

ODDZIAŁYWANIE WIATRU NA PRZEPIY W POWIETRZA W TUNELACH

Grzegorz SZTARBAŁA

*Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Badań Ognioowych
ul. Ksawerów 21, 00-656 Warszawa,
e-mail: g.sztarbala@itb.pl*

Streszczenie: W niniejszym artykule zostały zaprezentowane wyniki obliczeń numerycznych oddziaływania wiatru na przepływ powietrza w tunelach. Zagadnienie oddziaływania wiatru na przepływ powietrza w tunelach odgrywa istotną rolę przy projektowaniu wentylacji bytowej, systemów bezpieczeństwa pożarowego tuneli a w szczególności systemów wentylacji pożarowej oraz systemów detekcji pożaru. W przypadku nieuwzględnienia wiatru na etapie projektowania wyżej wymienionych systemów prawidłowe wykrycie pożaru oraz skuteczne funkcjonowanie systemu wentylacji pożarowej będą bardzo utrudnione, a w niektórych przypadkach nawet niemożliwe. Artykuł ten stanowi fragment prowadzonej przez autora pracy badawczej.

Słowa kluczowe: Oddziaływanie wiatru, przepływ powietrza w tunelach, obliczenia numeryczne, obliczeniowa mechanika płynów, CFD – Computational Fluid Dynamics

1. WPROWADZENIE

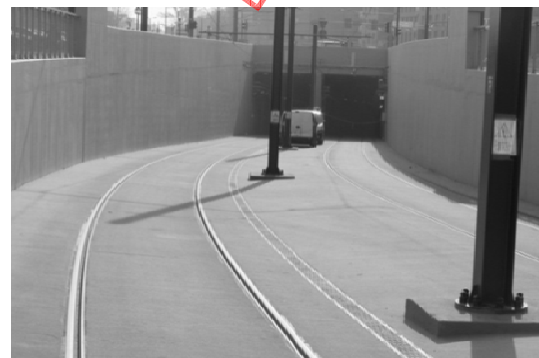
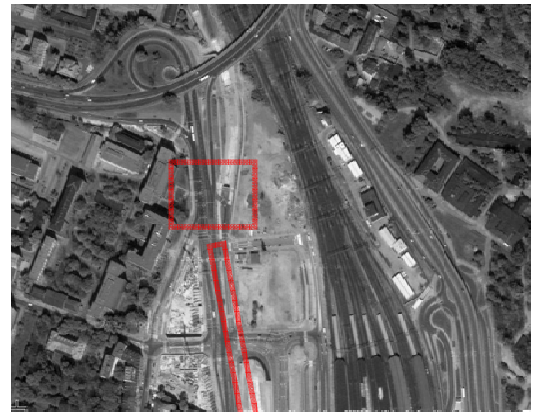
Przepływ powietrza w tunelach wywołany może być poprzez czynniki klimatyczne, poruszające się w nich pojazdy, jak i pracę urządzeń wentylacyjnych. Wśród czynników klimatycznych istotną rolę odgrywa wiatr. Niestety, w bardzo wielu przypadkach projektowych jest on pomijany, a wówczas, gdy brany jest pod uwagę, zazwyczaj zakłada się, że jego kierunek będzie zgodny z założonym kierunkiem przepływu powietrza w tunelu.

W artykule, który stanowi fragment prowadzonej przez autora pracy badawczej, przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych oddziaływania wiatru na tunel uwzględniając zróżnicowane warunki meteorologiczne i terenowe.

2. BADANIA IN-SITU

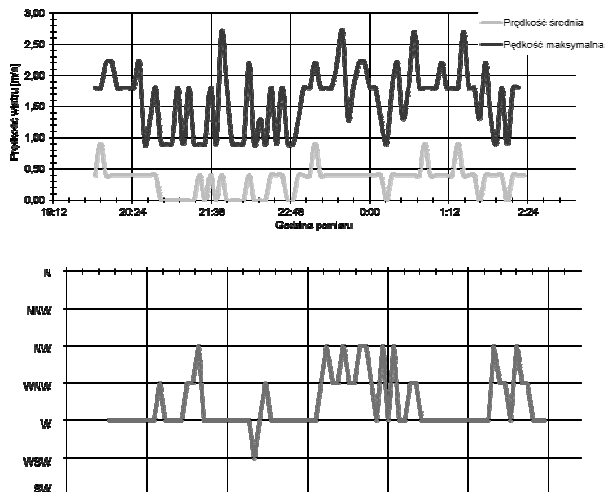
Badania in-situ zostały przeprowadzone na portalu Kamienna oraz w tunelu na odcinku pomiędzy portalem Ka-

mienna i przystankiem Politechnika krakowskiego szybkiego tramwaju. Portal Kamienna zlokalizowany jest przy ulicy Warszawskiej w Krakowie w sąsiedztwie budynków Politechniki Krakowskiej oraz Alei 29 Listopada.



Rys. 1. Lokalizacja portalu wlotowego wraz z widokiem
Fig. 1. The position of the front tunnel portal with view.

Ze względu na normalne funkcjonowanie obiektu pomiary prowadzone były w godzinach nocnych, tj. pomiędzy godziną 00:00 a 4:00. Równolegle z pomiarami prędkości przepływu na wlocie do tuneli prowadzone były pomiary warunków meteorologicznych w sąsiedztwie wjazdu do tunelu. Wysokość referencyjna, na której prowadzono pomiary, wynosiła 2,00 m powyżej terenu zaś w odniesieniu do poziomu posadzki wlotu do tunelu wynosiła 10,00 m. Poniżej, na Rys.2, przedstawiono zarejestrowaną prędkość średnią i prędkość maksymalną wiatru oraz kierunek wiatru z uśrednienia 10 minutowego.



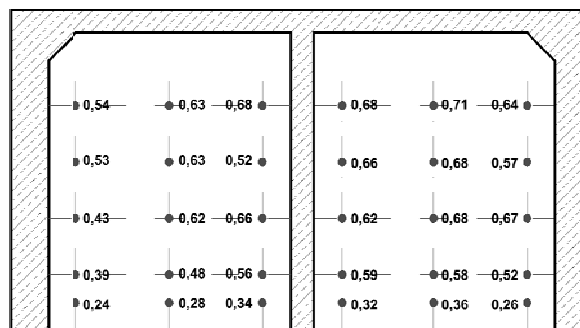
Rys. 2. Zarejestrowana średnia i maksymalna prędkość wiatru oraz kierunek wiatru (uśrednienie 10 minutowe).
Fig. 2. The average and the maximum wind velocity and the recorded wind direction.

Dodatkowo poza pomiarami warunków meteorologicznych prowadzonymi przy wlocie do tunelu pozyskano dane meteorologiczne z automatycznej stacji meteorologicznej IMGW Kraków Wola Justowska oraz z lotniskowej stacji meteorologicznej Kraków-Balice.

Pomiary prędkości przepływu przeprowadzone były przy wykorzystaniu zestawu pomiarowego, w skład którego wchodziły wielofunkcyjne mierniki TESTO 435-4 wraz z sondami turbulencji (zakres pomiarowy 0,00 – 5,00 m/s) i sondy anemometryczne ϕ 16 mm (zakres pomiarowy 0,60 – 40,0 m/s).

Punkty pomiarowe rozmieszczone były równomiernie w całym przekroju wlotowym do wysokości 4,00 m. Powyżej 4,00 m licząc od poziomu posadzki tunelu nie prowadzono pomiarów ze względu na znajdującą się pod napięciem sieć trakcyjną.

Na Rys. 3 przedstawiono wyniki pomiarów dla jednej serii. Zamieszczone wartości prędkości są wartościami uśrednionymi w czasie. Przyjęto czas uśredniania wynoszący 120 sekund.



$t_a = 4,1^\circ\text{C}$, $p = 1021,7 \text{ hPa}$, $\phi = 67\%$

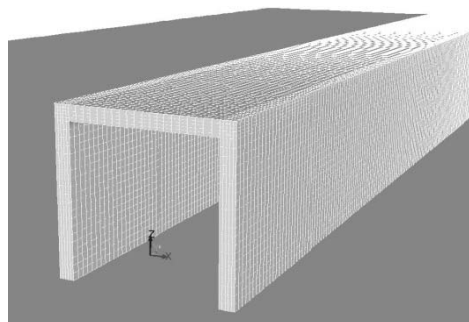
Rys. 3. Zarejestrowana wartość prędkości przepływu powietrza na wlocie do tunelu.

Fig. 3. The recorded air flow velocity at the tunnel inlet portal.

Podczas pomiarów w dominującym kierunku wiatru był kierunek NW, więcej prostopadłe do wlotu. Analizując wyniki pomiarów można zaobserwować, że rozkład prędkości wzdłuż wysokości tunelu ma charakter logarytmiczny, zbliżony do przyjmowanego w analizach numerycznych modelu wiatru.

3. OBLICZENIA NUMERYCZNE

Obliczenia numeryczne oddziaływania wiatru na tunel zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu programu ANSYS Fluent w wersji 13.0.0. W celu przeprowadzenia obliczeń opracowano model numeryczny jednonawowego tunelu drogowego o wymiarach (W x H) 5,50 x 5,50 m i długości (L) 50,00 m. Model przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 4. Model numeryczny wraz z siatką numeryczną
Fig. 4. The numerical model with numerical grid.

Zgodnie zasadami Computational Wind Engineering (CWE) przedstawionymi przez Franke i in. [1] domena obliczeniowa została rozszerzona tak, aby wyeliminować nienaturalne zwiększanie się prędkości przepływu przed tunelem oraz umożliwić swobodne i pełne kształtowanie się przepływu za tunelem. Przy wysokości tunelu wynoszącej 5,50 m odległość od płaszczyzny wlotu do tunelu do skrajnej domeny obliczeniowej wynosiła 27,5 m, szerokość domeny

105,0 m zaś odległość od wylotu z tunelu do końca domeny 82,5 m.

Dyskretyzację obszaru przeprowadzono przy wykorzystaniu siatki heksahedralnej o całkowitej liczbie komórek wynoszącej około 6 400 000.

Do obliczeń przyjęto logarytmiczny profil wiatru [2], który opisuje poniższa zależność:

$$u = u_* \left(\frac{z}{z_0} \right)^{0.4} \quad (1)$$

gdzie: u – prędkość wiatru (m/s) na wysokości z (m), u_* - prędkość tarciova, κ - stała von Karmana, z_0 – współczynnik szorstkości terenu (m).

Wartość prędkości tarciovej została określona w oparciu o poniższe równanie:

$$u_* = \frac{u_{ref}}{C_{\mu}^{0.5}} \quad (2)$$

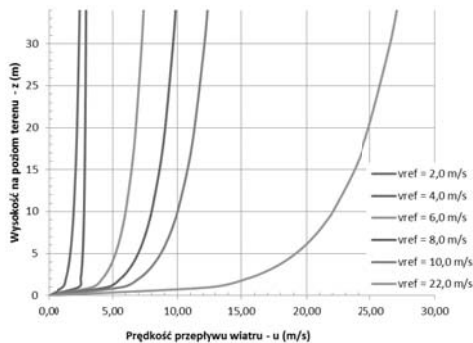
gdzie: z_{ref} jest wysokością referencyjną (m), zaś u_{ref} referencyjną prędkością wiatru (m/s) na wysokości z_{ref} .

Wartości kinetycznej energii turbulencji oraz dysypacji kinetycznej energii turbulencji przyjęte do analizy zostały określone w oparciu o zależności przedstawione poniżej

$$\epsilon = \frac{u_*^3}{\kappa z} \quad (3)$$

$$k = \frac{u_*^2}{\kappa} \quad (4)$$

gdzie C_{μ} jest stałą modelu turbulencji $k-\epsilon$ i wynosi 0,09. Omówione w tym artykule obliczenia numeryczne prowadzone były przy założeniu stałej wartości współczynnika szorstkości z_0 wynoszącej 0,05 m, dla kątów oddziaływania wiatru w zakresie $0^\circ - 90^\circ$ (kierunek 0° pokrywa się z osią tunelu), ze skokiem wynoszącym 5° i zmiennych prędkościach referencyjnych wiatru wynoszących 2,00 m/s, 4,00 m/s, 6,00 m/s, 8,00 m/s, 10,00 m/s i 22,00 m/s.

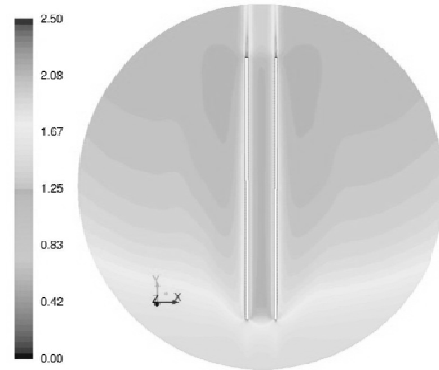


Rys. 5. Profile wiatru przyjęte w obliczeniach.
Fig. 5. The wind profiles in the numerical calculations.

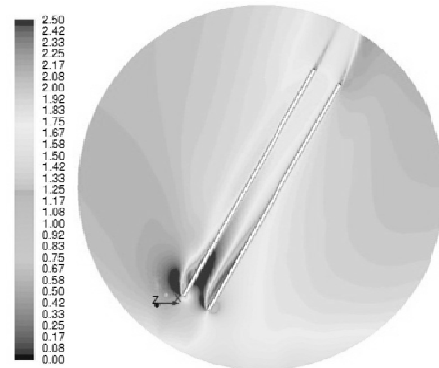
Wyznaczone z równań (2) - (4) przy powyższych założeniach profile prędkości wiatru na wlocie do domeny obliczeniowej zestawiono na Rys.5.

3.1. Wyniki obliczeń numerycznych

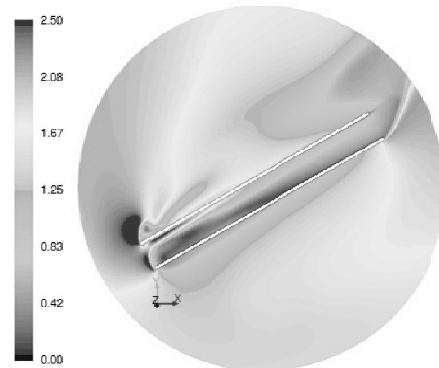
Poniżej w formie graficznej przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych.



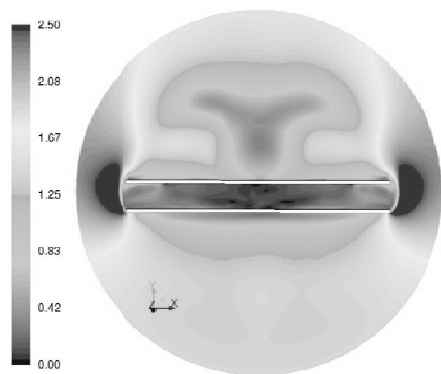
Rys. 6. Rozkład prędkości przepływu powietrza – kąt 0°
Fig. 6. The contours of velocity – angle 0°



Rys. 7. Rozkład prędkości przepływu powietrza – kąt 30°
Fig. 7. The contours of velocity – angle 30°



Rys. 8. Rozkład prędkości przepływu powietrza – kąt 60°
Fig. 8. The contours of velocity – angle 60°



Rys. 9. Rozkład prędkości przepływu powietrza – kąt 90°

Fig. 9. The contours of velocity – angle 90°

3.2. Analiza wyników obliczeń numerycznych

Przeprowadzone wyniki obliczeń numerycznych dla różnych prędkości wiatru wykazały wyraźną zależność pola prędkości powietrza wewnątrz tunelu zarówno od prędkości referencyjnej, jak i kąta oddziaływania wiatru. Z wyjątkiem kątów oddziaływania wiatru w zakresie 0° - 15°, w tunelu można wyróżnić trzy obszary. Dwa z nich związane są z wlotem i wylotem do tunelu i zjawiskami tam zachodzącymi. Trzeci zaś to obszar znajdujący się pomiędzy wyżej wymienionymi obszarami i charakteryzuje go brak przepływu lub też przepływ cyrkulacyjny z niewielką prędkością. Wielkość tego obszaru zależna jest od prędkości referencyjnej. W przypadku oddziaływania wiatru pod kątem 75° - 90° w bezpośrednim sąsiedztwie wlotów tworzą się obszary nadciśnienia, które mogą powodować nieskuteczne funkcjonowanie zaprojektowanych systemu wentylacji.

THE WIND INFLUENCE ON FLOW FIELD IN TUNNELS

Summary: In this paper there are presented results of the numerical analyses of the wind influence on flow field in tunnels. The results show that wind shall be considered during ventilation design process.

Literatura

[1] Franke J. *Recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind Environment*. COST Project Action C14

[2] Błazik-Borowa E. *Problemy związane ze stosowaniem modelu turbulencji k-ε do wyznaczania parametrów opływu budynków*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2008

[3] Shih T.H., Liou W.W., Shabbir A., Zhu J. *A new k-ε Eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows*. Computer Fluids, Vol. 24, No 4, s. 227-238, 1995

[4] Simiu E. *Wind effects on structures. An introduction to wind engineering*. John Wiley & Sons, New York, 1986

[5] Żurański J. A. *Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążenie wiatrem konstrukcji budowlanych*. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2005