

Katarzyna KLEMM¹
Marek JABŁOŃSKI²
Piotr KLEMM³

TURBULENTNY PRZEPIY WOKÓŁ DWÓCH SĄSIADUJĄCYCH ZE SOBĄ BUDYŃKÓW

1. Streszczenie

W pracy rozpatrzono turbulentny przepływ powietrza na poziomie pieszego wokół dwóch wysokich budynków. Analizę prowadzono przy wykorzystaniu modelu K- ϵ . Trójwymiarową symulację numeryczną przeprowadzono dla dwóch budynków, pierwszego o stałej wysokości 150m i drugiego o wysokości 75, 100, 150m. Analiza dotyczyła prędkości wiatru 10, 15 i 20m/s.

Odległość między budynkami była zmienna i wynosiła 15m, 30m i 45m.

2. Wprowadzenie

Charakterystyczną cechą współczesnych, dużych miast staje się gęsto zabudowana strefa centrum, w przeważającej części pełniąca funkcje usługowe. Cena gruntu w tym obszarze gwałtownie wzrasta powodując, że coraz częściej wznoszone są tu wysokie a nawet bardzo wysokie budynki.

Sąsiadujące ze sobą budynki oddziałują na siebie jak również na bezpośrednie otoczenie. Znaczący jest również ich globalny wpływ na warunki klimatyczne całego miasta (kształtowanie opadów).

Wysokie budynki powodują znaczący wzrost prędkości i siły wiatru w ich otoczeniu, tworząc niekomfortowe a nawet czasami niebezpieczne warunki dla pieszych.

W dalszej części pracy skupiono uwagę na oddziaływaniu dwóch sąsiadujących ze sobą wysokich budynków na warunki komfortu pieszych poruszających się w ich sąsiedztwie.

¹ Dr, Politechnika Łódzka, Instytut Architektury i Urbanistyki,
e-mail kasia@kfb-lx.p.lodz.pl

² Dr, Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych,
e-mail marojabl@ck-sg.p.lodz.pl

³ Prof., Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych,
e-mail klemmpio@ck-sg.p.lodz.pl

3. Równania podstawowe i warunki brzegowe

Podstawowymi równaniami przyjętego modelu K-ε są równania Reynoldsa i równania ciągłości

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \varepsilon_{ijk} f_j v_k = -\frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \overline{v_i' v_j'}}{\partial x_j}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

oraz równania energii kinetycznej turbulencji K i dysypacji ε. Równanie energii kinetycznej turbulencji ma postać

$$\frac{\partial K \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i K \bar{\rho}) + \frac{\partial v_i \bar{\rho}}{\partial x_i} \frac{\partial K}{\partial x_i} = \nu_t \bar{\rho} \left(\frac{\partial v_j}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{1}{\bar{\rho}} \nu_t \bar{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \varepsilon \bar{\rho} \quad (3)$$

Natomiast równanie dysypacji ε ma uproszczoną postać

$$\frac{\partial \varepsilon \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i \bar{\rho} \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_t \bar{\rho}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{K} \bar{\rho} \nu_t \left(\frac{\partial v_j}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - C_2 \bar{\rho} \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (4)$$

W dalszych rozważaniach przyjęto przepływ nieściśliwy.

Lepkość turbulentna ν_t jest wyznaczana ze skali lepkości turbulentnej $K^{1/2}$ i skali długości turbulentnej $K^{1.5}/\varepsilon$, które są określane w każdym punkcie przepływu korzystając z równań (3) (4)

$$\nu_t = C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

gdzie: C_μ stała modelu

Turbulentne przepływy $\overline{v_i' v_j'}$ są szacowane jako

$$\bar{\rho} \overline{v_i' v_j'} = \bar{\rho} \nu_t \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

W tej sytuacji równanie (1) może być uproszczone poprzez pominięcie wyrażenia $\overline{v_i' v_j'}$ i zastąpienie lepkości ν przez lepkość turbulentną ν_t ($\nu \leq \nu_t$).

Należy również zwrócić uwagę, że ν_t jest przyjęte za równokierunkowe.

Współczynniki C_1 , C_2 , C_μ , σ_k , σ_ε są stałymi empirycznymi o następujących wartościach $C_1 = 1,44$ $C_2 = 1,92$ $C_\mu = 0,09$ $\sigma_k = 1$ $\sigma_\varepsilon = 1,3$ [1]

Intensywność turbulencji I na wlocie wynosiła 10%. W celu opisanego warunków brzegowych prędkości i turbulencji na powierzchniach ścian i przy powierzchni gruntu

zastosowano metodę funkcji ściennej Laundera i Spaldinga [2], przyjmując założenie, że turbulencja jest w stanie lokalnej równowagi. Na wylocie wszystkie wielkości gradientów są równe zeru z wyjątkiem składowej prędkości w kierunku z.. Równania w połączeniu z warunkami brzegowymi były rozwiązywane numerycznie za pomocą metody objętości skończonych.

Wielkość przestrzeni w której prowadzono obliczenia numeryczne wynosiła 420 x 300 x 270m. Siatka obejmowała 196875 komórek.

Profil prędkości wiatru na wlocie wyznaczono za pomocą wzoru potęgowego Suttona [3] przyjmując wykładnik potęgowy 0,19. Do analizy przyjęto prędkości 10, 15 i 20m/s (na wysokości 10m).

Wymiary budynków wynosiły:

Budynek 1 – 30m x 30m x 150m

Budynek 2 – 30m x 30m x 75m, 100 i 150m

Odległość między budynkami wynosiła 15m, 30m i 45m

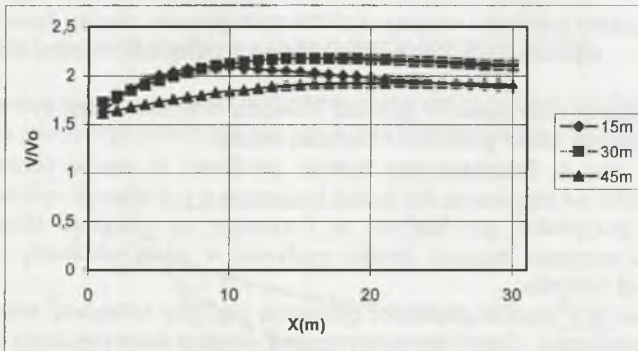
4. Wyniki i dyskusja

Przeprowadzona analiza przepływu wiatru wokół dwóch budynków o jednakowej wysokości (150m) wykazała, że w pasażu między budynkami rozkład prędkości ma zbliżony charakter niezależnie od prędkości na wlocie. Podobna zależność wystąpiła w przypadku, gdy odległości między budynkami były różne.

W dalszej części pracy prowadzono więc analizę dla jednej wybranej prędkości 15m/s.

Rys.1 przedstawia rozkład prędkości w centralnej linii pasażu dla trzech przypadków rozsunięcia budynków na odległość 15m, 30m i 45m.

Najwyższe wartości rzędu 24m/s występują, gdy odległość między budynkami wynosi 30m. Pojawiają się one w odległości około 16m od wlotu pasażu i utrzymują w dalszej jego części. Podobny przebieg charakteryzuje krzywą przedstawiającą rozkład prędkości dla budynków rozsuniętych na odległość 45m lecz notowane tu prędkości maksymalne są mniejsze o około 2,5m/s.

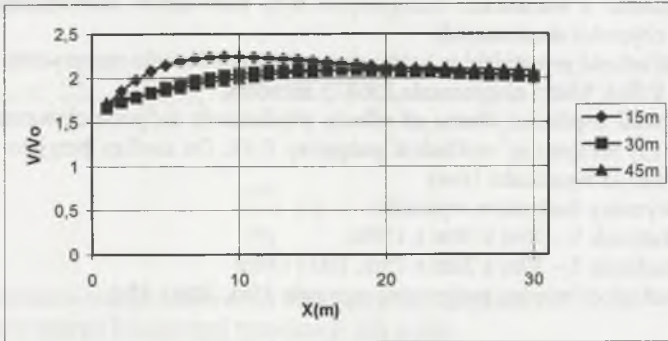


Rys. 1. Rozkład prędkości wiatru w linii centralnej pasażu między budynkami o jednakowej wysokości 150m dla trzech odległości między budynkami

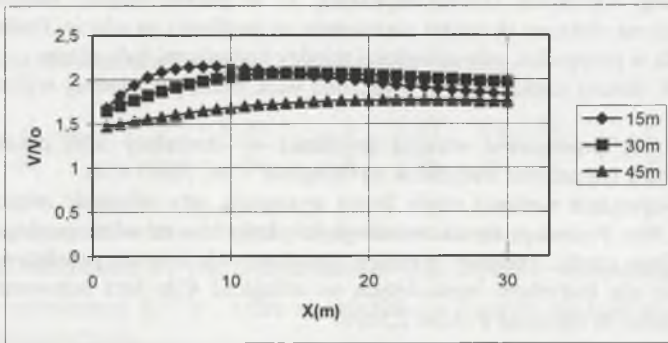
Nieco inny rozkład charakteryzuje układ, w którym odległość między budynkami jest mała (15m). Maksimum prędkości 2,1 V_0 występuje bliżej wlotu a następnie następuje stopniowy spadek prędkości.

W przypadku, gdy wysokość budynków jest różna (150m/100m 150m/75m) rozwiązanie to staje się najmniej korzystne (rys.2) (rys.3) Następuje tu bowiem wzrost

prędkości do około $2,3V_0$, podczas gdy prędkości dla układów o większej odległości między budynkami są relatywnie niższe. Zachowują jednak podobny przebieg.



Rys. 2. Rozkład prędkości wiatru w linii centralnej pasaży między dwoma budynkami o wysokościach 150m i 100m dla trzech odległości między nimi.



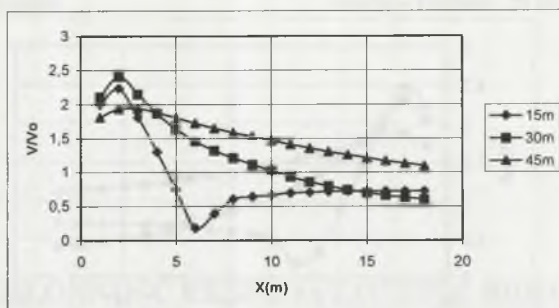
Rys. 3. Rozkład prędkości wiatru w linii centralnej pasaży między dwoma budynkami o wysokościach 150m i 75m dla trzech odległości między nimi.

Warunki wietrzności w pobliżu krawędzi budynku mogą być niebezpieczne z powodu nagłych zmian prędkości i kierunku wiatru.

Na rys. 4. Przedstawiono rozkład prędkości w strefie bocznej budynku w odległości 3m od jego ściany dla dwóch budynków o jednakowej wysokości.

W przypadku, gdy budynki są rozsunięte na odległość równą półtorej ich szerokości następuje łagodny spadek prędkości w miarę oddalania się od krawędzi dowieznej budynku.

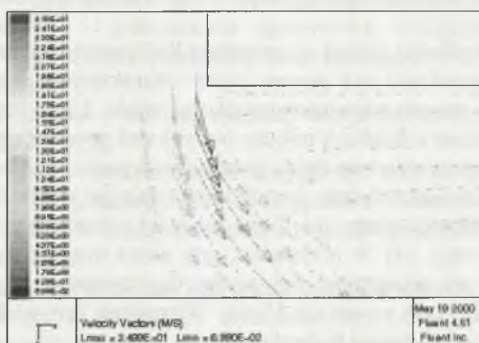
Znaczące różnice prędkości pojawiają się, gdy odległość między budynkami ulega zmniejszeniu. Cechą charakterystyczną stają się duże prędkości wiatru w strefie bocznej budynku, dochodzące do 26m/s a następnie ich gwałtowny spadek.



Rys. 4. Rozkład prędkości wiatru w strefie bocznej budynku dla trzech odległości między budynkami. Budynki o jednakowej wysokości

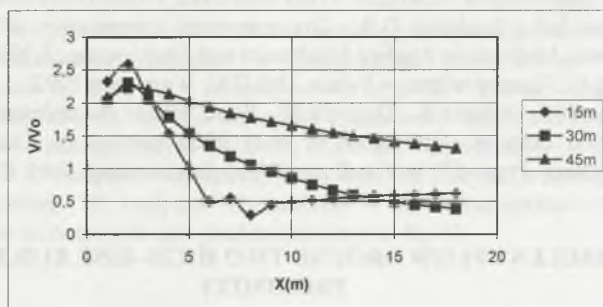
Szczególnie niekorzystne warunki mają miejsce w przypadku, gdy szerokość pasaży wynosi 15m. Na przestrzeni 6m następuje najpierw wzrost prędkości do około 25m/s a następnie jej spadek do 2m/s.

Nagły spadek prędkości wiatru pokrywa się ze strefą zawirowań i zmiany kierunku przepływu. (Rys.5)

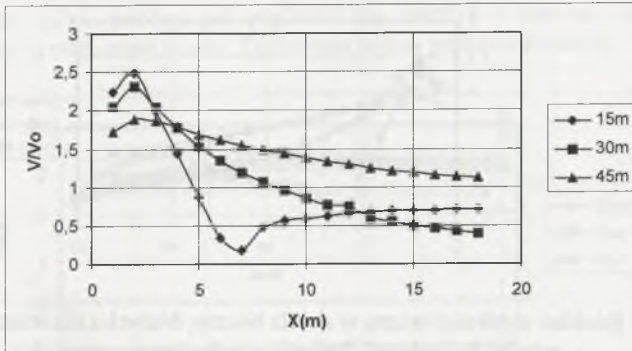


Rys.5. Rozkład prędkości wiatru w strefie bocznej budynku.

W przypadku różnej wysokości budynków notowane są wyższe prędkości wiatru przy zachowaniu podobnego przebiegu krzywych rozkładu prędkości. (Rys.6) (Rys.7).



Rys. 6. Rozkład prędkości wiatru w strefie bocznej budynku dla trzech odległości między budynkami. Budynki o wysokości 150m i 100m



Rys. 7. Rozkład prędkości wiatru w strefie bocznej budynku dla trzech odległości między budynkami. Budynki o wysokości 150m i 75m

5. Wnioski

Niezależnie od przyjętej prędkości na wlocie (10m/s, 15m/s, 20m/s) obraz przepływu wiatru w pasażu między budynkami, o różnym rozstawieniu, wykazuje duże podobieństwo.

Rozkład prędkości wiatru w centralnej linii pasażu między dwoma budynkami o stałej i różnej wysokości ma pewne cechy charakterystyczne. W przypadku małej szerokości (15m) otworu najwyższe prędkości rzędu $2,2V_0$ notowane są w przedniej części pasażu. Wzrost odległości między budynkami powoduje przesunięcie wartości w głąb pasażu i ich utrzymywanie się na jednakowym poziomie w dalszej jego części.

Szczególnie niekorzystne warunki powstają w strefach bocznych budynków. Nagły wzrost prędkości wiatru do 15m/s lub więcej może wystarczyć do pozbawienia człowieka równowagi. [4] W przypadku, gdy pasaż między budynkami ma niewielką szerokość (15m) na przestrzeni 5m mamy do czynienia z gwałtownym wzrostem prędkości, dochodzącym nawet do 30m/s. Wzrost ten jest większy w przypadku, gdy różnica między wysokościami budynków jest większa.

Literatura

- [1] Klemm K.: Warunki wietrzności w wybranych strukturach urbanistycznych i wybór optymalnych rozwiązań. Praca doktorska. Politechnika Łódzka, Łódź 1998.
- [2] Launder B.E., Spalding D.B.: The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3,1974.
- [3] Lorenc H.: Zasoby wiatru w Polsce. IMi GW, Warszawa 1992.
- [4] Murakami S., Vehara K., Deguchi K.: Wind effects on pedestrians: New criteria based on outdoor observation of over 2000 persons w Cermak J.E.: Wind Engineering Proc. 5th Int.Conf. on Wind Engineering, Fort Collins, Colorado, 1980.

TURBULENT FLOW AROUND TWO HIGH-RISE BUILDINGS IN PROXIMITY

Summary

This paper uses the numerical simulation to investigate the turbulent flow around two high-rise buildings in proximity on the pedestrian's level at the different relative heights, gaps and wind velocities. The K-ε model was used to simulate turbulence effects.