

ADAM KOZIOL, DOROTA MIROSLAW-ŚWIĄTEK

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

## ANALIZA PRZEPUSTOWOŚCI KORYTA I DOLINY RZEKI BIEBRZY W BASENIE DOLNYM

**Streszczenie.** W Basenie Dolnym rzeki Biebrzy obszary bagienne są porośnięte różnorodną roślinnością. Wyróżnia się tu rozległe powierzchnie turzycowisk i wilgotnych łąk, szuwary trzcinowe i mannowe oraz krzewy i drzewa. Podstawą hydraulicznych obliczeń przepustowości wód wielkich dla tego typu koryt jest uwzględnienie wpływu porastającej je roślinności na przepływ. W tym celu wprowadzany jest podział roślin na roślinność wysoką, średnią i niską. Na podstawie inwentaryzacji roślinności doliny rzeki Biebrzy określono zastępcze parametry geometryczne roślinności wysokiej wykorzystywane w obliczeniach przepustowości. W pracy przedstawiono wpływ różnorodnej roślinności występującej w terenie zalewowym doliny rzeki Biebrzy na wyniki obliczeń jej zdolności przepustowej. Skonstruowano krzywe przepływu w przekroju doliny rzeki Biebrzy z uwzględnieniem zmian współczynników oporu w okresie wegetacji i poza nim. Przedstawiono procentowe zmiany natężenia przepływu pod wpływem rozwoju roślinności w okresie wegetacji.

**Słowa kluczowe:** obliczanie przepustowości, hydrauliczne charakterystyki roślin, chropowatość absolutna koryta

### Wstęp

Analiza przepustowości koryt rzecznych i ich dolin przy przejściu wezbrań, gdy dolina jest zalewana, jest zwykle prowadzona na podstawie obliczeń. Przepustowość koryt o złożonych przekrojach oblicza się w założeniu jednostajnego ustalonego przepływu wody i opisuje parametrami uśrednionymi w czasie (HYDRAULICZNE... 2003). Do wykonania obliczeń przepustowości koryt niezbędne jest określenie wymiarów przekroju koryta i doliny, spadku podłużnego koryta oraz określenie zastępczych parametrów roślin, porastających skarpy koryta, pasy brzegowe i tereny zalewowe. Roślinność rzek nizinnych występująca w obszarze przepływu wezbrań w dolinach składa się z traw, bylin, trzcin, krzaków i drzew. Podstawą hydraulicznych obliczeń przepustowości koryt

wielkich wód z uwzględnieniem roślinności jest przyjęcie, że opory przepływu przy opływie naturalnie zróżnicowanej roślinności są takie same jak przy opływie równomiernie rozmieszczonej roślinności o zastępczych parametrach, określonych na podstawie inwentaryzacji (ROUVÉ 1987). Parametry charakteryzujące roślinność wykorzystywane w obliczeniach to: średnica drzew bądź gałęzi krzewów oraz odległość między nimi w kierunku przepływu i poprzecznym do niego. Wymienione parametry charakteryzujące roślinność są określane na podstawie inwentaryzacji skupisk roślin występujących w obszarze przepływu. Przy bardzo zróżnicowanych strukturach roślinnych podanie hydraulicznej charakterystyki roślinności jest skomplikowane, pracochłonne i związane z problemami natury metodycznej. W zróżnicowanych strukturach roślinnych wyznacza się obszary jednorodnej roślinności, dla których są określane parametry.

### Metodyka wyznaczania charakterystyk roślinności

BRETSCHNEIDER i SCHULZ (1985), tworząc podstawy metodologii obliczeń przepustowości koryt, podzielili roślinność na wysoką, średnią i niską, odnosząc się do głębokości przepływu. Przyjęte kryterium podziału nie jest jednoznaczne, a wobec naturalnej zmienności stanów wody w praktyce ta sama roślinność może być zaliczana do różnych typów. Jako roślinność wysoką określa się roślinność wyższą niż głębokość przepływu i w niewielkim stopniu ulegającą odkształceniom pod wpływem naporu hydrodynamicznego wody. Z kolei za roślinność średnią uznaje się roślinność, której wysokość jest równa w przybliżeniu głębokości wody, a więc są to głównie krzewy. Ostatnie określenie dotyczy roślinności niskiej, czyli roślinności o wysokości mniejszej niż głębokość przepływu, i odnosi się przede wszystkim do traw. Sposób określania współczynników oporu dla opływanych elementów roślinnych jest wiązany z relacją ich wysokości do głębokości przepływu. Współczynniki oporów roślinności niskiej obliczane są z zależności Colebrooka-White'a na podstawie założenia, że ich wysokość równa jest chropowatości absolutnej ( $k_s$ ) (INDLEKOFER 1981). W takim podejściu pomija się przepływ w obszarze zajęтым przez roślinność. Współczynniki oporów skupisk roślinności wysokiej, tzn. zwykle krzewów i drzew, są w głównej mierze wiązane z oporami opływanej bryły roślin.

Wartości współczynników oporu ustalone na podstawie badań w terenie i wartości chropowatości absolutnych dla terenów pokrytych roślinnością średnią rzadko są podawane w literaturze. RITTERBACH (1991) podał wartości chropowatości absolutnej  $k_s$  dla roślinności niskiej porastającej tereny zalewowe rzeki Wupper w Niemczech (tab. 1).

Opory przepływu przy opływie roślinności wysokiej są obliczane na podstawie zastępczej przeciętnej średnicy roślin  $d_p$  oraz zastępczych odległości między roślinami w kierunku przepływu  $a_x$  i poprzecznym do niego  $a_y$ . Obliczane w ten sposób współczynniki oporu przepływu wykorzystuje się do obliczania przepustowości koryt porośniętych roślinnością wysoką (KOZIOŁ i IN. 2002). Metodykę obliczania parametrów dla trzech różnych struktur roślinności średniej i wysokiej opracowaną przez inżynierów niemieckich (HYDRAULISCHE... 1991) przedstawiono z przykładami w pracy KOZIOŁA (2003). Uwzględniono trzy struktury roślin najczęściej spotykane w naturze, tzn.:

Tabela 1. Wartości chropowatości absolutnej  $k_s$  przyjmowane dla różnych typów roślinności (RITTERBACH 1991)Table 1. Roughness height  $k_s$  values adopted for different vegetation (RITTERBACH 1991)

Typ roślinności	Chropowatość absolutna $k_s$ (m)
Łąka	0,13-0,40
Zioła, pnącza	0,50-0,70
Dzika roślinność, słabe trzcinowiska	0,60-1,20
Dzika roślinność, podszyt	0,80-1,60
Podszyt leśny	0,16-0,32
Gęsty podszyt leśny	0,40

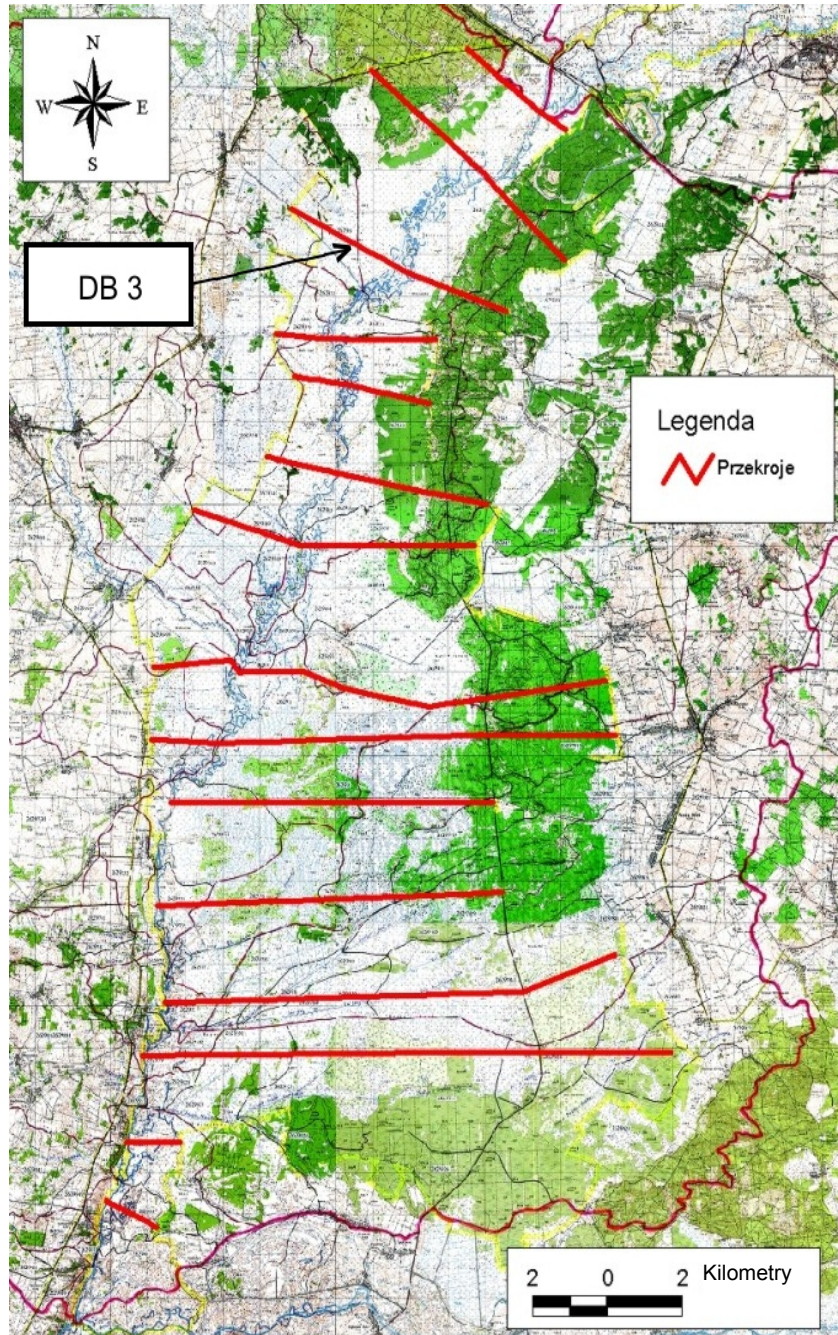
- zwartą grupę drzew lub krzewów,
- pojedyncze krzewy lub drzewa,
- mieszane skupiska drzew i krzewów.

Zwarte grupy drzew lub krzewów występują najczęściej w pasach brzegowych i terenach zalewowych koryt; ich struktura charakteryzuje się tym, że na określonej części powierzchni terenu występuje skupisko drzew lub krzewów. Druga struktura charakteryzuje się tym, że na określonej części powierzchni terenu występują luźno w różnej odległości pojedyncze krzewy lub/i drzewa. Trzecia struktura to mieszane, gęste skupiska drzew i krzewów. Według wytycznych (HYDRAULISCHE... 1991) inwentaryzację drzew przeprowadza się na zbliżonej do prostokąta powierzchni o długości boków około  $10 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ , a powierzchnia krzewów nie powinna przekraczać kilku metrów kwadratowych.

## Obliczenia przepustowości dla wybranego przekroju Biebrzy w Basenie Dolnym

W celu określenia charakterystycznych parametrów roślinności w dolinie rzeki Biebrzy w Basenie Dolnym dokonano inwentaryzacji roślin występujących w obszarze przepływu, w którym wydzielono 15 przekroi poprzecznych, pokazanych na rysunku 1 (MIROSLAW-ŚWIĄTEK i IN. 2006). W pomiarach wykorzystano mapy roślinności opracowane dla Biebrzańskiego Parku Narodowego (MATUSZKIEWICZ 2000) i zdjęcia lotnicze. W terenach zalewowych analizowanego odcinka rzeki Biebrzy występuje roślinność łąkowa, turzyce (zbiorowiska turzyc luźnokępowych), turzyce kępowe (tworzące wysokie, zwarte karpny – rys. 2), szuwar mannowy, szuwar trzcinowy, krzewy (zakrzewienia wierzbowe – rys. 3), olszyna bagienna i wysokopienny ols.

Wartości chropowatości absolutnej ( $k_s$ ) dla wymienionych typów roślinności przyjęto według RITTERBACHA (1991). W obliczeniach przepustowości uwzględniono wartości chropowatości absolutnej  $k_s$  w czasie sezonu wegetacyjnego i poza nim (tab. 2). Wyniki inwentaryzacji roślinności wysokiej w dolinie Biebrzy przedstawiono w tabeli 3 (SZPORAK i IN. 2006).



Rys. 1. Przekroje pomiarowe  
Fig. 1. Measuring transects



Rys. 2. Karpy turzyc  
Fig. 2. Sedge tussocks



Rys. 3. Zakrzewienia wierzbowe  
Fig. 3. Willow shrubs

Tabela 2. Wartości chropowatości absolutnej  $k_s$  przyjęte dla roślinności w dolinie Biebrzy w okresie wegetacji i poza nim

Table 2. Roughness height  $k_s$  values adopted for vegetation in the Biebrza River valley on vegetation season and out of it

Typ roślinności	Chropowatość absolutna $k_s$ (m)	
	podczas sezonu wegetacyjnego	poza sezonem wegetacyjnym
Roślinność łąkowa	0,7	0,3
Turzycy	1,2	0,4
Turzycy kępowe	1,2	0,5
Szuwar mallowy	1,2	0,5
Szuwar trzcinowy	1,2	1,2
Podszyt (olszyna bagienna)	1,6	0,8
Podszyt leśny	0,4	0,4

Tabela 3. Parametry roślinności wysokiej w dolinie Biebrzy

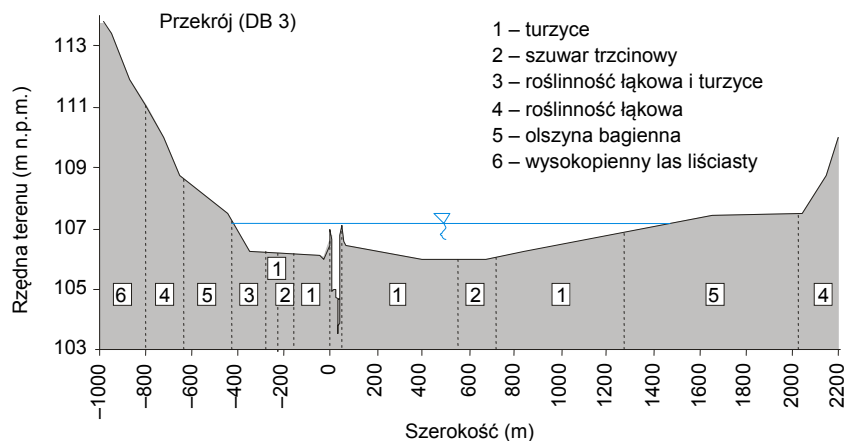
Table 3. Parameters of high vegetation in the Biebrza River valley

Roślinność	$d_p$ (m)	$a_x$ (m)	$a_y$ (m)
1	2	3	4
Zwarte krzewy wierzb (młode krzewy)	0,03	0,13	0,13
Zwarte krzewy wierzb I	0,045	0,16	0,16
Zwarte krzewy wierzb II	0,03	0,14	0,14
Zwarte krzewy wierzb III	0,04	0,26	0,26
Brzezina	0,09	1,24	0,99

Tabela 3 – cd. / Table 3 – cont.

1	2	3	4
Olszyna bagienna I	0,55	2,83	2,52
Olszyna bagienna II	0,12	0,85	1,03
Olszyna bagienna III	0,09	1,15	1,22
Wysokopienny ols I	0,17	1,54	1,50
Wysokopienny ols II	0,15	2,84	2,16

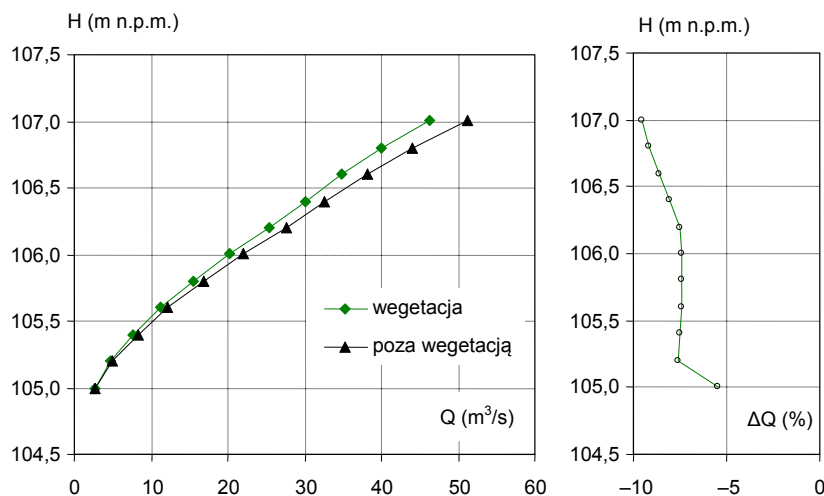
Wyznaczone charakterystyki różnych typów roślinności wykorzystano do obliczeń współczynników oporu roślin w wybranym przekroju dolinowym. Wybrany przekrój położony jest około 6 km poniżej ujścia Kanału Rudzkiego do Biebrzy (przekrój DD3 na rys. 1). Szkic przekroju wraz z oznaczeniem występującej w nim roślinności pokazano na rysunku 4. Stosując metodykę obliczania przepustowości koryt o złożonych przekrojach opisaną w pracy „Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych” (HYDRAULICZNE... 2003), skonstruowano krzywe przepływu w przekroju rzeki Biebrzy z uwzględnieniem zmian współczynników oporu w sezonie wegetacyjnym i poza nim (rys. 5, 6 i 7).



Rys. 4. Geometria i zabudowa biologiczna przekroju wybranego do obliczeń przepustowości

Fig. 4. Geometry and plant description of a cross-section selected for a capacity calculations

Na rysunku 5 porównano krzywe natężenia przepływu w korycie głównym w czasie wegetacji i poza wegetacją oraz procentowe zmniejszenie przepływu pod wpływem roślinności w przypadku, kiedy przepływ występuje jedynie w korycie głównym. Z rysunku 5 wynika, że w okresie wegetacji w przekroju koryta głównego występuje zmniejszanie przepustowości koryta, a różnice w obliczonych natężeniach przepływu rosną ze wzrostem głębokości i sięgają prawie 10%.



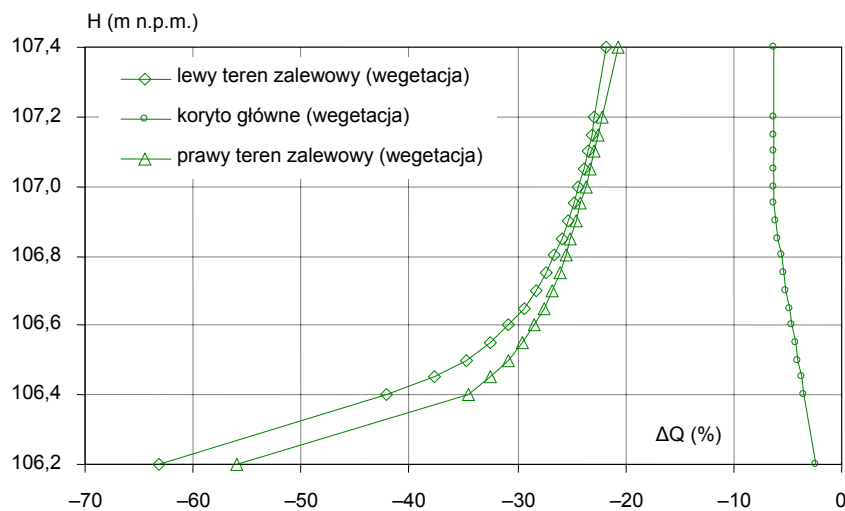
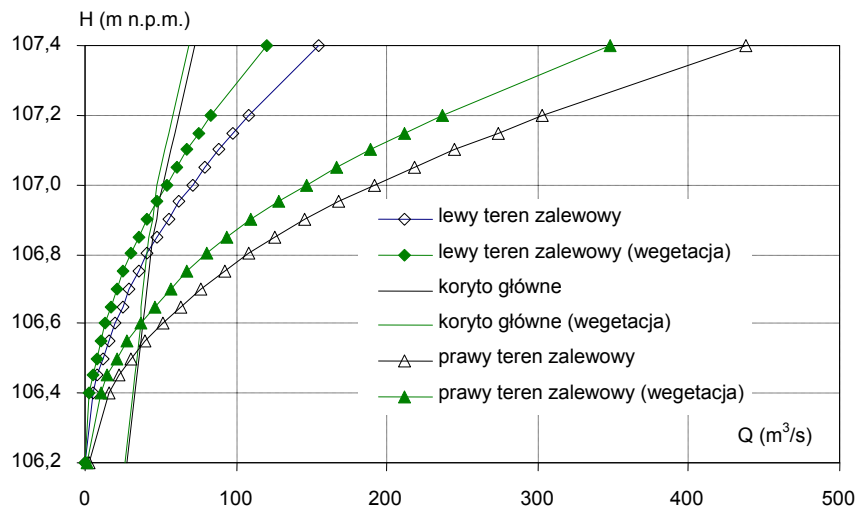
Rys. 5. Krzywe natężenia przepływu w przekroju głównym koryta rzeki Biebrzy oraz procentowe zmniejszenie natężenia przepływu w okresie wegetacji i poza nim  
Fig. 5. Rating curves for the Biebrza River main channel and percentage reduction of the discharge on vegetation season and out of it

Na rysunku 6 porównano krzywe natężenia przepływu w korycie głównym i na terenach zalewowych doliny Biebrzy oraz procentowe zmniejszenie natężenia przepływu w czasie wegetacji i poza wegetacją. Można zauważyć, że w okresie wegetacji w przekroju koryta głównego występuje zmniejszanie przepustowości ze wzrostem głębokości do około 6%. W porównaniu z terenami zalewowymi jest to znacząco mniejsza redukcja przepływu. Przy małych głębokościach na terenach zalewowych (rys. 6) wpływ roślinności w czasie wegetacji jest bardzo duży i może zmniejszać przepływ o blisko 60%. Ze wzrostem głębokości przepływu następuje zmniejszenie różnicy procentowej przepływu do wartości około 21% przy rzędnej 107,4 m.

Rysunek 7 przedstawia wyniki obliczeń natężenia przepływu w całym przekroju, czyli w korycie głównym i na terenach zalewowych, oraz procentowe zmniejszenie przepływu pod wpływem rozwoju roślinności. W okresie wegetacji występuje zmniejszanie przepustowości koryta do około 21% (rys. 7). Różnice procentowe dla obliczonych natężeń przepływu najpierw rosną ze wzrostem głębokości do rzędnej 106,8 m, a następnie – po osiągnięciu wartości około 107,0 m – maleją.

## Podsumowanie

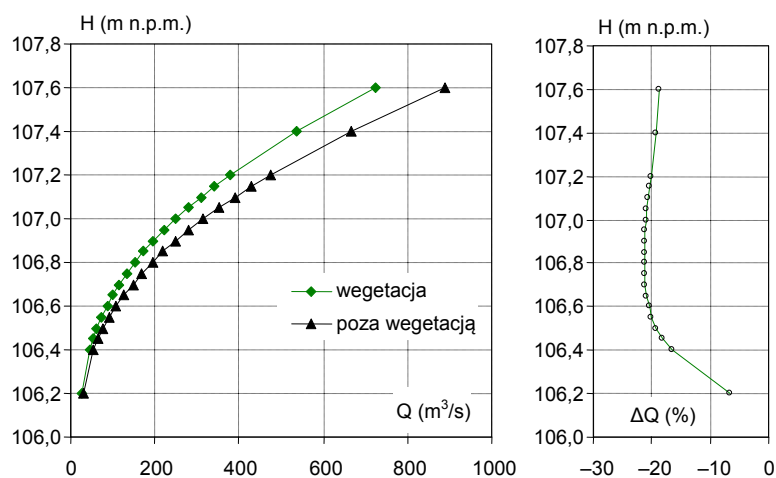
Warunki przepływu wielkich wód w przekroju doliny rzeki Biebrzy są kształtowane w znacznym stopniu pod wpływem występującej w niej roślinności, co obrazują uzyskane wyniki obliczeń. Przy małych napełnieniach na terenach zalewowych doliny rzeki Biebrzy woda stagnuje i teren zalewowy pełni rolę zbiornika retencyjnego, dopiero po osiągnięciu pewnego poziomu zwierciadła wody płynie całym przekrojem. Wpływ roślinności na przepustowość doliny uzależniony jest silnie od okresu wegetacyjnego.



Rys. 6. Krzywe natężenia przepływu w korycie głównym i na terenach zalewowych doliny Biebrzy oraz procentowe zmniejszenie natężenia przepływu w okresie wegetacji i poza nim

Fig. 6. Rating curves for the Biebrza River main channel and floodplains and percentage reduction of the discharge on vegetation season and out of it





Rys. 7. Krzywe natężenia przepływu w przekroju doliny Biebrzy oraz procentowe zmniejszenie natężenia przepływu w okresie wegetacji i poza nim  
 Fig. 7. Rating curves for the Biebrza River valley and percentage reduction of the discharge on vegetation season and out of it

Określenie parametrów zastępczych roślin wykorzystywanych w obliczeniach przepustowości umożliwia wykorzystanie metod obliczania współczynników oporu na podstawie ich charakterystyk geometrycznych. Wartości współczynników oporu powierzchni doliny z roślinami są wielokrotnie większe od wartości współczynników oporów dna i skarp koryta głównego.

## Literatura

- BRETSCHNEIDER H., SCHULZ A., 1985. Anwendung von Fließformeln bei naturnahem Gewässer-ausbau. DVWK-Schr. 72.
- HYDRAULISCHE Berechnung von Fließgewässern, DK 551.51/54 Fließgewässer, DK 532.543 Hydraulik. 1991. DVWK-Merkbl. 220.
- INDLEKOFER H., 1981. Überlagerung von Rauigkeitseinflüssen beim Abfluß in offenen Gerinnen. Mitt. Inst. Wasserb. Wasserwirtsch. RWTH Aachen 37: 105-145.
- KOZIÓŁ A., 2003. Określenie geometrycznych parametrów roślinności wykorzystywanych w obliczeniach przepustowości terenów zalewowych. Gosp. Wod. 8: 324-327.
- KOZIÓŁ A., KUBRAK J., CIEPIEŁOWSKI A., 2002. Hydrauliczny model przepustowości koryt rzecznych w warunkach występowania roślinności leśnej. Czas. Tech. Inż. Środ. P. Krak. 5: 23-33.
- MATUSZKIEWICZ M., 2000. Mapa zbiorowisk roślinnych Biebrzańskiego Parku Narodowego. Plan ochrony BPN. Krajowy Zarząd Parków Narodowych, Warszawa.
- MIROSLAW-ŚWIĄTEK D., KUBRAK J., CHORMAŃSKI J., 2006. Steady 1 D water surface model of natural rivers with vegetated floodplain: an application to the Lower Biebrza. W: Proceedings of the Second International Conference on Fluvial Hydraulics – River Flow 2006. Vol. 1. IAHR, Lisbon, Portugal: 545-553.
- HYDRAULICZNE podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych. 2003. Red. J. Kubrak, E. Nachlik. Wyd. SGGW, Warszawa.

- RITTERBACH E., 1991. Wechselwirkungen zwischen Auenökologie und Fließgewässerhydraulik und Möglichkeiten der integrierenden computergestützten Planung. Mitt. Inst. Wasserb. Wasserwirtsch. RWTH Aachen 80.
- ROUVÉ G., 1987. Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau Ergebnisse aus Schwerpunktprogramm „Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse“. Bd 2. DFG, Weinheim.
- SZPORAK S., KOZIOŁ A., MIROSLAW-ŚWIĄTEK D., KUBRAK J., 2006. Określenie charakterystyk roślin wykorzystywanych w obliczeniach przepustowości doliny rzeki Biebrzy. Przegł. Nauk. Wydz. Melior. Inż. Środ. SGGW 2, 34: 81-89.

## DISCHARGE ASSESSMENT ANALYSIS OF THE BIEBRZA RIVER IN THE LOWER BASIN

**Summary.** The Biebrza River valley is covered by different types of vegetation as grasses, sedges, reeds, shrubbery and trees. In compliance with the elements of methodology of the river-bed flow capacity calculations has been distinguishable oneself three types of vegetation height. High vegetation is considered as higher than a water level flow. Vegetation which height is equal to water level, mainly is specified as medium vegetation. Vegetation with the height lower than the water level flow has been specified as low. This distribution is not unmistakable, and in comparison of natural fluctuations of water levels, in practice the same vegetation can be numbered to different types. Resistances of totally flooded shrubbery and trees are calculated from the Colebrook-White equation on the basis of distinguished roughness height. Water flow resistance in flowing round high vegetation is calculated on the basis of supplementary average vegetation diameter and supplementary distances between plants in direction of water flow, and transversal to it. On the basis of a vegetation inventory in the Biebrza River valley water flow resistance of a naturally distributed high vegetation was characterized. Discharge calculations considering varied vegetation in a main channel as well as in floodplains were performed for a selected cross-section. The obtained results allow to take into account influence of a vegetation on channel and floodplain capacity.

**Key words:** discharge assessment, plant characteristics, absolute roughness

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Adam Kozioł, Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa, Poland, e-mail: adam\_kozioł@sggw.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*28.04.2009*

*Do cytowania – For citation:*

*Kozioł A., Mirosław-Świątek D., 2009. Analiza przepustowości koryta i doliny rzeki Biebrzy w Basenie Dolnym. Nauka Przyr. Technol. 3, 3, #88.*