

Piotr SIERPUTOWSKI, Jan WOJCIECHOWSKI
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki
Stosowanej Politechniki Warszawskiej

BADANIA SYMULACYJNE NIESTACJONARNEGO PODMUCHU W FIZYCZNYM MODELU ATMOSFERYCZNEJ WARSTWY PRZYZIEMNEJ

Streszczenie. W pracy prezentowane są wyniki badań wstępnych poświęconych modelowaniu podmuchów atmosferycznych w warunkach tunelowych. W tunelu aerodynamicznym, w którym istnieje możliwość generowania grubych warstw gradientowych odpowiadających kształtem różnym profilom atmosferycznej warstwy przyziemnej, zastosowano układ ruchomych, zewnętrznie sterowanych żaluzji wytwarzających w przepływie gruboskalowe struktury wirowe. Wykonano serie pomiarów termomanometrycznych pulsacji pola prędkości, dla których wyjściową analizę przeprowadzono zgodnie z zastosowaną techniką uśredniania fazowego.

SIMULATION OF NONSTATIONARY GUST IN PHYSICAL MODEL OF ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

Summary. The results of introductory model investigations of atmospheric gusts in a wind tunnel are presented. The special diaphragm with rotary blades have been used in order to generate the large scale vortical structures within modelled atmospheric boundary layer. In a velocity field the hot wire measurements of occurring pulsations were carried out and their analysis was based on the application of phase averaging procedure.

Uwagi wstępne

Celem prowadzonych badań eksperymentalnych była symulacja podmuchów występujących w strefie przyziemnych przepływów wiatru. Z uwagi na kompleksowe oddziaływanie zarówno na infrastrukturę leżącą na powierzchni Ziemi (budynki, mosty, linie energetyczne, drogi komunikacyjne, itp.), jak i na samego człowieka (kształtowanie bezpośredniego, lokalnego komfortu życia, wpływ na mikroklimat), znajomość własności niestacjonarnych podmuchów wiatru nabiera szczególnego znaczenia. Możliwość modelowania bądź symulacji wybranych typów podmuchów w warunkach laboratoryjnych,

tunelowych, stwarza szansę aktywnej kontroli zjawisk sprzężonych z oddziaływaniami wiatru. Odnosi się to szczególnie do zjawisk niosących w sobie elementy zagrożenia dla środowiska człowieka (dyfuzja zanieczyszczeń, skuteczność wentylacji wiatrowej, obciążenie budynków i konstrukcji).

Generalnie, znajomość struktury podmuchu atmosferycznego pozwala na przeprowadzenie analizy dwóch rodzajów zjawisk, kluczowych w przypadku badań oddziaływania wiatru: turbulentnego transportu zanieczyszczeń oraz sprzężenia aerodynamicznego zachodzącego na skutek oddziaływań pomiędzy wiatrem a podłożem.

Niestacjonarności występujące podczas przepływu wiatru w istotny sposób wpływają na strukturę przyziemnego pola prędkości, w głównej mierze odpowiedzialnego za dyfuzję zanieczyszczeń emitowanych na powierzchni Ziemi. Pojawienie się podmuchów wiatru, o różnym nasileniu i różnej strukturze, zmienia własności lokalnych pól prędkości ukształtowanych wskutek opływu wiatrem elementów pokrycia terenu. Jeśli elementem niestacjonarności stają się podmuchy o strukturze gruboskalowych zawirowań, jednocześnie występuje szansa sterowania (w pewnym zakresie) przebiegiem dyfuzji zanieczyszczeń w strefie przyziemnej.

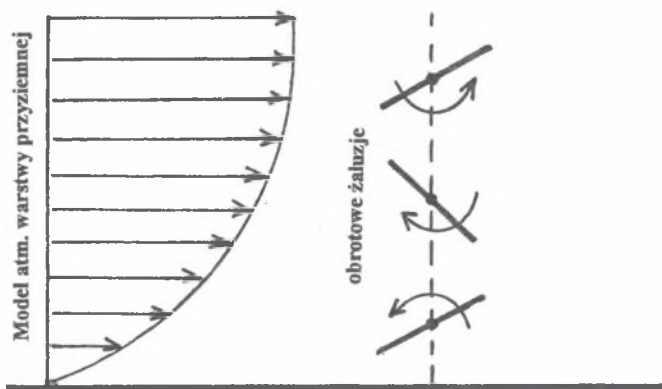
Z kolei mechaniczne oddziaływanie pomiędzy podłożem a masami przepływającego powietrza atmosferycznego może doprowadzić do sprzężeń aerodynamicznych w strefie przyziemnej. Rzeźba terenu wprowadza deformacje pola prędkości, które w szczególnie sposób mogą się nakładać na pulsacje przepływu wywołane obecnością niestacjonarnych podmuchów, w formie gruboskalowych, zmiennych w czasie, zawirowań.

Bezpośrednim celem prezentowanego, wstępnego etapu badań eksperymentalnych było wypracowanie skutecznego mechanizmu symulacji niestacjonarnego podmuchu charakteryzującego się silnymi oddziaływaniami zarówno w kierunku równoległym, jak i prostopadłym do powierzchni Ziemi.

Symulacja niestacjonarnego podmuchu w warunkach laboratoryjnych

Zdecydowano się na zastosowanie specjalnie opracowanego układu obrotowych żaluzji, jako generatora pulsacji przepływu, mających na celu symulację niestacjonarnego podmuchu wiatru w przyziemnej strefie warstwy atmosferycznej (rys.1). Żaluzje napędzane zewnątrz sterowanym silnikiem, a ich ruch obrotowy był możliwy do realizacji przy dwóch wariantach: 1) przy zachowaniu przeciwnej fazy pomiędzy kolejnymi obracającymi się łopatkami żaluzji;

2) przy przesunięciu fazowym pomiędzy sąsiednimi łopatkami równym 90 stopni.



Rys. 1. Schemat generacji niestacjonarnego podmuchu
Fig. 1. Scheme of nonstationary gust generation

Żaluzje umieszczono w obrębie ukształtowanej, sztucznie pogrubionej warstwy przyściennej, która dzięki swemu profilowi stanowiła model atmosferycznej warstwy przyziemnej. Łopatki żaluzji mogły się obracać z zadanymi prędkościami kątowymi, odpowiadającymi zakresowi częstotliwości od 0.5 do ok.20 Hz. Przy prędkości średniej na granicy warstwy ok. 10 m/s, grubość modelowanej warstwy przyziemnej wynosiła w warunkach tunelowych ok. 30 cm. Wprowadzenie żaluzji w ruch, przy częstotliwości obrotów odpowiednio dopasowanej do prędkości napływającego strumienia, powodowało generację gruboskalowego zawirowania, obejmującego praktycznie całą grubość modelowanej warstwy przyziemnej. W polu prędkości zaznaczało się to wyraźną pulsacją przepływu o charakterze okresowym.

Wizualizacja przepływu umożliwiła obserwację cyklicznych zawirowań generowanych przez układ obracających się żaluzji, które zależały od wzajemnej relacji pomiędzy prędkością przepływu w tunelu a prędkością obrotową ruchomych przesłon. Zaobserwowano wyraźne sprzężenie: dla każdej prędkości przepływu w sprawdzanym zakresie (do 10 m/s, prędkość poza modelowaną warstwą przyziemną) można dobrać taki zakres częstotliwości ruchu przesłon żaluzji, przy którym powstają gruboskalowe struktury wirowe o maksymalnym zakresie oddziaływania w kierunku prostopadłym do opływanej ścianki. Przykładowo, dla prędkości strugi, poza warstwą, równej 10 m/s "optymalna" częstotliwość

pracy przesłan wynosiła 3 Hz, co w efekcie dawało symulację cyklicznego podmuchu w obszarze o wysokości ok. 35 cm w warunkach tunelowych.

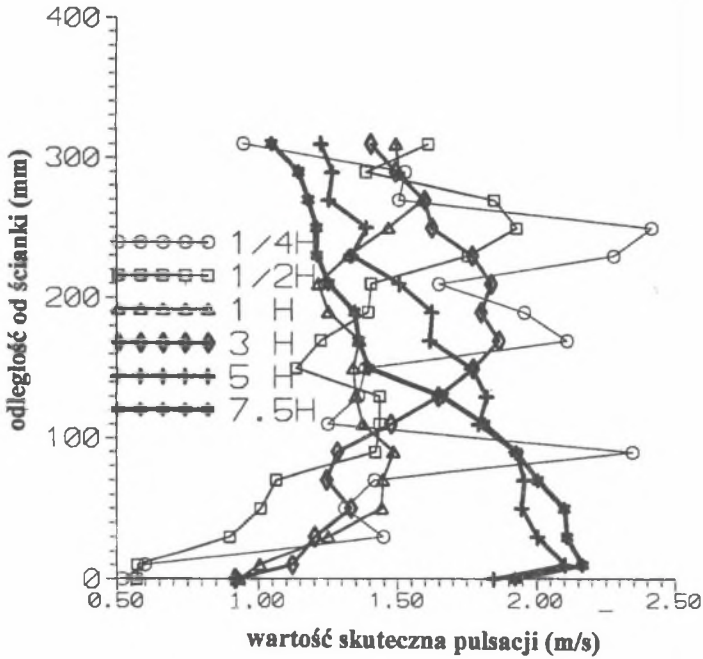
Wyniki wstępnych pomiarów

W celu przeanalizowania własności pola prędkości w generowanym niestacjonarnym podmuchu, wykonano serię pomiarów termooanemometrycznych występujących pulsacji prędkości. Posługiwano się zestawem stałotemperaturowym. Akwizycji danych dokonano przy użyciu wielokanałowego przetwornika analogowo-cyfrowego, co umożliwiło komputerową analizę sygnału "on line". Na układzie żaluzji zainstalowano czytnik położenia, z którego rejestrowany sygnał stanowił podstawę czasu dla badanych przypadków symulacji niestacjonarnego podmuchu. Zmierzony sygnał pulsacji prędkości poddano analizie statystycznej opartej zarówno na klasycznej podwójnej dekompozycji, jak i uśrednianiu fazowym.

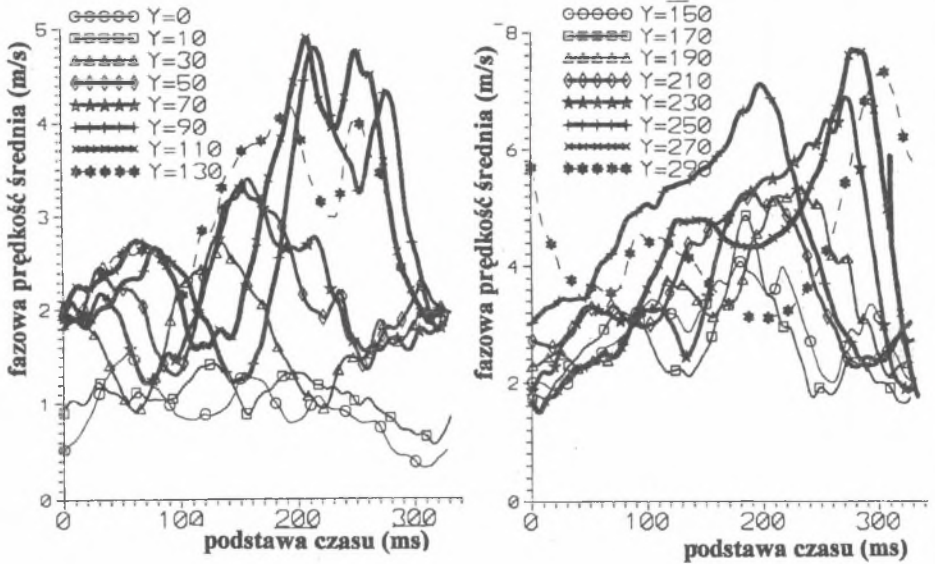
Na rys.2 pokazano profile wartości skutecznych pulsacji prędkości dla różnych odległości od żaluzji generujących podmuch (H - wysokość żaluzji). Najsilniejsze zróżnicowania występują w przekrojach leżących bezpośrednio za generatorem, dla bardziej oddalonych rozkłady wyrównują się.

Ponieważ w modelowanej strudze przyziemnej występują silne zaburzenia o charakterze cyklicznym, mierzony sygnał prędkości może być poddany procedurze uśredniania fazowego. W ten sposób przyrosty prędkości, mające w zamierzeniu symulować podmuch atmosferyczny, mogą być analizowane oddzielnie w stosunku do losowych pulsacji reprezentujących "czystą" turbulencję.

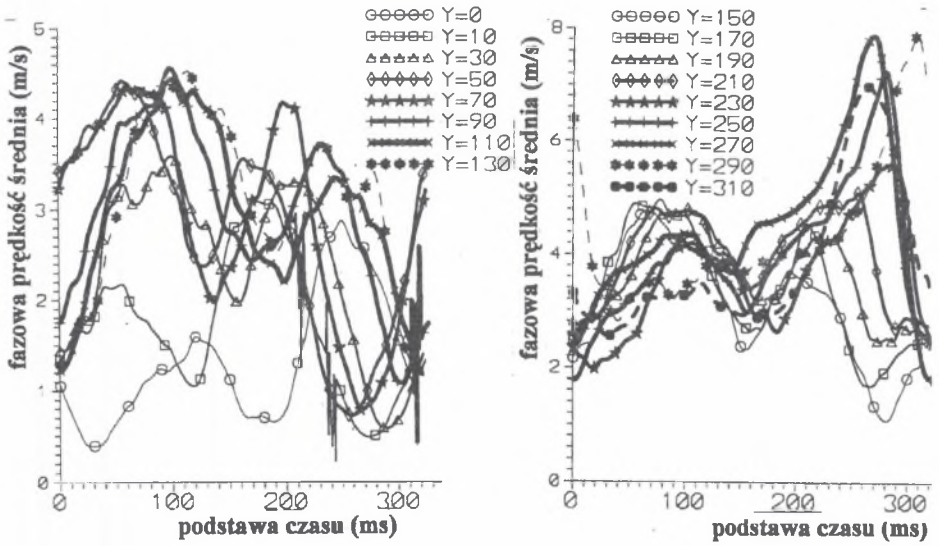
Na rys.3, 4, 5 i 6 przedstawiono przebiegi prędkości uśrednionej fazowo w funkcji czasu trwania jednego cyklu podmuchu dla przekrojów położonych w różnej odległości od żaluzji. Wyraźne przesunięcia fazowe pomiędzy maksymalnymi prędkościami, jakie występują w poszczególnych odległościach od ścianki, wskazują na znaczące oddziaływanie naprężeń stycznych na ścianie. Nałożenie na gradientowy rozkład prędkości w warstwie przyziemnej silnego zawirowania generowanego ruchem żaluzji daje w efekcie strukturę wirową podmuchu dość znacznie zróżnicowaną kinematycznie w przestrzeni, charakteryzującą się własną prędkością propagacji przyrostów prędkości. Przebiegi uśrednionych fazowo prędkości w przekrojach dalej położonych od generatora podmuchu wskazują na zdecydowane "uporządkowanie" gruboskalowych pulsacji prędkości.



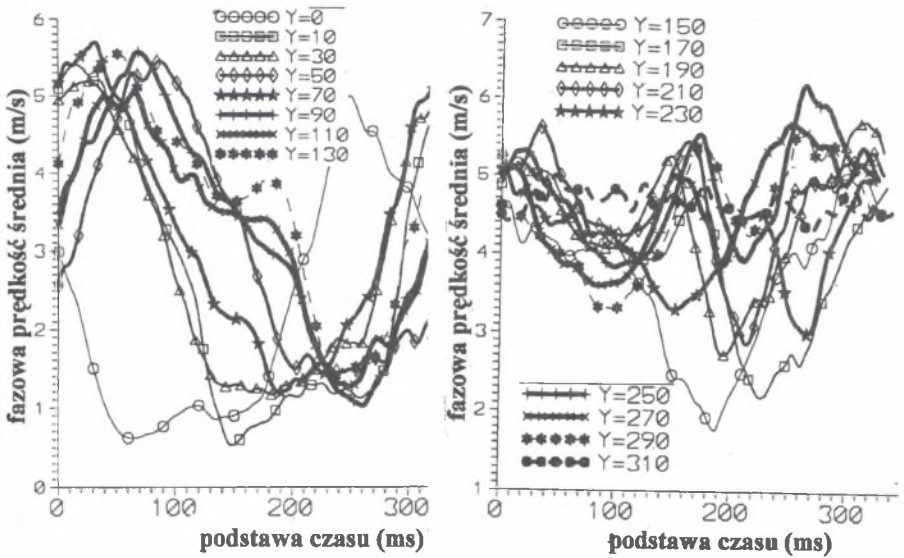
Rys. 2. Rozkłady wartości skutecznej pulsacji prędkości dla różnych odległości od zaluzji
Fig. 2. Velocity R.M.S. – values plots for various distances from generator



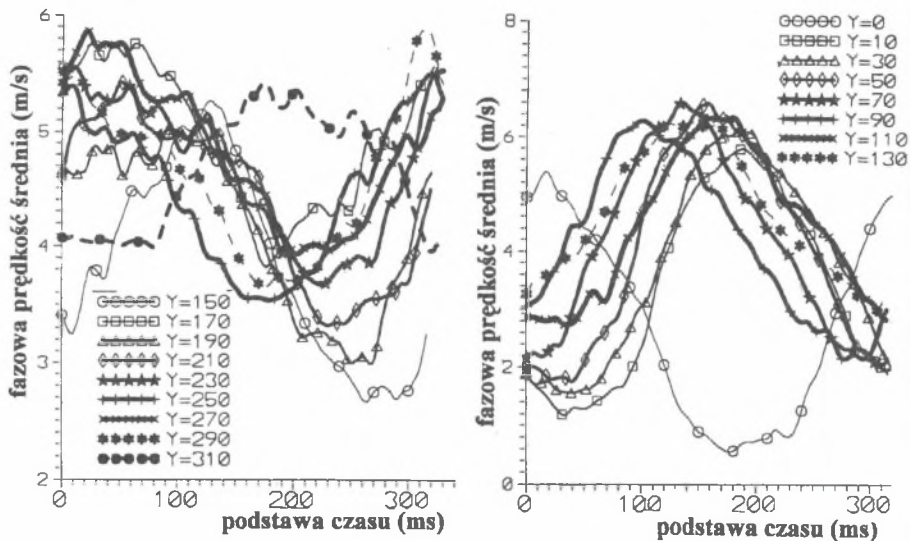
Rys. 3. Przebiegi prędkości uśrednionej fazowo, dla odległości 0.5 H od zaluzji
Fig. 3. Phase – averaged velocity plots, at distance 0.5 H from generator



Rys. 4. Przebiegi prędkości uśrednionej fazowo, dla odległości H od zaluzji
 Fig. 4. Phase – averaged velocity plots, at distance H from generator



Rys. 5. Przebiegi prędkości uśrednionej fazowo, dla odległości 5 H od zaluzji
 Fig. 5. Phase – averaged velocity plots, at distance 5 H from generator



Rys. 6. Przebiegi prędkości uśrednionej fazowo, dla odległości 7.5 H od żaluzji
 Fig. 6. Phase – averaged velocity plots, at distance 7.5 H from generator

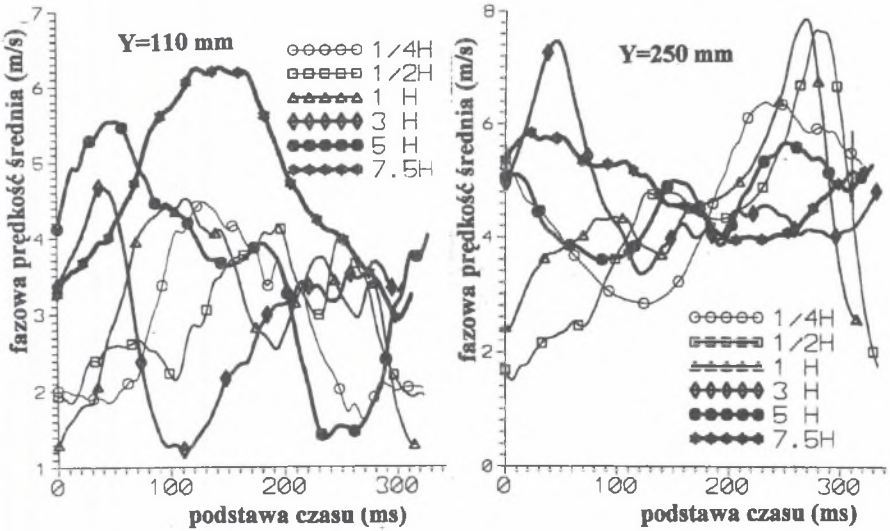
Na rys.7 zaprezentowano równoczesne przebiegi prędkości uśrednionej fazowo (wzdłuż kierunku przepływu) dla stałych, przykładowo dwóch, odległości od ścianki. Przesunięcia fazowe pomiędzy tymi przebiegami ilustrują oddziaływania, jakie występują pomiędzy kolejno generowanymi gruboskalowymi strukturami wirowymi.

Rys.8 przedstawia profile wartości skutecznych pulsacji turbulentnych, jakie są wynikiem potrójnej dekompozycji sygnału prędkości i uśredniania fazowego. Dwa wyraźne maksima widoczne na rozkładach należy interpretować jako efekt silnego mieszania, jakie występuje zarówno na granicy modelowanej warstwy przyziemnej, jak i w bezpośredniej bliskości ścianki (maksima pojawiały się każdorazowo po uśrednieniu fazowym przeprowadzonym na zbiorze 200 cykli).

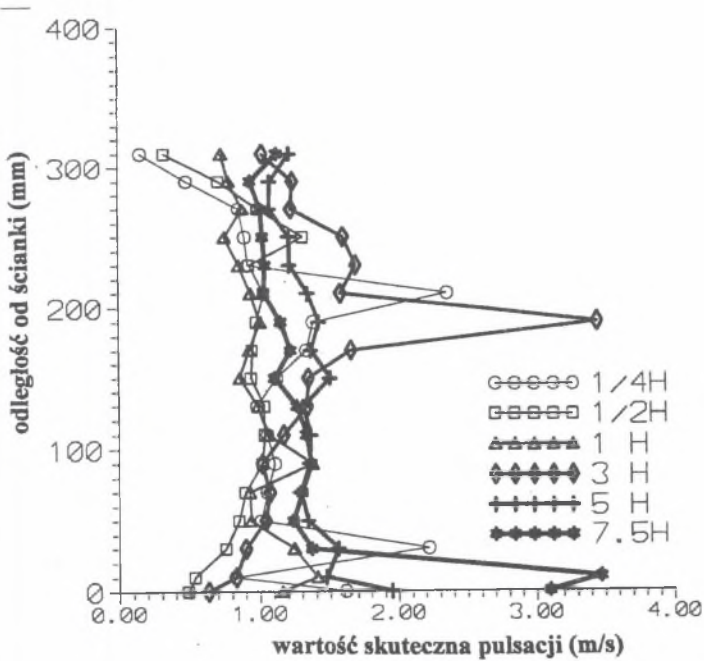
Wnioski końcowe

Przeprowadzone wstępne badania poświęcone symulacji niestacjonarnego podmuchu atmosferycznego upoważniają do następujących konkluzji:

- 1) zaproponowana metoda generacji cyklicznych, gruboskalowych zawirowań w modelowanej atmosferycznej warstwie przyziemnej okazała się skutecznym narzędziem symulacji niestacjonarnych podmuchów;



Rys. 7. Przebiegi fazowej prędkości średniej na dwóch stałych wysokościach Y
 Fig. 7. Phase – averaged mean velocity for two fixed distances from a wall



Rys. 8. Profile wartości skutecznych pulsacji turbulentnych (potrójna dekompozycja sygnału prędkości)
 Fig. 8. R.M.S. – values profiles of turbulent pulsations after a triple decomposition of velocity signal

- 2) dokładna analiza pola pulsacji prędkości musi być prowadzona zgodnie z potrójną dekompozycją mierzonego sygnału;
- 3) nieodzowne są dalsze badania własności symulowanych podmuchów w kontekście wypracowania racjonalnych kryteriów podobieństwa;
- 4) niestacjonarny podmuch może stanowić przyczynę ciekawych zjawisk, jakie występują w przypadku opływu pokrycia terenu, co szczególnie jest istotne przy analizie naturalnej przewietrzalności (np. przewietrzanie obszarów miejskiej zabudowy).

LITERATURA

1. Cermak J.E.: Laboratory simulation of atmospheric boundary layer. I.A.A.J. (1971).
2. Cermak J.E., Cochran L.C.: Physical modelling of the atmospheric layer, in: Proc 8th Int. Conf. on Wind Engineering, (1991).
3. Panofsky H.A.: The atmospheric boundary layer below 150 meters, Ann. Rev. Fluid Mech. 6, 74.
4. Plate E.J.: Aerodynamics characteristics of atmospheric boundary layer, U.S. Atomic Energy Commission, (1971).
5. Sierputowski P. et al., Experimental study of wind flow over the model of a Valley, Journal of Wind Engineering, 57 (1995).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Mierzwiński

Abstract

A simulation of gusts occurring in near-ground winds has been the main goal of presented experimental investigations. A possibility of modelling or simulation of selected gusts patterns brings a chance of active control in case of various phenomena coupled with a wind, especially in case of dangers for human environment (air pollution, effectivity of wind ventilation, wind loads on buildings and structures).

A special diaphragm, constructed on basis of several rotary blades, was designed as a generator of nonstationary gust occurring within a modelled atmospheric boundary layer in a low-speed wind tunnel. The control of blades rotation speed allowed to generate the large scale vortical structures in range of frequencies 0.5 – 20 Hz. The flow visualisation and

velocity measurements, by means of hot-wire technique, were carried out. The statistical analysis of velocity pulsations was realized basing on phase-averaging procedure and triple decomposition of a measured signal.

The obtained results showed that the introduced method of periodical, large scale vortical structures generation could be a useful tool for a simulation of nonstationary, atmospheric gusts. The flow pattern observed during a simulation in wind tunnel can bring the interesting informations in case of phenomena occurring when wind flow over built-up areas is considered.