

**Sylwia SZPORAK, Adam KOZIÓŁ, Dorota MIROSLAW-ŚWIĄTEK,
Janusz KUBRAK**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Restoration WAU

Określenie charakterystyk roślin wykorzystywanych w obliczeniach przepustowości doliny rzeki Biebrzy Determination of plant characteristics used in discharge assessment of the Biebrza River valley

Słowa kluczowe: charakterystyki roślin, obliczanie przepustowości

Key words: plant characteristics, discharge assessment

Wprowadzenie

Analiza przepustowości koryt rzecznych i ich dolin przy przejściu wezbrań jest prowadzona zwykle na podstawie obliczeń. Przepustowość koryt oblicza się w założeniu jednostajnego ustalonego przepływu wody i opisuje parametrami uśrednionymi w czasie (Hydrauliczne podstawy... 2003). W celu wykonania obliczeń przepustowości koryt konieczne jest określenie wymiarów przekroju koryta i doliny, spadku podłużnego koryta oraz określenie zastępczych parametrów roślin porastających skarpy koryta, pasy brzegowe i tereny zalewowe. Występująca w obszarze przepływu roślinność rzek nizinnych składa się z trzcin, traw, bylin, krzaków i drzew. Podstawą hydrau-

licznych obliczeń przepustowości koryt 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 (Rouve 1987). Parametrami charakteryzującymi roślinność i wykorzystywanymi w obliczeniach jest średnica drzew bądź gałęzi krzewów, odległość między nimi w kierunku przepływu i poprzecznym do niego. Wymienione parametry wyznacza się na podstawie inwentaryzacji skupisk roślin występujących w obszarze przepływu. Przy bardzo zróżnicowanych strukturach roślinnych podanie hydraulicznej charakterystyki roślinności związane jest z problemami natury metodycznej. Sposób określania współczynników oporu dla opływanych elementów roślinnych wiązany jest z relacją ich wysokości do głębokości przepływu. Współczynni-

ki oporów roślinności niskiej obliczane są z zależności Colebrooka-White'a na podstawie założenia wiążącego ich wysokość z chropowatością absolutną (k_s). Współczynniki oporów skupisk roślinności wysokiej, tzn. zwykle krzewów i drzew, są w głównej mierze wiązane z oporami opływanej bryły roślin. Poniżej omówiono metodykę wyznaczania charakterystyk skupisk roślin w obszarze doliny rzeki Biebrzy.

Metodyka wyznaczania charakterystyk roślin

Roślinność niska

Bretschneider i Schulz (1985), tworząc podstawy metodologii obliczeń przepustowości koryt, jako roślinność wysoką określili roślinność wyższą niż głębokość przepływu i w niewielkim stopniu ulegającą odkształceniom pod wpływem naporu hydrodynamicznego wody. Z kolei roślinność, której wysokość jest równa w przybliżeniu głębokości wody, a więc głównie krzewy, nazywano roślinnością średnią. Roślinność o wysokości mniejszej niż głębokość przepływu została określona jako niska. Ostatnie określenie odnosi się przede wszystkim do traw. Przyjęte kryterium podziału nie jest jednoznaczne, a wobec naturalnej zmienności stanów wody w praktyce ta sama roślinność może być zaliczana do różnych typów.

Współczynniki oporów (λ) zatopionych roślin i krzewów obliczane są z zależności Colebrooka-White'a na podstawie wyznaczonej chropowatości absolutnej, k_s (Indlekofer 1981):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2,0 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k_s / R}{14,84} \right) \quad (1)$$

gdzie Re jest liczbą Reynoldsa obliczaną z zależności:

$$\text{Re} = \frac{4Rv}{\nu} \quad (2)$$

gdzie:

ν – kinematyczny współczynnik lepkości wody,

R – promień hydrauliczny przekroju strumienia,

v – prędkość przepływu wody.

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

TABELA 1. Wartości chropowatości absolutnej (k_s) przyjmowane dla różnych typów roślinności (Ritterbach 1991)

TABLE 1. Absolute roughness (k_s) values adopted for different vegetation types (Ritterbach 1991)

Typ roślinności Vegetation types	Chropowatość absolutna, k_s [m] Absolute roughness
Roślinność łąkowa	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

Roślinność wysoka

Charakterystyki zwartej grupy drzew lub krzewów. Na terenach zalewowych i w pasach brzegowych rzeki występują zwykle grupy drzew lub krzewów. Inwentaryzację drzew przeprowadza się w zbliżonej do prostokąta powierzchni (A_{pro}), długości boków około 10×20 m. Powierzchnia do inwentaryzacji krzewów nie powinna przekraczać kilku metrów kwadratowych (DVWK 1991, Koziół i in. 2002). Na podstawie dokonanej inwentaryzacji skupisk drzew lub krzewów oblicza się zastępczą średnicę drzew lub gałęzi krzewów i średnie odległości między roślinami. Za średnicę zastępczą przyjmuje się wartość średnią z określonych na podstawie pomiarów średnic wykonanych na wysokości zwierciadła wody:

$$d_p = \frac{\sum d_i}{n} \quad (3)$$

gdzie:

d_p – zastępcza średnica drzew/gałęzi,

d_i – średnica drzewa/gałęzi,

n – liczba drzew lub gałęzi krzewów na inwentaryzowanej powierzchni.

Zastępczą odległość między drzewami czy gałęziami w kierunku przepływu (a_x) i poprzecznym do niego (a_y) oblicza się przy równości obu odległości ($a_x = a_y$) z zależności:

$$a_x = a_y = \sqrt{\frac{A_{pro}}{n}} \quad (4)$$

Gdy odległości te nie są równe ($a_x \neq a_y$), wtedy na podstawie pomiarów terenowych oblicza się powierzchnię przypadającą na jedną roślinę

$a_x a_y = \frac{A_{pro}}{n}$, średnią wartość stosunku

odległości $\frac{a_y}{a_x} = C$ i po podstawieniu

$$a_y = C a_x \text{ odległość } a_x = \sqrt{\frac{A_{pro}}{nC}}$$

Charakterystyki pojedynczych krzewów i drzew na terenie zalewowym. Wartość średniej powierzchni zajętej przez drzewo/krzew oblicza się po wyznaczeniu na podstawie pomiarów powierzchni $A_{PR,i}$ zajętej przez i -te drzewo/krzew z zależności:

$$A_{PR} = \frac{\sum A_{PR,i}}{n} \quad (5)$$

gdzie:

$A_{PR,i}$ – powierzchnia przekroju i -tego drzewa,

n – liczba drzew lub gałęzi krzewów.

Zastępczą średnicę drzewa lub gałęzi krzewu (d_p) oblicza się na podstawie średniej powierzchni przekroju z zależności:

$$d_p = \sqrt{\frac{4A_{PR}}{\pi}} \quad (6)$$

Zastępczą odległość między roślinami w kierunku przepływu (a_x) i poprzecznym do niego (a_y) określa się jak poprzednio.

Charakterystyki mieszanych skupisk drzew i krzewów. W przypadku mieszanych skupisk drzew i krzewów zaleca się określanie parametrów zastępczych łącznie dla obu typów roślin. Wstępnie wykonuje się inwentaryzację roślin na powierzchni wytypowanej do

badan, a następnie oblicza zastępczą średnicę roślin z zależności:

$$d_p = \frac{d_k \cdot n_k + d_d \cdot n_d}{n_k + n_d} \quad (7)$$

gdzie:

n_k – liczba gałęzi krzewów,

n_d – liczba drzew,

d_k – średnica gałęzi krzewu,

d_d – średnica drzew.

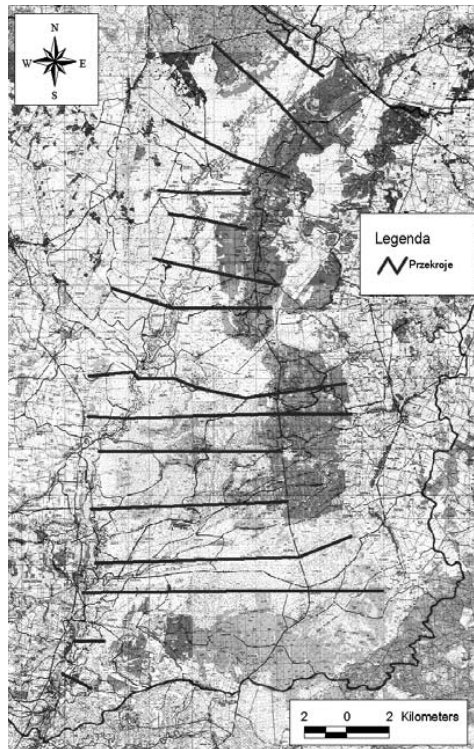
Zastępcze odległości między roślinami oblicza się jak we wcześniej opisanych przykładach.

Wyniki badań własnych

W celu określenia charakterystycznych parametrów roślinności w dolinie rzeki Biebrzy dokonano inwentaryzacji roślin występujących w obszarze przepływu wzdłuż 15 przekroi pokazanych na rysunku 1. W pomiarach wykorzystano mapy roślinności opracowane dla Biebrzańskiego Parku Narodowego (Matuszkiewicz 2000) i zdjęcia lotnicze. W analizowanym odcinku doliny rzeki Biebrzy występuje roślinność łąkowa, turzyce (zbiorowiska turzyc luźnokępowych: *Carex diandra*, *Carex lasiocarpa* i *Carex rostrata*), turzyce kępowe (tworzące wysokie, zwarte karpę: *Carex appropinquata* i *Carex elata* – rys. 2), szuwar mанны (zbiorowiska *Phalaris arundinacea*), szuwar trzcinowy (zbiorowiska *Phragmites communis*), krzewy (zakrzewienia wierzbowe – rys. 3), olszyna bagienna i wysokopienny ols.

Wartości chropowatości bezwzględnej (k_s) dla powyższych typów roślinności przyjęto według wartości zestawionych przez Ritterbacha. W obliczeniach

przepustowości uwzględniono zmienność wartości chropowatości bezwzględnej (k_s) w czasie sezonu wegetacyjnego (tab. 2).



RYSUNEK 1. Przekroje pomiarowe
FIGURE 1. Measuring transects



RYSUNEK 2. Karpę turzyc
FIGURE 2. Sedge tussocks



RYSUNEK 3. Zakrzewienia wierzbowe
FIGURE 3. Willow shrubs

W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów roślinności wysokiej w dolinie Biebrzy.

Przykład obliczeń charakterystyk dla zwartej grupy drzew – olszyny bagiennej

Dla terenu zalewowego porośniętego olszyną bagienną wybrano kwadratową powierzchnię inwentaryzacyjną $A_{\text{pro}} = 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 100 \text{ m}^2$ (rys. 4). Na inwentaryzowanej powierzchni znajduje się $n = 14$ drzew, których pomierzone obwody zestawiono w tabeli 4.

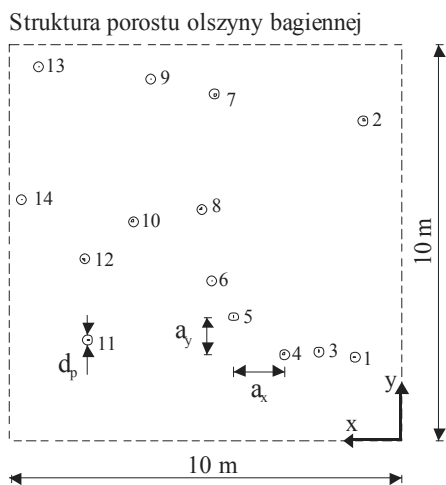
Następnie obliczono zastępcze odległości między roślinami w kierunku przepływu (a_x) i poprzecznym do niego (a_y) oraz sprawdzono równość obu odległości. Z obliczeń wynika, że stosunek odle-

TABELA 2. Wartości chropowatości bezwzględnej (k_s) przyjęte dla roślinności w dolinie Biebrzy
TABLE 2. Absolute roughness (k_s) values adopted for vegetation in Biebrza River valley

Typ roślinności Vegetation types	Chropowatość bezwzględna, k_s [m] Absolute roughness	
	podczas sezonu wegetacyjnego	poza sezonem wegetacyjnym
Roślinność łąkowa	0,7	0,3
Turzyce	1,2	0,4
Turzyce kępowe	1,2	0,5
Szuwar mannowy	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. Wyniki pomiarów parametrów roślinności wysokiej w dolinie Biebrzy
TABLE 3. Results of parameters measurements of high vegetation in the Biebrza River valley

Roślinność / Vegetation	d_p [m]	a_x [m]	a_y [m]
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
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



RYSUNEK 4. Szkic powierzchni porośniętej olszyna bagiennej i objętej inwentaryzacją
 FIGURE 4. Field sketch of area covered by alder forest and assumed by inventory

TABELA 4. Pomierzone obwody olszyny bagiennej
 TABLE 4. Measured tree girth of alder forest trees

Nr drzewa Tree number	Obwód drzewa [m] Tree girth	Obliczona średnica, d_i [m] Calculated diameter
1	2,00	0,64
2	2,40	0,76
3	5,96	1,90
4	1,85	0,59
5	0,35	0,11
6	1,66	0,53
7	1,01	0,32
8	0,29	0,09
9	2,24	0,71
10	0,94	0,30
11	1,90	0,61
12	1,40	0,45
13	0,65	0,21
14	1,74	0,55
Średnia średnica, d_p Average diameter		0,55

głości równy jest $\frac{a_y}{a_x} = C = 0,89$, zatem

rozstaw między drzewami w kierunku przepływu i poprzecznym do niego obliczono z zależności:

$$a_x = \sqrt{\frac{A_{\text{pro}}}{nC}} = \sqrt{\frac{100}{14 \cdot 0,89}} = 2,83 \text{ m}$$

$$a_y = Ca_x = 0,89 \cdot 2,83 = 2,52 \text{ m}$$

Przykład obliczeń charakterystyk roślinnych zwartej grupy krzewów wierzby

Dla występujących skupisk krzewów wierzby wybrano kwadratową powierzchnię inwentaryzacyjną o polu $A_{\text{pro}} = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$, porośniętą gałęziami krzewów w liczbie $n_k = 58$ sztuk, dla których ze wzoru (6) obliczono średnią zastępczą średnicę gałęzi krzewów $d_{p,k} = 0,04 \text{ m}$. Zastępczą odległość między gałęziami krzewów w kierunku przepływu i poprzecznym do niego obliczono z zależności (4) w założeniu równości obu odległości:

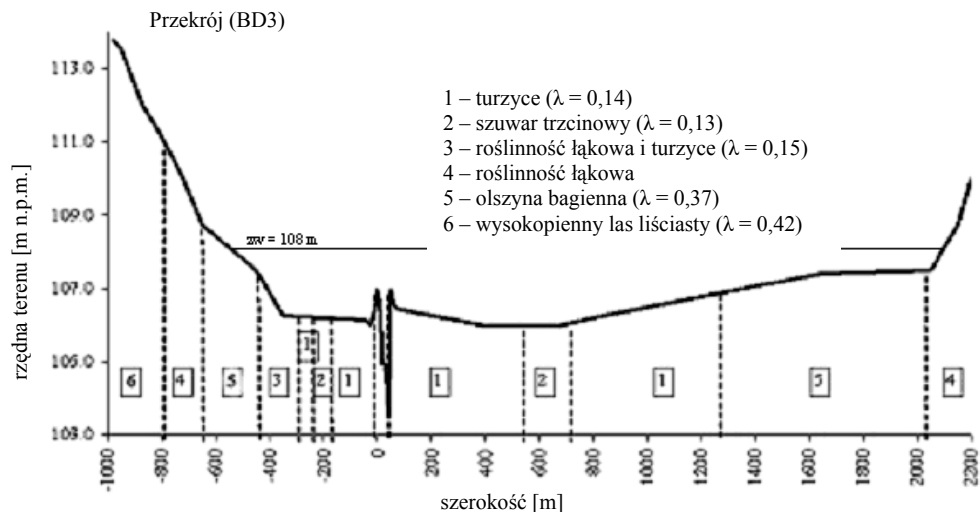
$$a_x = a_y = \sqrt{\frac{A_{\text{pro}}}{n_k}} = \sqrt{\frac{4}{58}} = 0,26 \text{ m}$$

Obliczenia przepustowości

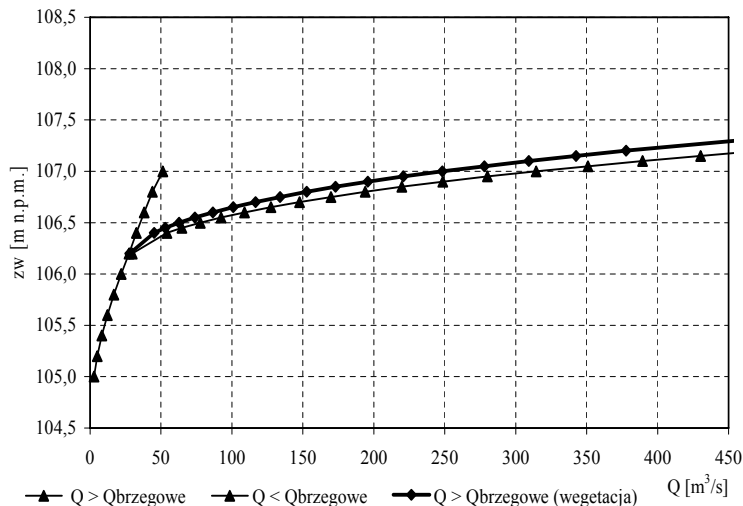
Wyznaczone powyżej charakterystyki różnych typów roślinności bagiennej wykorzystano do obliczeń współczynników oporu dla roślin z wybranego przekroju dolinowego na obszarze analizowanego przekroju doliny Biebrzy. Wybrany przekrój położony jest około 6 km poniżej ujścia Kanału Rudzkiego do

Biebrzy (przekrój BD3 na rys. 1). Szkic przekroju wraz z oznaczeniem występującej w nim roślinności pokazano na rysunku 5. Stosując metodykę obliczania przepustowości koryt opisaną w pracy „Hydrauliczne podstawy obliczania

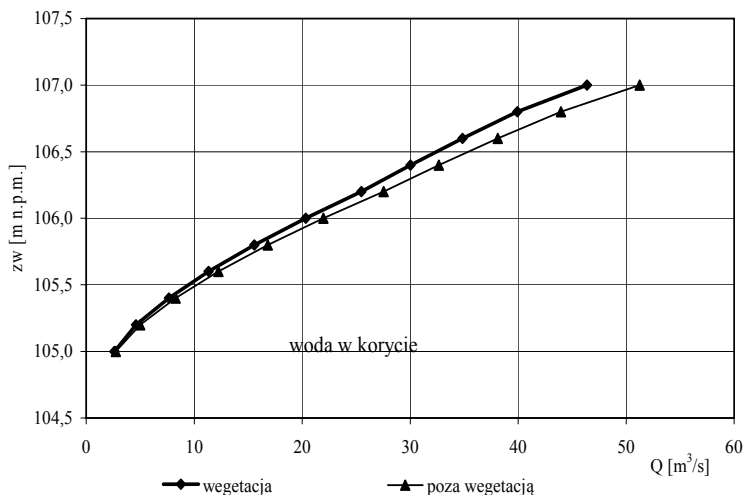
przepustowości koryt rzecznych” (2003), skonstruowano krzywe przepływu w przekroju rzeki Biebrzy z uwzględnieniem zmian współczynników oporu w sezonie wegetacyjnym (rys. 6, 7).



RYSUNEK 5. Geometria i zabudowa biologiczna przekroju wybranego do obliczeń przepustowości
 FIGURE 5. Geometry and plant consolidation of the river valley for transect selected for capacity calculations



RYSUNEK 6. Wpływ wartości chropowatości absolutnej (k_s) na obliczane wartości przepływu w przekroju
 FIGURE 6. Influence of absolute roughness (k_s) values on calculated discharge values in the transect



RYSUNEK 7. Wpływ wartości chropowatości absolutnej (k_s) na obliczane wartości przepływu w przekroju głównym koryta rzeki Biebrzy
 FIGURE 7. Influence of absolute roughness (k_s) values variability on calculated discharge values in the river bed

Podsumowanie

Warunki przepływu wielkich wód w przekroju doliny rzeki Biebrzy kształtowane są pod wpływem porastającej ją roślinności. 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 Gewässerausbau. DVWK – Schriften, Heft 72.
 DVWK – MERKBLÄTTER 220, 1991: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern,

DK 551.51/54 Fließgewässer, DK 532.543 Hydraulik, Kommissionsvertrieb Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

Hydraulische Grundlagen der Berechnung der Durchlaufzeit in Fließgewässern, 2003 (red.) J. Kubrak, E. Nachlik. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

INDLEKOFER H. 1981: Überlagerung von Rauigkeitseinflüssen beim Abfluß in offenen Gerinnen. Mitt. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen, Heft 37: 105–145.

KOZIOŁ A., KUBRAK J., CIEPIEŁOWSKI A. 2002: Hydrauliczny model przepustowości koryt rzecznych w warunkach występowania roślinności leśnej. *Czasopismo Techniczne Inżynieria Środowiska* 4.

MATUSZKIEWICZ M. 2000: Mapa zbiorowisk roślinnych Biebrzańskiego Parku Narodowego. Plan ochrony BPN. Krajowy Zarząd Parków Narodowych.

RITTERBACH E. 1991: Wechselwirkungen zwischen Auenökologie und Fließgewässerhydraulik und Möglichkeiten der integrierenden computergestützten Planung. Mitteilungen für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

ROUVÉ G. 1987: DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft, Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau Ergebnisse aus Schwerpunktprogramm „Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse“, Band 2.

Summary

Determination of plant characteristics used in discharge assessment of the Biebrza River valley. 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 the 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 absolute roughness k_s . Water flow resistance in flowing round high vegetation is calculated on the basis of supplementary average vegetation diameter (d_p) and supplementary distances between plants in direction of water flow a_x , and transversal to it a_y . On the basis of vegetation inventory in the Biebrza River valley water flow resistance of naturally distributed high vegetation was characterized.

Authors' address:

Sylwia Szporak, Adam Kozioł, Dorota Mirosław-
-Świątek, Janusz Kubrak
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa