

ANALIZA PRZYPOWIERZCHNIOWYCH PRĄDÓW WIATROWYCH W CIEKACH

Wiatr wiejący nad dużymi zbiornikami wodnymi powoduje powstawanie prądów dryfowych. Do ich opisu wykorzystuje się model Ekmana. W artykule przedstawiono próbę wykorzystania tego modelu do analizy ruchu wody i powietrza na styku tych ośrodków w ciekach.

1. WSTĘP

W hydrodynamice akwenów morskich do obliczeń parametrów prądów dryfowych (wywołanych tarcieniem aerodynamicznym) najczęściej wykorzystuje się model Ekmana (Druet, 1978). Określa on przypowierzchniową prędkość wody jako:

$$v_0 = \frac{\tau_0}{\sqrt{\rho \cdot \mu_z \cdot \Omega}} \quad (1)$$

gdzie:

$$\tau_0 = \mu_0 \cdot \rho \cdot u_{10}^2 \quad (2)$$

$$\mu_0 = \frac{\rho_a \cdot \kappa^2}{\rho \cdot \ln^2\left(\frac{10}{z_0}\right)} \quad (3)$$

$$\Omega = 2 \cdot \omega_z \cdot \sin \varphi_c \quad (4)$$

$$\mu_z = \rho \cdot \kappa \cdot \sqrt{\mu_0} \cdot (h + z) \cdot u_{10} \quad (5)$$

- v_0 [m/s] – wektor prędkości powierzchniowej (skierowany zgodnie z kierunkiem wiatru)
- u_{10} [m/s] – prędkość wiatru (przyjmuje się 10m nad powierzchnią),
- μ_z – dynamiczny współczynnik tarcia turbulentnego (turbulentnej wymiany pędu),
- $\kappa=0,417$ – stała von Karmana,
- z_0 [m] – parametr szorstkości swobodnej powierzchni morza (0,4 przy słabym wietrze, 0,6 przy silnym),
- φ_c – kąt szerokości geograficznej,
- h [m] – głębokość
- $\omega_z \approx 7,29 \cdot 10^{-5}$ [rad/s] – prędkość obrotowa Ziemi,
- $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ – gęstość wody
- $\rho_a=1,23 \text{ kg/m}^3$ – gęstość powietrza

¹ Politechnika Szczecińska, Szczecin

Korzystając z podanych zależności można określić prędkość powierzchniową jako:

$$v_0 = 0,0106 \cdot u_{10}^{1,5} \cdot h^{-0,5} \quad (6)$$

Na otwartym morzu szacuje się prędkość prądu wiatrowego na powierzchni na 2% prędkości wiatru. Zasięg warstwy Ekmana to ok. 100 m. Zasięg warstwy Ekmana określa głębokość na której wektor prędkości wody ma zwrot przeciwny do wywołującego go wiatru, jego wartość natomiast jest bardzo mała.

Zasięg warstwy Ekmana (Sawicki, 1998):

$$H_E = \pi \cdot \left(\frac{2 \cdot \mu_T}{\rho \cdot \Omega} \right)^{1/2} \quad (7)$$

gdzie współczynnik lepkości burzliwej można w przybliżeniu określić jako:

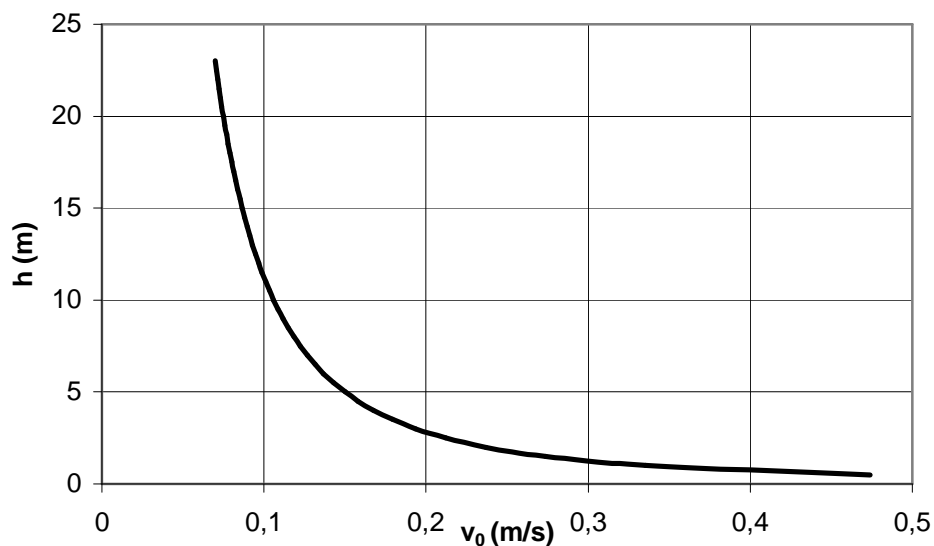
$$\mu_T = 0,00043 \cdot \rho \cdot u_{10}^2 \quad (8)$$

Dla potrzeb niniejszego opracowania określono zasięg warstwy Ekmana. Dla wiatru 10 m/s wynosi on 92 m, dla wiatru 20 m/s – 184 m.

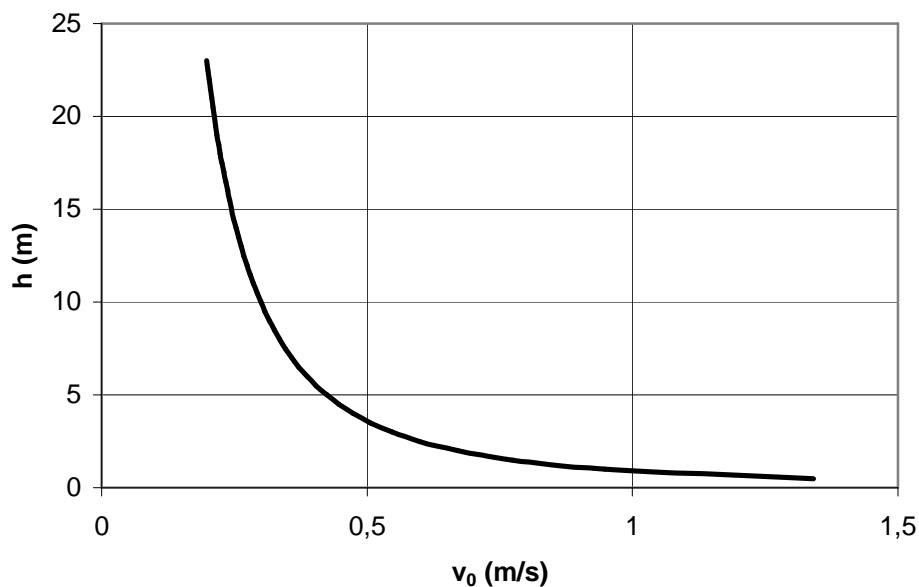
2. OBLICZENIA

Na podstawie wzoru (6) obliczono prędkości powierzchniowe dla wiatru o prędkości 10 m/s i 20 m/s. Wyniki przedstawiono na wykresach (rys. 1, 2).

Prędkości wody wywołane wiatrem na powierzchni są więc znaczne, szczególnie dla małych głębokości. Oznacza to, że można zastosować model Ekmana dla cieków.



Rys. 1. Prędkości przypowierzchniowe wody dla wiatru 10m/s



Rys. 2. Prędkości przy powierzchni wody dla wiatru 20m/s

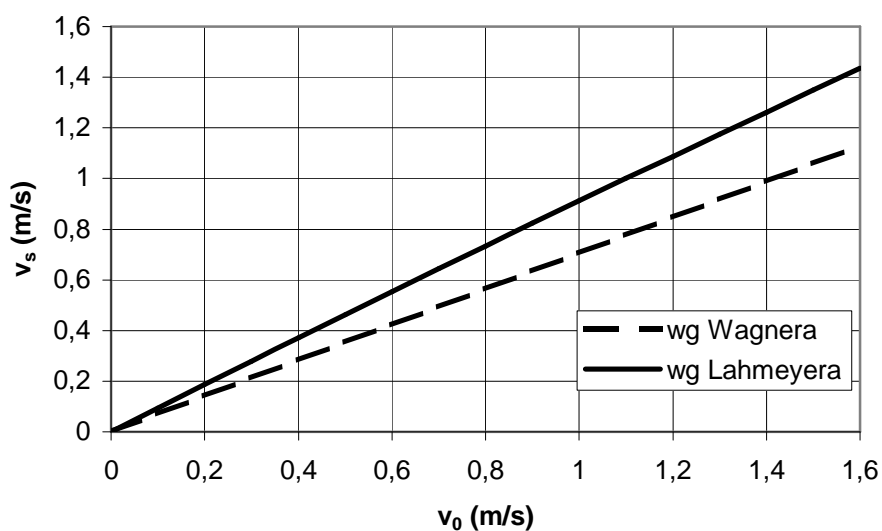
Do obliczania prędkości średniej w ciekach na podstawie zmierzonej prędkości powierzchniowej wykorzystuje się wzory empiryczne (Lambor, 1971). Można na ich podstawie oszacować prędkość średnią, która generowałaby obliczone prędkości powierzchniowe:

–wg Wagnera:

$$v_s = 0,705v_0 + 0,001v_0^2 \quad (9)$$

–wg Lahmeyera:

$$v_s = 0,937v_0 - 0,0252v_0^2 \quad (10)$$



Rys. 3. Prędkości średnie przepływu wody jako funkcja prędkości powierzchniowej.

Można więc stwierdzić, że ruch wody na powierzchni ciekłu może być generowany przez wiatr lub przepływ jednostkowy ($q=v_s \cdot h$). Przykładowo:

- prędkość powierzchniowa 0,4 m/s:
 - generowana wiatrem 10 m/s lub przepływem $q=0,26 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ (przy głębokości 0,7 m),
 - generowana wiatrem 15 m/s lub przepływem $q=0,89 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ (przy głębokości 2,4 m),
 - generowana wiatrem 20 m/s lub przepływem $q=2,04 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ (przy głębokości 5,5 m),
- prędkość powierzchniowa 0,5 m/s:
 - generowana wiatrem 10 m/s lub przepływem $q=0,21 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ (przy głębokości 0,45 m),
 - generowana wiatrem 15 m/s lub przepływem $q=0,69 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ (przy głębokości 1,5 m),
 - generowana wiatrem 20 m/s lub przepływem $q=1,61 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ (przy głębokości 3,5 m).

3. WNIOSKI

Klasycznie naprężenia na powierzchni wody w przypadku braku wiatru nie uwzględnia się (Sawicki, 1998) jednak skoro wiatr powoduje przepływ powierzchniowy w wodzie (w oceanach wręcz wywołują potężne prądy dryfowe) to również przepływ wody wywołuje ruch powietrza w warstwie nad powierzchnią wody. Gdyby zastosować model Ekmana dla powietrza wówczas zasięg warstwy Ekmana wyniósłby 3,7 m (nad powierzchnią wody) dla prędkości powierzchniowej 0,4 m/s; 4,6 m dla prędkości 0,5 m. Oczywiście należy pamiętać, że w warstwie Ekmana następuje zmiana kierunku i wobec tego jej zasięg w powietrzu należy traktować jako teoretyczny, prawdopodobny na otwartym morzu. Nad powierzchnią wody w rzece będzie mniejszy ze względu na hamujący wpływ brzegów.

Przedstawiona analiza stanowi początek badań dotyczących styku dwóch ośrodków: woda – powietrze w ciekach.

Literatura

1. Druet Cz.: Hydrodynamika morskich budowli i akwenów portowych, Wyd. Morskie, Gdańsk 1978
2. Lambor J.: Hydrologia inżynierska, Arkady, Warszawa 1971
3. Sawicki J.: Przepływy ze swobodną powierzchnią, PWN, Warszawa 1998

ANALYSIS OF SUPERFICIAL WIND JET-STREMS IN WATER-COURSES

Wind blowing over big water reservoirs makes creation of wind jet-streams drifts. To describe these drifts the Ekman's model can be used. The trial of using of this model for water and air movement analysis was presented at the edge of these media in water-courses.