Przewodnik monograficzny*. Drukarnia i Wydawnictwo „Grafikon”. Wadowice 2001.

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

mgr inż. Tomasz Wawro  
Małopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Krakowie  
Rejon Nadzoru Urządzeń w Wadowicach  
ul. Trybunalska 14  
34-100 Wadowice  
tel. (0-48-33) 82-326-89  
e-mail: wadowice@mzmiuw.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka*