

ANALIZA PRĘDKOŚCI POWIERZCHNIOWYCH W CIEKACH W WARUNKACH DZIAŁANIA WIATRU

Dorota Libront

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Szczecinie, Zachodniopomorski
 Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Streszczenie. Do opisu i analizy prądów dryftowych (wiatrowych) wywołanych tarcieniem aerodynamicznym wykorzystuje się model Ekmana. Model ten można również zastosować w przypadku dużych cieków, do których należy zaliczyć ujściowe odcinki rzek. W bezpływowych rejonach takich cieków obserwuje się wpływ wiatru na pionowy rozkład prędkości wody. W pracy obliczono prędkości powierzchniowe za pomocą modelu Ekmana oraz spowodowane wiatrem zmiany prędkości powierzchniowych w ciekach za pomocą równania tachoidy dla wykładniczo-zmiennego w pionie współczynnika lepkości burzliwej. Założono różne koncepcje parametru a w opisie współczynnika lepkości burzliwej. Analizę przeprowadzono, przyjmując warunki panujące w dolnej Odrze.

Słowa kluczowe: wiatr, prędkość powierzchniowa, dolna Odra

WSTĘP

W analizach ruchu wody w rzekach poddanych działaniu wiatru (pionowy rozkład prędkości, określanie podpiętrzeń wody wywołanych wiatrem itd.) prędkość powierzchniową uzależnia się m.in. od prędkości wiatru i głębokości cieku. Na podstawie równania tachoidy dla wykładniczo-zmiennego w pionie współczynnika lepkości burzliwej ($K_z \sim e^{a \cdot z/H}$) prędkość powierzchniową określa się następująco [Buchholz 1989]:

$$v_p = \frac{\tau_b \cdot H}{\rho \cdot c_1 \cdot a} \cdot \left[(1 + \lambda) \cdot e^{-a} + \left(1 - \frac{1 + \lambda}{a} \right) \cdot (1 - e^{-a}) \right] \quad (1)$$

gdzie:

$$\lambda = \frac{\kappa_w \cdot \rho_a \cdot M_b \cdot w \cdot |w|}{\kappa \cdot \rho \cdot v_0^2 + \kappa_w \cdot \rho_a \cdot M_w \cdot w \cdot |w|} \quad (2)$$

$$\tau_b = \frac{\tau_w}{\lambda}, \quad \tau_w = \rho_a \cdot \kappa_w \cdot w \cdot |w| \quad (3)$$

Parametr a uzależnia się od prędkości wiatru [Buchholz 1989]:

$$a = \sqrt{b \cdot w^2 + d^2} - k \cdot |w| \quad (4)$$

Parametr ten maleje wraz ze wzrostem prędkości wiatru, jest natomiast niezależny od jego kierunku. Dla dolnej Odry określono wartości parametrów b , d , k i otrzymano związek w postaci:

$$a = \sqrt{1,65 \cdot w^2 + 25} - 1,25 \cdot |w| \quad (5)$$

Zaproponowano również inne wzory na określenie parametru a [Libront 2002, 2004] dla dolnej Odry

$$a = -2,33|w|^{0,179} + 5 \quad (6)$$

lub

$$a = \operatorname{ctgh} \left(\frac{|w|}{10} \right) \quad (7)$$

Czasem w obliczeniach zakłada się $a = \text{const.}$ (np. $a = 1$).

Analizę możliwości zastosowania różnych koncepcji parametru a przedstawiono we wcześniejszych pracach [Libront 2004, 2007].

MODEL EKMANA

Wiatr wiejący nad dużymi zbiornikami wodnymi powoduje powstawanie prądów dryfowych wywołanych tarcie aerodynamicznym. W hydrodynamice akwenów morskich do obliczeń parametrów tych prądów najczęściej wykorzystuje się model Ekmana [Druet 1978]. Określa on przypowierzchniową prędkość wody jako:

$$v_0 = \frac{\tau_w}{\sqrt{\rho \cdot \mu_z \cdot \Omega}} \quad (8)$$

gdzie:

$$\tau_w = \mu_0 \cdot \rho \cdot \mu_{10}^2 \quad (9)$$

$$\mu_0 = \frac{\rho_a \cdot \kappa^2}{\rho \cdot \ln^2 \left(\frac{10}{z_0} \right)} \quad (10)$$

$$\Omega = 2 \cdot \omega_z \cdot \sin \varphi_c \tag{11}$$

$$\mu_0 = \rho \cdot \kappa \cdot \sqrt{\mu_0} \cdot (H + z) \cdot u_{10} \tag{12}$$

Korzystając z podanych zależności można określić prędkość powierzchniową jako:

$$v_0 = 0,0106 \cdot u_{10}^{1,5} \cdot H^{-0,5} \tag{13}$$

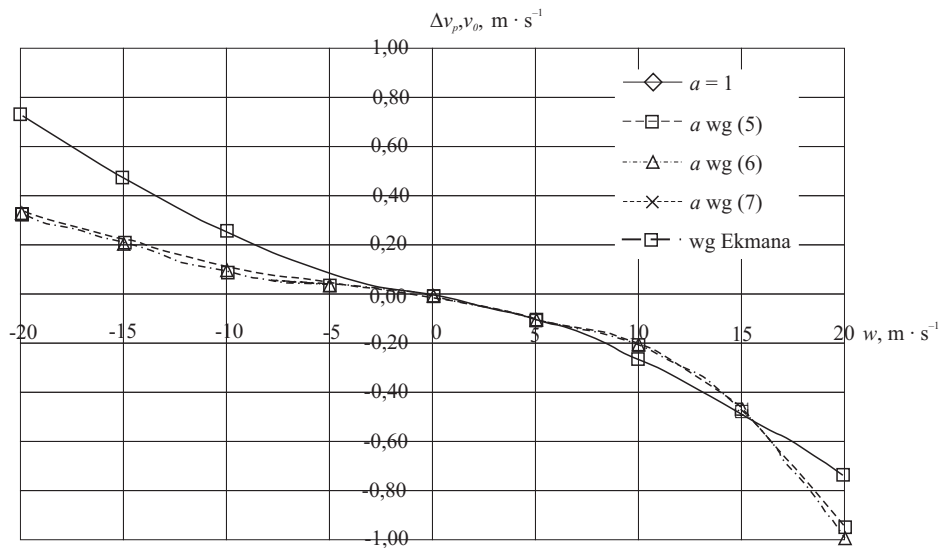
Ponieważ zachodzi podobieństwo pomiędzy dużymi ciekami w ich dolnych odcinkach a dużymi akwenami, podjęto zatem próbę zastosowania modelu Ekmana do wód płynących [Libront 2007].

OBLICZENIA

Model Ekmana pozwala obliczyć prędkość powierzchniową wywołaną wiatrem (bez wiatru woda w zbiorniku nie płynie), co można porównać do różnicy między prędkością powierzchniową w cieku, gdy wieje wiatr, a prędkością w warunkach bezwietrznych.

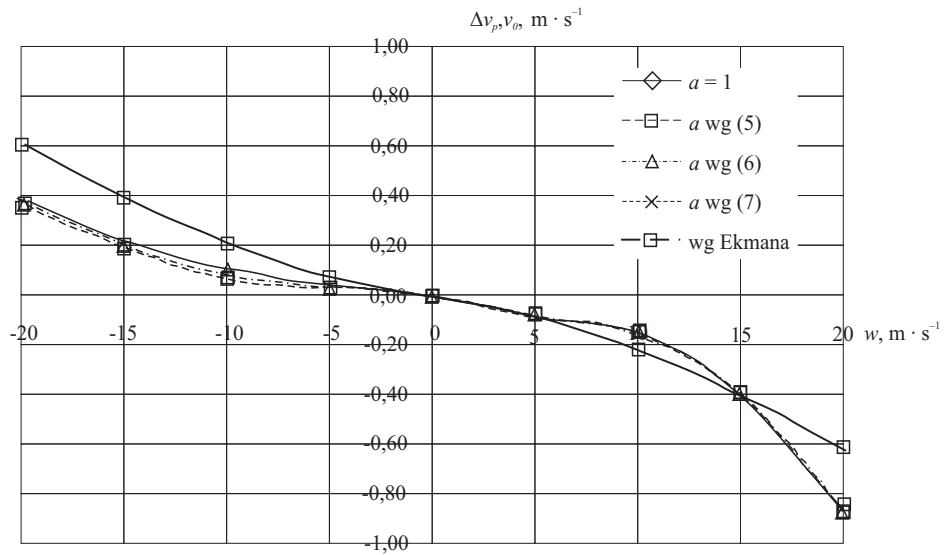
W niniejszej pracy porównano zatem prędkości powierzchniowe obliczone przy pomocy modelu Ekmana oraz zmiany (Δv_p) prędkości powierzchniowych wywołane wiatrem w ciekach dla różnych koncepcji parametru a .

Uwzględniając warunki panujące w dolnej Odrze [Libront 2004] wykonano obliczenia i wyniki przedstawiono na wykresach (rys. 1–3).



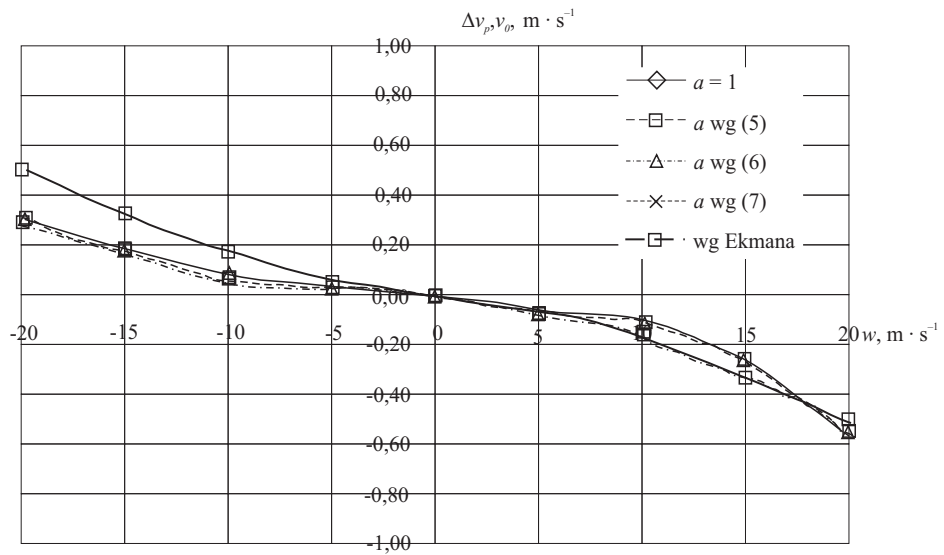
Rys. 1. Zmiany prędkości powierzchniowej Δv_p wywołane wiatrem dla głębokości odpowiadającej przepływowi $134 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 1. Changes in superficial velocity Δv_p caused by wind for depth corresponding to discharge $134 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Rys. 2. Zmiany prędkości powierzchniowej Δv_p wywołane wiatrem dla głębokości odpowiadającej przepływowi $261 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 2. Changes in superficial velocity Δv_p caused by wind for depth corresponding to discharge $261 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Rys. 3. Zmiany prędkości powierzchniowej Δv_p wywołane wiatrem dla głębokości odpowiadającej przepływowi $547 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 3. Changes in superficial velocity Δv_p caused by wind for depth corresponding to discharge $547 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ

Przyjęcie parametru a ma niewielki wpływ na uzyskane wyniki obliczeń zmian prędkości powierzchniowej wywołanej wiatrem. Stanowi to potwierdzenie wcześniejszych badań [Libront 2002]. Prędkości obliczone za pomocą modelu Ekmana wykazują natomiast dość dobrą zgodność z powyższymi obliczeniami, szczególnie w zakresie prędkości dodatnich i większych przepływów (głębokości). Jak wiadomo [Buchholz 1989], wiatr wiejący przeciwnie do przepływu głównego w cieku silniej oddziałuje na zmianę prędkości powierzchniowej niż zgodny z tym przepływem, czego model Ekmana nie uwzględnia. Należy wszakże zauważyć, że obliczone za pomocą tego modelu prędkości są bardziej zbliżone do różnic prędkości wyliczonych dla wiatru dodatniego (przeciwnego przepływowi głównemu) niż dla wiatru ujemnego.

PODSUMOWANIE

Przedstawione obliczenia potwierdzają możliwość zastosowania modelu Ekmana również w analizach ruchu wody w ciekach. Z oczywistych względów nie uwzględnia on jednak różnic związanych z kierunkiem wiatru.

Zastosowanie modelu Ekmana może posłużyć do bardziej szczegółowych badań zjawisk, które można obserwować w ciekach na styku dwóch ośrodków: wody i powietrza.

WYKAZ SYMBOLI

λ	– stosunek naprężeń wiatrowych do naprężeń stycznych przy dnie,
τ_b	– naprężenia styczne przy dnie,
τ_w	– wiatrowe naprężenia styczne na powierzchni wody,
κ_w	– współczynnik tarcia wiatrowego,
μ_z	– dynamiczny współczynnik tarcia turbulentnego (turbulentnej wymiany pędu),
$\kappa = 0,417$	– stała von Karmana,
$\omega_z \approx 7,29 \cdot 10^{-5} [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$	– prędkość obrotowa Ziemi,
φ_c	– kąt szerokości geograficznej,
$\rho_a = 1,23 [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	– gęstość powietrza
$\rho = 999,7 [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	– gęstość wody,
c_1	– stała w równaniu rozkładu wykładniczo zmiennego współczynnika lepkości burzliwej,
H	– średnia głębokość [m],
M_w, M_b	– parametry w równaniu tachoidy,
$v_0 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	– wektor prędkości powierzchniowej (skierowany zgodnie z kierunkiem wiatru),
$v_p [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	– prędkość wody na powierzchni cieku,

- w, u_{10} [$m \cdot s^{-1}$] – prędkość wiatru (przyjmuje się 10 m nad powierzchnią), przy czym zakłada się, że wiatr przeciwny do kierunku przepływu wody ma znak dodatni natomiast zgodny z przepływem ma znak ujemny,
- z_0 – parametr szorstkości swobodnej powierzchni morza (0,04 m przy słabym wietrze, 0,6 m przy silnym),

PIŚMIENNICTWO

- Buchholz W., 1989. Wpływ wiatru na przepływy w ujściach rzek. Wydawnictwo IM Szczecin.
- Druet Cz., 1978. Hydrodynamika morskich budowli i akwenów portowych. Wyd. Morskie Gdańsk.
- Libront D., 2002. Nowe formuły określania parametru a w modelu turbulencji. XXII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki Lubniewice.
- Libront D., 2004. Analiza parametru wiatrowego a w modelu turbulencji. Konferencja Regionalne problemy gospodarki wodnej i hydrotechniki. Wydawnictwo Uczelniane PS Szczecin,
- Libront D., 2007. Analiza przypowierzchniowych prądów wiatrowych w ciekach. Konferencja Regionalne problemy gospodarki wodnej i hydrotechniki. Wydawnictwo Uczelniane PS Szczecin,
- Szymkiewicz R., 2000. Modelowanie matematyczne przepływów w rzekach i kanałach. PWN Warszawa,

ANALYSIS OF SUPERFICIAL VELOCITIES IN WATERCOURSES UNDER WIND CONDITIONS

Abstract. The Ekman model used for describing and analysing wind jet-stream drifts caused by aerodynamic friction can also be applied in studies on large watercourses such as for example river mouths. There, in places with no tides, the influence of wind on the distribution of water vertical velocity can be observed. In this paper, the superficial velocities of water were calculated by Ekman's model, and the wind-induced changes in the superficial velocity in watercourses were established using the tachoid (velocity curve) equation for the coefficient of turbulent viscosity exponentially changing with height. Various conceptions of the a parameter were assumed in describing the turbulence coefficient. The analysis was carried out assuming the conditions existing in the Lower Odra river.

Key words: wind, superficial velocity, Lower Odra river

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 21.05.2010