

BUDOWNICTWO WYSOKIE

Część 1

tendencje projektowe i rozwój



dr inż. arch. Hubert Markowski
mgr inż. Krzysztof Owczarczyk
prof. zw. dr hab. inż. Kazimierz Szulborski

Od końca XIX w. budowa wysokich budynków, w tym drapaczy chmur, stała się dla architektów wyzwaniem. Musieli oni godzić własne ambicje i wizje artystyczne z względami ekonomicznymi oraz nieustannie doskonalić metody projektowania.

Budynek wysoki, drapacz chmur (ang. sky scraper), wieżowiec (ang. tower building), wysokościowiec oraz piękne, stare polskie słowo – niebotyk. Wszystkie są wykorzystywane do określenia budynków znacznych wysokości. Wykładnię dotyczącą terminologii określa Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. Ten akt prawny ustanawia grupy wysokościowe, zgodnie z którymi budynek wysoki (W) oznacza obiekt od 25 m do 55 m. Budynki powyżej 55 m są określane, jako wysokościowe (WW)¹.

W artykule użyto wszystkich pojęć zamiennie, ale zawsze oznaczają one obiekt, którego wysokość jest znacznie większa od wymiarów jego podstawy.

Stalowe ramy konstrukcji

Nowożytna historia budynków wysokich rozpoczyna się w drugiej połowie XIX w. Wtedy to następuje przełom technologiczny w wytwarzaniu stali. Dzięki temu projektanci zyskali dostęp do nowego materiału konstrukcyjnego, znacznie trwalszego i wytrzymalszego od dotychczas stosowanych. Pierwszym, który zastosował stal w budownictwie, był inż. James Bogardus. Wybudował on w latach czterdziestych XIX w. w Nowym Jorku pięcioletni kondygnacyjny budynek o nowym, szkieletowym ustroju konstrukcyjnym, doskonale wykorzystującym zalety nowego materiału. Przez następne dekady przełomu XIX i XX w.

inżynierowie doskonalili metody projektowania układów szkieletowych budynków. W tym czasie powstają głównie w Chicago pierwsze kilkunastokondygnacyjne budynki, w których wykorzystuje się nowe technologie konstrukcyjne. Przełomem dla budownictwa wysokiego jest rok 1910, kiedy to zostaje rozpoczęta budowa protoplasty wszystkich drapaczy chmur – Woolwarth Building (rys.2) o wysokości 241 m. Wieżowiec został zaprojektowany przez arch. Casa Gilberta. Współautorem projektu konstrukcji był znany polski inżynier Stefan Bryła².

Stal i beton wysokowartościowy

W wieku XX następuje gwałtowny rozwój budownictwa wysokiego, obejmujący swoim zasięgiem wszystkie kontynenty. Sto lat po rozpoczęciu budowy Woolwarth Building zostaje oficjalnie oddany do użytkowania wybudowany w Dubaju (Emiraty Arabskie) obecnie najwyższy budynek świata – Burj Khalifa. Ten niezwykle wieżowiec osiągnął

wąta m.in. Sears Tower (Chicago) i aktualnie budowany One World Trade Center (Nowy York). Twórcy początkowo opierali się na projekcie nigdy nie wybudowanego Grollo Tower w Melbourne w Australii, jednak wymagania inwestora i prestiż inwestycji zmusiły ich do porzucenia tej koncepcji. Inspiracją dla projektantów stał się kwiat pustyni (Hymenocallis). W założeniach budynek miał mieć 560 m, jednak taka koncepcja nie zadowalała inwestora. W trakcie prac projektowych uznano, że można bezpiecznie zwiększyć wysokość do 705 m. Ostateczna wysokość – 828 m – była utrzymywana w tajemnicy aż do momentu zakończenia budowy.

Realizacja wieżowca o takich rozmiarach nie byłaby możliwa bez spełnienia kilku podstawowych warunków.

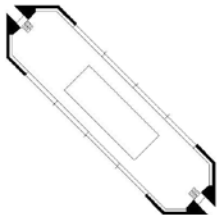
Budynek powstał w nowej dzielnicy Dubaju, dzięki czemu możliwe było zaprojektowanie układu urbanistycznego podporządkowanego powstającemu kolosowi. Urbaniści musieli wziąć pod uwagę zgromadzenie po-

Możliwość wznoszenia bardzo wysokich budynków dały dwa wynalazki z drugiej połowy XIX wieku: bezpieczne windy i stalowa konstrukcja nośna.

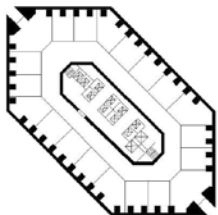
imponującą wysokość 828 m. Burj Khalifa posiada 206 kondygnacji, z czego 169 to kondygnacje użytkowe.

Projekt drapacza chmur powstał w pracowni architektonicznej Skidmore, Owings i Merrill (SOM) z Chicago, która zaprojekto-

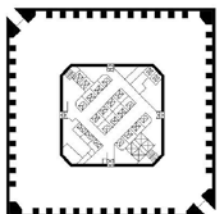
wał 12 tys. użytkowników budynku w jednym miejscu. Wiązało się to z budową dróg o właściwej przepustowości oraz wprowadzeniem odpowiedniej komunikacji miejskiej. Dzięki budowie miasta od podstaw można było przewidzieć miejsce na poprowadzenie gi-



Kondygnacja szczytowa



Kondygnacja powtarzalna



Kondygnacja przyziemia

Rys. autor

Rys. 1. Budynek Shanghai World Financial Center, widok i rzuty

gantycznej sieci infrastruktury podziemnej. Przyłącza do budynku doprowadzają 946 m³ wody dziennie oraz dostarczają energię elektryczną o mocy 36 MW, co odpowiada zapotrzebowaniu jednego miasta.

Rzut budynku składa się z trzech ramion w kształcie litery „Y”, które wraz z wysokością są odpowiednio zmniejszane. Jediną konstrukcją przechodzącą przez cały budynek jest sześcioboczny trzon zakończony na szczycie stalową iglicą. W niższych partiach budynku do współpracy z trzonem zostały włączone ściany podłużne (ściany boczne głównych korytarzy w każdym ze skrzydeł) i ściany poprzeczne. W ustroju konstrukcyjnym słupy zastosowano jedynie w dolnych kondygnacjach, w miejscach najbardziej oddalonych od trzonu. Do budowy użyto betonów wysokowartościowych. Mieszanka była podawana pompami na poziom 601 m, a ciśnienie robocze pomp osiągało 80 MPa. Należy nadmienić, że dotychczas najwyższym na świecie budynkiem o konstrukcji żelbetowej był Central Plaza w Hongkongu (374 m). Budynek w Dubaju wprawdzie nie jest w całości żelbetowy, jednak do wysokości 586 m (156. kondygnacja) jest wykonany tylko z tego materiału. Wyżej zastosowano kratownicę stalową, stanowiącą praktycznie zwieńczenie konstrukcji budynku.

Zrealizowanie wieżowca jest niezwyklej osiągnięciem myśli inżynierskiej. Z jego budową wiąże się ustanowienie wielu nowych rekordów światowych. Te rekordy, to m.in. najwyższy budynek, najwyższa wolno stoją- ▶

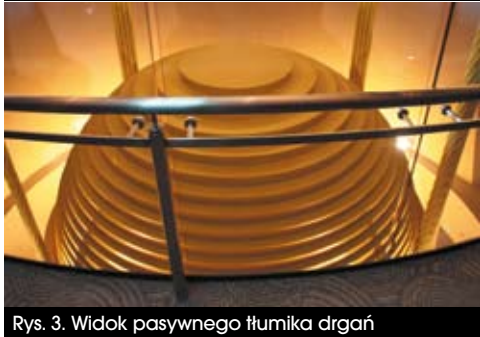


Fot. Jakub Holm



Rys. 2. Woolworth Building w Nowym Yorku, widok konstrukcji zwieńczenia

Zdjęcie w domenie publicznej



Rys. 3. Widok pasywnego tłumika drgań

Fot. Huaiwei



Rys. 4. Taipei 101

Fot. Allen Thompson

ca konstrukcja, budynek o największej liczbie kondygnacji, najwyżej położona użytkowa kondygnacja, najwyżej położony odkryty taras widokowy, najdłuższy szyb windowy.

Mimo niewątpliwego sukcesu, jakim była budowa wieżowca, wzbudza ona także spore kontrowersje. Krytyka dotyczy sensowności tego rodzaju inwestycji. W zamierzeniach inwestorów budynek miał stać się ikoną, znakiem rozpoznawczym siły i zamożności Zjednoczonych Emiratów Arabskich. Jego spektakularność ma zwrócić na ten kraj uwagę światowego kapitału i dzięki temu przynieść wymierne korzyści³.

Megakolumny

Azja Wschodnia to aktualnie najbardziej dynamicznie rozwijający się rejon na świecie pod względem ilości i wysokości wznoszonych budynków wysokich. Aktualnie najwyższym wieżowcem w tym rejonie jest budynek Taipei 101, który został zrealizowany na Tajwanie w 2004 r. (rys. 4). Do momentu wybudowania Burj Khalifa był najwyższym budynkiem na świecie. Jego wysokość wraz z iglicą wynosi 509 m. Projektantem wieżowca jest pracownia C.Y.Lee & Partners. Forma budynku została dostosowana do architektury historycznej występującej w tej części świata i nawiązuje do dawnego drewnianego budownictwa tego regionu. Uskokki na elewacji występują co ósmą kondygnację i są realizowane poprzez wysunięcie płyt stropowych. Główna konstrukcja nośna budynku składa się z ośmiu megakolumn. Konstrukcja trzonu nie jest monolityczna. Związane jest to z potrzebą obniżenia ciężaru budynku. Zamiast ścian żelbetonowych zastosowano wiązkę szesnastu słupów żelbetonowych.

Zastosowanie w konstrukcji nośnej jedynie słupów prowadzi do problemów związanych z uzyskaniem właściwej stabilności budynku. Rozwiązano ten problem poprzez zastosowa-

nie co ósmą kondygnację skratowań, które mają na celu spięcie wszystkich słupów w jeden sztywny układ konstrukcyjny. Dodatkowo do zmniejszenia wychyleń budynku zastosowano pasywny tłumik drgań. Głównym jego składnikiem jest stalowa kula o średnicy 5.5 m i o wadze 600 t. Zamontowano ją w szczytowej partii wieżowca pomiędzy kondygnacjami 87 i 92 (rys. 3). Megakolumny w dolnej partii budynku są usytuowane pod kątem, zgodnie z rozszerzającą się podstawą budynku. Zastosowanie systemu megakolumn zmusiło projektantów do kształtowania formy budynku w sposób symetryczny. Dodatkowo skomplikowało to projektowanie wnętrza poszczególnych kondygnacji, gdyż masywne słupy zabierają znaczną jego przestrzeń. Mimo wszystko projektantom udało się osiągnąć zamierzony wyraz architektoniczny, za co zostali uhonorowani nagrodą Emporis Skyscraper Award. Taipei 101 uznano za najlepszy wieżowiec wzniesiony w 2004 r.

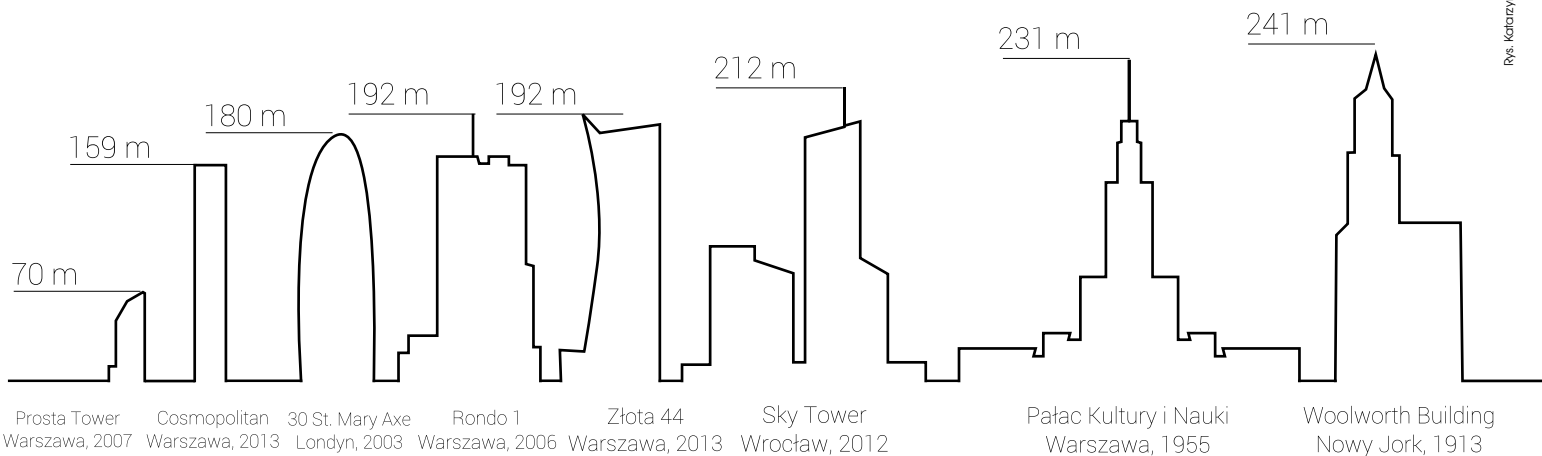
Trzon w trzonie

Krajem, który od ponad dwudziestu lat dynamicznie rozwija budownictwo wysokie w tym regionie, są Chiny. W najbliższym czasie zostaną rozpoczęte budowy wielu nowych drapaczy chmur o wysokościach dochodzących do 600 m. Obecnie najwyższym budynkiem w tym kraju jest czwarty co do wysokości drapacz chmur na świecie Shanghai World Financial Center (rys. 1).

Wysokościowiec został wybudowany w 2008 r. Projektantem obiektu była pracownia Kohn Pedersen Fox. Ostateczna wysokość drapacza chmur ulegała zmianom podczas prac nad dokumentacją budowlaną, by w końcu osiągnąć 492 m. Za konstrukcję obiektu odpowiada japońska firma Shimizu Corporation.

Architektura obiektu, tak jak w przypadku opisywanych wcześniej azjatyckich wysoko-

Aktualnie na dwadzieścia pięć najwyższych budynków na świecie tylko cztery są spoza kontynentu azjatyckiego.



Rys. Katarzyna Burzyńska

ściowców, nawiązuje do kultury wschodu, tym razem chińskiej. W pierwszej koncepcji rzut pierwszej kondygnacji miał mieć formę kwadratu – chińskiego symbolu ziemi. W zwieńczeniu miał pojawić się okrąg – znak nieba. Jednak w tę czystą myśl architekta wkraśniała polityka historyczna. Znak okręgu jest symbolem Japonii, a ta podczas II wojny światowej okupowała tę część Chin. Dlatego też inwestor zlecił architektowi zmianę koncepcji i na szczycie wieżowca został zaprojektowany prześwit w postaci odwróconego trapezu.

Konstrukcja obiektu jest bardzo solidna i adekwatna dla budynku o tej wysokości. Układ trzon w trzonie doskonale przenosi obciążenia i zapewnia sztywność przestrzenną budynku. Dodatkowo naroża wieżowca są wzmocnione megakolumnami (rys.1). Gęsta siatka słupów może powodować problemy z doświetleniem wnętrza, zapewnia jednak wolny rzut kondygnacji, dzięki któremu możliwe jest swobodne kształtowanie podziałów na poszczególne pomieszczenia. Solidny żelbetowy trzon zmienia swój przekrój wraz z wysokością budynku. Prześwit na szczycie wieżowca ma według projektantów za zadanie zmniejszać obciążenia wywołane wiatrem, jednak sama forma architektoniczna z dużymi płaszczyznami i ostrymi narożami nie powoduje redukcji sił od głównej składowej poziomej obciążenia. Ze względu na możliwość wystąpienia znacznych wychyleń budynku użyto tłumika drgań w postaci zbiorników z wodą zamontowanych na szczycie budynku.

Układ konstrukcyjny trzon w trzonie pozwolił projektantom na dużą swobodę kształ-

towania formy budynku przy zachowaniu znacznych wymagań co do bezpieczeństwa konstrukcji i redukcji wychyleń obiektu⁴.

Wyścig z wysokością

Światowe tendencje we wznoszeniu budynków wysokich jasno określają cel, do którego będzie dążyło tego typu budownictwo. Jest nim wysokość. W tym wyścigu liderem jest i pozostanie na wiele lat kontynent azjatycki. Aktualnie na dwadzieścia pięć najwyższych budynków na świecie tylko cztery są spoza tego regionu. W roku 2020, jeśli zostaną zrealizowane wszystkie zmierzania projektantów i inwestorów, pozostaną jedynie dwa. Na kontynencie azjatyckim walka o miano najwyższego budynku świata będzie się toczyła pomiędzy takim krajami, jak Arabia Saudyjska, Zjednoczone Emiraty Arabskie i Chiny. W 2019 r. ma zostać ukończony budynek, który przekroczy barierę 1000 m. wysokości. Będzie nim wybudowany w Arabii Saudyjskiej Kingdom Tower. Jednak zanim nastąpi to spektakularne wydarzenie, w mieście Changsha w Chinach zostanie ukończony budynek o wysokości 838 metrów, co pozwoli mu na pewien czas odebrać Burj Khalifa tytuł najwyższego budynku świata. XX wiek zakończył dotychczasową dominację Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej w zakresie budownictwa wysokiego. Aktualnie zbliża się do końca budowa najwyższego budynku Ameryki – One World Trade Center w Nowym Jorku. Powstaje on na miej-

scu zniszczonych w ataku terrorystycznym wież World Trade Center. Wysokość, jaką osiągnie wraz z iglicą, to 541,3 m. Jeśli jego budowa zakończy się zgodnie z harmonogramem, będzie on trzecim co do wysokości budynkiem na świecie. Jednak w roku 2020, po realizacji wielu azjatyckich projektów, będzie to już miejsce dziesiąte. ■

Abstract. High-rise buildings. The series of articles will strive for presenting design trends and the development of high-rise buildings on international examples. The study material or review will embrace the topic of analysis of both construction and technology, as well as indicate trends in architectural design. A wide variety of contemporary buildings and these still under construction will be studied.

Przypisy

1. Markowski H.; Rozprawa Doktorska: Kształtowanie konstrukcji i form architektonicznych budynków wysokich, Wydawnictwo PW, Warszawa 2011
2. Augustyn J.; Stefan Bryła. Życie i dzieło. Fundacja PZITB, Inż. i Bud., 1994
3. Markowski H., Szulborski K.; Najwyższy budynek świata w Dubaju. „Inżynieria i Budownictwo” nr 4, 2010
4. Markowski H.; Rozprawa Doktorska: Kształtowanie konstrukcji i form architektonicznych budynków wysokich, Wydawnictwo PW, Warszawa 2011
5. Szulborski K., Nalewajko R.; O projekcie i realizacji części podziemnej wysokościowego budynku mieszkalnego w Warszawie. „Inżynieria i Budownictwo” nr 2, 2003.

