

Elżbieta MORYŃ-KUCHARCZYK, Dorota KUBAT
Politechnika Częstochowska

PROBLEMY NIESTACJONARNOŚCI W MODELOWANIU ATMOSFERYCZNEJ WARSTWY PRZYZIEMNEJ

Streszczenie. Przedstawiono wyniki modelowania atmosferycznej warstwy przyziemnej z uwzględnieniem zachodzących w niej zjawisk okresowych. Analizie poddano szereg podstawowych cech charakteryzujących turbulencję przyziemnych ruchów wiatrowych, do których należą m. in. profile wzdłużnych i poprzecznych składowych fluktuacji prędkości, funkcje spektralne i korelacyjne, wynikające z nich oszacowania czasowych i liniowych skal turbulencji oraz intensywność procesów dysypatywnych.

PROBLEMS OF UNSTEADINESS IN THE MODELLING OF ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

Summary. The results of the experimental modelling of atmospheric boundary layer taking into consideration periodical effects were shown in the paper. The fundamental features characterising turbulence of wind motions such as: profiles of longitudinal and transverse components of velocity fluctuation, spectral and correlation functions, as well as resulting from them time and linear turbulence scales have also been analysed. The special attention has been put on the intensity of dissipation processes.

Wstęp

Przepływ mas powietrza atmosferycznego w strefie przylegającej do powierzchni ziemi podlega działaniu powierzchniowej siły tarcia, której wpływ staje się pomijalnie mały powyżej pewnej odległości wyznaczającej zasięg granicznej warstwy atmosferycznej. W warstwie tej najsilniej zaznaczają się skutki działalności człowieka, rzutującej na stan otaczającego nas środowiska.

Znajomość struktury wiatru w strefie przyziemnej ma istotne znaczenie dla wielu zagadnień z zakresu aerodynamiki środowiska. Charakter pola przepływu powietrza jest tu bowiem czynnikiem, od którego zależy nie tylko lokalny komfort życia człowieka związany

z mikroklimatem obszarów zaludnionych, ale który wpływa również na aerodynamiczne obciążenia konstrukcji naziemnych, skuteczność wentylacji naturalnej, straty ciepła przez przegrody oraz intensywność dyfuzji zanieczyszczeń.

Zarówno fizyczny, jak i matematyczny sposób ujęcia procesów zachodzących w atmosferycznej warstwie przyziemnej cechuje wysoki stopień złożoności. Opisujące ten obszar równania różniczkowe wysokiego rzędu są nieliniowe i wielowymiarowe. Skale liniowe ruchów wiatrowych w warstwie granicznej, zmieniające się w szerokim zakresie, przyjmują wartości rzędu zarówno centymetrów, jak i kilometrów. Warstwa ta praktycznie zawsze jest termicznie uwarstwiona, jak również charakteryzuje się przestrzenną niejednorodnością. Stąd też wynika istotne znaczenie, jakie przypisuje się obecnie modelowym badaniom eksperymentalnym z zakresu aerodynamiki środowiska. Prowadzenie doświadczeń w środowisku naturalnym nie daje tych możliwości, które tkwią w modelowaniu zjawisk w warunkach laboratoryjnych. Zasadnicza przewaga prac realizowanych z wykorzystaniem modelu fizycznego wynika w tym złożonym przypadku z możliwości sterowania ilością i charakterem nakładających się na siebie oddziaływań. Badania modelowe eliminują ponadto wiele ograniczeń dotyczących stosowania technik pomiarowych przydatnych w analizie niestacjonarnych szybkozmiennych procesów przepływowych (termoanemometria, anemometria laserowa, wizualizacja przepływu).

Prowadzona w warunkach laboratoryjnych analiza zjawisk zachodzących w przyziemnej strefie atmosfery ukształtowanej nad zróżnicowanym typem podłoża oraz zakłócającej obecnością usytuowanych w niej obiektów, wymaga wygenerowania przepływu przyściennego o cechach, które w pełni odwzorowują charakter ruchów wiatrowych przy powierzchni gruntu.

Rozwój technik fizycznego modelowania atmosferycznej warstwy przyziemnej

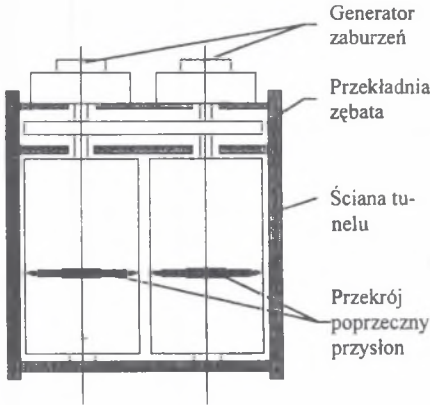
Techniki modelowania warstwy przyziemnej w tunelu aerodynamicznym koncentrowały się początkowo na odwzorowaniu cech ruchu średniego zawartych w kształcie profilu prędkości średniej nad podłożem o różnym stopniu aerodynamicznej chropowatości. Kolejnym krokiem w kierunku uzyskania pełnego fizycznego modelu warstwy było uwzględnienie dalszych cech przepływu, a mianowicie profilu fluktuacji losowych, skal turbulencji oraz charakterystyk widmowych. Przykłady tego typu modelowania znaleźć

można m.in. w pracach [1,10]. Szczególne utrudnienie w procesie modelowania stanowi konieczność odwzorowania cech niestacjonarności zawartych w zakresie liczb falowych obejmujących całe spektrum ruchów wiatrowych. Odrębnym elementem niestacjonarności przepływu w warstwie przyziemnej są gruboskalowe struktury wiatrowe określane mianem podmuchów. Pojawienie się podmuchów wiatru o różnym nasileniu i strukturze zmienia właściwości lokalnych pól ukształtowanych na skutek opływu wiatrem elementów pokrycia terenu. Próby modelowania podmuchów podejmowano m.in. w pracach [5,6,7].

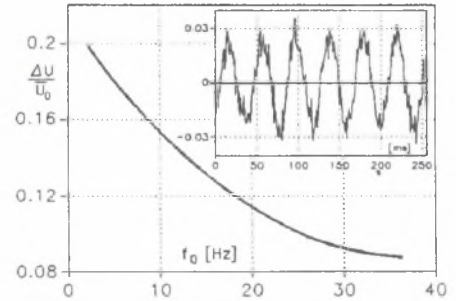
Podstawowym celem przeprowadzonych w niniejszej pracy badań było określenie zmian zachodzących w strukturze pola prędkości w warstwie przyziemnej uformowanej na podłożu aerodynamicznie chropowatym, jeśli warunki opływu ztracą swój ustalony charakter, nabierając cech porywów wiatrowych. Analizie poddano szereg podstawowych wielkości charakteryzujących turbulencję strefy przysięciennej, do których należą m.in. profile wzdłużnych i poprzecznych składowych fluktuacji prędkości, funkcje spektralne i korelacyjne oraz wynikające z nich oszacowania liniowych i czasowych skal turbulencji. Przedmiot rozważań stanowiła również intensywność procesów dyssypatywnych, będących jednym z istotniejszych elementów przemian energetycznych zachodzących w warstwie przyziemnej.

Organizacja eksperymentu

Poddany analizie przepływ przysięcienno wygenerowano w komorze tunelu aerodynamicznego IMC PCz o wymiarach: wzdłużnym-4 m i poprzecznych (0.5 x 0.6) m. Określoną chropowatość podłoża uzyskiwano za pomocą nakładanych na gładką płytę profilowanych warstw gumowych. Periodyczna niestacjonarność pola prędkości wymuszana była techniką okresowego dławienia przepływu w wylotowej części komory pomiarowej tunelu [4]. W tym celu zastosowano dwie wirujące przesłony o regulowanej prędkości obrotowej decydującej o parametrach symulowanych porywów wiatrowych (rys.1). Przykładową charakterystykę generowanych zaburzeń zamieszczono na rys.2, zaczerpniętym z obszerniejszego omówienia [8] zastosowanej metody modelowania periodycznej niestacjonarności pola prędkości. Oscylacje przepływu w komorze pomiarowej miały charakter harmoniczny i zachodziły jedynie w kierunku wzdłużnym z częstotliwościami mieszczącymi się w zakresie 2 – 20 Hz. Tor pomiarowy stanowiła sonda X z dwukanałowym zestawem aparatury termooanemometrycznej DISA 55M System współpracującym z układem rejestracji, przetwarzania i analizy sygnału.



Rys. 1. Schemat generatora zaburzeń
Fig. 1. Scheme of perturbation generator



Rys. 2. Przykładowa charakterystyka generowanych zaburzeń
Fig. 2. Example characteristic of generated perturbations

Omówienie wyników badań

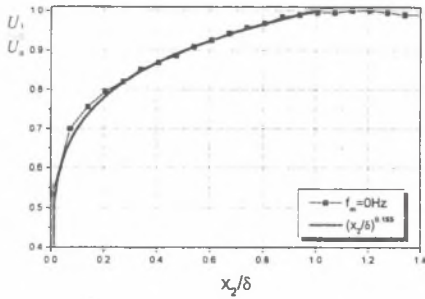
Zewnętrzne oddziaływania oscylacyjne zastosowano w odniesieniu do warstwy wygenerowanej na podłożu chropowatym, której profil prędkości średniej uznać można za typowy dla pola wiatrowego nad obszarem o niewielkim poziomie aerodynamicznej chropowatości (rys.3). Zgodnie z powszechnie przyjmowanymi kryteriami przy modelowaniu warstwy przyziemnej [3,9], uzyskanej wartości wykładnika $\alpha=0.155$ w równaniu profilu

$$\bar{U}(x_2)_1 = \bar{U}(x_2)_z \left[\frac{(x_2)_1}{(x_2)_z} \right]^\alpha \quad (1)$$

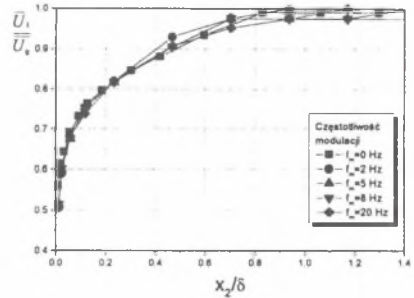
odpowiada parametr aerodynamicznej chropowatości terenu $z_0=0.03$ m przy wysokości gradientowej profilu wiatru $Z_G=300$ m. Spełniona jest przy tym relacja

$$\frac{\delta}{Z_G} = \frac{z_{ot}}{z_0} \quad (2)$$

Jak wynika z rys. 4, rozkład prędkości średniej w warstwie uformowanej w warunkach ustalonego opływu powierzchni nie zmienia się w sposób istotny pod wpływem okresowych oddziaływań zewnętrznych niezależnie od ich częstotliwości i związanej z nią amplitudy (rys.2). Wyraźne efekty tych zaburzeń obserwuje się natomiast w przypadku

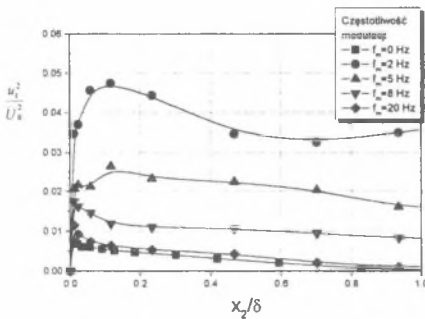


Rys.3. Profil prędkości średniej w warunkach ustalonego opływu powierzchni
 Fig. 3. Profiles of mean velocity in the conditions of steady flow along surface

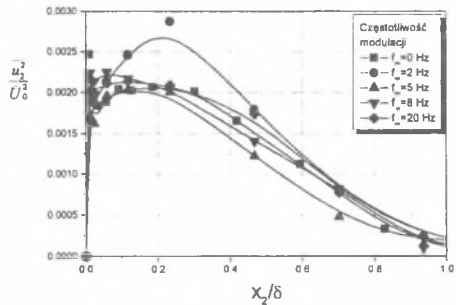


Rys.4. Wpływ generowanych oscylacji na rozkład średniej prędkości wzdłużnej w poprzecznym przekroju warstwy przyściennej
 Fig. 4. Influence of generated oscillations on the distributions of longitudinal mean velocity

wariancji wzdłużnej składowej fluktuacji prędkości. Jej przebiegi naniesione na rys.5 zawierają sumaryczną informację o intensywności fluktuacji wzdłużnych o zarówno losowym, jak i oscylacyjnym charakterze czasowej zmienności. Podkreślić przy tym należy, że ze względu na znikomą wartość fluktuacji losowych poza obszarem przyściennym,



Rys. 5. Profile składowej wzdłużnej fluktuacji prędkości dla modelowanej warstwy
 Fig. 5. Distribution of velocity fluctuations longitudinal components

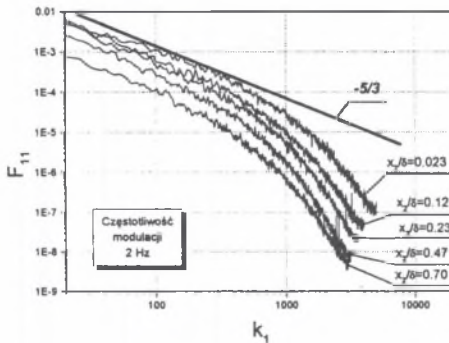


Rys. 6. Wariancja składowej poprzecznej fluktuacji prędkości dla badanej warstwy
 Fig. 6. Variance of transverse components of velocity fluctuation

ukazane na rys. 5 poziomy wariancji całkowitej na zewnątrz warstwy odpowiadają w przybliżeniu wariancji składowej oscylacyjnej dla poszczególnych częstotliwości f_m . Wykres ten dowodzi, że wygenerowane zjawisko porywistości wpływa na intensywność fluktuacji wzdłużnych w przepływie w warstwie, prowadząc do jej zwielokrotnienia w przypadku niskich częstotliwości zaburzeń. Stwierdzić można ponadto, że przy

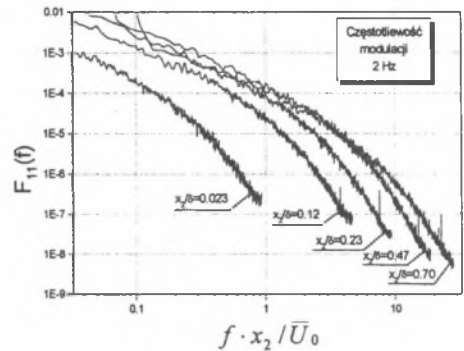
niskoczęstotliwościowych oddziaływaniach zewnętrznych strefa maksymalnej wariancji $\overline{u_1^2}$ oddala się od opływanej powierzchni. Wszelkie efekty wprowadzania zaburzeń zanikają ze wzrostem częstotliwości f_m , a przy $f_m=20$ Hz stają się praktycznie niedostrzegalne.

Wariancja $\overline{u_2^2}$ składowej poprzecznej fluktuacji prędkości przyjmuje w całym obszarze warstwy wartość o rząd niższą niż wariancja $\overline{u_1^2}$. Przedstawione na rys.6 rozkłady nie odbiegają wyraźnie kształtem od profilu odniesienia ($f_m=0$ Hz). Wyjątek stanowi przebieg uzyskany przy najniższej z generowanych częstotliwości podmuchów. Wyróżnia się on zwiększonym poziomem fluktuacji poprzecznych w wewnętrznym obszarze warstwy.



Rys. 7. Rozkłady funkcji spektralnej składowej wzdłużnej fluktuacji prędkości w różnych odległościach od opływanej powierzchni

Fig. 7. Spectral distributions of longitudinal fluctuations energy for different locations x_2/δ



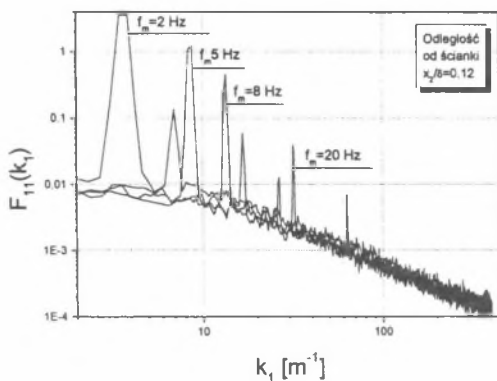
Rys. 8. Uniwersalne widma składowej wzdłużnej fluktuacji prędkości

Fig. 8. Universal energy spectrum of velocity fluctuation longitudinal components

Zachodzące w warunkach oscylacyjnego opłwu podłoża zmiany w wewnętrznej strukturze ruchu turbulentnego widoczne są na przedstawionych na kolejnych rysunkach rozkładach funkcji spektralnej wzdłużnej składowej fluktuacji prędkości. Wyrażone na rys.7 w funkcji liczby falowej widma odpowiadające różnym względnym odległościom od powierzchni terenu opływającego strumieniem oscylacyjnym z częstotliwością modulacji $f_m=2$ Hz wykazują uporządkowaną malejącą zależność od współrzędnej x_2/δ . Bardzo istotną cechą analizowanych tu funkcji spektralnych jest możliwość wyodrębnienia zakresów liczb falowych, w których kształt widma opisany jest prawem $(-5/3)$ obowiązującym w tzw. obszarze bezwładnościowym [2], gdzie transport energii turbulencji określany jest wyłącznie jej dyssypacją. W przypadku energii składowej wzdłużnej fluktuacji wyraża się to w postaci:

$$F_{11}(k_1) = \alpha_1 \epsilon^{2/3} k_1^{-5/3} \quad (3)$$

Eksperymentalna stała uniwersalna α_1 przyjmowana jest wg [9] na poziomie $\alpha=0.53$. Zestawiając naniesione na rys.7 przebiegi z linią $k^{-5/3}$ ukazującą pochylenie spektrum w obszarze bezwładnościowym stwierdzić można, że ze wzrostem odległości od podłoża następuje przesunięcie tego podobzaru w kierunku niższych liczb falowych, co dowodzi, że w dalszej odległości od ścianki stanowi lokalnej izotropii towarzyszą grubsze struktury wirowe.



Rys. 9. Wysokoenergetyczny zakres widm składowej wzdłużnej fluktuacji prędkości

Fig. 9. Effect of flow oscillations on high-level-energy range of spectral distributions

wysokoenergetyczny zakres widm uzyskanych w odległości $x_2/\delta=0.12$ od opływanej powierzchni dla różnych parametrów generowanych zaburzeń. Efekt symulowanych porywów wyraża się istnieniem pików energetycznych, których położenia pozostają w związku z częstotliwością wymuszanych oscylacji i kolejnymi jej harmonicznymi. Zwraca przy tym uwagę fakt, że widmo uzyskane przy niskich częstotliwościach zaburzeń wyróżnia się najwyższym zasobem energii, pozostałe krzywe formują wspólne pasmo stanowiące tło losowe dla energii oscylacji, której miarę stanowią wspomniane wyżej piki energetyczne.

W opisie wewnętrznej struktury turbulencji istotne znaczenie mają korelacje czasowe prędkości, umożliwiające ocenę czasu trwania korelacyjnej współzależności wirów występujących w badanym przepływie. Rozkłady znormalizowanej funkcji jednopunktowej

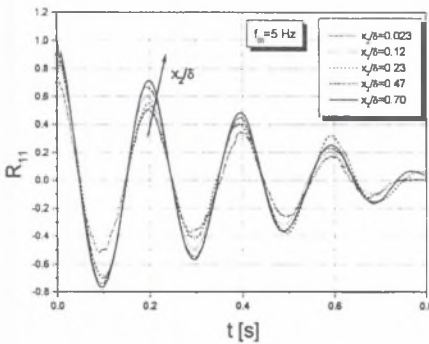
Inną formę prezentacji omówionych tu rozkładów widmowych stanowi rys.8, na którym wprowadzono współrzędną bezwymiarową dążąc do osiągnięcia dla szerokiego zakresu częstotliwości uniwersalnego charakteru krzywych. Ukazane na rys. 8 widma formują wspólny niezależny od odległości od podłoża przebieg dopiero w zewnętrznym obszarze warstwy.

Na rys.9 naniesione zostały rozkłady funkcji spektralnych w przedziale liczb falowych wyróżniającym

korelacji prędkości fluktuacyjnej u_1 przedstawiono na rys.10 w postaci współczynników autokorelacji

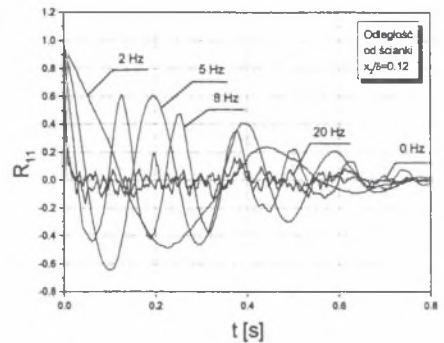
$$R_{11}(\tau) = \frac{\overline{u_1(t)u_1(t+\tau)}}{\overline{u_1^2}} \quad (4)$$

Poszczególne naniesione na rys.10 krzywe odpowiadają różnym odległościom od powierzchni opływanej strugą oscylacyjną o częstotliwości 5 Hz i mają przebiegi typowe dla autokorelogramów fluktuacji prędkości zawierających składową harmoniczną.



Rys. 10. Przebieg funkcji autokorelacji w różnych punktach przekroju warstwy ($x_2/\delta=\text{var}$)

Fig. 10. Course of auto-correlation function in different points of layer cross section ($x_2/\delta=\text{var}$)



Rys. 11. Wpływ generowanych oscylacji na przebieg funkcji autokorelacji ($f_m=\text{var}$)

Fig. 11. Auto-correlation function for different frequencies of external flow oscillations ($f_m=\text{var}$)

Poszczególne naniesione na rys.10 krzywe odpowiadają różnym odległościom od powierzchni opływanej strugą oscylacyjną o częstotliwości 5 Hz i mają przebiegi typowe dla autokorelogramów fluktuacji prędkości zawierających składową harmoniczną.

Z rozkładem znormalizowanej funkcji autokorelacji związane jest pojęcie mikroskali czasowej τ_{11} charakteryzującej najszybsze zmiany zachodzące w strukturze turbulencji. Metodyka wyznaczania tej wielkości, zgodnie z [2], opiera się na rozwinięciu znormalizowanej funkcji autokorelacji w szereg Taylora w otoczeniu punktu $\tau=0$ oraz aproksymacji jej dla małych wartości opóźnienia czasowego parabolą typu

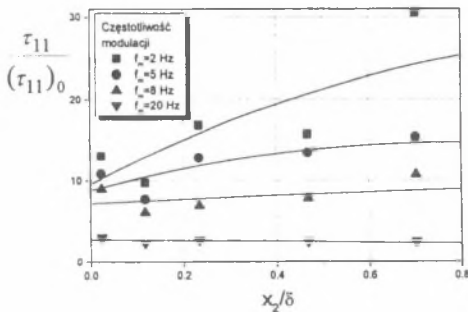
$$R_{11}(\tau) = 1 - \frac{\tau^2}{\tau_{11}^2} \quad (5)$$

Zawarte na rys.11 zestawienie funkcji autokorelacji uzyskanych na wysokości $x_2/\delta=0,12$ nad opływającą powierzchnią przy różnych częstotliwościach symulowanych podmuchów wiatrowych umożliwia jakościową, a także ilościową ocenę wpływu zewnętrznych oddziaływań periodycznych na wartość mikroskali czasowej τ_{11} . Kolejny rysunek (rys.12) ukazuje tę relację w postaci względnej informując o krotności zmian mikroskali czasowej w odniesieniu do jej wartości $(\tau_{11})_0$ odpowiadającej ustalonym warunkom opływu. Obecność w przepływie przyściennym okresowych zjawisk o niskiej częstotliwości powoduje kilkunastokrotne opóźnienie tempa zmian zachodzących w strukturze turbulencji badanej warstwy, a także prowadzi do narastania mikroskali czasowej w funkcji odległości od podłoża. Wzrost częstotliwości generowanych zaburzeń stopniowo łagodzi te efekty, aż do ich praktycznego zaniku przy $f_m > 20$ Hz.

Mikroskala czasowa stanowić może podstawę wyznaczenia przeciętnego rozmiaru najmniejszych wirów występujących w danym przepływie, wyrażonego poprzez mikroskalę liniową λ_{11} . Związek mikroskal liniowej i czasowej opiera się na hipotezie o „zamrożonym” charakterze struktur wirowych, na mocy której zapisać można

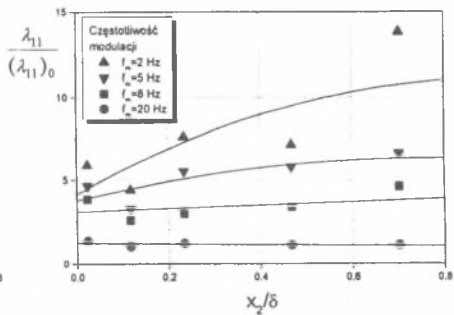
$$\lambda_{11} = \bar{U}_1 \tau_{11} \tag{6}$$

Podobnie jak w przypadku mikroskali czasowej, również liniowy parametr struktury turbulencji pozostaje pod silnym wpływem niskoczęstotliwościowych oddziaływań na przepływ w warstwie (rys.13). Rozmiary najmniejszych wirów zwiększają się w tych warunkach kilkakrotnie, przy jednoczesnym narastaniu w poprzek warstwy. Skutki generowanych porywów stają się coraz mniej wyraźne ze wzrostem częstotliwości f_m .



Rys. 12. Wpływ częstotliwości modulacji i odległości od podłoża na mikroskalę czasową

Fig. 12. Influence of modulation frequency on transverse distributions of time micro-scale



Rys. 13. Względna mikroskala liniowa dla różnych częstotliwości modulacji i odległości od podłoża

Fig. 13. Variation of normalised length micro-scale in boundary layer cross section for different values of frequency f_m

Zaprezentowane w pracy wyniki dostarczają danych niezbędnych do określenia dyssypacji kinetycznej energii turbulencji przy użyciu metody, której podstawą jest spełnienie warunku istnienia lokalnej izotropii. Lokalna izotropia ujawnia się w przepływie wówczas, gdy w spektrum kinetycznej energii turbulencji wyodrębniony zostaje wyraźnie obszar bezwładnościowy opisany prawem $(-5/3)$. Na podstawie omawianych wcześniej rezultatów (rys.7) przyjąć można, że w analizowanym tu rodzaju przepływu powyższe kryterium zostaje spełnione. Koniecznym warunkiem ilościowym istnienia lokalnej izotropii jest również dostatecznie duża wartość turbulentnej liczby Reynoldsa

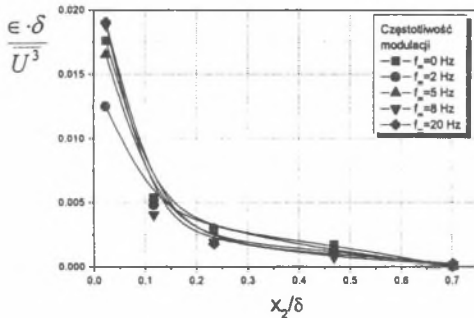
$$Re_\lambda = \frac{\sqrt{u_1^2} \lambda_1}{\nu}, \quad (7)$$

gwarantująca, że obszary wirów energetycznych i dyssypacyjnych nie zachodzą na siebie. Przeprowadzone w ramach niniejszej pracy oszacowanie wykazało, że w objętych programem badań warunkach eksperymentu liczba Re_λ przekracza kryterialną wartość $Re_\lambda \geq 100$. Możliwe było zatem wykorzystanie zależności (3) do wyznaczenia dyssypacji kinetycznej energii turbulencji oraz określenie tendencji zmian, jakim podlega ten składnik procesu transportu energii pod wpływem generowanych oscylacyjnych zaburzeń opływu powierzchni. Wyniki znormalizowane, zgodnie z przyjmowanymi w literaturze zasadami prezentacji bilansu energii kinetycznej turbulencji w warstwie przyściennej, przedstawia rys.14. Układ punktów pomiarowych wskazuje na brak istotnego wpływu generowanych oscylacji na poziom procesów dyssypacyjnych w przepływie przyściennym, których maksymalna intensywność koncentruje się w obszarze wewnętrznym warstwy.

PODSUMOWANIE

Przedstawione tu dane eksperymentalne potwierdzają fakt, że w procesie fizykalnego modelowania atmosferycznej warstwy przyziemnej istotne jest odwzorowanie cech niestacjonarności ruchów wiatrowych, ze szczególnym uwzględnieniem zachodzących w przepływie zjawisk okresowych.

Jako model atmosferycznej strefy przyziemnej przyjmuje się często warstwę uformowaną w warunkach ustalonego opływu podłoża. Jak wykazały niniejsze badania, odbiega ona swą strukturą od przepływu przyściennego, w którym generowane są oscylacje symulujące periodyczność ruchów wiatrowych.



Rys. 14. Znormalizowane wartości dyssypacji kinetycznej energii turbulencji w zaburzonej periodycznie warstwie przyziemnej

Fig. 14. Effect of flow oscillations on normalised dissipation rate across turbulent boundary layer

między okresowością ruchów wiatrowych a procesami transportu energii w przyziemnej strefie atmosferycznej.

Różnice te dotyczą profili wariacji fluktuacji prędkości, czasowych i liniowych skal turbulencji oraz rozkładów widmowych. Mimo że nie stwierdzono wpływu symulowanych zjawisk okresowych na procesy dyssypatywne w warstwie, spodziewać się można, że na oddziaływanie to są czułe pozostałe człony bilansu energii wyrażające dyfuzję czy też produkcję. Stąd zamierzenia kontynuacji tych badań w celu uchwycenia relacji

Wykaz oznaczeń:

U_0 - średnia prędkość wzdłużna na granicy warstwy

\bar{U}_1 - lokalna średnia prędkość wzdłużna

u_1, u_2 - składowe fluktuacji prędkości w kierunku wzdłużnym i poprzecznym

f_m - częstotliwość modulacji

x_2 - współrzędna prostopadła do opływanej powierzchni

δ - grubość modelowanej warstwy

ν - współczynnik lepkości kinematycznej

Z_{ot} - aerodynamiczna chropowatość w warunkach modelowych

Badania zrealizowano w ramach zadań działalności statutowej BS-03-301/99 finansowanej ze środków KBN.

LITERATURA

1. Bienkiewicz B.: New tools in wind engineering, J. Wind Eng.Ind.Aerodyn. 65 (1996) 279-300.
2. Elsner J.W.: Turbulencja przepływów PWN, Warszawa 1987.

3. Jarża.A.: Aktualne zagadnienia aerodynamiki atmosferycznej warstwy przyściennej. Mat. XIII Kraj. Konf. Mechaniki Płynów, Częstochowa 1998, t.3, 225-248.
4. Jarża A., Tarnowski T.: Turbulent flow around circular cylinder in oscillatory inlet conditions, przyjęto do druku w TRANSACTIONS of IFFM.
5. Kobayashi H., Hatanaka A.: Active generation of wind gust in a two-dimensional wind tunnel, J. Wind Eng. Ind.Aerodyn., 41/44 (1992), 959.
6. Moryń-Kucharczyk E., Podolski M.: Generowanie niestacjonarności w modelowanych badaniach atmosferycznej warstwy przyziemnej, Mat..XIII Kraj. Konf. Mechaniki Płynów, Częstochowa 1998, t.1, 63-68.
7. Ostrowski J., Litwińczyk M., Skrzyński S., Wojciechowski J.: Badania tunelowe dyfuzji turbulentnej zanieczyszczeń gazowych w opływie przeszkód terenowych, Mat.V Symp. Zast. Mech. Płynów w Inżynierii Środowiska, Gliwice 1997.
8. Raport wewnętrzny IMC: Termoaerodynamika i metrologia niestacjonarnych procesów przepływowych, MC-1/9/96, Częstochowa 1996.
9. Simiu S., Scanlan R.H.: Wind effects on structures. An introduction to wind engineering, John Willey & Sons, New York 1984.
10. Tielman H.W., Reinhold T.M., Hajj M.R.: Importance of turbulence for the prediction of surface pressures on low-rise structures, J.Wind Eng.Ind. Aerodyn. 69-71 (1997), 579-528.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Gumuła

Abstract

The main aim of the present experimental investigations was to reveal the effects of unsteady conditions, simulating the wind gusts, on velocity field structure of modelled atmospheric boundary layer.

The results discussed have included the longitudinal and transverse mean and fluctuation velocity components, spectral and time-correlation function, with special attention to the turbulence scales.

The particular emphases has also been placed on dissipative phenomena being one of the most important elements of energy transport process in atmospheric boundary layer.

It has been found that taking into account the unsteady periodical events is of great importance to physical modelling of atmospheric boundary layer. The periodical flow-field component changes all the characteristics of turbulent boundary layer formed in steady conditions, assumed, so far, as the pattern of atmospheric wind layer.