

ANALIZA NUMERYCZNA INTERAKCJI OPŁYWU POMIĘDZY GRUPAMI BUDYNKÓW O RÓŻNYCH WYSOKOŚCIACH

Janusz PIECHNA*, Sylwester TUDRUJ, Konrad KAMIENIECKI, Robert JÓŹWIAK

*Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej
Warszawa ul. Nowowiejska 24, e-mail: jpie@meil.pw.edu.pl*

Streszczenie: Praktycznie powstająca zabudowa jest często przypadkową mieszaniną budynków o różnych wysokościach. W pracy przedstawiono wyniki symulacji opływu rzeczywistej konfiguracji budynków dużych i małych tworzących skomplikowaną strukturę przepływu zależną od kierunku wiatru. Wykorzystując różne techniki wizualizacji starano się przedstawić cechy przepływu wyjaśniające stosunkowo niewielki wpływ zabudowy małych budynków na straty strumienia energii wiatru i zrozumieć mechanizmy przepływu je powodujące.

Słowa kluczowe: symulacje CFD, interakcja przepływu, mieszana zabudowa

1. WPROWADZENIE

Interakcja przepływu pomiędzy budynkami jest jednym z najbardziej interesujących problemów aerodynamiki budowli. Problem ten jest zwykle analizowany dla regularnego rozkładu rozważanych konfiguracji budynków. Przegląd literatury związanej z tym problemem można znaleźć w [1]. Numeryczne badania tych zjawisk zapoczątkowały prace [2]. Pierwsze analizy opływu wysokich budynków przedstawiono w pracy [3]. Analizę wpływu modeli turbulencji można znaleźć w [4].

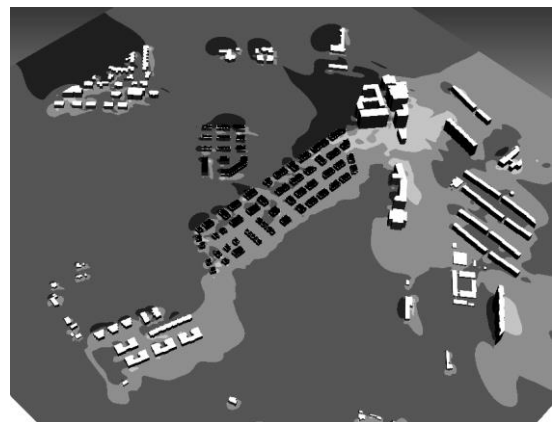
W dobie rozwoju prywatnego budownictwa pojawiają się sytuacje w których poszczególne inwestycje nie są wpisywane w bardziej ogólny plan zabudowy. Nie dobiera się wysokości i położenia budynków, tak by zachować jakies sensowne warunki opływu całości i przepływów pomiędzy budynkami [5]. Pojawiają się konfiguracje, w których grupy budynków niskich bezpośrednio sąsiadują z budynkami wysokimi (rys.1, rys. 2).

W ramach prac związanych z oceną komfortu wiatrowego nowo budowanego osiedla wykonano symulacje numeryczne opływu budynków osiedla i jego otoczenia.

Analizowany układ budynków zawiera grupy budynków niskich i wysokich. Zauważono istotne różnice w wartościach względnych zmian strat strumienia energii wiatru w zależności od kierunku wiatru. Podjęto próbę wyjaśnienia fizycznych podstaw tego zjawiska. Przy pomocy symulacji starano się znaleźć odpowiedzi na pytania jakie są mechanizmy współdziaływania przepływów pomiędzy budynkami. Przy wykorzystaniu różnych technik wizualizacji wyników obliczeń numerycznych starano się zidentyfikować strefy przepływu odpowiedzialne za wzrost lub obniżenie oporów aerodynamicznych analizowanej zabudowy.

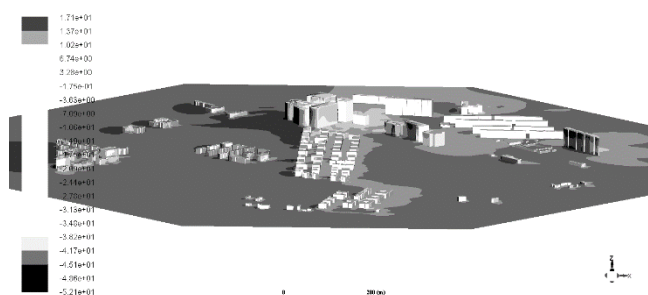
2. GEOMETRIA BUDYNKÓW

Na rys.1 przedstawiono analizowany obszar w widoku z góry dla uwidocznienia wzajemnego położenia budynków osiedla. Na rys. 2 pokazano wygląd osiedla w perspektywie, dla ukazania i podkreślenia różnic wysokości budynków występujących w zabudowie



Rys. 1. Rozmieszczenie budynków w analizowanym obszarze.
Fig. 1. Distribution of buildings in analysed area.

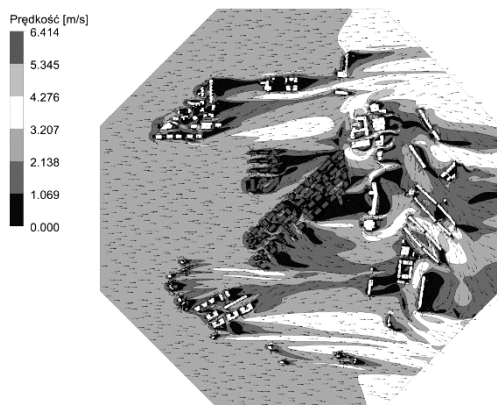
* Autor korespondencyjny, e-mail: jpie@meil.pw.edu.pl



Rys. 2. Widok budynków w perspektywie.
Fig. 2. Perspective view of the buildings

3. METODYKA OBLICZEŃ

Do wykonania obliczeń użyto komercyjnego pakietu ANSYS-Fluent. Wykorzystuje on metodę objętości skończonych do rozwiązywania równań Naviera-Stokesa w obszarach o złożonej geometrii umożliwiając obliczenia przepływów turbulentnych. Przyjęto w tym przypadku, iż obszar obliczeniowy ma formę bryły o ośmiokątnej podstawie. Widok obszaru obliczeniowego w ujęciu z góry pokazano na rys. 3. Obszar obliczeniowy miał maksymalną szerokość 1500 m i wysokość 225 m wynikającą z maksymalnej wysokości budynków w tym obszarze. Zawierał około 11.5 mln głównie sześciennych komórek obliczeniowych, rozłożonych w sposób nierównomierny.



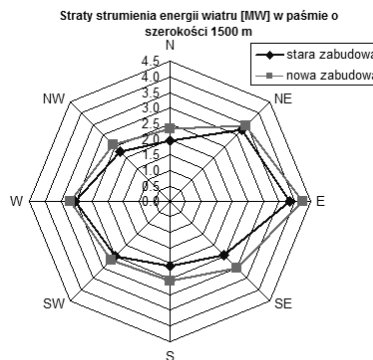
Rys. 3. Kształt obszaru obliczeniowego.
Fig. 3. The shape of computational domain.

W omawianej pracy zastosowano model płynu nieściśliwego, lepkiego, z wykorzystaniem modelu turbulencji Spalarta-Almarasa. Model ten został wybrany z powodu występowania w analizowanym przepływie dobrze określonych linii oderwania przepływu i silnych struktur wirowych. Model ten, ma w swojej strukturze, zaimplementowane dwa użyteczne w tym przypadku mechanizmy. Jeden uwzględniający wpływ odległości środka komórek granicznych od ścianek, na obliczany poziom lepkości turbulentnej i drugi, redukujący produkcję

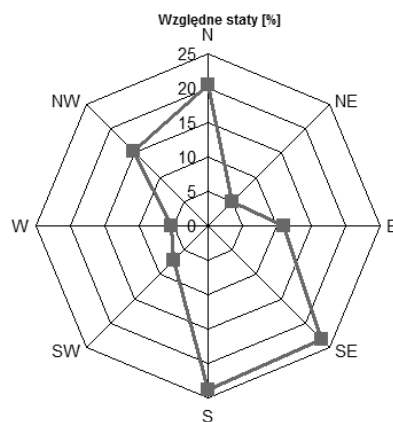
turbulencji w rdzeniach struktur wirowych. Na wlotowych granicach obszaru obliczeniowego przyjmowano zarówno rozkład prędkości wiatru jak i poziomy turbulencji zgodne z występującymi w warstwie przyziemnej. Na bokach równoległych do kierunku wiatru przyjmowano warunki symetrii, a na wylocie z obszaru obliczeniowego stałą wartość ciśnienia. Straty energii wiatru obliczono w oparciu o obliczone siły normalne i styczne działające na podłoże i ściany budynków.

4. WYNIKI OBLICZEŃ STRAT ENERGII WIATRU

Wykonano obliczenia oporów aerodynamicznych budynków w dwóch konfiguracjach. Jako układ odniesienia przyjęto geometrię bez budynków w środku obszaru (brak budynków wyróżnionych kolorem fioletowym na rys. 3). Wykonano kolejne obliczenia dla pełnego zestawu budynków pokazanego na rys. 1, rys. 2, rys. 3. Obliczono straty energii strumienia wiatru. Na rys. 4 pokazano bezwzględne wartości strat, a na rys. 5 względne straty spowodowane obecnością grupy małych budynków w środku analizowanego obszaru.



Rys. 4. Bezwzględne straty energii wiatru.
Fig. 4. Total wind energy losses.



Rys. 5. Względne straty energii wiatru.
Fig. 5. Relative wind energy losses.

Rozważając zmiany względnych strat energii wiatru i porównując je z układem budynków i kierunkiem wiatru, można zauważyć małe wartości tych strat w sytuacji gdy małe budynki znajdują się w osi wiatru przed lub za budynkami wysokimi. Podjęto próbę wyjaśnienia fizycznych podstaw tego zjawiska.

5. WIZUALIZACJE WYNIKÓW OBLICZEŃ

Wydaje się iż przyczyną redukcji strat energii wiatru jest skomplikowana interakcja przepływu pomiędzy budynkami. Interakcje takie można analizować przez wizualizację niektórych parametrów przepływu. Interesujący jest problem związany z oddziaływaniem opływu małych i dużych budynków na budynki w sąsiedztwie. Analizując straty strumienia energii wiatru dla poszczególnych kierunków działania wiatru można zauważyć iż w kilku kierunkach straty tej energii są małe. Dlaczego? Oczywistym wydaje się osłanianie lub zasłanianie budynków małych przez budynki duże. Sytuacja odwrotna nie jest już taka oczywista. By poszukać fizycznego uzasadnienia takiego stanu rzeczy skoncentrowano uwagę na trzech kierunkach wiatru: zachodnim, północno-wschodnim i południowo-zachodnim. Wykonano wizualizacje rozwiązań numerycznych dla ukazania zmian struktury przepływu spowodowanych pojawieniem się nowych niskich budynków osiedla.

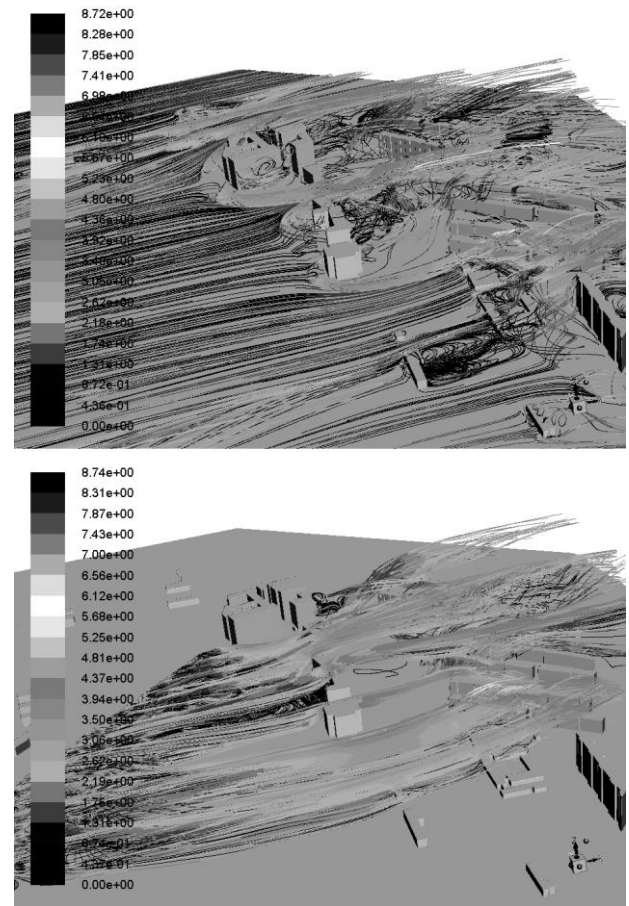
5.1. Kierunek wiatru zachodni W

Przy wietrze zachodnim niskie budynki mogą częściowo osłaniać budynki wysokie. Na rys. 6 pokazano przebiegi linii prądu rozpoczynających się w pobliżu ziemi w konfiguracji, w której przed dużymi budynkami nie ma zabudowy (konfiguracja referencyjna) oraz przebiegi linii prądu rozpoczynających się na niskich budynkach dobudowanych przed budynkami wysokimi.

Nowe budynki pomimo małej wysokości zmieniają strukturę opływu budynków wysokich, częściowo je osłaniając w ich dolnej części, co powoduje iż opory nowych budynków są częściowo kompensowane zmniejszeniem strat powodowanych przez budynki duże.

Na rys. 6 i rys.7 pokazano przebiegi linii prądu wskazujące na odchylenie przez budynki niskie przepływu do góry i zmniejszenie prędkości wiatru w dolnej części budynków wysokich. Na rys. 7 wyraźnie widoczne są dwu-poziomowe przebiegi linii prądu.

Potwierdzenie tego wniosku można znaleźć na rys. 8, gdzie pokazano kształt powierzchni stałej wartości prędkości przepływu. Analizując ten kształt, wyraźnie różny w dolnej części rysunku, można zauważyć przesunięcie obszaru wyższych prędkości przepływu powietrza wyżej. Oznacza to mniejsze prędkości napływu na budynki wysokie.



Rys. 6. Przebieg linii prądu wokół zabudowy istniejącej - układ referencyjny (górze) oraz przebiegi linii prądu rozpoczynających się na dobudowanych niskich budynkach przed istniejącą zabudową (dół).

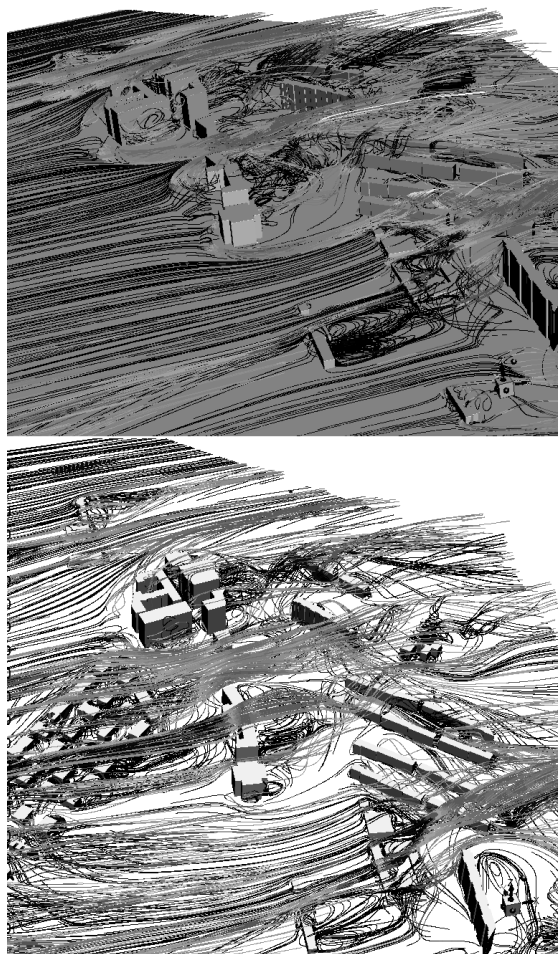
Fig. 6. Pathlines around the existing buildings - reference system (top) and pathlines starting from small buildings located in the front of the existing building (bottom).

5.2 Kierunek wiatru północno-wschodni NE

Przy wietrze północno-wschodnim budynki niskie osłaniają się przez budynki wysokie. W tym przypadku efekt ukrywania małych budynków w cieniu aerodynamicznym budynków wysokich jest niekwestionowany. Dla zilustrowania tego zjawiska wykorzystano inną technikę wizualizacji.

Na rys. 9 pokazano rozkłady prędkości przepływu na wysokości 1.75 metra nad ziemią wraz z przebiegiem linii prądu. Na górnej części rysunku można zauważyć duży obszar niskich prędkości przepływu za budynkami wysokimi (cień aerodynamiczny), w którym (dolna część rysunku) znajduje się większość z niskich budynków.

Na rys. 10 pokazano porównanie przebiegów linii prądu w bliskim obszarze sąsiedztwa zabudowy niskiej i wysokiej, wskazujące na przepływ powietrza nad niską zabudową.



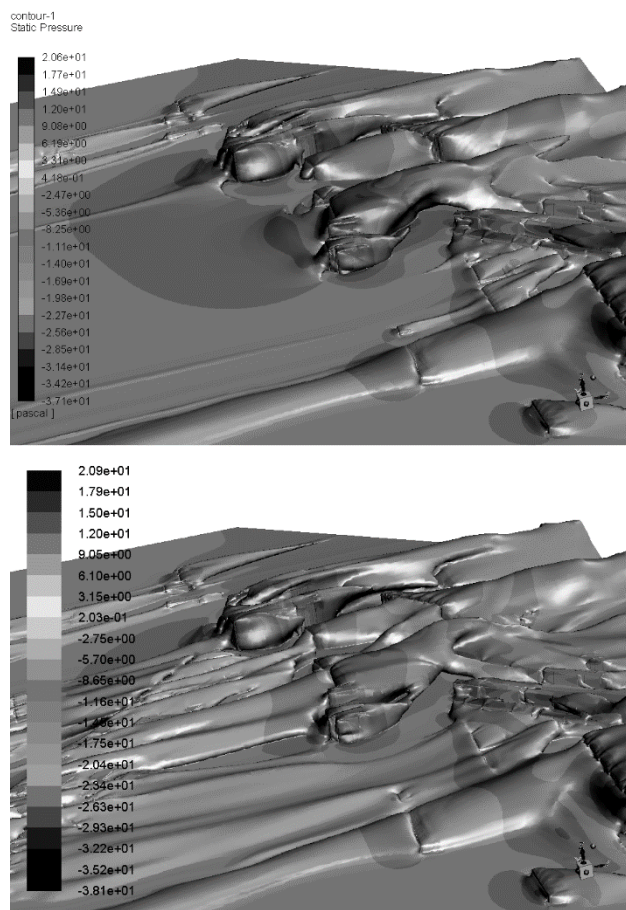
Rys. 7. Przebieg linii prądu wokół zabudowy istniejącej - układ referencyjny (górze) oraz przebiegi linii prądu dla pełnej zabudowy (dół).
Fig. 7. Pathlines around the existing buildings - reference system (top) and pathlines around actually existing building (bottom).

5.3 Kierunek wiatru południowo-zachodni SW

Przy wietrze południowo-zachodnim interakcja przepływu pomiędzy budynkami nie jest tak jednoznaczna. Duża grupa niskich budynków ułożona jest pod wiatr w stosunku do budynków wysokich. Czy niskie budynki rzeczywiście częściowo osłaniają budynki wysokie?

Na rys. 11 przedstawiono przebiegi linii prądu w okolicy bezpośredniego sąsiedztwa budynków niskich i wysokich. Widoczne jest przeniesienie struktury przepływu niezaburzonego wyżej.

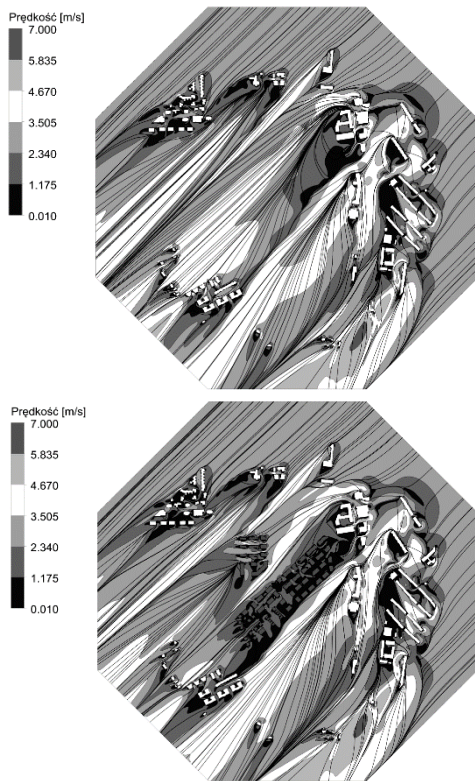
Można zauważyć linie prądu przebiegające nisko nad ziemią, gdy brak jest niskich budynków (górny rysunek) i przebiegające na większej wysokości, mające bardziej skomplikowany przebieg nad niskimi budynkami (dolny rysunek), co sugeruje częściowe osłanianie wysokich budynków.



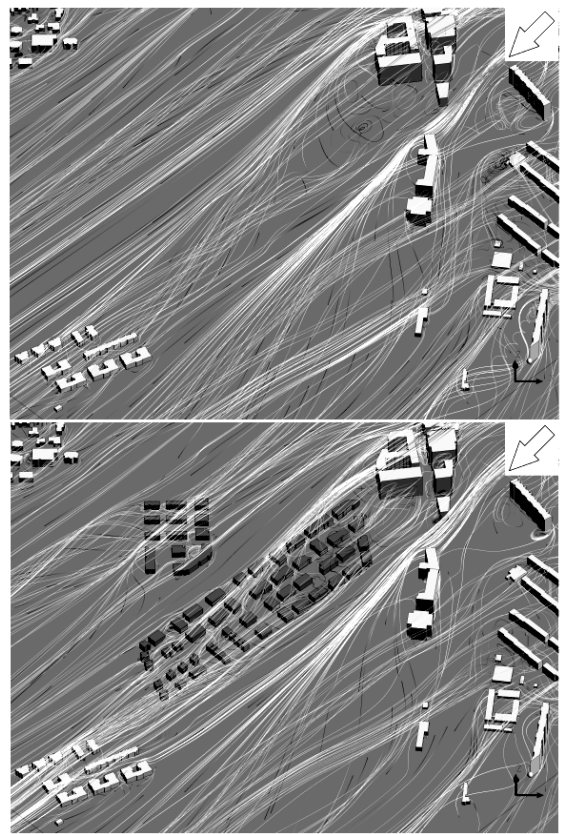
Rys. 8. Porównanie rozkładów ciśnienia na powierzchniach stałej wartości prędkości przepływu równej 2.5 m/s (geometria referencyjna - góra) i wpływ niskiej zabudowy (dół).
Fig. 8. Comparison of pressure distributions on surfaces of constant flow velocity of 2.5 m/s for reference geometry (top) and for new geometry (bottom).

Na rys. 12 pokazano kształt powierzchni stałej wartości prędkości przepływu równej 1 m/s oraz rozkłady ciśnienia na niej i na powierzchniach budynków. Wyraźnie widoczna jest zmiana kształtu tej powierzchni spowodowana obecnością małych budynków. Można zauważyć obniżone wartości ciśnienia na ścianach osłanianych wysokich budynków i praktycznie brak zmian prędkości w ich pobliżu.

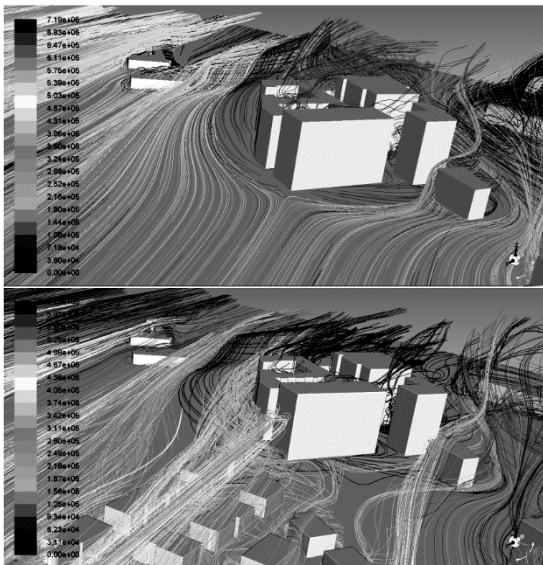
Na rys. 13 pokazano jeszcze raz kształt powierzchni stałej prędkości przepływu, ale o wyższej wartości równej 2.5 m/s. Można zauważyć istotne przesunięcie obszaru wyższych prędkości przepływu wyżej w pobliżu wysokich budynków, co należy interpretować jako występowanie efektu osłaniania wysokich budynków przez niskie. Widoczne są też rozkłady ciśnienia na budynkach i powierzchni reprezentującej stałą wartość prędkości przepływu równa 2.5 m/s.



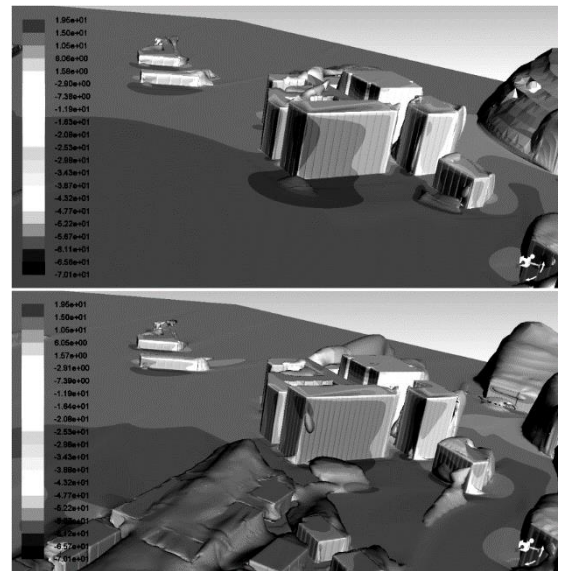
Rys. 9. Przebieg linii prądu w pobliżu ziemi i wartości prędkości na poziomie 1.75 m nad ziemią zabudowa stara (górze), zabudowa nowa (dół), wiatr NE.
 Fig. 9. Pathlines and air velocity values on the level of 1.75 m above the ground - old buildings (top), new buildings (bottom), NE wind.



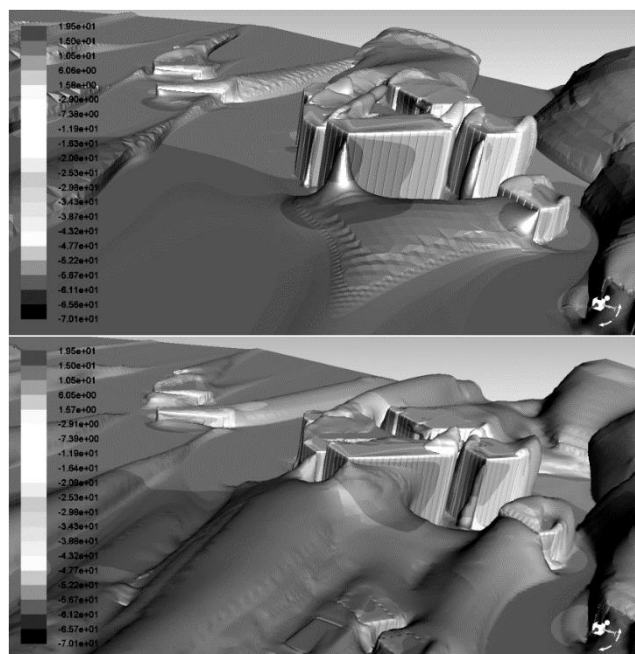
Rys. 10. Przebieg linii prądu w pobliżu ziemi - zabudowa stara (górze), zabudowa nowa (dół), wiatr NE.
 Fig. 10. Pathlines - old buildings (top), new buildings (bottom), NE wind.



Rys. 11. Przebieg linii prądu - zabudowa stara (górze), zabudowa nowa (dół), wiatr SW
 Fig. 11. Pathlines - old buildings (top), a new buildings (bottom), SW wind



Rys. 12. Zmiany powierzchni stałej wartości prędkości przepływu równej 1 m/s i rozkłady ciśnień - zabudowa stara (górze), zabudowa nowa (dół), wiatr SW.
 Fig. 12. Comparison of pressure distributions on surfaces of constant flow velocity of 1 m/s, reference geometry (top) and final geometry (bottom).



Rys. 13. Zmiany powierzchni stałej wartości prędkości przepływu równej 2.5 m/s i rozkłady ciśnień - zabudowa stara (górną), zabudowa nowa (dół), wiatr SW.

Fig. 13. Comparison of pressure distributions on surfaces of constant flow velocity of 2.5 m / s, reference geometry (top) and final geometry (bottom), SW wind.

6. WNIOSKI

Konfiguracje budynków w rzeczywistej zabudowie odbiegają od idealnej, preferowanej przez inżynierów zajmujących się oddziaływaniem wiatru. Takie konfiguracje mogą prowadzić do nieco zaskakujących zmian struktury przepływu i nieoczekiwanego wpływu na straty strumienia energii wiatru. Przy pomocy symulacji numerycznych z wykorzystaniem różnych technik wizualizacji przepływu można uzyskać zarówno informacje ilościowe jak i jakościowe pozwalające na wyrobienie wśród architektów umiejętności przewidywania konsekwencji ich działań budowlanych.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE FLOW INTERACTION BETWEEN GROUP OF BUILDINGS OF DIFFERENT HEIGHTS

Summary: Existing buildings configuration is often a random mix of buildings of different heights. The paper presents the simulation results of the flow between tall and low buildings, that form a complex flow structure dependent on the direction of the wind. Utilizing various visualization techniques, the authors try to explain the physical reasons of relatively small impact of low buildings on wind energy losses in such configuration.

Literatura

- [1] Blocken B, Carmeliet J. *Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples*. Journal of Thermal Envelope and Building Science 28(2): (2004.)107-159.
- [2] Bottema, M., Leene, J.A. and Wisse, J.A. *Towards forecasting of wind comfort*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 41-44: (1992). 2365-2376.
- [3] Takakura, S., Suyama, Y. and Aoyama, M. *Numerical simulation of flowfield around buildings in an urban area*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 46&47: . (1993). 765-771.
- [4] Lübcke, H., Schmidt, St., Rung, T. and Thiele, F. *Comparison of LES and RANS in bluff-body flows*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89: (2001). 1471-1485.
- [5] Lawson, T., *Building aerodynamics*. London: Imperial College Press. 286 p. 2001.