

Oddziaływanie wiatru na budynek wysoki w aspekcie rozwoju form architektonicznych i systemów konstrukcyjnych

Impact of wind on tall buildings from the perspective of the development of architectural forms and structural systems

ROMAN PARUCH *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.172

W artykule omówiono podstawowe pojęcia związane z wpływem oddziaływań klimatycznych, ze szczególnym uwzględnieniem obciążeń wiatru na konstrukcję budynków wysokich. Rozwój nowoczesnych form architektonicznych wymaga stosowania coraz bardziej złożonych systemów konstrukcyjnych, które muszą być poprzedzone skomplikowanymi obliczeniami numerycznymi, uwzględniającymi zagadnienia oddziaływań zewnętrznych na poszczególne elementy nośne obiektu.

SŁOWA KLUCZOWE: budynek wysoki, oddziaływanie wiatru, Robot Structural Analysis, technologia wymiany informacji BIM, architektura budynków wysokich

The article discusses elementary concepts related to the impact of climate factors, especially wind loads, on the structure of high-rise buildings (tall buildings). The development of modern architectural forms requires the application of more and more complex structural systems which must be preceded by complex numerical calculations, with consideration given to external impact on individual bearing elements of a facility.

KEYWORDS: Tall buildings, Wind effect, Robot Structural Analysis, Building Information Modelling BIM, Architecture of tall building

Architektura i konstrukcja budynków wysokich są dyscyplinami, których związki i wzajemne relacje są szczególnie widoczne. W pracy [1] omówiono fundamentalne wymagania dobru systemu konstrukcyjnego budynku wysokościowego w zależności od wysokości obiektu, smukłości i kształtu bryły oraz sztywności przestrzennej. Wytyczne architektoniczne istotnie wpływają na dobór samego systemu konstrukcyjnego, który powinien zostać zaprojektowany z uwzględnieniem wytycznych normowych, badań *in situ* oraz badań laboratoryjnych. Zwiększenie wysokości budynków powoduje znaczący wzrost obciążeń na elementach nośnych obiektu. Analiza form architektonicznych oraz odpowiednio dobranych systemów konstrukcyjnych budynków wysokościowych na etapie projektowania koncepcyjnego powinna określić proporcje bryły obiektu, które zapewnią sztywność przestrzenną obiektu z uwagi na działanie sił wiatru i sił sejsmicznych.

Obciążenie wiatrem w ujęciu normowym oraz badań laboratoryjnych (w tunelach aerodynamicznych)

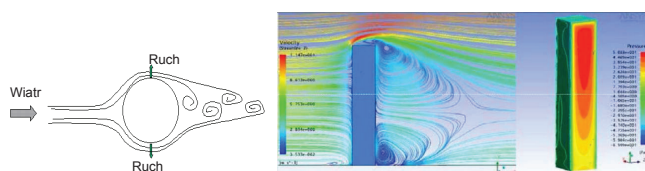
Skala wielkości siły parcia i ssania wiatru zależy od wielu czynników. Podane w pracy [4] zależności, takie jak: prędkość, kierunek i gęstość przepływu mas powietrza, kształt i wymiary budowli, sztywność budynku oraz jego lokalizacja, są głównymi determinantami w obliczaniu i analizowaniu samego obciążenia. Sposób przyjmowania wartości oddziaływań wiatru na budynki wysokie stanowi ogromne wyzwanie a zarazem odpowiedzialność dla projektantów branży konstrukcyjnej.

* Mgr inż. Roman Paruch (rparuch@pk.edu.pl), Politechnika Krakowska, Instytut Projektowania Budowlanego A-4 – Pracownia Konstrukcji Budowlanych A-44

Poprawnie dobrane wielkości normowe obciążeń wiatrem są szczególnie ważne zarówno w analizie całego obiektu, jak i jego wyodrębnionych elementów. Oddziaływanie wiatru stanowią dla tego typu obiektów najpoważniejsze oddziaływanie, przy celowym założeniu pominięcia obciążeń pochodzenia sejsmicznego. Eurokod 1 [9] szczegółowo opisuje obciążenie wiatrem na powierzchni regularne. Rozwój skomplikowanych form architektonicznych wraz ze zwiększeniem wysokości obiektu może spowodować niedoszacowanie rzeczywistych wartości obciążeń wiatrem. W przypadku obiektów, których kształt i geometria przestrzenna pozwalają na zastosowanie wprost wytycznych normowych [9], obliczenia można wykonać na prostych schematach stochastycznych. Inaczej należy rozwiązać zagadnienie dla obiektów o skomplikowanych formach architektonicznych.

Analiza wpływu obciążeń wiatru na budynki wysokie wymaga jednakże znacznie bardziej szczegółowych danych wejściowych do obliczeń. Zalecenia normy Eurokod 1 [9] dla obiektów wysokościowych powinny zostać poparte dwoma metodami badawczymi. Jedną z nich są badania w tunelach aerodynamicznych. W pracy [3] przedstawiono analizę porównawczą sposobu przyjmowania oddziaływań wiatru na budynki wysokie o prostym przekroju poprzecznym w kształcie prostokąta według procedury rekomendowanej przez normę z wynikami badań modelowych. Wyniki analizy porównawczej potwierdzają, iż „profil wiatru”, co stanowi spectrum zagadnienia, spełniają w wystarczającym stopniu kryterium podobieństwa do profili rekomendowanych przez Eurokod 1 [9]. Uzupełnieniem wiedzy ujętej w normie [9] oraz podobnych badań, jak w pracy [3], są badania *in situ*. Metoda badawcza na rzeczywistym obiekcie wciąż jest zbyt mało popularna. Pozyskana wiedza z nowoczesnej aparatury pomiarowej umożliwia badanie dynamicznych odpowiedzi budynków na występujące siły wiatru lub siły sejsmiczne. Dane wyjściowe z pomiarów rzeczywistych w połączeniu z rozwojem technologii komputerowych pozwalają projektantom branży konstrukcyjnej na realizowanie coraz śmielszych wizji architektonicznych. W przypadku obiektów zlokalizowanych poza strefą sejsmiczną dla optymalizacji konstrukcji najistotniejsze są obciążenia dynamiczne w postaci porywów wiatru i efekty aerodynamiczne związane z opływem powietrza. Wymagania architektoniczne związane z coraz większymi wysokościami obiektów oraz skomplikowanymi bryłami powodują, iż zoptymalizowane ustroje nośne stają się bardzo wiotkie, a co za tym idzie bardziej podatne na obciążenia dynamiczne. Konieczność zastosowania coraz lżejszych materiałów budowlanych powoduje, iż powstające siły bezwładności działające na konstrukcje, mogą wielokrotnie przekroczyć wartości sił wymuszających. Na rys. 1 przedstawiono graficznie zjawisko zawirowań wynikających z opływu mas powietrza wokół budynku wysokościowego.

Przedstawione graficznie zjawisko, jako „wzbudzenie wirowe” powstaje, gdy po zawiętrznej stronie konstrukcji budynku wysokościowego tworzy się obszar niskiego ciśnienia. Powo-



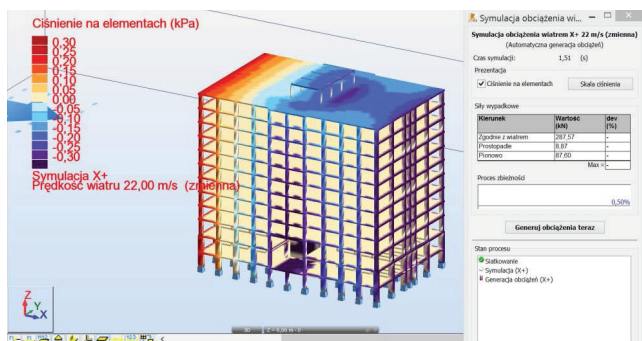
Rys. 1. Graficzny schemat ilustrujący zjawisko zawirowań przepływu mas powietrza wokół budynku wysokościowego

duże to ruch konstrukcji prostopadły do kierunku wiatru. Przy krytycznych prędkościach wiatru konstrukcja może wpaść w rezonans, co generuje duże naprężenia i wychylenia konstrukcji.

Pomiar rzeczywistych odpowiedzi budynku na oddziaływania zewnętrzne w połączeniu z obliczeniami numerycznymi pozwala na zaprojektowanie optymalnej formy systemu konstrukcyjnego przyjmującego obciążenia, których wartości będą zbliżone do występujących w naturze. Przedstawiona w pracy [5] analiza uzyskanych pomiarów rzeczywistych na budynku Di-Wang Tower w centrum Shenzhen, względem weryfikacji statycznej i dynamicznej przeprowadzonej za pomocą programów komputerowych typu Robot Structural Analysis oraz BW, daje satysfakcjonujące wartości porównawcze. Wielkości przemieszczeń badanego budynku 79-kondygnacyjnego, uzyskane poprzez analizę numeryczną są zbliżone do pomierzonych na obiekcie.

Prosta analiza numeryczna wykonana w programie Robot Structural Analysis

Celem przybliżenia i wyjaśnienia możliwości analizy numerycznej oddziaływań wiatru na konstrukcje budynku zaimplementowano model obiektu do programu Robot Structural Analysis. Wykonanie symulacji przepływu wiatru wokół konstrukcji pozwala na przedstawienie rozkładu ciśnienia na elementach nośnych budynku. Uzyskane wyniki analizy numerycznej z programu komputerowego mogą być uzupełnieniem obliczeń wykonanych na podstawie wytycznych normowych [9] oraz badań w tunelach aerodynamicznych. Skomplikowane bryły i formy architektoniczne stanowią trudne wyzwanie dla prawidłowego zdefiniowania wartości obciążeń wiatrem na wyodrębnione fragmenty budynku (załamania, wypusty, wnęki) przy uwzględnieniu jedynie schematów uproszczonych statystycznych.



Rys. 2. Graficzny obraz symulacji obciążenia wiatrem wraz z obliczonym ciśnieniem na poszczególne elementy nośne

Wpływ rozwoju form architektonicznych na systemy konstrukcyjne budynków wysokich

Podjęte w niniejszej pracy zagadnienie rozwoju coraz bardziej skomplikowanych form architektonicznych wraz ze wzrostem wysokości budynków należy uzupełnić o tematykę dotyczącą kształtu pionowego obiektu wysokościowego. Traktując oddziaływania wiatru na budynek wysoki jako obciążenie dominujące w rodzinie wszystkich oddziaływań należy przyjąć, że może ono wywoływać duże siły wewnętrzne w elementach

konstrukcyjnych w ujęciu statycznym wraz z wychyleniem obiektu od osi pionowej. Dodatkowo – co może stanowić podstawę całego procesu projektowego oraz prawidłowego doboru systemu konstrukcyjnego – oddziaływania dynamiczne mogą wprowadzić budynek w drgania poprzeczne do kierunku wiatru. Przedstawione w [2] formy architektoniczne, takie jak klasyczne sylwetki cylindra, piramidy oraz nowatorskie kształty w postaci odwróconej piramidy, ogórka i klepsydry, mają odzwierciedlenie wśród zrealizowanych najwyższych budynków świata. Wyniki obliczeń przedstawione w pracy [2] wskazują jednoznacznie, iż najlepszymi względem wybranych zagadnień technicznych są kształty piramidalne oraz piramidalne zwieńczone cylindrem. Odzwierciedleniem wspomnianych form architektonicznych jest najwyższy budynek świata Burj Khalifa w Dubaju (828m) oraz bliźniacze wieże Petronas Towers w Kuala Lumpur (452m). Najniżej ocenionymi w pracy [2] są kształty przypominające klepsydrę, ogórek lub piramidę odwróconą. Jednakże opisane formy architektoniczne mają również swoje odniesienia np. w londyńskim wieżowcu (180 m) 30 St Mary Axe (kształt ogórka) oraz budynku Taipei 101 (508 m – kształt klepsydry). Najwyżej ocenione [2] kształty budynków mają sylwetki naturalne i klasyczne, które można porównać do sylwetki pnia drzewa. Konceptyjne systemy konstrukcyjne budynków wysokich oparte na schemacie drzewa zostały przedstawione w pracy [7]. Ewolucja form architektonicznych i systemów konstrukcyjnych opartych na systemie dźwigara soczewkowego może wnieść nowatorski wkład w projektowanie coraz wyższych obiektów.

Podsumowanie

Celem pracy było przedstawienie wzajemnych relacji rozwoju nowoczesnych form architektonicznych i systemów konstrukcji budynków wysokich w wyniku oddziaływań wiatru. Skomplikowane kształty obiektów oraz wymagania wynikające z wysokości budynków wpływają na spotęgowanie obciążenia elementów konstrukcyjnych części nadziemnej oraz fundamentów. Zwiększone wartości oddziaływań wiatru oraz sił sejsmicznych muszą mieć odzwierciedlenie w prawidłowo dobranym systemie konstrukcyjnym. Forma architektoniczna wieżowców musi uwzględniać formę i rodzaj konstrukcji nośnej obiektu. Współpraca obu dyscyplin może być rozwijana na bazie technologii BIM – Modelowania Informacji o Budynku [8]. Istotnym wkładem, który może w przyszłości pomóc w doskonaleniu relacji form architektonicznych i systemów konstrukcyjnych, są badania na elementach nośnych staków powietrznych. Nowatorskie technologie stosowane w budowie samolotów mogą się przyczynić do rozwoju systemów konstrukcyjnych odporniejszych na obciążenia wiatrem.

LITERATURA

- Pawłowski A., Cała I. „*Budynki wysokie*”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006 r.
- Rychter Z. „Wpływ kształtu wieżowców na jakość konstrukcji”. *Architectura et Artibus* – 2/2013.
- Lipiecki T. „Oddziaływanie wiatru na budynki wysokie w świetle badań własnych i ujęć normowych”. *Budownictwo i Architektura* 12(2) (2013) 143-150.
- Padewska A., Szczepaniak P., Wawrzynek A. „Oddziaływanie wiatru na obiekt o nietypowym kształcie”. *Inżynieria i Budownictwo* nr 7/2015 r.
- Antecki P., Wdowicki J. „Budynek Di-Wang Tower – konstrukcja i obliczenia”. *Inżynieria i Budownictwo* nr 3/2011.
- Gwozdowski B., Wdowicki J., Błaszczyszki T. „Budynek wysoki Shanghai World Financial Center (SWFC) – konstrukcja i analiza obliczeniowa”. *Inżynieria i Budownictwo* nr 10/2013.
- Rębielak J. „Konceptcja systemu konstrukcyjnego budynku wysokiego”. *Inżynieria i Budownictwo* nr 1/2012.
- Paruch R. „Komputerowe wspomaganie projektowania za pomocą programu robot Structural Analysis”. *Mechanik* 7/2015.
- PN-EN 1991-1-4. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania Ogólne – Oddziaływania wiatru. ■