

ANALIZA ROZKŁADU CIŚNIENIA NA POWIERZCHNI PROSTOPADŁOŚCIANU W ZALEŻNOŚCI OD KĄTA NATARCIA WIATRU I STRUKTURY WIATRU

Tomasz LIPECKI*, Jarosław BĘC**, Ewa BŁAZIK-BOROWA***, Jacek SZULEJ****

* Politechnika Lubelska, Katedra Mechaniki Budowli
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: t.lipecki@pollub.pl
** Politechnika Lubelska, Katedra Mechaniki Budowli
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: j.bec@pollub.pl
*** Politechnika Lubelska, Katedra Mechaniki Budowli
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: e.blazik@pollub.pl
**** Politechnika Lubelska, Katedra Mechaniki Budowli
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: j.szulej@pollub.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki pomiarów rozkładu ciśnienia na powierzchni prostopadłościanu przy sześciu rodzajach napływów oraz siedmiu kątach natarcia wiatru. Przeprowadzono analizę wpływu wymienionych parametrów na efekt działania wiatru na budowle o takim kształcie.

Słowa kluczowe: tunel aerodynamiczny, rozkład ciśnienia, skaner ciśnienia, gęstość widmowa mocy, profil wiatru.

1. WSTĘP

Dzięki nowoczesnym technologiom budynki są coraz wyższe oraz smuklejsze. Powoduje to, że obciążenie wiatrem, zarówno statyczne jak i dynamiczne, dla takich budowli jest ważnym czynnikiem, który należy uwzględnić w procesie projektowania (por. [3]). W pracy został przedstawiony wpływ struktury wiatru, reprezentowanej przez kształt pionowych profilów średniej prędkości i intensywności turbulencji oraz gęstości widmowej mocy, na rozkład ciśnienia na powierzchni modelu budynku czyli na powierzchni prostopadłościanu. Drugim analizowanym czynnikiem, mającym wpływ na rozkład ciśnienia, jest kąt natarcia wiatru. Pomiary rozkładu ciśnienia wykonano w tunelu aerodynamicznym z warstwą przyścienną Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej. Opływ wiatru wokół konstrukcji prostopadłościennych jest dość szeroko dyskutowany w literaturze. Ostatnie badania na ten temat zostały opisane m.in. w takich pracach jak [1, 2, 4, 5, 6, 7]. Brak jest jednak w przedstawianych badaniach

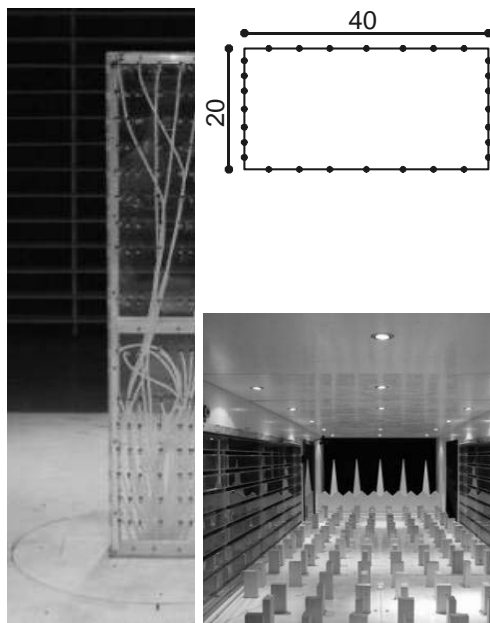
powiązania opływu wokół prostopadłościanu z gęstością widmową mocy, napływającego powietrza.

2. OPIS BADAŃ

Modele prostopadłościanów zostały ustawione pionowo w sekcji pomiarowej tunelu. Pomiarów dokonano na pięciu modelach o charakterystykach geometrycznych zestawionych w tab. 1, w której wprowadzono następujące oznaczenia: H – wysokość modelu, B – szerokość, D – głębokość. Czujniki ciśnienia zlokalizowano na obwodzie modelu na 16 poziomach (por. rys. 1). W trakcie eksperymentów zmieniano kąt natarcia β wiatru poprzez obrót modelu od 0° (kierunek prostopadły do dłuższego boku) do 90° (kierunek prostopadły do krótszego boku), co 15° . Na rys. 1 pokazano model prostopadłościanu ustawiony na stole obrotowym w tunelu, widok tunelu z elementami turbulizującymi oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych na obwodzie.

Tabela 1. Dane geometryczne modeli.
Table 1. Geometric characteristics of the models.

Model	H [cm]	B [cm]	D [cm]	H/B	B/D
P1	100	40	20	2.5	2
P2	100	40	10	2.5	4
P3	100	20	10	5	2
P4	100	20	5	5	4
P5	100	10	5	10	2



Rys. 1. Model i przestrzeń pomiarowa w tunelu.
Fig. 1. The model and the test section of the wind tunnel.

W pomiarach uwzględniono sześć różnych profili wiatru, które wraz z odpowiadającymi im funkcjami intensywności turbulencji oraz wykresem funkcji gęstości widmowej mocy na wysokości 51 cm pokazano na rys. 2.

3. WYNIKI BADAŃ

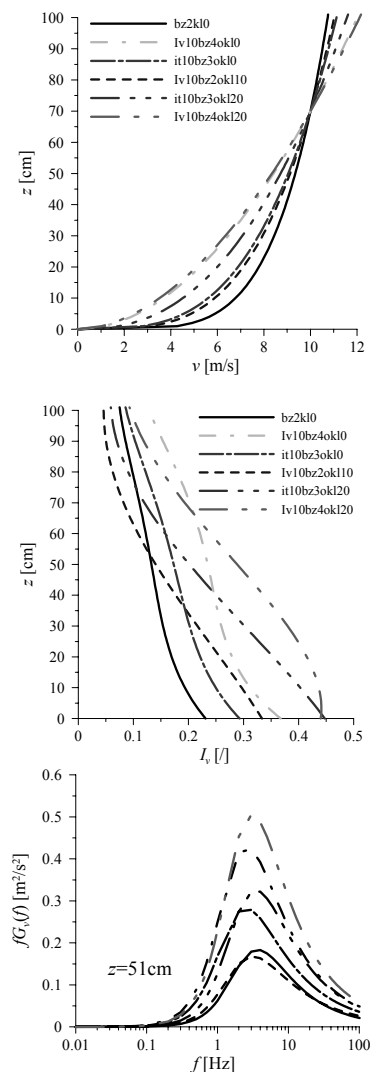
W niniejszej pracy przedstawiono przykładowe wyniki badań dotyczące modelu prostopadłościanu P2 ($H = 100$ cm, $B = 40$ cm, $D = 10$ cm).

Wartości średniego ciśnienia określone zostały w każdym z punktów pomiarowych na podstawie uśrednionych wartości z 6000 kroków czasowych o długości 0,005 s, a więc w czasie 30 s. W badaniach wykorzystano osiem skanerów ciśnień, z których każdy umożliwiał jednoczesny pomiar ciśnienia w 8 punktach. Punkty pomiarowe zlokalizowane na powierzchni modelu podłączono do skanerów za pomocą rurek silikonowych. Wykorzystane skanery ciśnień służą do pomiaru ciśnień różnicowych typu równoległego i bazują na piezorezystywnych sensorach ciśnienia Motorola MPX2010. Analogowe sygnały napięciowe ze skanera ciśnień archiwizowano z wykorzystaniem systemu Iotech DaqBook 2005, obsługiwanego przez oprogramowanie IotechDaqView.

Współczynniki ciśnienia zostały znormalizowane za pomocą ciśnienia referencyjnego, które pomierzono w obszarze przepływu niezaburzonego przed modelem, na wysokości 70 cm. Współczynnik średniego ciśnienia został obliczony zgodnie z równaniem:

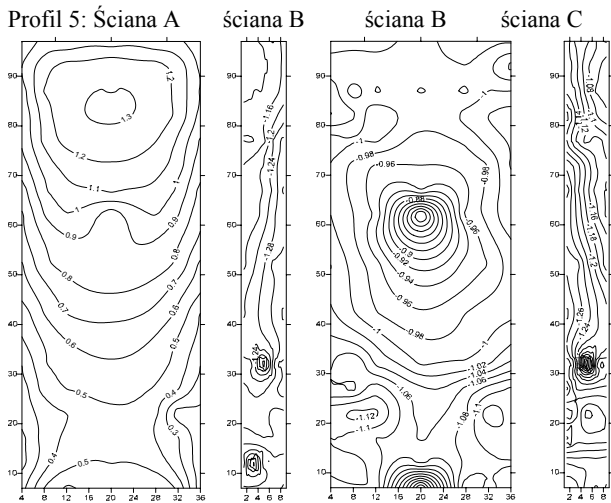
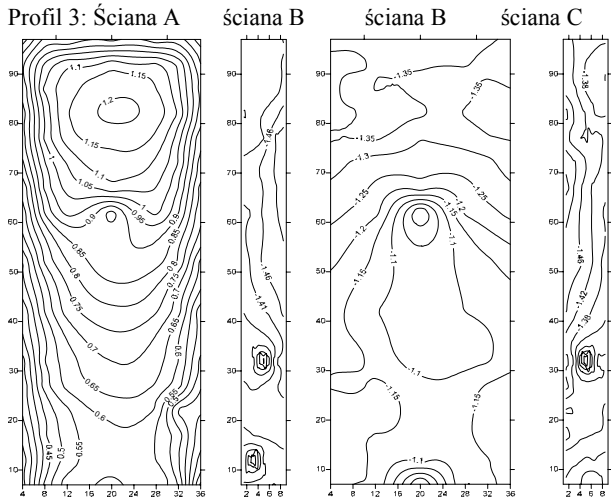
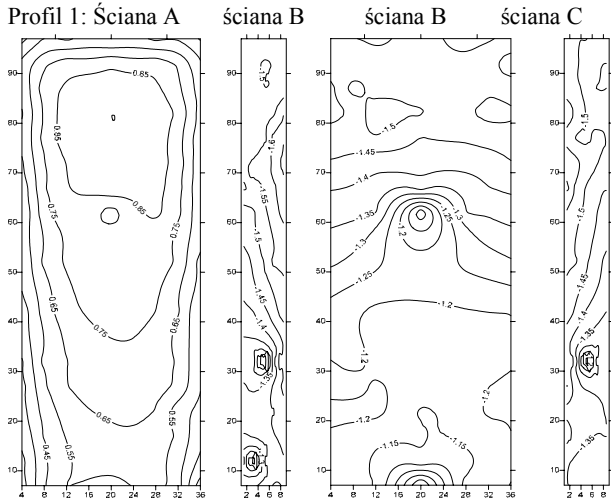
$$C_p = \frac{p}{\frac{1}{2} \rho v_0^2}, \quad (1)$$

w którym: p – średnie ciśnienie w punkcie pomiarowym, ρ – gęstość powietrza, v_0 – prędkość wiatru w przepływie niezaburzonym, na wysokości 70 cm.

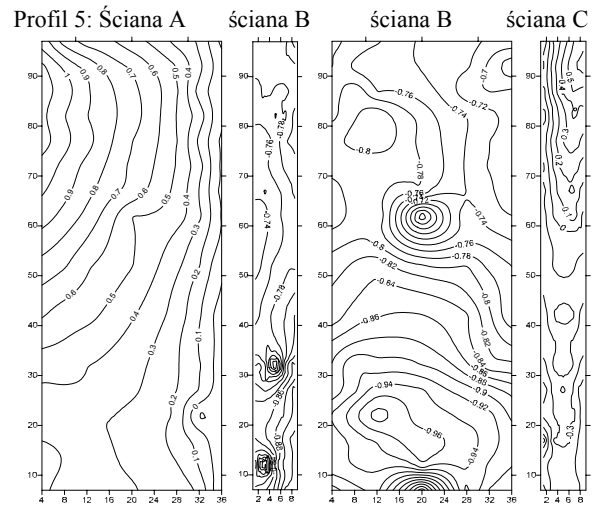
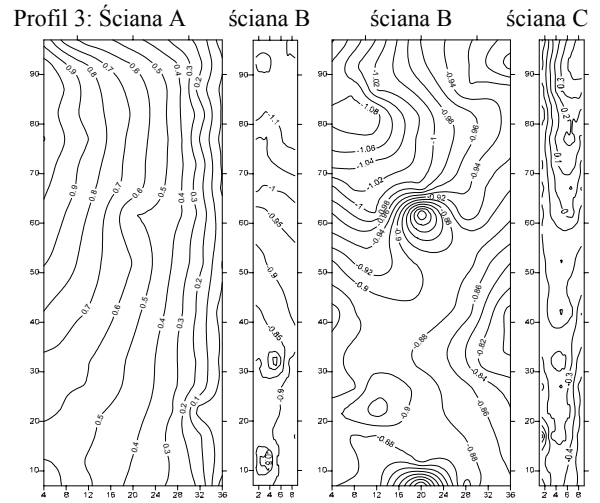
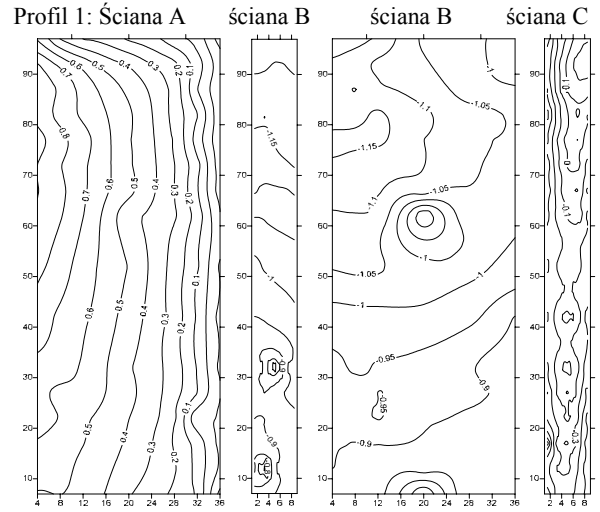


Rys. 2. Profile średniej prędkości wiatru i intensywności turbulencji oraz gęstości widmowej mocy.
Fig. 2. Mean wind speed and turbulence intensity profiles and power spectral density functions.

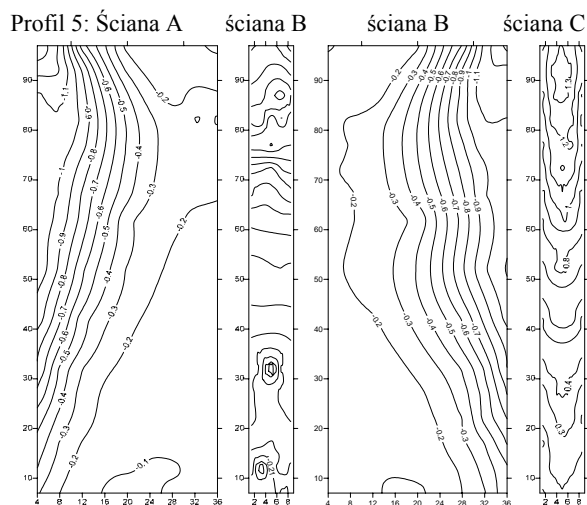
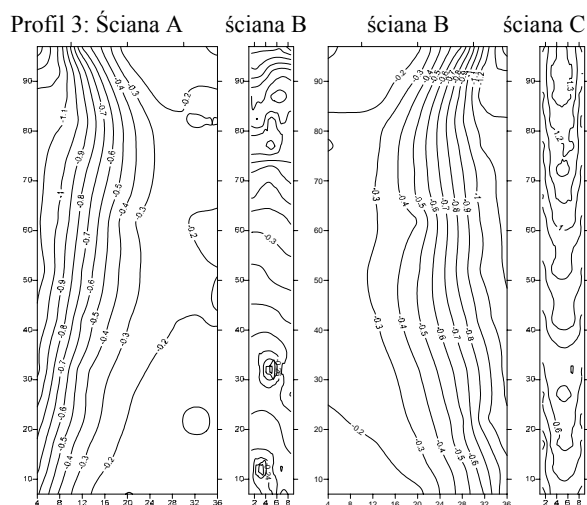
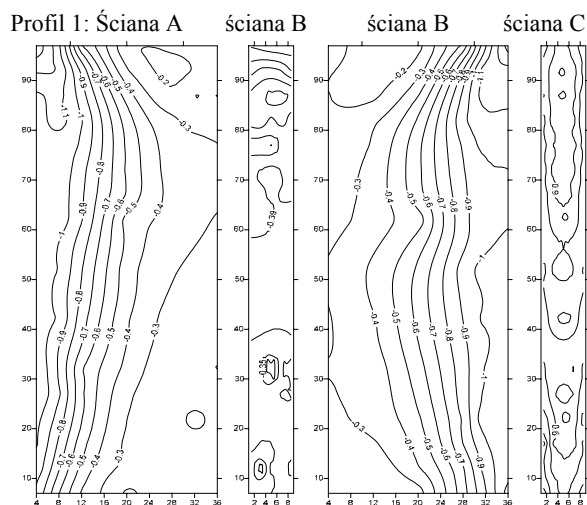
Na rys. 3, rys. 4 i rys.5 przedstawiono rozkłady współczynników średniego ciśnienia na powierzchniach modelu przy trzech wybranych profilach, tzn. profilu 1, 3 i 5, oraz przy kątach natarcia wiatru: kąty 0° , 45° , 90° . Rozkłady obwodowe w kilku wybranych przekrojach poprzecznych prostopadłościanu dla wszystkich przypadków napływającego powietrza oraz trzech kątów natarcia wiatru przedstawiono na rys. 6, rys.7 i rys.8



Rys. 3. Przestrzenny rozkład współczynnika średniego ciśnienia przy $\beta=0^\circ$.
 Fig. 3. The spatial distribution of the mean pressure coefficient at $\beta=0^\circ$.



Rys. 4. Przestrzenny rozkład współczynnika średniego ciśnienia przy $\beta=45^\circ$.
 Fig. 4. The spatial distribution of the mean pressure coefficient at $\beta=45^\circ$.



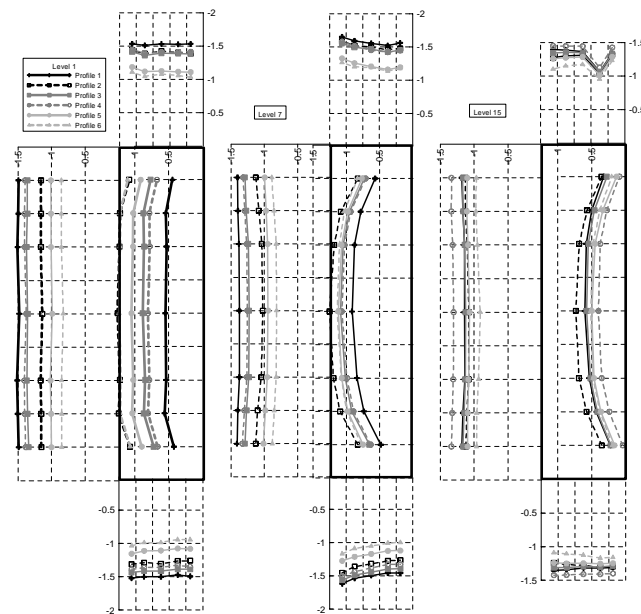
Rys. 5. Przestrzenny rozkład współczynnika średniego ciśnienia przy $\beta=90^\circ$.

Fig. 5. The spatial distribution of mean pressure coefficient at $\beta=90^\circ$.

4. ANALIZA WYNIKÓW

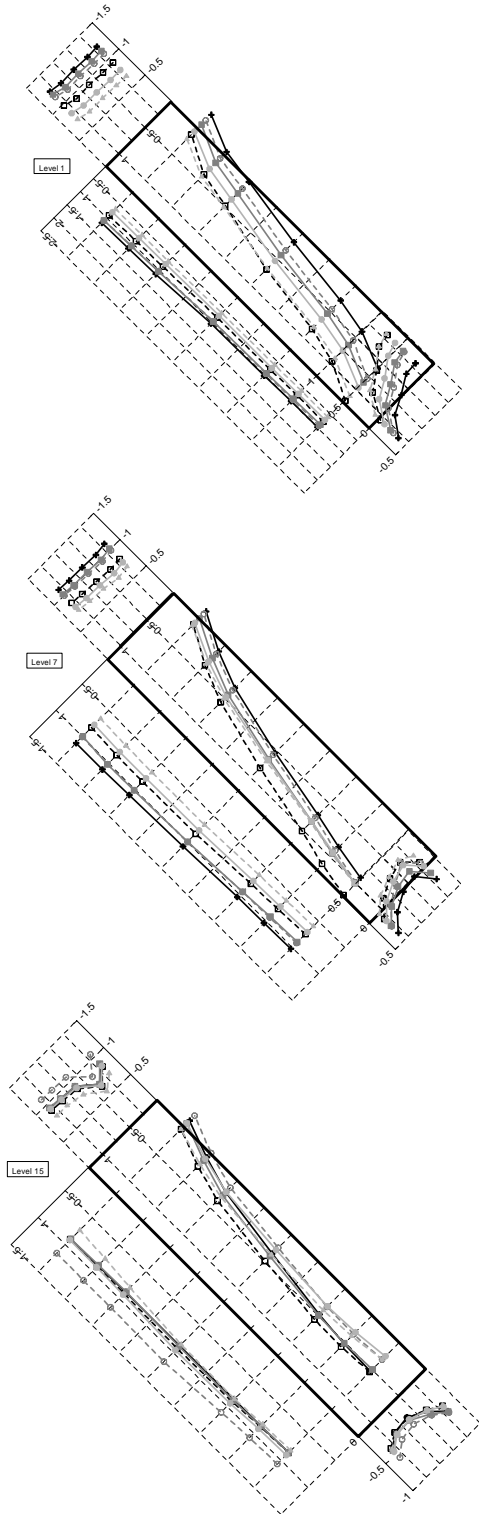
Na podstawie rys. 3÷9 można stwierdzić, że struktura wiatru ma znaczny wpływ na rozkład ciśnienia. Na rys. 9 pokazano zmiany wartości średniego współczynnika ciśnienia dla punktów środkowych każdej ze ścian przy kątach napływu wiatru 0° i 90° .

Różnice pomiędzy współczynnikami C_p w zależności od rodzaju napływu są lepiej widoczne na wyższych poziomach. Porównując rozkład współczynnika ciśnienia C_p z profilami wiatru można stwierdzić między nimi dość dobrą zgodność. Na przykład na rys.9 widać, że przy napływie na ścianę dłuższą czyli przy kącie natarcia 0° kolejność profili ciśnienia jest taka sama jak kolejności profili prędkości na rys.2. Zmiany średniego współczynnika ciśnienia dla kąta napływu równego 90° (a więc na ścianę krótszą D) w odniesieniu do ścian bocznych (odpowiednio B i D oraz A i C) mają charakter dość znacząco różniący się niż dla kąta 0° (napływ na ścianę dłuższą A).

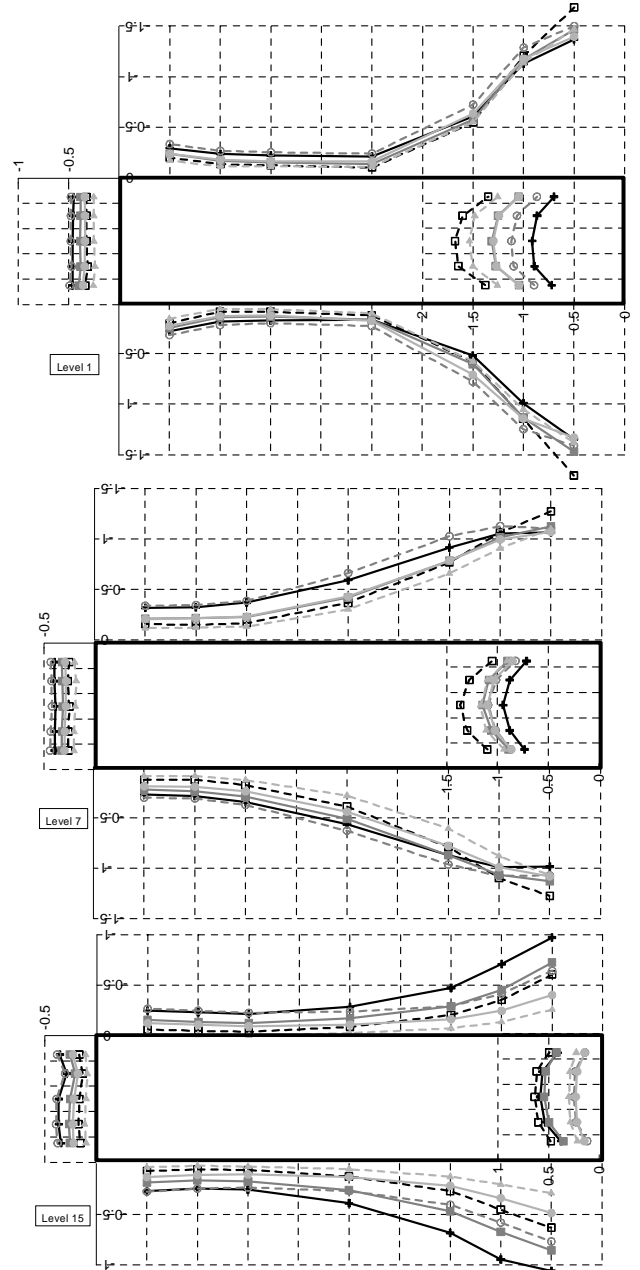


Rys. 6. Rozkład średniego współczynnika ciśnienia przy kącie natarcia $\beta=0^\circ$ w sześciu przypadkach napływu powietrza.

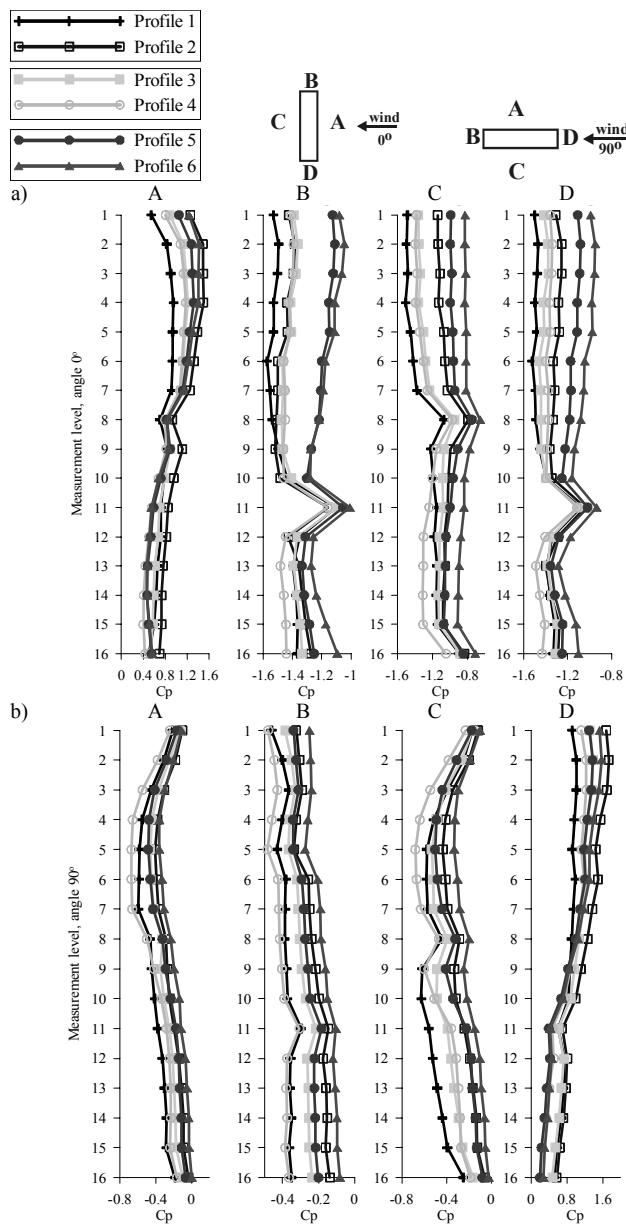
Fig. 6. The distributions of mean pressure coefficients for the angle of wind attack $\beta=0^\circ$ for six cases of inflow.



Rys. 7. Rozkład średniego współczynnika ciśnienia przy kącie natarcia $\beta=45^\circ$ w sześciu przypadkach napływu powietrza.
 Fig. 7. The distributions of mean pressure coefficients for the angle of wind attack $\beta=45^\circ$ for six cases of inflow.



Rys. 8. Rozkład średniego współczynnika ciśnienia przy kącie natarcia $\beta=90^\circ$ w sześciu przypadkach napływu powietrza.
 Fig. 8. The distributions of mean pressure coefficients for the angle of wind attack $\beta=90^\circ$ for six cases of inflow.



Rys. 9. Pionowe profile średniego współczynnika ciśnienia w środkach ścian modelu przy kątach napływu: a) 0° ; b) 90° .
 Fig. 9. Vertical profiles of mean pressure coefficients in the middle lines of the model walls at the inflow angle: a) 0° ; b) 90° .

5. WNIOSKI

Struktura wiatru ma znaczny wpływ na rozkład ciśnienia. Od strony nawietrznej można zauważyć zależność pomiędzy wartościami ciśnienia oraz wartościami gęstości widmowych mocy w zakresie do 2 Hz. Na pozostałych ścianach zależność ta jest mniej widoczna, ponieważ na rozkład ciśnienia mają także wpływ zaburzenia wywołane wierzchołkiem modelu i jego narożami.

Poza tym można zauważyć, że przy napływie z kątem natarcia $\beta=0^\circ$ różnice pomiędzy rozkładami ciśnienia na ścianach nawietrznych przy różnych strukturach przepływu są mniejsze niż przy napływie z kątem $\beta=90^\circ$. Na pozostałych ścianach jest odwrotnie, tzn. największe różnice w rozkładach ciśnień widoczne są przy kącie natarcia $\beta=0^\circ$.

THE ANALYSIS OF PRESSURE DISTRIBUTION ON THE RECTANGULAR CYLINDER WITH REGARD TO THE WIND ATTACK ANGLES AND TO THE WIND STRUCTURES

Summary: The measurement results of the pressure distribution on the rectangular cylinder for six structures of the flow and seven angles of wind attack are presented in the paper. The authors have carried out the influence analysis of the flow parameters on the wind action on the buildings.

Literatura

- [1] Butler K., Cao S., Kareem A., Tamura Y., Ozono S. *Surface pressure and wind load characteristics on prisms immersed in a simulated gust front flow field*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 98 (2010) 299-316
- [2] Cheng C.M., Tsai M.S. *Along-wind design wind load for tall buildings (I): results of wind tunnel tests*. GCOE Program, 2009 1-29
- [3] Flaga A. *Inżynieria wiatrowa, Podstawy i zastosowania*, Arkady, Warszawa, 2008
- [4] Huang G., Chen X. *Wind load effects and equivalent static wind loads of tall buildings based on synchronous pressure measurements*. Engineering Structures 29 (2007) 2641-2653
- [5] Liang S., Li Q.S., Liu S., Zhang L., Gu M. *Torsional dynamic wind loads on rectangular tall buildings*. Engineering Structures 26 (2004) 129-137
- [6] Lin N., Letchford C., Tamura Y., Lang B., Nakamura O. *Characteristics of wind forces acting on tall buildings*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 93 (2005) 217-242
- [7] Tamura Y., Kikuchi H., Hibi K. *Peak normal stresses and effects of wind direction on wind load combinations for medium-rise buildings*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96 (2008) 1043-1057