

Kształtowanie formy budynków wysokich w świetle badań i analiz związanych z oddziaływaniem wiatru

Shaping the forms of tall buildings in light of research and analyses associated with the influence of wind

ROMAN PARUCH*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.71>

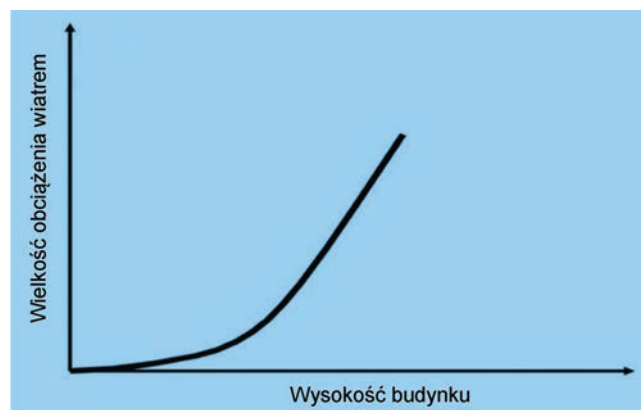
Rozwój budownictwa wysokiego, związany z realizacją coraz wyższych budowli o nietypowych kształtach, pociąga za sobą konieczność poszukiwania alternatywnych, a zarazem stosunkowo niedrogich rozwiązań projektowych, pozwalających na ograniczenie niekorzystnych wpływów aerodynamicznych. W artykule przedstawiono reprezentatywne uwarunkowania formy budynków wysokich, umożliwiające redukcję skomplikowanych zjawisk aerodynamicznych w otoczeniu obiektu.
SŁOWA KLUCZOWE: architektura budynków wysokich, budynek wysoki, oddziaływanie wiatru, badania tunelowe

The development of the construction of high-rise buildings that is associated with the building of taller and taller buildings with atypical shapes leads to the search for alternative and, at the same time, inexpensive design solutions that us to limit adverse aerodynamic influences. Representative conditions regarding the form of tall buildings that allow the reduction of complicated aerodynamic phenomena that occur around a structure have been presented in the paper.

KEYWORDS: the architecture of tall buildings, tall building, influence of wind, wind tunnel analysis

W zależności od analizowanego zagadnienia definicja budynku wysokiego może przyjmować różne formy. W zakresie obciążeń zewnętrznych działających na elementy nośne obiektów wysokościowych adekwatnym określeniem jest *budynek ekstremalny*. Skala oraz zakres sił działających bezpośrednio na taki budynek oraz zjawiska zachodzące w jego najbliższym otoczeniu często nie mają prostego odniesienia do materiałów źródłowych, jakimi są normy branżowe [1] lub wytyczne projektowe oraz wykonawcze. Geometria budynku ekstremalnego jest nieodłącznie związana z jego znaczną wysokością, dochodzącą nawet do 1000 m, licząc od powierzchni terenu. Ta wysokość jest powodem powstawania znaczących obciążeń, niejednokrotnie przekraczających założenia normowe opracowane dla standardowych sytuacji projektowych obiektów inżynierskich. Problematyka projektowa budynku wysokiego dotyczy zwłaszcza zagadnień związanych z ograniczeniem przemieszczeń poziomych budynku oraz z zapewnieniem jego sztywności przestrzennej, odpowiedniego posadowienia i odporności na dynamiczne działanie wiatru czy sił sejsmicznych.

Światowy trend, widoczny chociażby w Azji i na Bliskim Wschodzie, związany z projektowaniem i wznoszeniem coraz wyższych obiektów, wymaga od projektantów ustalenia faktycznych obciążeń pochodzących od wiatru, odpowiadających dokładnej lokalizacji budynku wysokiego. Wśród wszystkich sił działających na przedmiotowy obiekt podstawowe znaczenie ma obciążenie wiatrem. Skorelo-



Rys. 1. Wykres zależności wysokości budynku do wielkości obciążenia wiatrem [2]

wana zależność pomiędzy wysokością budynku a wielkością oddziaływań klimatycznych (w formie zjawisk aerodynamicznych) przedstawiono na rys. 1 [2].

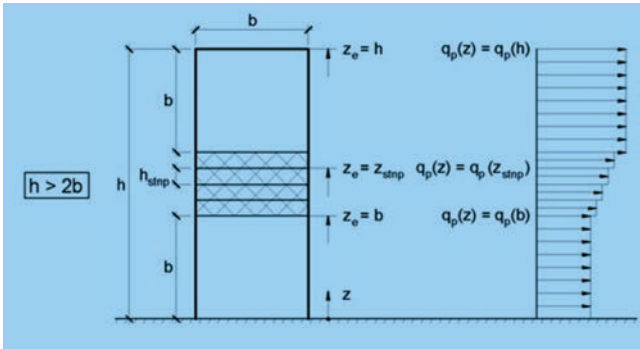
Kluczowym wyzwaniem podczas projektowania, związanym z działającymi obciążeniami, jest odpowiedni dobór systemu konstrukcyjnego z jednoczesną optymalizacją jego wymiarów geometrycznych. Istniejące rozwiązania konstrukcyjne różnią się przede wszystkim sposobem przekazywania sił – poziomych od wiatru i sejsmicznych – na fundamenty. Realizacja budynku wysokiego nie może się opierać jedynie na przyjęciu bardzo sztywnej konstrukcji, która byłaby odpowiedzią na działające obciążenia zewnętrzne. Podjęte w pracach [3, 4] badania i analizy podstawowych zagadnień aerodynamicznych oraz przedstawione w pracy [5] zależności pozwalają na sklasyfikowanie geometrii systemu konstrukcyjnego. Koniecznym uzupełnieniem przedstawionych analiz są badania opisujące redukcję niekorzystnych wpływów aerodynamicznych poprzez zmiany architektoniczno-geometryczne przekroju poprzecznego budynku [6–8].

Badania i analizy wpływu zjawisk aerodynamicznych związanych z oddziaływaniem wiatru na budynek wysoki

Współczesne budynki wysokościowe przełamują stereotyp wieżowca jako przeszklonego prostopadłościanu. Coraz bogatsza wiedza z zakresu aerodynamiki i zjawisk zachodzących wokół budynków ekstremalnych pozwala na realizację obiektów o skomplikowanych formach, nawiązujących często do tradycji, religii bądź historii. L.H. Sullivan, słynny chicagowski architekt, uznawany za prekursora współczesnych budynków wysokich, mawiał: *Obecna musi być w nim siła i moc wysokości. W każdym swoim calu musi być dumny i podrywać się do lotu, od czubka po fundament musi być całością bez jednej*

* Mgr inż. Roman Paruch (rparuch@pk.edu.pl) – Instytut Projektowania Budowlanego, Politechnika Krakowska

choćby linii sprzeciwu [9]. Weryfikacja statyczno-wytrzymałościowa elementów nośnych budynku z uwzględnieniem zagadnień dynamicznych, zgodnie z zaleceniami normy Eurokod 1 [1] dla obiektów wysokościowych, musi być poparta dwiema metodami badawczymi: badaniami w tunelach aerodynamicznych oraz analizą danych uzyskanych z badań na rzeczywistym modelu przez system nowoczesnej aparatury pomiarowej [10]. Wysokość odniesienia określona w normie [1] oraz schemat blokowy zaprezentowany na rys. 2, dotyczący obiektów o znacznej wysokości, pozwalają na określenie obszarów obciążenia budynków wysokich wzdłuż wysokości.

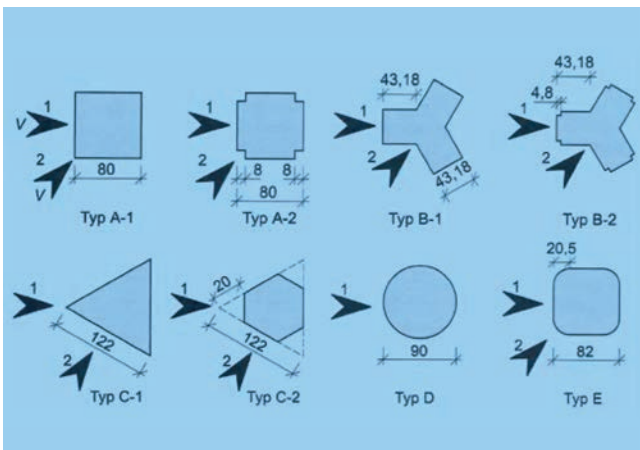


Rys. 2. Graficzny schemat blokowy wysokości odniesienia, ilustrujący obszary obciążenia według normy [1]

Profesor A. Flaga w swoich opracowaniach sformułował podstawowe pojęcia charakteryzujące opływ mas powietrza wokół budynku, takie jak: punkt oderwania warstwy przysiennej, położenie i parametry geometryczno-aerodynamiczne warstwy ścinanej, parametry geometryczno-aerodynamiczne śladu aerodynamicznego, cyrkulacja strumienia wokół budynku. Obraz graficzny opisanych zjawisk zachodzących wokół budynku przedstawiono graficznie w pracy [8]. Wyniki badań przeprowadzone w tunelach aerodynamicznych przez H. Hayashide i Y. Iwasa na czterech formach architektonicznych, z uwzględnieniem późniejszej modyfikacji ich przekroju poprzecznego bazowego, wykazały znaczącą zmianę wymienionych wcześniej parametrów. Badane przekroje poprzeczne pokazano na rys. 3.

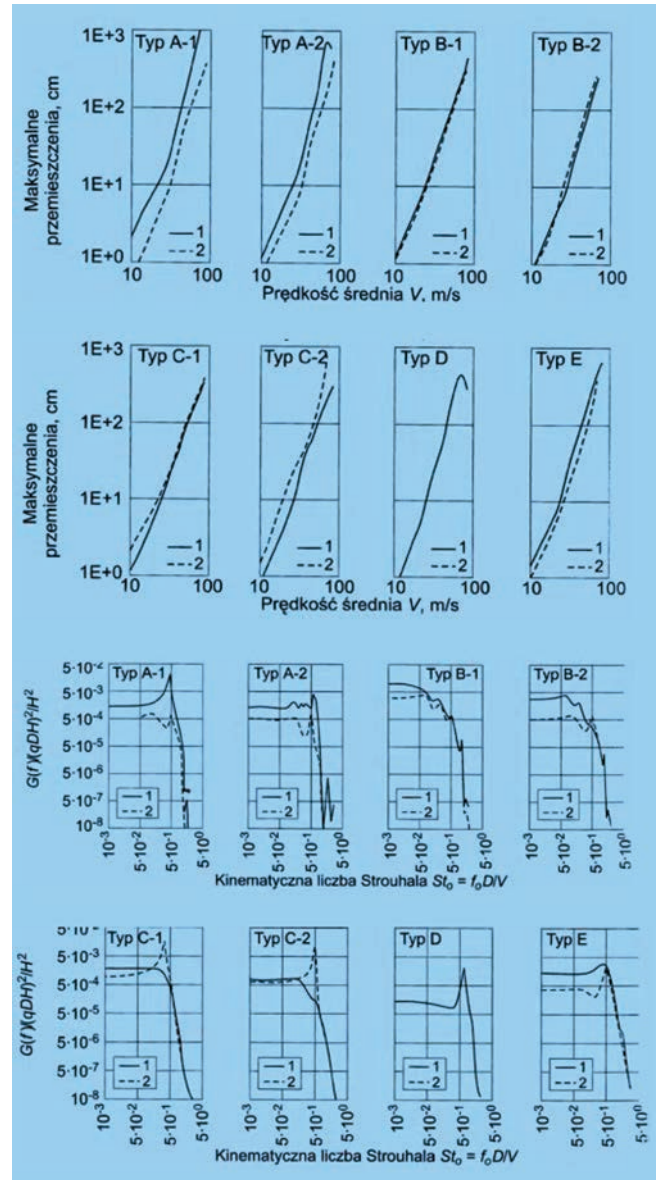
Otrzymane wyniki badań wskazały na jednoznaczny korelację pomiędzy zmodyfikowanym kształtem przekroju poprzecznego a zjawiskami opływu powietrza wokół budynku wysokiego. Wyniki i zależności korelacyjne przedstawiają diagramy na rys. 4.

Podobne badania przeprowadził K. Kwok w 1995 r. Badania [6], podobnie jak analizy [8], wykazały, że w przy-

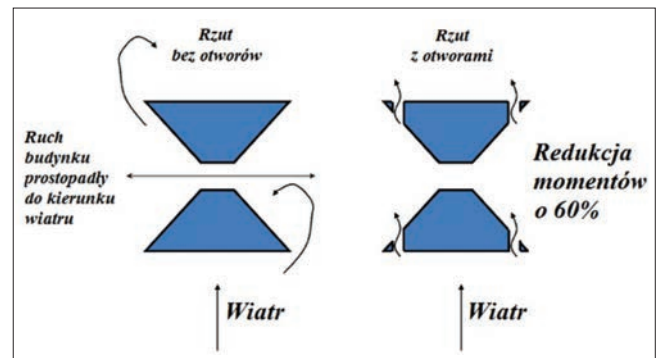


Rys. 3. Kształty i kierunki obciążenia badanych przekrojów [8]

padku modyfikacji kilku typów przekrojów poprzecznych budynków wysokich można uzyskać różnicę w wielkości współczynnika oporu aerodynamicznego C_x rzędu 40%. Badania [2] przeprowadzone przez RWDI (Consulting Engineers & Scientists) określiły również zagadnienia zmiany geometrii budynku wysokościowego w odniesieniu do otworów zastosowanych wewnątrz obiektu, pozwalających na przepływ mas powietrza przez jego wnętrze (rys. 5).



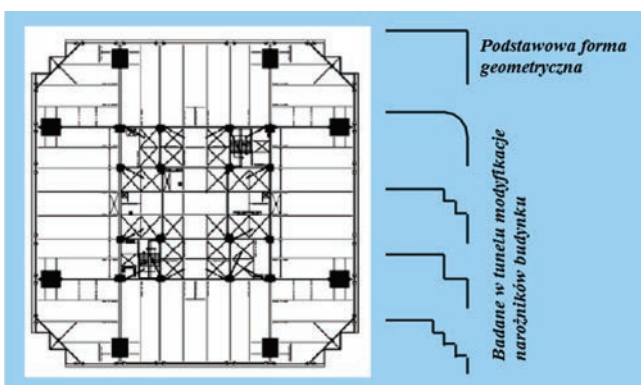
Rys. 4. Zależności korelacyjne związane ze zmianą przekroju poprzecznego jako odpowiedź całego budynku [8]



Rys. 5. Schematy badanych kształtów rzutu poziomego budynku [2]

Realizacje budynków wysokich w odniesieniu do przedstawionych badań i analiz

Przedstawione uwarunkowania aerodynamiczne wraz z wynikami badań mają odzwierciedlenie w realizacjach współczesnych budynków wysokościowych. Pierwszym reprezentatywnym obiektem jest Taipei 101 o wysokości 509 m, wybudowany na Tajwanie. Geometria pionowego przekroju poprzecznego budynku należy do grupy form skomplikowanych, które w badaniach [3] uzyskały niskie oceny dotyczące jakości konstrukcji. W tunelu aerodynamicznym badano [2] wpływ zmiany przekroju geometrycznego rzutu budynku jako formy architektonicznej na zjawiska aerodynamiczne oraz wielkości obciążenia wiatrem. Wprowadzenie do pierwotnej geometrii budynku (prostokątności) modyfikacji narożników spowodowało redukcję zjawisk aerodynamicznych o 25% (rys. 6).

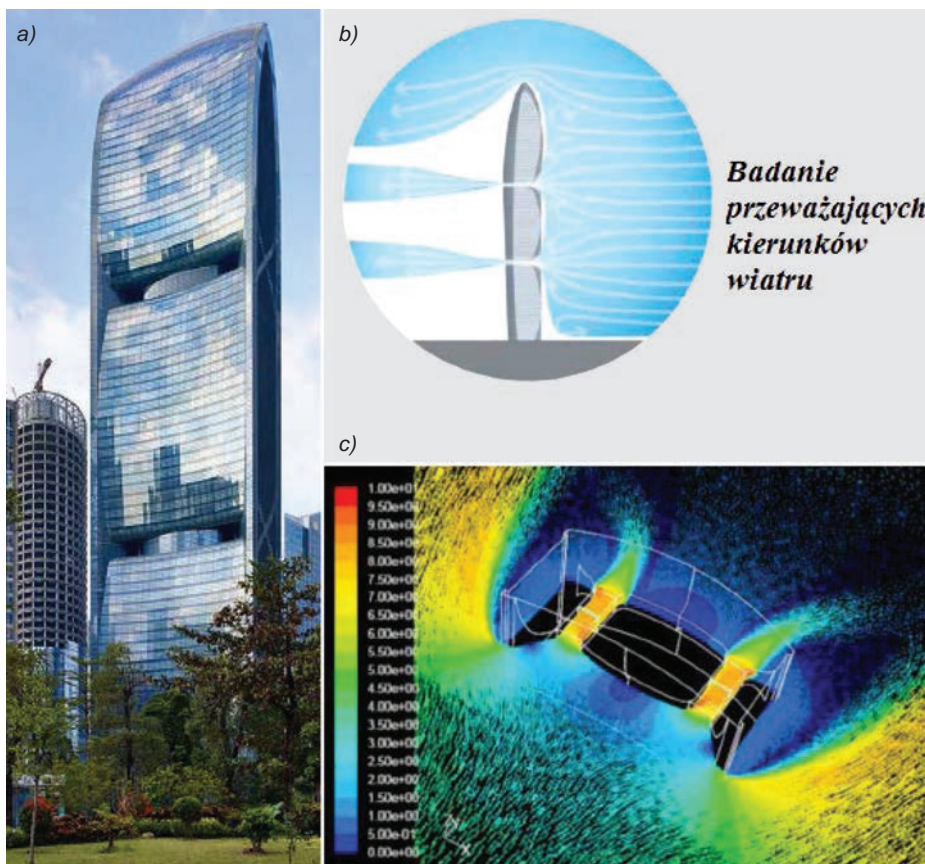


Rys. 6. Rzut typowej kondygnacji budynku Taipei 101 oraz modyfikacje narożników budynku badane w tunelu aerodynamicznym [2]

Godnym uwagi obiektem, w którym uwzględniono wyniki badań zaprezentowanych w pracach [6, 8, 9] jest Pearl River Tower o wysokości 310 m, znajdujący się w Guangzhou w Chinach, zaprojektowany przez pracownię SOM. Przekrój poprzeczny tego budynku zmodyfikowano, aby umożliwić przepływ wiatru przez jego przekrój. Przyjęte rozwiązanie nie tylko zmniejszyło skalę oddziaływań aerodynamicznych na budynek, lecz także zapewniło dostarczenie dodatkowej energii elektrycznej wytworzonej przez turbiny wiatrowe umieszczone we wnętrzu budynku. Stan budynku zrealizowanego w 2012 r. oraz uwarunkowania aerodynamiczne przedstawiono na rys. 7.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań i analiz uwarunkowań zjawisk aerodynamicznych wynikających ze zmiany geometrii przekroju poprzecznego budynku wysokiego stanowią skuteczne rozwiązanie – nie tylko teoretyczne, lecz także praktyczne, z sukcesem zastosowane w przytoczonych w artykule reprezentatywnych przykładach budowli. Realizacja coraz wyższych budynków o nietypowych kształtach wymusza poszukiwanie alternatywnych metod ograniczania niekorzystnych zjawisk wywołanych obciążeniem wiatrem oraz siłami sejsmicznymi. Istniejące systemy konstrukcyjne budynków ekstremalnych, wspomagane przez specjalne mechanizmy stabilizujące, zapewniają prawidłowe przeniesienie oddziaływań zewnętrznych, jednakże przyszłość budownictwa wysokiego będzie związana właśnie z alternatywnymi rozwiązaniami architektonicznymi i konstrukcyjnymi, pozwalającymi na optymalizowanie dróg konstrukcyjnych.



Rys. 7. Budynek Pearl River Tower w Guangzhou: a) widok elewacji południowej, b–c) obrazy zjawisk aerodynamicznych zachodzących wokół budynku [11]

LITERATURA

1. PN-EN 1991-1-4. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1–4: Oddziaływania Ogólne – Oddziaływania wiatru.
2. Irwin P.A. "Wind issues in the design of tall buildings". RWDI, Los Angeles Tall Building Structural Design Council, 2010.
3. Rychter Z. „Wpływ kształtu wieżowców na jakość konstrukcji”. *Architecturae et Artibus*. 2 (2013).
4. Lipiecki T. „Oddziaływanie wiatru na budynki wysokie w świetle badań własnych i ujęć normowych”. *Budownictwo i Architektura*. 12, 2 (2013): s. 143–150.
5. Paruch R. "Impact of wind on tall buildings from the perspective of the development of architectural forms and structural systems". *Mechanik*. 7 (2016).
6. Kwok K.C.S. "Aerodynamics of tall buildings". *A State of the Art in Wind Engineering*. New Delhi: Wiley Eastern Limited, 1995.
7. Melbourne W.H. "Bluff body aerodynamics for wind engineering". *International Conference on Wind Engineering*. New Delhi, 1995.
8. Hayashida H., Iwasa Y. "Aerodynamic shape effects of tall building for vortex induced vibration". Kyoto, Japan, 1988.
9. Sullivan L.H. *Lippincott's Magazine*. 1896.
10. Antecki P., Wdowicki J. „Budynek D-Wang Tower – konstrukcja i obliczenia”. *Inżynieria i Budownictwo*. 3 (2011).
11. SOM: www.som.com.