

Tomasz Tymiński

CHARAKTERYSTYCZNE PARAMETRY DO OPISU GĘSTOŚCI ROŚLIN W KORYTACH RZECZNYCH

CHARACTERISTIC PARAMETERS FOR VEGETATION DENSITY DESCRIPTION IN RIVER BEDS

Streszczenie

W pracy zamieszczono przegląd wybranych, najczęściej spotykanych w literaturze, parametrów do opisu gęstości roślin w korytach rzecznych. Gęstość roślin jest jednym z parametrów, które mają istotny wpływ na oddziaływanie zbiorowisk roślinnych na warunki przepływu w korytach rzecznych. W obliczeniach hydraulicznych zachodzi konieczność matematycznego opisu geometrycznych cech przeszkód roślinnych. Publikowane w literaturze formuły obliczeniowe do wyznaczania oporów przepływu, spiętrzenia wegetacyjnego zwierciadła wody, bądź przepustowości koryt naturalnych zawierają wiele, różnego rodzaju parametrów charakteryzujących strukturę geometryczną roślin. Artykuł zawiera zestawienie najważniejszych parametrów do opisu gęstości roślin.

Słowa kluczowe: rzeki, roślinność, gęstość strefy roślinnej

Summary

In the paper some the most important, characteristic parameters for vegetation density description are presented. The density of vegetation in the river beds is one of the most important parameters that has impact on the flow conditions in the river. The mathematical formulae for flow resistance and water level calculations contain the density of vegetation zone as a parameter. This parameter can be described by various methods. The compact specification of plants parameters is given in the paper.

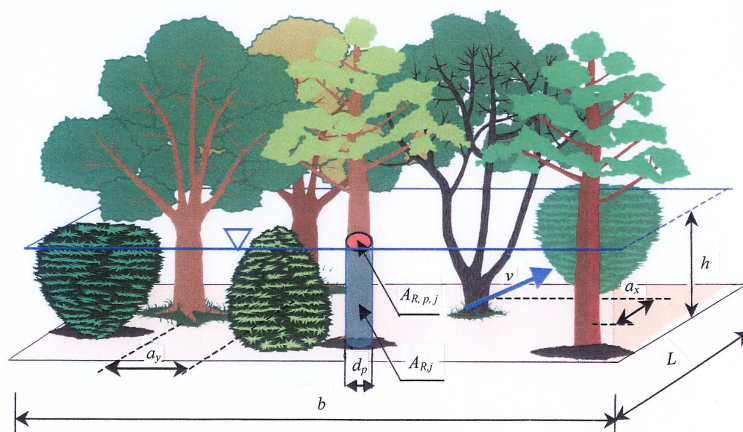
Key words: rivers, vegetation, density of vegetation zone

WPROWADZENIE

W hydraulicznych obliczeniach koryt naturalnych występuje potrzeba uwzględnienia oddziaływania roślinności porastającej koryto, jego brzegi, bądź tereny zalewowe na warunki przepływu. Oddziaływanie hydrauliczne roślin zależy w dużej mierze, oprócz parametrów hydrodynamicznych strumienia, również od gatunku roślin, ich właściwości biomechanicznych i charakterystyki geometrycznej danego zbiorowiska roślin. Cechy te można uwzględnić, opisując roślinność za pomocą tzw. parametrów zbiorowisk roślinnych.

Badania roślin, a zwłaszcza krzewów – czy to w naturze, czy na modelach w laboratorium – są trudne do przeprowadzenia i nie gwarantują otrzymania charakterystyk ogólnych. Duża zmienność tego typu roślinności (np. w zależności od pory roku zmienia się ilość liści, gałęzi oraz geometria skupiska) sugerowałaby wykorzystanie w metodach obliczeniowych metod statystycznych. W zastosowaniach inżynierskich może to być kłopotliwe. Wciąż szuka się nowych sposobów opisu struktury roślinnej, decydując się często na wielorakie uproszczenia.

W opisie matematycznym zbiorowiska roślin niezbędne jest przypisanie gęstości roślin pewnej miary. Miarą taką może być np. koncentracja objętościowa roślin ρ_R , gęstość obsadzenia D_p , porowatość strefy roślinnej p i in. Niekiedy nie jest to pojedynczy parametr, lecz cała procedura obliczeniowa [Kałuża, 1996]. Ze względu na objętość pracy, należało ograniczyć się w takich przypadkach do najważniejszych elementów metody. Odnośniki literaturowe ułatwią zainteresowanym głębszą analizę. Używane we wzorach oznaczenia zilustrowano na rysunku 1. Niniejsza publikacja to próba zestawienia najważniejszych, najczęściej spotykanych w literaturze parametrów roślinnych.



Rysunek 1. Wskaźniki charakterystyczne używane w formułach obliczeniowych dla parametrów roślinnych [Kałuża i in. 2004]

Figure 1. Characteristic indexes used in formulae for vegetation parameters calculations

Parametry zbiorowisk roślinnych. Na podstawie analizy literatury przedmiotowej można wyróżnić następujące zasadnicze parametry zbiorowisk roślinnych:

1. *Gęstość obsadzenia* D_p [Klaassen, van der Zwaard 1974].

Gęstość obsadzenia D_p , zwana też gęstością powierzchniową, określa liczbę roślin przypadającą na jednostkę powierzchni

$$D_p = \frac{m}{Lb} = \frac{m}{A_p} \quad [\text{m}^{-2}] \quad (1)$$

gdzie:

- m – liczba pni lub łodyg roślin; -
- L – długość strefy roślinnej; m
- b – szerokość strefy roślinnej; m
- A_p – pole powierzchni strefy roślinnej (rzut poziomy); m^2

2. *Parametr zbiorowisk roślinnych* Γ [wg Petryka i Bosmajiana 1975].

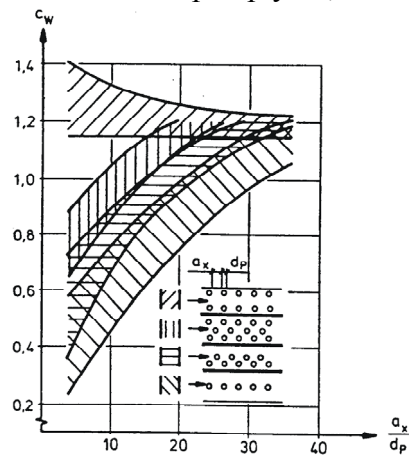
Parametr zbiorowisk roślinnych Γ stosowany przez ww. autorów oprócz zależności geometrycznych uwzględnia współczynnik oporu roślin

$$\Gamma = c_w \frac{\sum A_{R,j}}{L A_v} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

- A_v – pole powierzchni strefy roślinnej (przekrój pionowy); m^2 ,
- $A_{R,j}$ – pole powierzchni opływowej j -tego elementu roślinnego ($A_R = d_p h$); m^2 ,
- d_p – średnica reprezentatywna dla danej grupy roślin; m,
- h – głębokość zanurzonej części rośliny; m,
- c_w – współczynnik oporu roślin (rys. 2),
- a_x – rozstawa elementów roślinnych w kierunku przepływu; m.

Rysunek 2. Zależność współczynnika oporu c_w od rozstawy a_x i średnicy d_p roślin [Petryk za Bretschneider i Schulz, 1985]
Figure 2. Drag coefficient vs. spacing and diameter of plants



Iloraz Petryka i Bosmajjana krytykowany jest w literaturze [Bretschneider i Schulz 1985] za brak bezwymiarowości.

3. Liczba przekroju roślinnego ζ_v [wg Indlekofera i Rouve', na podst. Bretschneider i Schulz 1985].

Liczba przekroju roślinnego ζ_v , zwana też wskaźnikiem pokrycia powierzchni, jest to parametr, który informuje o udziale przekroju roślinnego w całej strefie zajmowanej przez rośliny

$$\zeta_v = \frac{\sum A_{R,j}}{Lb} \quad [-] \quad (3)$$

gdzie:

- $A_{R,j}$ – pole powierzchni opływowej j -tego elementu roślinnego; m^2 ,
- L – długość strefy roślinnej; m ,
- b – szerokość strefy roślinnej; m .

4. Hydraulicznie aktywna gęstość obsadzenia D_v [Rouvé i in. 1987]

Hydraulicznie aktywna gęstość obsadzenia D_v uwzględnia nie tylko gęstość roślin, lecz również ich układ przestrzenny

$$D_v = \frac{\sum (c_{w,j} A_{R,j})}{Lb} = c_w \zeta_v \quad [-] \quad (4)$$

gdzie:

- c_w – współczynnik oporu roślin ($c_w = f(a_x, a_y, d_p)$, rys. 2),
- d_p – średnica reprezentatywna dla danej grupy roślin; m ,
- a_x – rozstawa elementów roślinnych w kierunku przepływu; m ,
- a_y – rozstawa elementów roślinnych prostopadle do kierunku przepływu; m ,
- ζ_v – liczba przekroju roślinnego.

5. Stopień zabudowy przekroju roślinnego δ_R [Lindner 1982]

Stopień zabudowy przekroju roślinnego δ_R wg Lindnera określa udział wolnych przestrzeni w przekroju przepływowym porośniętym przez rośliny

$$\delta_R = \frac{a_y - d_p}{a_y} \quad [-] \quad (5)$$

gdzie:

- d_p – średnica reprezentatywna dla danej grupy roślin; m
- a_y – rozstawa elementów roślinnych prostopadle do kierunku przepływu; m

6. *Specyficzna powierzchnia omywania roślin* ϖ_p [Kaiser 1984; Nuding 1991]

Specyficzna powierzchnia omywania roślin ϖ_p , znana również jako wskaźnik zarastania przekroju, określa stosunek omywanej powierzchni roślin do całkowitej objętości strefy roślinnej

$$\varpi_p = \frac{\sum A_{R,j}}{L A_v} = \frac{d_p}{a_x a_y} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (6)$$

gdzie:

- A_v – pole powierzchni strefy roślinnej (przekrój pionowy); m^2
- $A_{R,j}$ – pole powierzchni opływowej j -tego elementu roślinnego ($A_R = d_p h$); m^2 ,
- L – długość strefy roślinnej; m ,
- d_p – średnica reprezentatywna dla danej grupy roślin; m ,
- a_x, a_y – rozstawa; m ,

W przypadku obliczania przekrojów z dominującą roślinnością krzaczastą niezbędne jest według Nudinga uwzględnienie geometrii krzewów w parametrze ϖ_p . Nuding wprowadza do niego modyfikację ujmującą przestrzenną strukturę gałęzi:

$$\varpi_p = \frac{\sum A_{R,j}}{L A_v} = \frac{d_{p,y} + d_{p,z} \frac{a_y}{a_z}}{a_x a_y} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (7)$$

gdzie:

$$d_p = d_{p,y} + d_{p,z} \frac{a_y}{a_z} \quad [\text{m}] \quad (8)$$

Średnicę obliczeniową d_p opisuje się za pomocą składowych średnic elementu roślinnego: poziomej (indeks y) i pionowej (indeks z). a_z – to średni odstęp „w pionie” poziomych części roślinnych.

7. *Liczba powierzchni roślinnej* ε_p [Kaiser 1984; Nuding 1991]

Liczba powierzchni roślinnej ε_p , inaczej wskaźnik przekrojów, definiowana jest jako stosunek sumarycznej powierzchni przekrojów poziomych elementów roślinnych do powierzchni obszaru, na którym występuje dane zbiorowisko roślin

$$\varepsilon_p = \frac{\sum A_{R,p}}{L b} = \frac{A_{R,p,j}}{a_x a_y} \quad [-] \quad (9)$$

gdzie:

$A_{R,p}$ – pole powierzchni przekroju elementu roślinnego (rzut poziomy;

$$A_{R,p} = \frac{\pi d_p^2}{4}; \text{ m}^2$$

b – szerokość strefy roślinnej; m,

L – długość strefy roślinnej; m,

a_x, a_y – rozstawa; m,

8. Liczba objętości roślinnej ρ_R [Kaiser, 1984]

Liczba objętości roślinnej ρ_R zwana też objętościowym wskaźnikiem wegetacji, gęstością objętościową lub objętościową koncentracją roślin [Dąbkowski, Pachuta 1996], uwzględnia udział zanurzonych części roślin w objętości zbiorowiska roślinnego („po obrysie”):

$$\rho_R = \frac{V_R}{V_v} 100\% = \frac{\sum V_{R,j}}{b h L} 100\% \quad [\%] \quad (10)$$

gdzie:

V_R – objętość zanurzonych części roślin; m^3 ,

V_v – objętość strefy roślinnej („po obrysie”); m^3 ,

b – szerokość strefy roślinnej; m,

L – długość strefy roślinnej; m,

h – głębokość zanurzonych części roślin; m,

9. Porowatość kompleksu roślinnego p [Tymiński 1999]

Porowatość kompleksu roślinnego p jest odwrotnością objętościowej koncentracji roślin ρ_R . Określa on objętościowy udział wolnych przestrzeni w przekroju przepływowym do całkowitej objętości strefy roślinnej

$$p = \frac{V_o}{V_v} = \frac{V_v - V_R}{V_v} = 1 - \rho_R \quad [-] \quad (11)$$

gdzie:

V_v – objętość strefy roślinnej („po obrysie”); m^3 ,

V_o – objętość wolnych przestrzeni w przekroju przepływowym; m^3 ,

V_R – objętość zanurzonych części roślin; m^3

10. Stopień przesłonięcia przekroju przepływowego δ [Tymiński 1999]

Stopień przesłonięcia przekroju przepływowego δ określa udział powierzchni opływowej elementów roślinnych w przekroju przepływowym strefy roślinnej

$$\delta = \frac{\sum A_{R,j}}{A_v} \quad [-] \quad (12)$$

gdzie:

$A_{R,j}$ – pole powierzchni opływowej j -tego elementu roślinnego); m^2 ,
 A_v – pole powierzchni strefy roślinnej (przekrój pionowy); m^2 .

Stożek przesłonięcia przekroju przepływowego δ stosuje się w przypadku przeszkód jednorodnych lub do nich zbliżonych. Wartość tego parametru równa jest liczbowo objętościowej koncentracji roślin

$$\rho_R = \frac{V_R}{L A_v} = \frac{\int_0^L A_R dx}{L A_v} = \frac{A_R}{A_v} = \delta \quad (13)$$

Osobną grupę stanowią parametry roślinne, które nie tyle dotyczą cech geometrycznych zbiorowiska roślin, co charakteryzują oddziaływanie tych zbiorowisk roślin na graniczące z nimi strefy przepływu. Parametry te opisano szczegółowo np. w pracach Rickerta [1986], Rouve i innych [1987], Kubraka i Nachlik [2003]. Zdaniem autora niniejszej publikacji na uwagę zasługują zwłaszcza następujące, niżej przedstawione parametry i wzory obliczeniowe:

11. Parametr roślinny B [wg Mertensa na podst. DVWK 1991]

W procedurze obliczeniowej Mertensa zasięg strefy makroturbulencji wywołanych roślinnością brzegową jest funkcją parametru skupiska roślin B określanego w następujący sposób:

$$B = \frac{a_x}{d_p} - 1 + \frac{a_y}{d_p} \quad [-] \quad (14)$$

wtedy:

$$\frac{b_{II,max}}{b_{III}} = 0.25\sqrt{B} \quad \text{dla } B < 16 \quad (15)$$

$$b_{II,max} = b_{III} \quad \text{dla } B \geq 16$$

gdzie:

b_{III} – szerokość części przekroju przepływowego, który znajduje się pod wpływem oddziaływania roślin; m,
 $b_{II,max}$ – szerokość określająca maksymalny zasięg strefy makroturbulencji; m,
 a_x, a_y – rozstawa; m,
 d_p – średnica pni lub łodyg roślin; m.

Wyznaczenie parametru roślinnego B umożliwia również obliczanie szorstkości ekwiwalentnej k_p dla płaszczyzny rozdziału stref przepływu:

$$k_p = c b_{II,m} + 1.5 d_p \quad [\text{m}] \quad (16)$$

gdzie współczynnik c to:

$$c = 1.2 - 0.3 \cdot 10^{-3} B + 0.06 (10^{-3} B)^{1.5} \quad [-] \quad (17)$$

12. Parametr roślinny Ω [wg Paschego i Rickerta, na podst. Rickert 1986]

Oddziaływanie zbiorowiska roślin na strefy przepływu z nimi graniczące uwzględniają ww. autorzy za pomocą współczynnika oporów liniowych λ_T obliczanego dla płaszczyzn rozdziału obu stref z modyfikacją wzoru Colebrook-White'a [DVWK 1991]. Współczynnik λ_T jest m.in. funkcją parametru Ω charakteryzującego strefę roślin.

$$\Omega = \left(\frac{0.07 a_{NL}}{a_x} \right)^{3.29} + \left(\frac{a_{NB}}{a_y} \right)^{0.95} \quad [-] \quad (18)$$

Straty energii na skutek opływu i omywania przez strumień przeszkód roślinnych odzwierciedla tzw. długość (a_{NL}) i szerokość (a_{NB}) strefy bezwładności strumienia:

$$a_{NL} = 128.876 c_{W\infty} d_p \left(1 + a_{NL} \frac{2gI_E}{v_p^2} \right)^{-2.143} \quad [\text{m}] \quad (19)$$

$$a_{NB} = 0.24 a_{NL}^{0.59} (c_{W\infty} d_p)^{0.41} \quad [\text{m}] \quad (20)$$

gdzie:

- $c_{W\infty}$ – współczynnik oporu pojedynczego drzewa przyjmowany z literatury; -
- I_E – spadek hydrauliczny;
- g – przyspieszenie ziemskie; ms^{-2} ,
- d_p – średnica drzew; m,
- a_x, a_y – rozstawa; m,
- v_p – prędkość w płaszczyźnie rozdziału, początkowo zakładana a następnie w rachunku iteracyjnym obliczana z powszechnego prawa przepływu [Rickert 1986]; ms^{-1}

UOGÓLNIONA ROZSTAWA I ŚREDNICA ROŚLIN

Wg zaleceń Niemieckiego Zrzeszenia ds. Gospodarki Wodnej [DVWK 1991] najczęściej spotykany w naturze porost mieszany (drzewa i krzewy) może być opisany tzw. **metodą mikrostrukturalną**, przy założeniu występowania

przepływu pomiędzy strukturą gałązek, czy też pni roślin [Kałuża 1996]. Problem sprowadza się do przedstawienia nieregularnej, naturalnej struktury porostu za pomocą pewnych uogólnionych parametrów geometrycznych: średniej rozstawy a_x i przeciętnej średnicy roślin d_p :

$$a_x = a_y = \sqrt{\frac{A_p}{m_k + m_d}} \quad [\text{m}] \quad (21)$$

$$d_p = \frac{d_k m_k + d_d m_d}{m_k + m_d} \quad [\text{m}] \quad (22)$$

gdzie:

- A_p – pole powierzchni strefy roślinnej (rzut poziomy); m^2 ,
- m_k – liczba gałązek krzewów (w wybranej klasie średnic),
- m_d – liczba drzew,
- d_k – średnica gałązek krzewu; m ,
- d_d – średnica drzewa; m ,
- a_x, a_y – rozstawa; m .

W przypadku, gdy pojedyncze krzewy lub grupy drzew stanowią elementy nieprzepuszczalne DVWK [1991] zaleca wykorzystanie **metody makrostrukturalnej** do opisu struktury geometrycznej roślin. Korzystamy wtedy z następujących wzorów:

$$a_x = a_y = \sqrt{\frac{A_p}{n_k + n_d}} \quad [\text{m}] \quad (23)$$

– dla krzewów

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \sum A_{R,i,k}}{\pi m_k}} \quad [\text{m}] \quad (24)$$

– dla drzew

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \sum (A_{R,i,k} + A_{R,i,d})}{\pi (n_k + n_d)}} \quad [\text{m}] \quad (25)$$

gdzie:

- A_p – pole powierzchni strefy roślinnej (rzut poziomy); m^2 ,
- $A_{R,i,k}$ – pole powierzchni poziomego rzutu krzewu; m^2 ,
- $A_{R,i,d}$ – pole powierzchni poziomego rzutu drzewa; m^2 ,
- n_k – liczba krzewów,
- n_d – liczba drzew,

d_k – średnica reprezentatywna dla danej grupy krzewów; m,

d_p – średnica reprezentatywna dla danej grupy drzew; m,

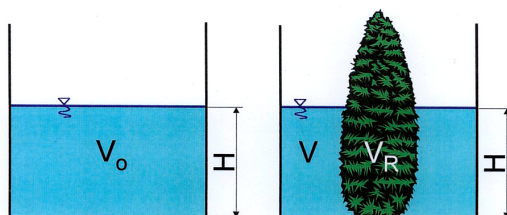
a_x, a_y – rozstawa; m,

Zastosowanie ww. metody wymaga szczegółowej inwentaryzacji terenów zalewowych lub posiadania odpowiednich operatów leśnych, bądź dokumentacji kartograficznych.

WPLYW GĘSTOŚCI ROŚLIN NA OPORY PRZEPLYWU

Już badania Petryka i Bosmajana [1975] wykazały, że pełny opis oddziaływania roślin otrzymamy, gdy w parametrze roślinnym uwzględniona będzie struktura przestrzenna zbiorowiska. Analiza zależności na rysunku 2 pokazuje wyraźny wpływ średnicy i rozstawy roślin na wartość współczynnika oporów optywu. Obserwacje w naturze i badania laboratoryjne wskazują ponadto na konieczność wyboru takiego parametru roślinnego, którego wartość zmienia się wraz z głębokością przepływu. Fakt ten pośrednio uwzględnia niejednorodność struktury przestrzennej, np. krzewu. W przypadku pomiarów laboratoryjnych warto posłużyć się koncentracją objętościową roślin ρ_R (wzór 10).

W laboratorium wodnym Instytutu Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przeprowadzone zostały kompleksowe badania modelowe oddziaływania roślin na warunki przepływu [Tymiński 1999]. Ich cechą charakterystyczną było wykorzystanie naturalnej roślinności krzewiastej w skali 1:1. Gęstość krzewów wyznaczano metodą objętościową za pomocą menzury i wycechowanego zbiornika, montowanego każdorazowo w korycie badawczym z roślinami. Różnica objętości wody wlanej do zbiornika bez roślin V_o i objętości wody wlanej do zbiornika z zamontowanymi wewnątrz krzewami V stanowiła objętość zanurzonych części roślin V_R . Koncentrację krzewów określano dla kilku charakterystycznych dla zakresu napełnień koryta poziomów korzystając ze wzoru (10). Schemat pomiaru ilustruje rysunek 3.



$$V_R = V_o - V$$

Rysunek 3. Pomiar koncentracji objętościowej krzewów
Figure 3. Measurement of volume concentration of hedges

Pomiary hydrauliczne wykazały, że koncentracja objętościowa zbiorowiska roślin była parametrem decydującym o oporach przepływu i tzw. wegetacyjnym spiętrzeniu zwierciadła wody. Przykładowo, dla wycinka zbiorowiska wikliny o wymiarach na planie 1 m x 1 m i spadku dna koryta $I = 0,001$ zachodzą następujące relacje:

$$\zeta = 0,71 \cdot q^{1/3} \cdot \rho^{3/2} \quad [-] \quad (26)$$

$$\Delta H = 0,0065 \cdot q^{0,9} \cdot \rho^{1,5} \quad [\text{m}] \quad (27)$$

gdzie:

- ζ – współczynnik oporów miejscowych dla zbiorowiska roślin; -
- $\Delta H = H_g - H_d$ – spiętrzenie wegetacyjne zwierciadła wody; m,
- H_g – głębokość przepływu przed zbiorowiskiem roślin; m,
- H_d – głębokość przepływu za zbiorowiskiem roślin; m,
- q – przepływ jednostkowy; $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$,
- ρ – koncentracja objętościowa roślin; %.

Zależność współczynnika ζ i spiętrzenia ΔH od gęstości krzewów ρ ma postać funkcji potęgowej, a wykładnik potęgi jest większy od jednośc. Widać więc, że nawet niewielka zmiana gęstości roślin pociąga za sobą znacznie większą zmianę parametrów hydraulicznych (ζ ; ΔH).

Koncentracja objętościowa roślin może być zastosowana jako parametr również w przypadku badań terenowych. Kałuża [2000] podaje przy tym następującą formułę:

$$\omega_p = a \cdot \rho_R = \frac{A_R}{V_R} \cdot \rho_R \quad [\text{m}] \quad (28)$$

gdzie:

- ω_p – wskaźnik zarastania; m^{-1} ,
- a – współczynnik korygujący; m^{-1} ,
- A_R – powierzchnia rzutu zanurzonej części roślin na płaszczyznę przekroju poprzecznego; m^2 ,
- V_R – objętość zanurzonej części roślin; m^3 ,
- ρ_R – koncentracja objętościowa (tu: liczba niemianowana).

Formuła (28) jest pomocna w przeliczeniach koncentracji ρ_R na inny znany i skatalogowany przez Kaisera [1984] parametr roślinny ω_p (wzór 6). W szczególnym przypadku (niestety zimą!) wskaźnik zarastania ω_p równy jest tzw. wskaźnikowi gęstości ulistowienia LAD_w , znanemu w agrometeorologii do badania wnikania promieniowania słonecznego w szatę roślinną. Parametr ten można zaś, w stosunkowo prosty sposób, zmierzyć w terenie przyrządem optycznym typu LAI-2000 [Kałuża i in. 2004].

PODSUMOWANIE

Powyższe zestawienie i krótka charakterystyka spotykanych w literaturze parametrów roślinnych ma na celu ułatwić zainteresowanym orientację w zagadnieniu opisu struktury roślinnej. Przytoczone parametry mają oryginalne nazwy podane w literaturze źródłowej. Niektóre z tych nazw przyjęły się już w Polsce. Nie powinny więc dziwić sformułowania typu „specyficzna powierzchnia omywania” lub „liczba powierzchni roślinnej” i in. Często są one wynikiem niedoskonałości tłumaczenia i braku pewnych unifikacji i uzgodnień wśród specjalistów z danej dziedziny w naszym kraju.

Zamieszczona w niniejszym artykule specyfikacja parametrów roślinnych pokazuje wyraźnie, iż znanych jest wiele sposobów opisu gęstości roślin w korytach rzecznych. Najprostsze z nich dotyczą wyłącznie gęstości zbiorowiska roślin, inne uwzględniają również układ przestrzenny roślin. Można wyróżnić też takie parametry roślinne, które oprócz cech geometrycznych, zawierają element określający opory przepływu wywoływane przez rośliny.

Należy podkreślić, że przedstawione wzory do obliczania parametrów roślinnych oparte są na wielorakich uproszczeniach, które są do przyjęcia w przypadku zastosowań inżynierskich. Poszukiwanie optymalnego sposobu opisu struktury roślinnej prowadzi niekiedy do sięgania po metody bardzo nowatorskie, np. zastosowanie teledetekcji [Kałuża i in. 2004]. Wciąż pozostaje jednak problem, jak dane dotyczące roślin, a pochodzące ze zdjęć lotniczych, czy nawet satelitarnych opisać matematycznie w sposób prosty i w miarę dokładny. Jakimi parametrami posłużyć się w danym przypadku i jakie przypisać im wartości? Jak usprawnić pomiar i określanie parametrów roślinnych w warunkach terenowych? Odpowiedź na postawione pytania wymaga niewątpliwie dalszych prac badawczych.

BIBLIOGRAFIA

- Bretschneider H., Schulz A. Anwendung von Fließformeln bei naturnahem Gewässerausbau. *DVWK-Schriften*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1985, Heft 72.
- Dąbkowski L., Pachuta K. *Roślinność i hydraulika koryt zarośniętych*. IMUZ Falenty 1996.
- DVWK *Hydraulische Berechnung von Fließgewässern*. DVWK-Merkblätter. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1991, Heft 220.
- Kaiser W. *Fliesswiderstandsverhalten in Gerinnen mit durchströmten Ufergehölzen*. Wasserbau-Mitteilungen des Instituts für Wasserbau. TH Darmstadt 1984, Heft 23.
- Kałuża T. *Opory ruchu przy przepływie wód wielkich wywołane roślinnością terenów zalewowych*. Rozprawa doktorska (maszynopis). Wydz. Mel. i Inż. Środ. AR Poznań 2000.
- Kałuża T. *Metody matematycznego opisu struktury roślinnej terenów zalewowych*. XVI Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki. Grodno 16-20 września 1996. IBW PAN Gdańsk 1996, s. 153–158.
- Kałuża T., Leśny J., Kuźniar P., Gołuch P., Szoszkiewicz K., Chojnicki B., Tymiński T. *Teledetekcyjna analiza struktury roślinności terenów zalewowych w aspekcie oceny przepustowości koryta wielkiej wody*. Raport końcowy z grantu KBN nr 3P06S02822. Kat.Bud.Wod. AR Poznań (maszynopis), 2004.

- Klaassen G.J., van der Zwaard J. J. *Roughness coefficients of flood plains*. Journal of Hydraulic Research, Vol. 12, No1, 1974.
- Kubrak J., Nachlik E./red./ *Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2003.
- Kubrak J., Bajkowski S., Poppek Z., Żbikowski A., 1995. *Przepustowość koryt o przekrojach złożonych, porośniętych drzewami*. Przegląd Naukowy Wydz. Mel. i Inż. Środ.. SGGW Warszawa 1995, z. 7, s. 33–40.
- Lindner K., *Der Strömungswiderstand von Pflanzenbeständen*. Mitteilungen des Leichtweiss-Instituts für Wasserbau. TU Braunschweig 1982, Heft 75.
- Nuding A. *Fliesswiderstandsverhalten in Gerinnen mit Ufergebüsch, Entwicklung eines Fließgesetzes für Fliessgewässer mit und ohne Gehölzufer, unter besonderer Berücksichtigung von Ufergebüsch*. Dissertation. Wasserbau-Mitteilungen des Instituts für Wasserbau. TH Darmstadt 1991, Heft 35.
- Petryk S., Bosmajian G. *Analysis of flow through vegetation*. ASCE. Journal of the Hydraulics Division, Vol.101, HY7, VII, 1975.
- Praca zbiorowa. *Hydrauliczne i ekologiczne problemy inżynierii rzecznej*. Materiały seminaryjne. Wydz. Mel. i Inż. Środ. Kated. Bud. Wodn.. SGGW Warszawa 1995.
- Rickert K. *Der Einfluss von Gehölz auf die Lichtverhältnisse und das Abflussverhalten in Fliessgewässern*. Dissertation. Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau. Universität Hannover 1986, Heft 61.
- Rouvé et al., *Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau*. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Forschungsbericht. VCH Verlagsgesellschaft Weinheim, 1987.
- Tymiński T. *Wpływ roślinności międzywala na warunki przepływu w korycie wielkiej wody*. Rozprawa doktorska (maszynopis). Wydz. Mel. i Inż. Środ. AR Wrocław 1999.

Dr inż. Tomasz Tymiński
Instytut Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
pl. Grunwaldzki 24, 50-306 Wrocław
tel. 071-3205-515;
e-mail: tyminski@iis.ar.wroc.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka

