

## **Badania modelowe w tunelu aerodynamicznym prawidłowości działania ciągów w przewodach kominowych w budynku w zabudowie zwartej**

**Andrzej Flaga<sup>1</sup>, Grzegorz Bosak<sup>2</sup>, Renata Kłaput<sup>3</sup>, Łukasz Flaga<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> *Laboratorium Inżynierii Wiatrowej, Instytut Mechaniki Budowli, Politechnika Krakowska, e-mail: LIWPK@windlab.pl*

<sup>4</sup> *Samodzielna Pracownia Architektoniczna, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: LIWPK@windlab.pl*

**Streszczenie:** Praca dotyczy badań modelowych, na podstawie której wyznaczono rozkłady ciśnień wiatru na ścianach i dachu kamienicy w zabudowie zwartej w centrum Krakowa. Badania przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym Politechniki Krakowskiej dla ośmiu kierunków natarcia wiatru. Rozważono dwie sytuacje pomiarowe: 1. Przed wykonaniem nadbudowy na sąsiednim budynku; 2. Po wykonaniu tej nadbudowy. Wyniki badań posłużyły do oceny prawidłowości działania ciągów kominowych i wentylacyjnych przedmiotowego budynku.

**Słowa kluczowe:** badania modelowe, tunel aerodynamiczny, ciągi kominowe i wentylacyjne.

### **1. Przedmiot badań**

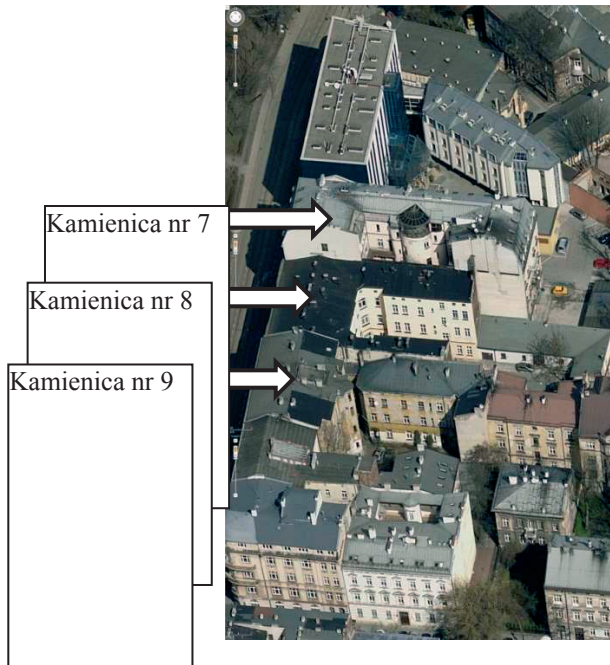
Badany obiekt – kamienica nr 8 - zlokalizowany jest w ścisłym centrum Krakowa. Współtworzy on kwartał zabudowy charakteryzujący się stosunkowo dużą zwartością zabudowy od strony ulicy św. Gertrudy. Stopniowo rozluźnia się ona w miarę oddalania się od pierzei głównej - w głąb podworców (por. rys.1).

Od zachodu linię zabudowy wyznacza ulica św. Gertrudy, wzdłuż której umiejscowiony jest zielony pas plant. Na uwagę zasługuje tu znacząca ilość zieleni wysokiej o stosunkowo dużej wysokości – porównywalnej z wysokością zabudowy kwartału.

W ramach kamienicy nr 8 występuje 3 kondygnacyjna bryła budynku głównego pokryta dwuspadowym dachem o kalenicy równoległej do ul. Św. Gertrudy (wysokość 17,5 m), dwie bryły 3-kondygnacyjnych oficyn pokrytych jednospadowymi dachami o kalenicach prostopadłych do ul. Św. Gertrudy (i wysokościach 16,9 m) oraz parterowe budynki gospodarcze i garaże zlokalizowane po obrysie granic działki.

Od południa z budynkiem nr 8 sąsiaduje 4 kondygnacyjna kamienica nr 9 pokryta dwuspadowym dachem o kalenicy równoległej do ul. św. Gertrudy (wysokości 20,5 m) oraz dwie 3-kondygnacyjne oficyny pokryte jednospadowymi dachami, z których jedna posiada układ kalenicy prostopadły do ul. św. Gertrudy (i wysokości 16,4 m), a druga posiada układ kalenicy równoległy do ul. św. Gertrudy (i wysokości 14,6 m).

Od północy z budynkiem nr 8 sąsiaduje 6 kondygnacyjna kamienica nr 7 o układzie w rzucie przypominającym podkowę, pokryta dachem mansardowym o wysokości kalenicy 25,6 m. Przed nadbudową kamienica posiadała 4 kondygnacje oraz dwuspadowy układ dachu o wysokości kalenicy 21,6 m i zmieniającej się skokowo na 20,2 m.



Rys.1. Ujęcie z lotu ptaka układu urbanistycznego w sąsiedztwie badanego budynku nr 8.

## 2. Cel i zakres opracowania

Celem niniejszej pracy jest przeprowadzenie badań modelowych w tunelu aerodynamicznym wpływu wiatru na działanie ciągów kominowych i wentylacyjnych w budynku przy ul. św. Gertrudy 8 w Krakowie, w dwóch stanach dachu budynku sąsiedniego przy ul. św. Gertrudy 7: 1. Przed wykonaniem nadbudowy; 2. Po wykonaniu nadbudowy.

Zakres pracy obejmuje:

Analizę warunków wiatrowych miejsca lokalizacji.

Wykonanie modelu przedmiotowego budynku wraz z najbliższym otoczeniem do badań w tunelu aerodynamicznym oraz jego oprzyrządowanie.

Przeprowadzenie badań modelowych w celu wyznaczenia rozkładów ciśnień wiatru na ścianach i dachu przedmiotowego budynku. Pomiary ciśnień wiatru wykonano w 150 punktach pomiarowych. Pomiary dotyczyły 8 kierunków natarcia wiatru. Na ich podstawie wyznaczono rozkłady współczynnika ciśnienia wiatru na ścianach i dachu tego budynku.

Wykonanie wizualizacji dymowej opływu badanego modelu budynku wraz z otoczeniem dla ośmiu kierunków wiatru.

Opracowanie i analizę wyników badań.

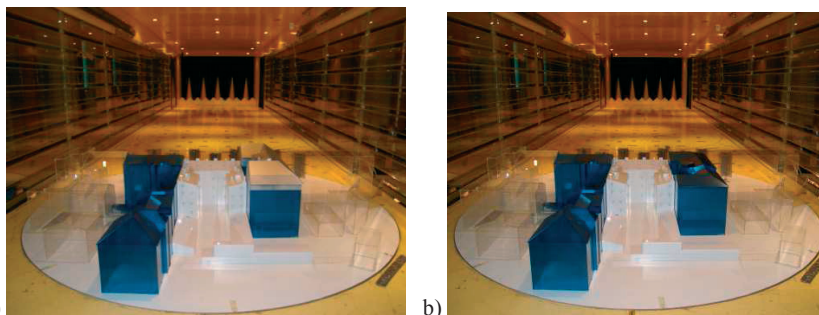
Badania modelowe przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym Politechniki Krakowskiej [1].

## 3. Opis modelu do badań aerodynamicznych kamienicy wraz z fragmentem najbliższego kwartału zabudowy

Badania tunelowe przeprowadzono na makiecie wykonanej w skali 1:75 [2]. Skala modelu uwarunkowana jest wymiarami budynku wraz z jego najbliższym otoczeniem. Ponadto skalę modelu uzależniono od wymiarów przestrzeni pomiarowej oraz dostępnych materiałów (Rys.2). W ramach modelu wyróżnić można dwie zasadnicze części, z których jedna to oprzyrządowana bryła kamienicy przy ul. św. Gertrudy 8, natomiast druga część to

nieoprzyrządowane najbliższe otoczenie budynku. Ze względu na charakter pomiarów (obrót wokół osi badanego budynku) granica „najbliższego otoczenia” obiektu ma formę koła o średnicy 198 cm.

Zarówno badany obiekt, jak i sąsiadujące z nim budynki, wykonano z plexi. Do odtworzenia otaczającej tkanki zabudowy wykorzystano elementy z plexi bezbarwnego o grubości 2mm, natomiast do wykonania badanego (oprzyrządowanego) budynku nr 8 użyto mlecznego plexi o grubości 3 mm. Poszczególne części modelu łączono klejami żywicznymi, klejami na bazie etyloformiatu oraz nitroetanu, a także klejami termoutwardzalnymi.

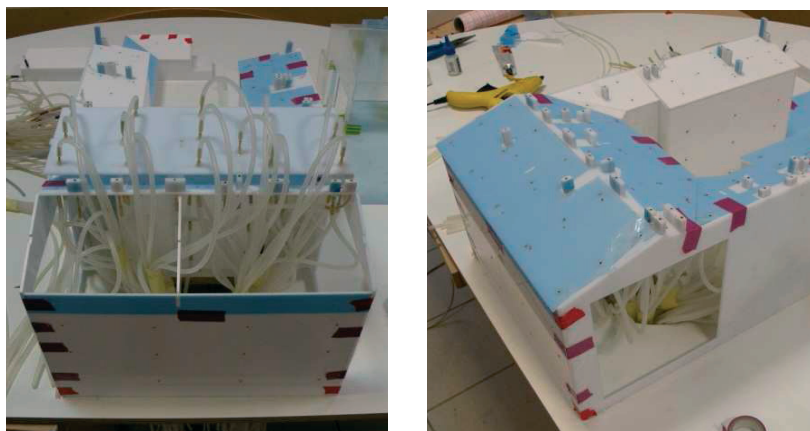


Rys.2. Widok modelu w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego: a – przed nadbudową, b – po nadbudowie.

Skanery do badania rozkładu ciśnień zlokalizowano pod płytą główną w osi modelu – na specjalnie przygotowanej, podwieszanej płycie. W celach architektoniczno estetycznych bryła kamienicy nr 8 posiada możliwość zainstalowania podświetlenia w celu lepszej ekspozycji budynku pośród otoczenia.

W sąsiedztwie zabudowy występuje pas zieleni. Odwzorowanie zieleni wysokiej (drzewostanu) wykonano w formie dwóch równoległych szpalerów równomiernie występujących elementów - drzew. Każdy z nich posiada trzon (pień) wykonany z prętów duraluminiowych 8x8 mm o wysokości 200mm oraz liście – płaszczyzny z perforowanej siatki stalowej o grubości 1mm i wymiarach 200x60 mm łączonych z trzonem za pomocą śrub o średnicy  $\varnothing 4$ mm.

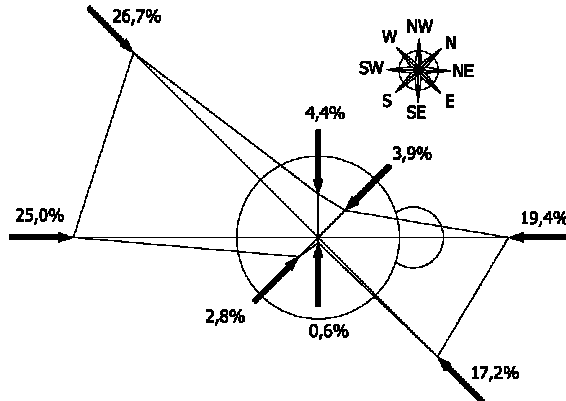
Do wykonania elementów pomiarowych posłużyły rurki z mosiądzu o średnicy zewnętrznej  $\varnothing 2,5$ mm oraz rurki silikonowe o średnicy zewnętrznej  $\varnothing 5$ mm. Rurki miedziane zamocowano w specjalnie przygotowanych otworach w płytach plexi, po czym obleczono je rurkami silikonowymi przeprowadzonymi wewnątrz modelu i połączonymi ze skanerami pomiarowymi (Rys.3).



Rys.3. Widok połączenia punktów pomiarowych ze skanerami ciśnień za pomocą silikonowych rurek

#### 4. Róża wiatrów dla Krakowa

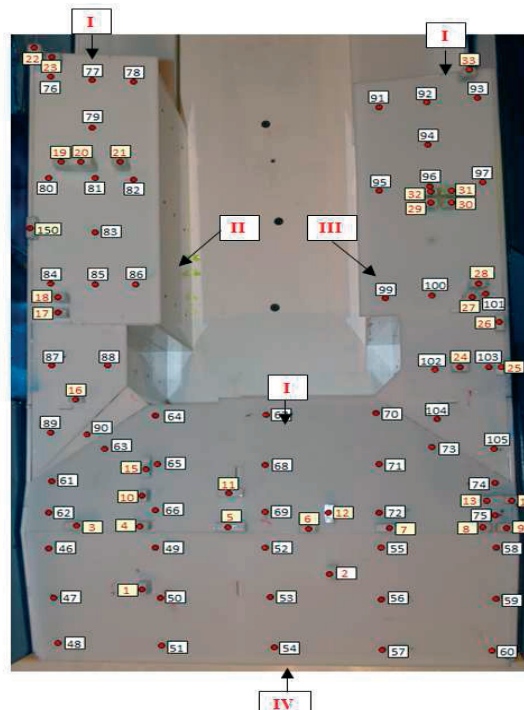
W analizie wyników badań konieczne jest uwzględnienie róży wiatrów w miejscu lokalizacji obiektu. Procentowe udziały kierunków wiatru na ośmiu głównych kierunkach geograficznych dla Krakowa pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Procentowy udział kierunków wiatru dla miasta Krakowa.

#### 5. Rozmieszczenie punktów pomiarowych ciśnienia wiatru

Rozmieszczenie punktów pomiarowych ciśnienia wiatru przedstawiono na rys. 5



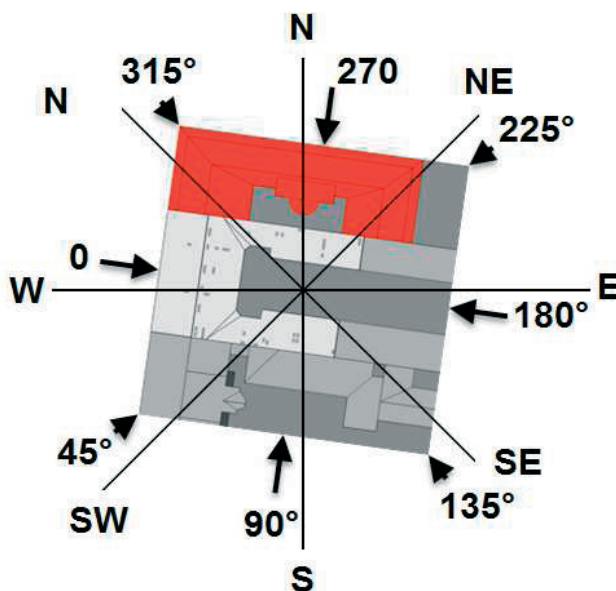
Rys.5. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na dachach i kominach modelu.

## 6. Metodyka badań w tunelu aerodynamicznym

Podstawowe parametry badań w tunelu aerodynamicznym zestawiono poniżej:

- skala podobieństwa geometrycznego- 1:75,
- liczba punktów pomiaru wartości ciśnień wiatru na ścianach i kominach budynku- 150,
- liczba analizowanych kierunków napływu wiatru na model-8 (co 45°),
- częstotliwość próbkowania sygnału-200 Hz,
- czas rejestracji sygnału- 30 s,
- pionowy profil prędkości wiatru był opisany prawem potęgowym o wykładniku  $\alpha=0.33$ ,
- średnia intensywność turbulencji na wysokości zadaszzenia  $I_v=0.25$ ,
- wysokość pomiaru ciśnienia referencyjnego-  $z_{ref}=27$  cm w skali modelu, co odpowiada 20m w skali rzeczywistej obiektu,
- wartość ciśnienia referencyjnego-  $q_{ref}=100$  Pa,
- wartość prędkości referencyjnej-  $V_{ref}=12.5$  m/s,
- wykorzystana aparatura: sonda profilowa, 8-modułowy skaner do pomiaru różnicowych ciśnień wiatru, umożliwiający jednoczesny pomiar sygnałów w 64 punktach, system termooanemometryczny do pomiaru prędkości przepływu powietrza.

Badania przeprowadzono przy 8 różnych kierunkach wiatru, co 45°, w pełnym zakresie zmiany kąta od 0° do 360°. Analizowane kierunki wiatru w odniesieniu do kierunków geograficznych i konfiguracji modelu prezentuje rys.6.



Rys. 6. Analizowane kierunki wiatru w odniesieniu do kierunków geograficznych i konfiguracji modelu.

## 7. Wyniki badań

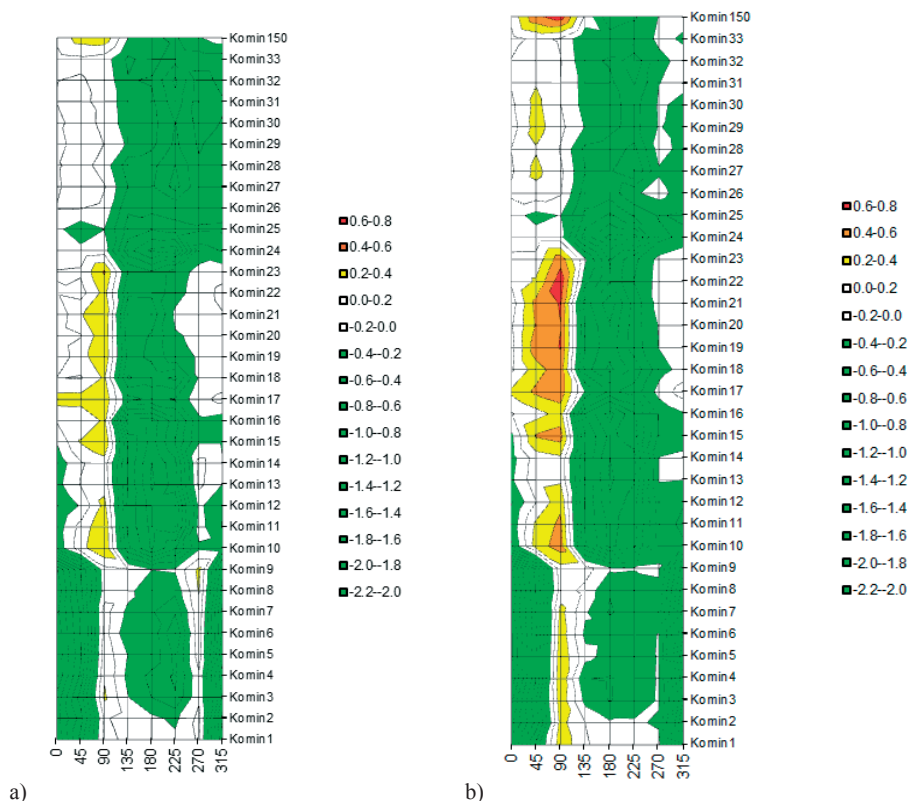
Wyniki badań wartości współczynnika ciśnienia wypadkowego wiatru na górnych powierzchniach kominów budynku w sytuacji przed nadbudową i po wykonaniu nadbudowy przedstawiono w tab.1.

Tab. 1. Wartości współczynnika ciśnienia wypadkowego wiatru na górnych powierzchniach kominów budynku w sytuacji po nadbudowie (kolor czerwony – kominy pracujące w niekorzystnych warunkach aerodynamicznych po nadbudowie; kolor szary tła – kominy pracujące w niekorzystnych warunkach aerodynamicznych przed nadbudową)

<b>Komin- Ściana</b>	<b>0</b>	<b>45</b>	<b>90</b>	<b>135</b>	<b>180</b>	<b>225</b>	<b>270</b>	<b>315</b>
Komin 1	-1,8	-0,6	0,4	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-1,5
Komin 2	-1,7	-0,9	0,3	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-1,4
Komin 3	-1,8	-0,8	0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-1,2
Komin 4	-2,2	-1,0	0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-1,4
Komin 5	-2,0	-1,0	0,4	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-1,6
Komin 6	-2,0	-1,0	0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-1,4
Komin 7	-1,9	-1,1	0,3	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-1,5
Komin 8	-2,0	-1,0	0,1	-0,1	-0,4	-0,3	-0,2	-1,3
Komin 9	-1,8	-0,9	0,1	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-1,1
Komin 10	-0,4	0,3	0,5	-0,8	-1,3	-1,1	-0,3	-0,4
Komin 11	-0,3	0,2	0,4	-0,8	-1,3	-1,1	-0,3	-0,4
Komin 12	-0,4	0,0	0,3	-0,8	-1,4	-1,1	-0,3	-0,4
Komin 13	-0,2	0,1	0,2	-0,8	-1,4	-1,2	-0,2	-0,2
Komin 14	-0,3	0,1	0,2	-0,8	-1,4	-1,3	-0,2	-0,2
Komin 15	-0,2	0,4	0,5	-0,8	-1,3	-1,1	-0,4	-0,3
Komin 16	0,0	0,1	0,3	-1,0	-1,5	-1,0	-0,4	-0,2
Komin 17	0,2	0,4	0,5	-0,2	-0,6	-0,5	-0,1	0,1
Komin 18	0,0	0,3	0,5	-0,7	-1,0	-0,7	-0,3	-0,1
Komin 19	-0,1	0,5	0,6	-0,6	-0,9	-0,5	-0,2	-0,1
Komin 20	0,0	0,4	0,6	-0,6	-1,0	-0,5	-0,2	-0,1
Komin 21	-0,1	0,5	0,6	-0,7	-1,1	-0,5	-0,1	0,0
Komin 22	0,0	0,2	0,7	-0,3	-0,8	-0,4	-0,1	0,0
Komin 23	0,1	0,1	0,5	-0,2	-0,8	-0,4	-0,1	0,0
Komin 24	-0,1	-0,1	-0,1	-0,9	-1,3	-1,3	-0,5	-0,3
Komin 25	-0,1	-0,3	-0,2	-0,6	-0,8	-0,6	-0,4	-0,4
Komin 26	0,0	0,1	0,0	-0,5	-0,5	-0,2	-0,1	-0,3
Komin 27	0,0	0,3	0,0	-0,4	-0,6	-0,8	-0,2	-0,4
Komin 28	0,0	0,2	0,0	-0,4	-0,5	-0,7	-0,1	-0,3
Komin 29	-0,1	0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,5	-0,2	-0,3
Komin 30	0,0	0,3	0,0	-0,3	-0,3	-0,5	-0,2	-0,2
Komin 31	0,0	0,2	0,0	-0,3	-0,4	-0,6	-0,2	-0,2
Komin 32	0,0	0,1	0,0	-0,3	-0,4	-0,8	-0,2	-0,2
Komin 33	-0,1	0,0	0,0	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2
Komin 150	0,1	0,6	0,7	0,0	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2

Z tab.1 wyraźnie widać, że w zdecydowanej większości przypadków te same kominy nie funkcjonowały poprawnie zarówno przed wykonaniem nadbudowy, jak i po wykonaniu nadbudowy.

Graficzny obraz wartości współczynnika wypadkowego ciśnienia wiatru przedstawiono na rys.7.



Rys.7. Graficzny obraz wartości współczynnika wypadkowego ciśnienia wiatru: a) przed nadbudową, b) po nadbudowie.

## 8. Uwagi i wnioski końcowe

Najbardziej niekorzystnym kierunkiem wiatru, ze względu na warunki aerodynamiczne działania przewodów kominowych analizowanego budynku, jest kierunek  $90^\circ$  (określony zgodnie ze specyfikacją niniejszego opracowania). Z róży wiatrów wynika, że jest to także kierunek zbliżony do najczęstszego dla rozpatrywanej lokalizacji.

W zdecydowanej większości przypadków te same kominy, które nie funkcjonują poprawnie po wykonaniu nadbudowy, także i przed wykonaniem nadbudowy nie funkcjonowały poprawnie.

Wizualizacja opływu, w sytuacji po realizacji nadbudowy, wskazuje na występowanie nadciśnienia w obszarze dachu skrzydła północnego analizowanego budynku (od strony nadbudowy).

Z przeprowadzonych analiz stanu wyjściowego (przed nadbudową) oraz istniejącego (po nadbudowie) wypływają wnioski, że zarówno po, jak i przed nadbudową kamienicy nr 7 usytuowania wylotów kominów kamienicy nr 8 nie spełniały zaleceń normy kominowej PN-89/B-10425 (nie znajdowały się na właściwych poziomach względem przeszkód budowlanych utworzonych przez sąsiednią zabudowę, czyli kamienice nr 7 i 9). Istnieje pilna potrzeba rewizji zasad stosowania normy kominowej PN-89/B-10425, która w przypadku zróżnicowanej wysokościowo zabudowy winna być stosowana ostrożnie, respektując jej specyfikę.

## Literatura

- 1 Raport z badań: Badania modelowe w tunelu aerodynamicznym prawidłowości działania ciągów kominowych i wentylacyjnych w budynku przy ul. Św. Gertrudy 8 w Krakowie w dwóch stanach dachu budynku sąsiedniego przy ul. Św. Gertrudy 7: przed wykonaniem nadbudowy i po wykonaniu nadbudowy. Politechnika Krakowska, Kraków 2013.
- 2 Flaga A.: Inżynieria wiatrowa. Arkady, Warszawa.
- 3 PN-89/B/10425 Przewody dymowe, spalinowe i wentylacyjne murowane z cegły, wymagania techniczne i badania przy odbiorze;
- 4 PN-EN 15287-1 Kominy – Projektowanie, instalowanie, przekazywanie do eksploatacji. – Część 2: kominy przeznaczone do urządzeń grzewczych z otwartą komorą spalania;
- 5 PN-EN 15287-2 Kominy – Projektowanie, instalowanie, przekazywanie do eksploatacji. – Część 2: kominy przeznaczone do urządzeń grzewczych z zamkniętą komorą spalania;

## Model tests in wind tunnel of correct work of chimneys and ventilations draughts for a building in compact development

Andrzej Flaga<sup>1</sup>, Grzegorz Bosak<sup>2</sup>, Renata Kłaput<sup>3</sup>, Łukasz Flaga<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> *Wind Engineering Laboratory, Cracow University of Technology, e-mail: LIWPK@windlab.pl*

<sup>4</sup> *Department of Building Structures, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: LIWPK@windlab.pl*

**Abstract:** The paper deals with model investigations on wind pressure distributions on walls and roof of a tenement house in compact development of Cracow centre. The tests were performed in a boundary layer wind tunnel at the Cracow University of Technology for eight wind directions. Two situations were tested: 1. Before realization of a superstructure on the adjacent building; 2. After realization of the superstructure. Investigations results were used for evaluation of correct work of chimneys and ventilations draughts of the building.

**Keywords:** model tests, wind tunnel, chimneys and ventilations draughts.