

METODYKA BADAŃ IN-SITU ODDZIAŁYWANIA WIATRU NA RUSZTOWANIA BUDOWLANE

Paulina JAMIŃSKA-GADOMSKA*, Tomasz LIPECKI, Ewa BŁAZIK-BOROWA, Jarosław BĘC

*Katedra Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
email: p.jaminska@pollub.pl; t.lipecki@pollub.pl; e.blazik@pollub.pl; j.bec@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule została opisana metodyka pomiarów oddziaływania wiatru na rusztowania budowlane. Założono, że rusztowania ustawione są przy budynkach, a badania prowadzone są w skali naturalnej. Do badań wykorzystano rozbudowany system składający się z anemometrów ultradźwiękowych: pięciu dwukierunkowych oraz jednego trójkierunkowego.

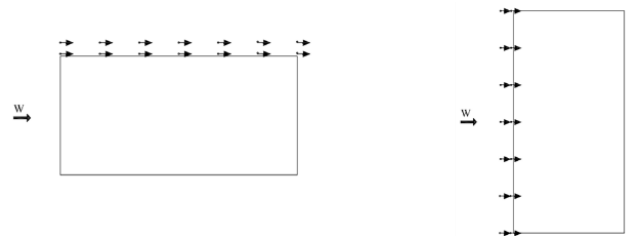
Słowa kluczowe: pomiary in-situ, oddziaływanie wiatru, anemometry, rusztowania

1. WSTĘP

Pomiary prędkości oraz kierunku wiatru działającego na rusztowania wykonano w ramach szerszego projektu „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań”. Ze względu na ogólnopolski charakter projektu badania dotyczyły rusztowań fasadowych zmontowanych przy ścianach budynków i budowli zlokalizowanych w różnych częściach kraju. Przebadane rusztowania to konstrukcje umożliwiające pracę na wysokości podczas wznoszenia i remontów budynków.

Pomimo, iż rusztowanie jest zdefiniowane według Eurokodu [1] jako konstrukcja tymczasowa, to musi spełniać wszystkie wymagania, które pozwalają na zapewnienie bezpieczeństwa osobom pracującym na nim, jak i przebywającym w jego pobliżu.

W celu określenia nośności rusztowania należy wykonać podstawowe obliczenia konstrukcyjne uwzględniające m.in. obciążenie wiatrem. Normy dotyczące rusztowań [1–3] zalecają przyjmowanie obciążenia wiatrem w dwóch kierunkach, równoległe i prostopadłe do fasady rusztowania, jak przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Zalecenia normowe dotyczące przyjmowania kierunku obciążenia wiatrem na rusztowanie

Fig. 1. Wind action on scaffolding according to standard recommendations

Zalecane przez normy podejście jest bardzo dużym uproszczeniem, które może prowadzić do przeszacowania albo niedoszacowania rzeczywistego obciążenia wiatrem rusztowania. Zgodnie z posiadaną wiedzą i doświadczeniem autorów zdobytym w trakcie prowadzenia badań w tunelu aerodynamicznym [4,5] oraz symulacji CFD [6], rzeczywiste obciążenie wiatrem obiektów, szczególnie prostokątnych w planie i o ostrych krawędziach, jest dużo bardziej skomplikowane. Potwierdza to oczywiście podstawowa literatura z zakresu opływu obiektów przez wiatr [7–9].

W przypadku obiektów z ostrymi krawędziami mamy do czynienia z oderwaniem się warstwy przyściennej na krawędzi budynku i powstaniem wiru, w obrębie którego może znajdować się rusztowanie fasadowe. Gdy rusztowanie jest zlokalizowane w strefie wiru, w skrajnym przypadku, może dojść do powstania obciążenia skręcającego, które będzie powodowało oderwanie się rusztowania od budynku. Taka sytuacja jest najczęściej spotykana, gdy rusztowanie jest przykryte siatką ochronną o małej porowatości, która przy obciążeniu wiatrem pracuje jak żagiel.

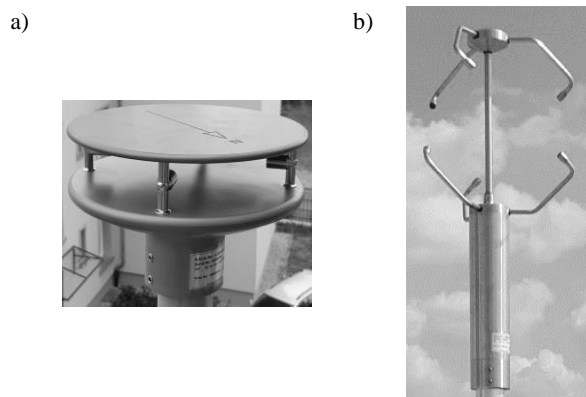
Pomiary oddziaływania wiatru na rusztowania, według wiedzy autorów, nie były wcześniej wykonywane w skali naturalnej. Podczas tworzenia przenośnej stacji badawczej

* Autor korespondencyjny, e-mail: p.jaminska@pollub.pl

oraz ustalania metodyki badań, autorzy posiłkowali się eksperymentami, w których prowadzono pomiary profilu średniej prędkości wiatru w terenie [10], określano wielkość porywów wiatru działających na budynki wysokie [11,12] czy wartość ciśnienia prędkości wiatru na ścianach i dachach budynków [13].

2. PRZENOŚNA STACJA BADAWCZA

Pomiar prędkości i kierunku wiatru w skali naturalnej został wykonany na kilkudziesięciu rusztowaniach – do marca 2017 przeprowadzono badania na 50 obiektach. System pomiarowy składa się z 5 anemometrów ultradźwiękowych dwukierunkowych (2D *ThiesClima Ultrasonic, compact*) oraz anemometru ultradźwiękowego trójkierunkowego (*ThiesClima Ultrasonic 3D*). Na Rys. 2 przedstawiono zdjęcia czujników użytych do pomiarów.



Rys. 2. a) Kompaktowy anemometr dwukierunkowy ThiesClima, b) anemometr trójkierunkowy ThiesClima
Fig. 2. a) 2D compact anemometer ThiesClima, b) 3D anemometer ThiesClima

Parametry anemometru dwukierunkowego są następujące: zakres pomiarowy prędkości wiatru: 0,01–75 m/s, dokładność: $\pm 0,2$ m/s (przy prędkości mniejszej od 5 m/s), $\pm 2\%$ (przy prędkości w zakresie 5–60 m/s), maksymalna rozdzielczość: 0,01 m/s, zakres pomiarowy kierunków napływu wiatru: 360° , dokładność: $\pm 2^\circ$, maksymalna rozdzielczość: $0,1^\circ$.

Parametry anemometru trójkierunkowego to: zakres pomiarowy prędkości wiatru: 0,01–85 m/s, dokładność: $\pm 0,1$ m/s (przy prędkości mniejszej od 5 m/s), $\pm 1\%$ (przy prędkości w zakresie 5–35 m/s), $\pm 2\%$ (przy prędkości w zakresie 35–65 m/s), maksymalna rozdzielczość: 0,01 m/s, zakres pomiarowy kierunków napływu wiatru: 360° , dokładność: $\pm 1^\circ$ (przy prędkości w zakresie 1–35 m/s) oraz $\pm 2^\circ$ (przy prędkości w zakresie 35–65 m/s), maksymalna rozdzielczość: $0,1^\circ$.



Rys. 3. System akwizycji danych
Fig. 3. Data acquisition system

Akwizycja danych dotyczących prędkości i kierunków wiatru, zmierzonych anemometrami, prowadzona była przy pomocy zestawu urządzeń *National Instruments* specjalnie dobranych do tego celu [14]. System akwizycji pokazano na Rys. 3. Użyte karty pomiarowe pozwalają na równoczesny pomiar prędkości i kierunków wiatru za pomocą 5 anemometrów 2D oraz 1 anemometru 3D. Ponadto, istnieje możliwość synchronicznego pomiaru ciśnienia atmosferycznego, wilgotności i temperatury za pomocą odpowiednich zewnętrznych urządzeń podłączonych do systemu, jak również ciśnienia prędkości wiatru na powierzchni obiektów w 16 punktach za pomocą czujników ciśnienia SETRA.

Zaprojektowany i wykonany system pomiarowy zapisuje dane pochodzące ze wszystkich kanałów pomiarowych jednocześnie. Dane dotyczące prędkości i kierunków wiatru zapisywane są co 0,2 s.

3. METODYKA BADAŃ

W celu wykonania pomiarów, anemometry 2D montowano za pomocą stalowych konsol, będących częścią systemu rusztowaniowego, do zewnętrznych słupków ram rusztowania, około 0,3 m przed zewnętrznym słupkiem. W większości przypadków rusztowania miały wysokość równą wysokości budynku, przy którym je ustawiano lub były od niego do 2 m wyższe. W celu uniknięcia wpływu zaburzeń powodowanych wirem odrywającym się na górnej krawędzi budynku na wyniki, anemometry montowano zwykle około 1 m poniżej najwyższego poziomu pomostów rusztowania, lub tak aby znajdowały się około 2 m poniżej dachu budynku. Rys. 4 prezentuje przykładowe rozmieszczenie anemometrów 2D na stalowych konsolach, zamocowanych do zewnętrznych słupków rusztowania.

Dodatkowo, dla niektórych rusztowań podjęto próbę określenia prędkości i kierunku działania wiatru pomiędzy zewnętrznym i wewnętrznym słupkiem, poprzez obrócenie konsoli z anemometrem do wewnątrz rusztowania (Rys. 5). Podczas rozmieszczania anemometrów 2D wzdłuż długości rusztowania kierowano się tym, aby objąć pomiarem cały jego poziom. W tym celu dwa anemometry 2D montowano

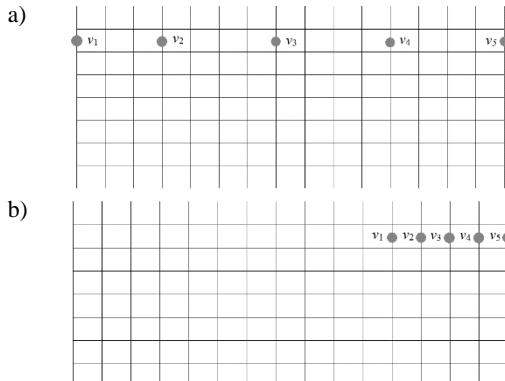
do skrajnych ram rusztowania, jeden do ramy środkowej i dwa pozostałe do ram pośrednich między środkową i skrajnymi (Rys. 6a). Ponadto, kilkakrotnie dokonano pomiarów parametrów wiatru w narożu rusztowania, w celu uchwycenia oderwania się wiru od naroża budynku (Rys. 6b).



Rys. 4. Anemometry 2D zamontowane na zewnątrz rusztowania
Fig. 4. 2D anemometers mounted on the outer façade of scaffolding



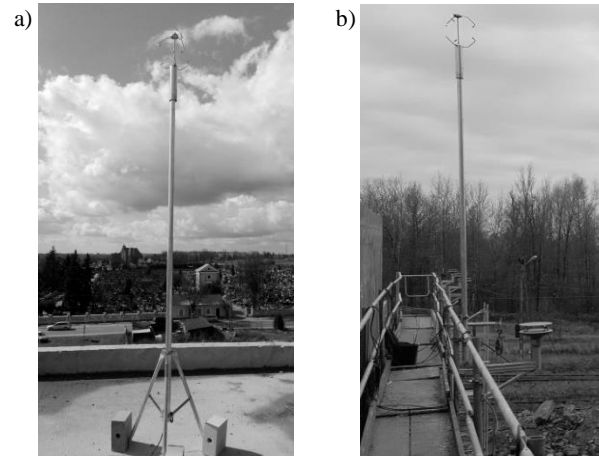
Rys. 5. Anemometry 2D pomiędzy słupkami rusztowania
Fig. 5. 2D anemometers mounted between scaffolding standards



Rys. 6. Przykładowe rozmieszczenie anemometrów 2D: a) równomiernie wzdłuż długości rusztowania, b) w narożu rusztowania

Fig. 6. Exemplary arrangement of 2D anemometers: a) equally along a scaffolding, b) at a scaffolding's corner

Anemometr 3D montowano do wierzchołka masztu o wysokości 2,2–3,5 m. Zwykle maszt był ustawiany na dachu budynku (Rys. 7a), przy którym znajdowało się rusztowanie lub był montowany do ramek ostatniego poziomu rusztowania (Rys. 7b).



Rys. 7. Umieszczenie anemometru 3D: a) na dachu budynku, b) zamocowanie do najwyższej ramy rusztowania
Fig. 7. 3D anemometer location: a) on a roof, b) mounted to the highest scaffolding standard

4. REZULTATY

W wyniku prowadzonych pomiarów uzyskiwane są przebiegi czasowe prędkości i kierunków wiatru dla każdego z anemometrów. Dane z anemometrów 2D są zapisywane przez system pomiarowy w postaci wartości wypadkowej prędkości oraz kąta napływu wiatru. Dane z anemometru 3D zapisywane są w postaci trzech składowych: pionowej oraz dwóch w płaszczyźnie poziomej.

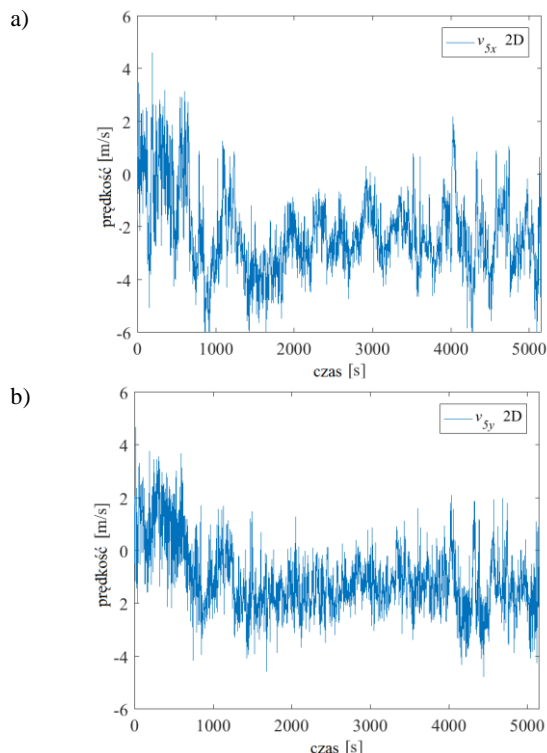
Rys. 8 przedstawia przykładowe rusztowanie zlokalizowane w Krośnie, o szerokości 40 m i wysokości 16 m. Rozmieszczenie czujników 2D na rusztowaniu było zgodne ze schematem przedstawionym na Rys 6a. Anemometr 3D był zlokalizowany na dachu rusztowania, na wysokości około 2,5 m.



Rys. 8. Widok rusztowania w Krośnie z anemometrami
Fig. 8. The view of a scaffolding in Krosno with anemometers

Na Rys. 9 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe prędkości wiatru uzyskane z pomiarów wykonanych za pomocą anemometru 2D umiejscowionego na skraju rusztowania (Rys. 8). Składowe v_{5x} oraz v_{5y} prędkości

wiatru w punkcie 5 zostały określone przez rozłożenie wypadkowych chwilowych prędkości z uwzględnieniem chwilowych kątów natarcia wiatru. Składowa x oznacza prędkość wiatru wzdłuż fasady rusztowania, y – w kierunku prostopadłym do fasady.



Rys. 9. Przebiegi czasowe prędkości wiatru: a) v_{5x} , b) v_{5y}
 Fig. 9. Time histories of wind speed: a) v_{5x} , b) v_{5y}

5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania są wykorzystywane do określenia wartości i kierunków obciążenia wiatrem rusztowań. Dodatkowo wzbogacają bazę danych na temat pola opływu wiatru wokół budynków oraz układów budynków z rusztowaniem. Ponadto, mogą służyć do walidacji symulacji komputerowych lub badań w tunelu aerodynamicznym.

W ramach prowadzonego projektu planowane jest wykonanie analogicznych pomiarów na kolejnych pięćdziesięciu rusztowaniach.

METHODOLOGY OF IN-SITU MEASUREMENTS OF WIND ACTION ON SCAFFOLDINGS

Summary: The article describes the methodology of in-situ measurements of wind action on scaffoldings. An elaborated system consisting of five 2D and one 3D ultrasonic anemometer was used to conduct measurements.

Literatura

- [1] PN-EN 12811-1. *Tymczasowe konstrukcje stosowane na placu budowy. Część 1: Rusztowania. Warunki wykonania i ogólne zasady projektowania*
- [2] PN-EN 12810-2:2010. *Rusztowania elewacyjne z elementów prefabrykowanych – część 2: Specjalne metody projektowania konstrukcji*
- [3] PN-EN 1991-1-4. Eurokod 1. *Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania wiatru*
- [4] Lipecki T. *Wpływ struktury wiatru na rozkład ciśnienia na powierzchni prostopadłościanu o wymiarach przekroju poprzecznego 10 cm x 20 cm*. Budownictwo i Architektura 10(1) (2012) 69–80
- [5] Lipecki T. *Oddziaływanie wiatru na budynki wysokie w świetle badań własnych i ujęć normowych*. Budownictwo i Architektura 12(2) (2013) 143–150
- [6] Jamińska P. *Analiza działania wiatru na układ budynek z rusztowaniem*. Budownictwo i Architektura 12(2) (2013) 111–118
- [7] Simiu, E., Scanlan, R.H. *Wind Effects on Structures – Fundamentals and Applications to Design*. John Wiley, New York 1996
- [8] Holmes J. *Wind Loading of Structures*. Spon Press, London, New York, 2001
- [9] Richards P.J., Hoxey R.P., Connell B.D., Lander D.P. *Wind-tunnel modelling of the Silsoe Cube*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95(9–11) (2007) 1384–1399
- [10] Blocken B., Carmeliet J. *High-resolution wind-driven rain measurements on a low-rise building – Experimental data for model development and model validation*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 93(9–12) (2005) 905–928
- [11] Li, Q.S., Xiao, Y.Q., Wong, C.K. *Full-scale monitoring of typhoon effects on super tall buildings*. Journal of Fluids and Structures 20(5) (2005) 697–717
- [12] Bashor R., Bobby S., Kijewski-Correa T., Kareem A. *Full-scale performance evaluation of tall buildings under wind*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 104–106 (2012) 88–97
- [13] Richards, P.J., Hoxey, R.P. *Pressures on a cubic building-Part 1: Full-scale results*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 102 (2012) 72–86
- [14] Sumorek A. *System do pomiarów obciążenia wiatrem rusztowań elewacyjnych*. IAPGOŚ 4 (2016) 37–42

Artykuł powstał w ramach projektu NCBiR nr. PBS3/A2/19/2015 zatytułowanego „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań”.