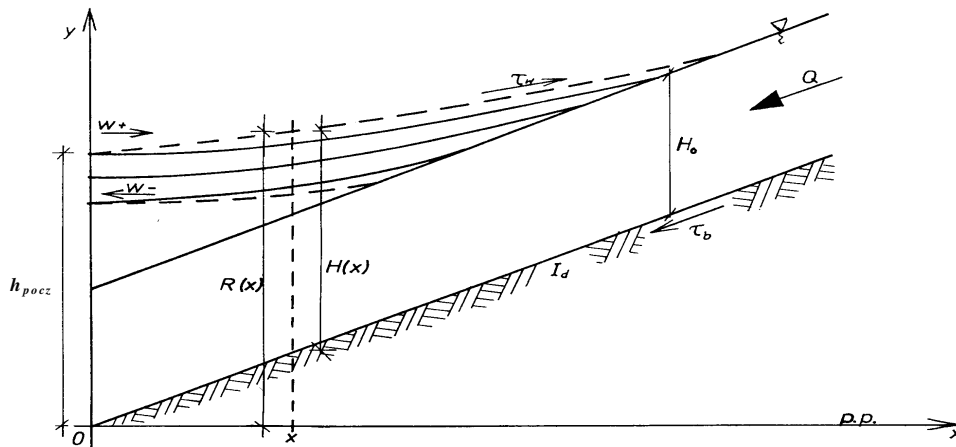


DOROTA LIBRONT<sup>1</sup>

## ANALIZA WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA WIATROWEGO

### 1. Wstęp

W rejonach bezpływowch ujść rzek ze względu na małe spadki podłużne cieków i ich dużą szerokość obserwuje się wpływ wiatru oraz stanów morza na przepływ i położenie zwierciadła wody. Stany morza generowane są przez silny wiatr i powodują spiętrzenia sięgające daleko w górę rzeki. Jest to więc pośrednie oddziaływanie wiatru w odróżnieniu od spiętrzeń wywołanych bezpośrednim jego działaniem (tzw. cofka wiatrowa).



Rys.1 Schemat krzywej spiętrzenia dla wiatru zgodnego i przeciwnego przepływowi głównemu.

Przy opisie tych zjawisk określa się naprężenia wiatrowe  $\tau_w$ , wyrażone następującą zależnością:

$$\tau_w = \rho_a \cdot \kappa_w' \cdot w \cdot |w| \quad (1)$$

lub

$$\tau_w = \rho_w \cdot \kappa_w \cdot w \cdot |w| \quad (2)$$

gdzie:  $\rho_a$  gęstość atmosfery,  $\rho_w$  gęstość wody  $\kappa_w$ ,  $\kappa_w'$  współczynniki tarcia wiatrowego,  $w$  [m/s] prędkość wiatru.

Wartość współczynnika  $\kappa_w$ , wg literatury (Buchholz, 1989), (Sawicki, 1998) może wynosić od  $0,4 \cdot 10^{-6} \div 6 \cdot 10^{-6}$ , a nawet  $1 \cdot 10^{-5}$  (Meyer, Coufal 1997). Współczynniki te często uzależnia się od przyjętego modelu turbulencji oraz kierunku wiatru (Buchholz, 1989).

<sup>1</sup> Politechnika Szczecińska, Szczecin

## 2. Model matematyczny zjawiska

Dla zadania płaskiego ogólne równanie ruchu ma postać (Troskoleński, 1951):

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} = -g \cdot \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x}(\tau_{xx}) + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial y}(\tau_{xy}) \quad (3)$$

ponieważ (Buchholz, 1989):

$$\tau_{xy} = \tau_b - (\tau_w + \tau_b) \cdot \frac{y}{H} \quad (4)$$

to po scałkowaniu względem  $y$  w warunkach ruchu ustalonego otrzymuje się:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\alpha \cdot v_0}{2} + g \cdot R_z \right) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x}(\tau_{xx}) + \frac{-\tau_b - \tau_w}{\rho \cdot H} \quad (5)$$

gdzie:  $\tau_b$  -naprężenia styczne przy dnie,  $\tau_w$  -wiatrowe naprężenia styczne na powierzchni wody,  $v_0$  -prędkość średnia w pionie [m/s].

Uwzględniając hipotezę Boussinesq'a oraz wielkość spadku zwierciadła wody pod wpływem wiatru (Buchholz, 1989) otrzymamy równanie analogiczne do klasycznej krzywej spiętrzenia (Meyer, Coufal, 1997):

$$\frac{dH}{dx} = -I_d \frac{1 - \frac{H_0^3}{H^3}}{1 - \frac{H_{kr}^3}{H^3}} - \frac{H_G^3}{H^2} \cdot \frac{d^2 H}{dx^2} - I_w^* \frac{\frac{H_0}{H}}{1 - \frac{H_{kr}^3}{H^3}} \quad (6)$$

ponieważ  $\frac{d^2 H}{dx^2} \rightarrow 0$  do dalszej analizy można przyjąć równanie w postaci uproszczonej:

$$\frac{dH}{dx} = -I_d \frac{1 - \frac{H_0^3}{H^3}}{1 - \frac{H_{kr}^3}{H^3}} - I_w^* \frac{\frac{H_0}{H}}{1 - \frac{H_{kr}^3}{H^3}} \quad (7)$$

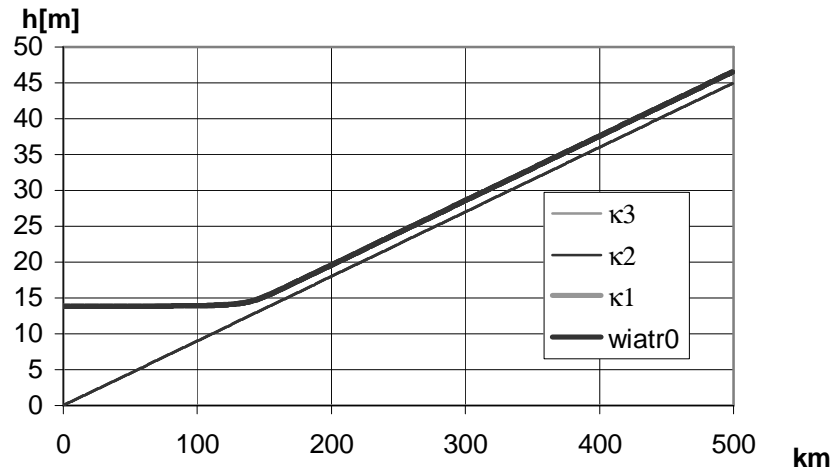
gdzie:  $I_w^* = \frac{\tau_w}{\rho \cdot g \cdot H_0} \cdot \frac{M_b(a) + M_w(a)}{M_b(a)}$ ;  $H_0$  -głębokość w ruchu jednostajnym odpowiadająca

danemu przepływowi,  $H_{kr}$  -głębokość krytyczna,  $M_w(a)$ ,  $M_b(a)$  -parametry w równaniach tachoidy i naprężeń,

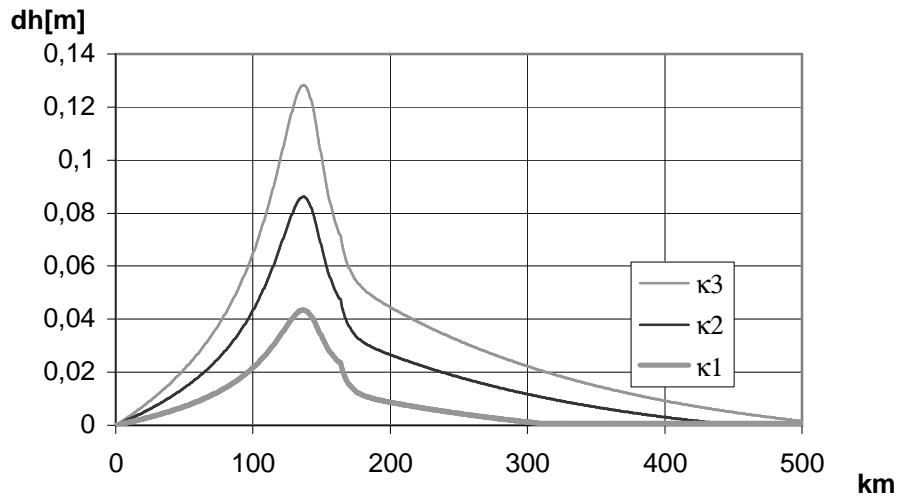
Do rozwiązywania równania (7) wykorzystano jedną z przybliżonych metod rozwiązywania równań różniczkowych -metodę wielokrokową Adamsa (jawną) rzędu drugiego (Burzyński, 1987).

## 3. Wyniki obliczeń

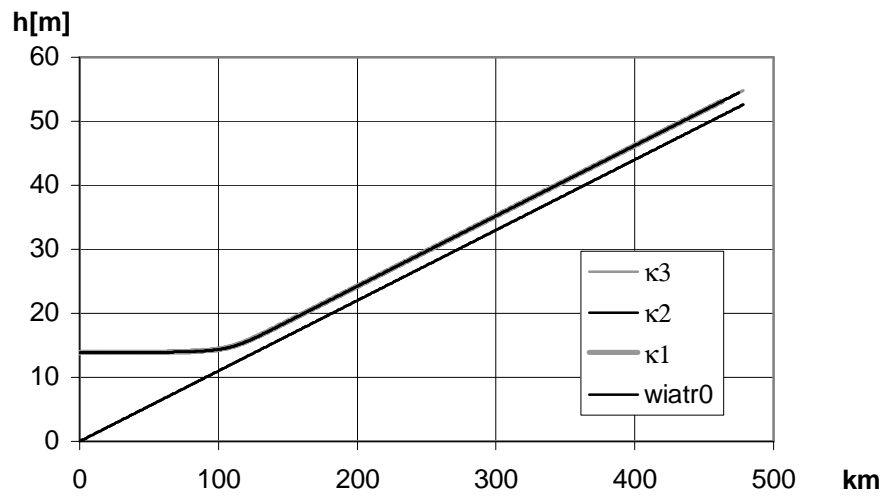
W celu przeanalizowania jak przyjęcie różnych wartości współczynnika naprężeń wiatrowych wpływa na zasięg i wielkość spiętrzeń wiatrowych, wykonano przy pomocy programu komputerowego obliczenia krzywych spiętrzenia dla zastępczej geometrii koryta dolnej Odry ( $B=200m$ ,  $h_{pocz}=13,3+0,55m$ ) (Libront, 2001) warunków bezwietrznych oraz wiatru  $+10$  m/s malejącego w górę rzeki, przepływów charakterystycznych:  $134m^3/s$  (NNQ),  $261m^3/s$  (SNQ),  $547m^3/s$  (SSQ) i  $711m^3/s$  (odpowiadający wodzie brzegowej) i trzech wartości współczynnika  $\kappa_w$ :  $10^{-6}$ ,  $2 \cdot 10^{-6}$ ,  $3 \cdot 10^{-6}$  (najczęściej wykorzystywane).



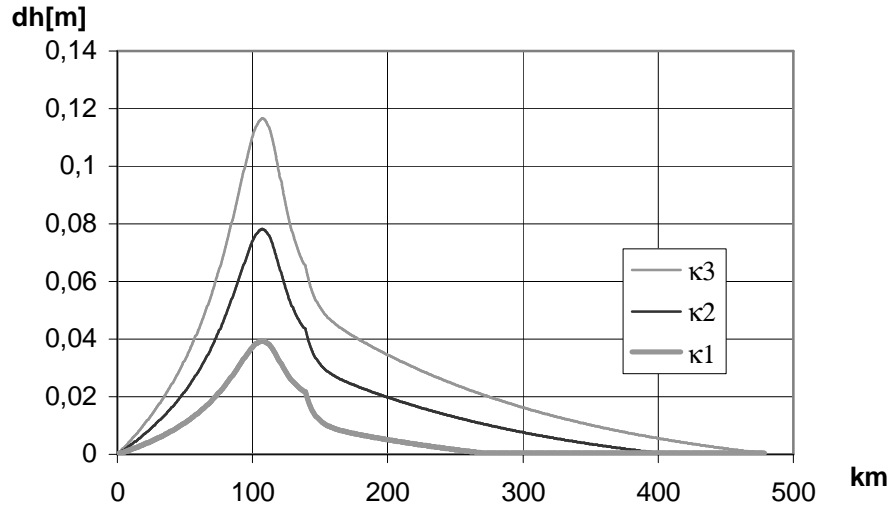
Rys. 2. Krzywe spiętrzenia dla przepływu  $134\text{m}^3/\text{s}$



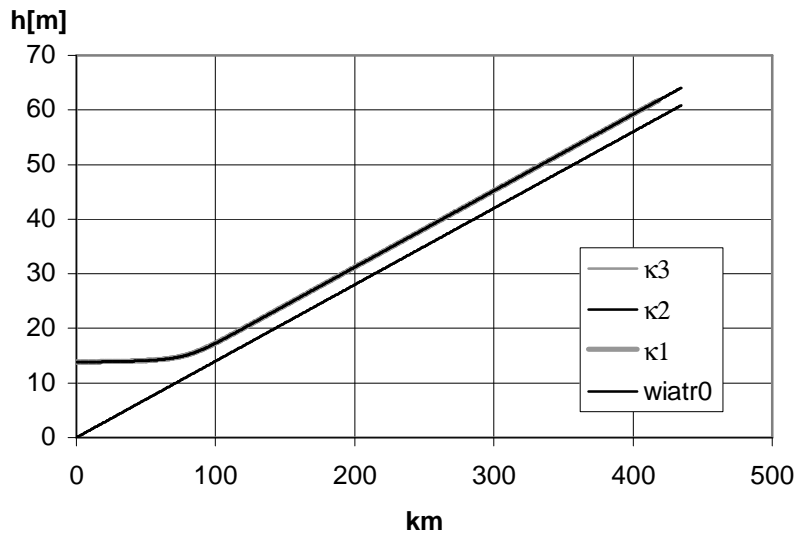
Rys. 3 Wynik bezpośredniego oddziaływania wiatru dla przepływu  $134\text{m}^3/\text{s}$



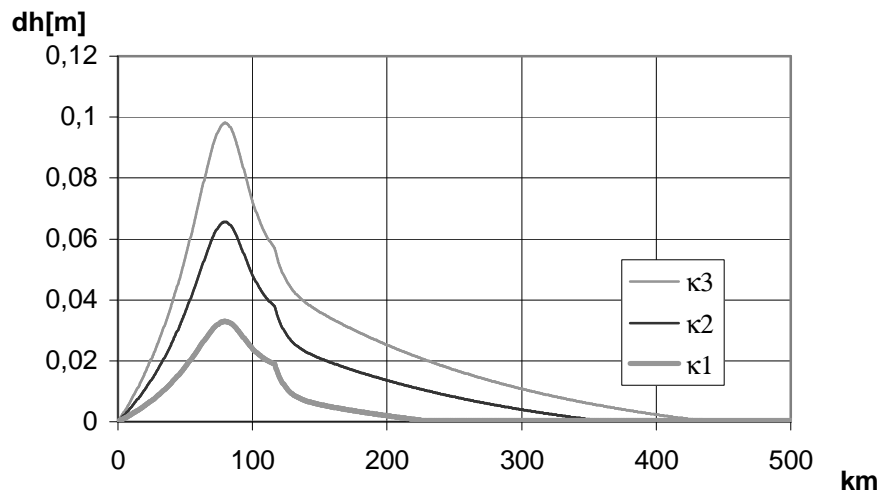
Rys. 4. Krzywe spiętrzenia dla przepływu  $261\text{m}^3/\text{s}$



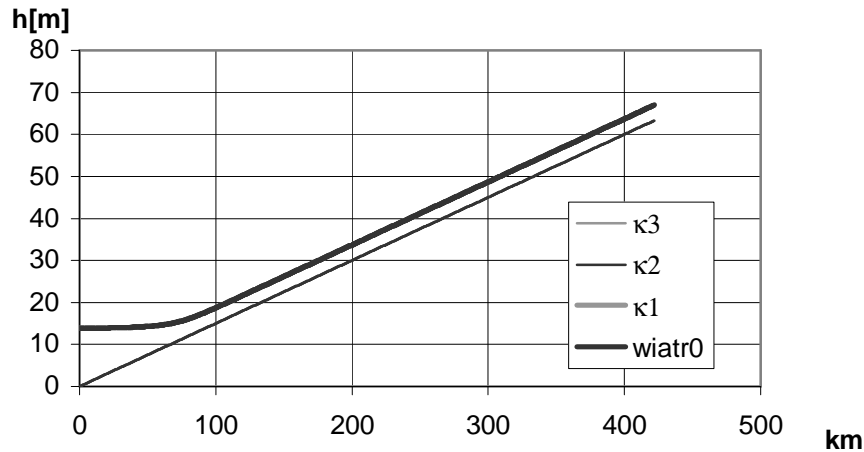
Rys. 5 Wynik bezpośredniego oddziaływania wiatru dla przepływu  $261\text{m}^3/\text{s}$



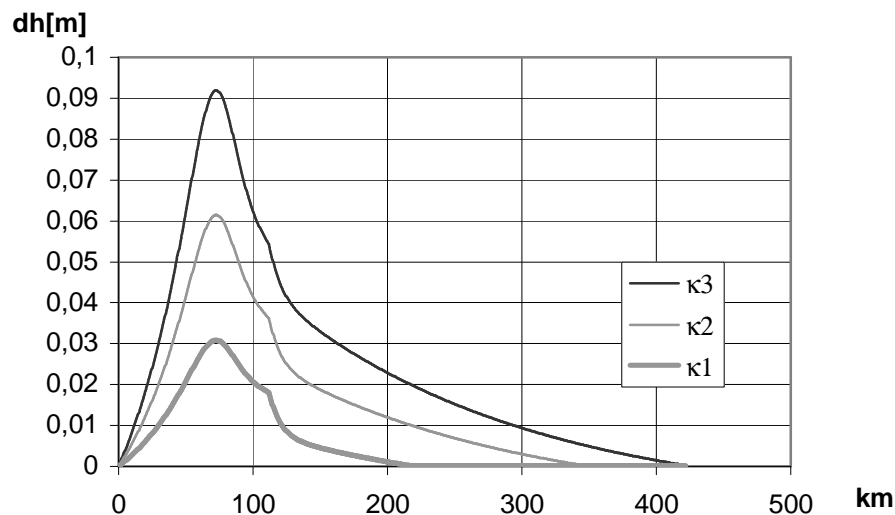
Rys. 6. Krzywe spiętrzenia dla przepływu  $547\text{m}^3/\text{s}$



Rys. 7 wynik bezpośredniego oddziaływania wiatru dla przepływu  $547\text{m}^3/\text{s}$



Rys.8 Krzywe spiętrzenia dla przepływu  $711 \text{ m}^3/\text{s}$



Rys. 9 Wynik bezpośredniego oddziaływania wiatru dla przepływu  $711 \text{ m}^3/\text{s}$

Wyniki przedstawiono na wykresach. Okazuje się, że przyjęcie różnych wartości współczynnika ma bardzo istotny wpływ na wielkość i zasięg spiętrzeń.

#### 4. Wnioski

Wartość współczynnika naprężeń wiatrowych ma bardzo duży wpływ na wielkość i zasięg bezpośredniego oddziaływania wiatru. Niezależnie od jego wartości zasięg i wielkość tych spiętrzeń są największe dla małych przepływów, równocześnie również dla małych przepływów maksimum bezpośredniego oddziaływania wiatru jest przesunięte najdalej w górę rzeki. W celu prawidłowego ustalenia uniwersalnej wartości tego parametru należałoby przeprowadzić szczegółową analizę równocześnie wielu parametrów i współczynników poczynając od współczynnika szorstkości na modelu turbulencji kończąc.

#### Literatura

Buchholz W. Wpływ wiatru na przepływy w ujściach rzek. Wydawnictwo IM, 1989  
 Burzyński K., Granatowicz J., Piwecki T., Szymkiewicz R. Metody numeryczne w hydrotechnice. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 1987

Libront D. Modelowanie przepływów wód dolnej Odry w warunkach działania wiatru. Inżynieria morska i geotechnika nr 5, Gdańsk 2001

Meyer Z., Coufal R. Krzywa spiętrzenia z uwzględnieniem naprężeń wiatrowych na powierzchni wody. Współczesne problemy inżynierii wodnej III Konferencja naukowa Wisła, 1997

Sawicki J. Przepływy ze swobodną powierzchnią. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998

Troskoleński A. T. Hydromechanika techniczna PWN Warszawa, 1951

## **ANALYSIS OF THE WIND FRICTION COEFFICIENT**

### **Summary**

Mathematical model of water flow in river-beds and its simplified solution have been presented in this paper. Basing on this solution the influence of assumption of various numerical values of the wind friction coefficient the quantity and the range of wind swelling has been analyzed.

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono model matematyczny ruchu wody w korytach otwartych oraz jego uproszczone rozwiązanie. Na jego podstawie przeanalizowano wpływ przyjęcia różnych wartości liczbowych współczynnika tarcia wiatrowego na wielkość i zasięg spiętrzeń wiatrowych.