

Postęp i perspektywy budowy wieżowców w Państwie Środka

# Chińskie drapacze chmur

dr hab. inż. Kazimierz Kłosek,  
prof. PŚI,  
Wydział Budownictwa  
Politechniki Śląskiej w Gliwicach



## Wstęp

Chiny to wielki i wspaniały kraj, ale nadal dziwny dla Europejczyka. Problemy są już z samą nazwą. Chińczycy nazywają swój kraj najczęściej Zhongguo (...), czyli Państwo Środka. W niektórych prowincjach jest to Tianxia, Rénmín, Gònghéguó albo Shenzhou, co posiada odmienne zabarwienia emocjonalne i stylistyczne. Chiny miały w przeszłości wiele różnych nazw. I tak, Rzymianie nazywali je Serica, zaś w czasach Marco Polo przyjęła się nazwa Kataj (ros. Kitaj, od Kitanów). W epoce odkryć geograficznych używano China i wywodzącej się od niej nowej nazwy łacińskiej Sina, obie pochodzące z sanskrytu (od dynastii Qin). Co ciekawe, do XVII w. portugalska China i opisany przez Marco Polo Kataj były uważane za odrębne kraje. Na mapach, daleko na północ od Pekinu – dzisiejszego Bejingu, umieszczano Chanbałyk, a jednym z pierwszych, którzy zwrócili uwagę na ten błąd był polski jezuita, o. Michał Boym.

Benedykt Chmielowski, autor późnobarokowej encyklopedii *Nowe Ateny* tak pisał o nazwie Chin: „Luzytańczykowie i Hiszpani chińskie państwo nazywają Chinam, Włosi Toskańcy Cinam, Niemcy Tchinam, Arabowie zowią Sin, Ptolemeusz Geograf Sin y Sericam, Saraceni Katay albo Kitay, sami zaś Chińczykowie państwu swemu co raz inne dają imię, gdy inna tam panuje familia (...)”.

## Państwo Środka – dzień dzisiejszy

Chiny oraz Tybet, oficjalnie Chińska Republika Ludowa (ChRL, People's Republic of China – PRC), zamieszkuje łącznie 56 grup etnicznych, tworząc najludniejsze państwo świata<sup>1</sup> o populacji

<sup>1</sup> Ludność świata wynosi 6,641 mld (stan na 1 stycznia 2008 r.), w tym Europa – 0,725 mld, Indie – 1,1 mld.

1,314 mld osób. Pod względem powierzchni (9,596 mln km<sup>2</sup>) są czwartym krajem świata, przy średniej gęstości zaludnienia 137 osób/km<sup>2</sup>. Chiny, porównywalne powierzchniowo z Europą (10,5 mln km<sup>2</sup> lub 5,96 mln km<sup>2</sup> bez europejskiej części Rosji), to dzisiaj<sup>2</sup> trzeci pod względem wielkości gospodarki (PKB nominalny) lub też drugi (PKB realny) po USA kraj świata. W 2006 r. nominalny PKB Chin szacowano na 2512 mld USD. W 2005 r. inwestycje zagraniczne przekroczyły 70 mld USD i pochodziły głównie z USA, Japonii i krajów Unii Europejskiej.

Intensywny wzrost gospodarczy nie przekłada się jednak na równie dynamiczny wzrost zasobności społeczeństwa, prowadząc do coraz większych nierówności. PKB na jednego mieszkańca (biorąc pod uwagę parytet siły nabywczej) to 6,8 tys. USD/r. Wiele krytycznych opinii wskazuje, że Chiny stworzyły obecnie gospodarkę opartą na wyzysku własnych obywateli i całkowitego braku poszanowania dla środowiska naturalnego. Główne profity są udziałem ludzi powiązanych z władzą. W Chinach jest już 320 tys. osób, których średni majątek wynosi 5 mln USD. 90% z nich należy do partii rządzącej lub jest z nią w bliskich relacjach. Obecny ustrój Chin jest wciąż określany jako socjalistyczny (tzw. socjalizm o chińskich właściwościach). W praktyce jest to jednak kapitalizm, pozbawiony większości znanych Europejczykom zabezpieczeń socjalnych i cechujący się zabarwieniem nomenklaturowym.

Po nieudanym eksperymencie maoizmu, w latach 80. XX w. rozpoczęto reformy ekonomiczne, polegające na odejściu od gospodarki planowej i coraz szerszym otwarciu na świat. Dla własnych obywateli oznaczało to głównie wprowadzenie wolności podróżowania, podczas gdy sam ustrój zaczął ewolu-

<sup>2</sup> W 2007r., po USA i Japonii.



Rys. 1. Shanghai Park Hotel – pierwszy budynek o stalowej konstrukcji nośnej w Chinach (1932); posiada 22 piętra i 82 m wysokości



Rys. 2. Shenzhen Develop Centre Mansion – pierwszy obiekt w Chinach przekraczający wysokość 100 m (1987); liczy 48 pięter i 165 m wysokości



Rys. 3. Beijing Jing Guang Centre – pierwszy obiekt w Chinach przekraczający wysokość 200 m (1990); 57 pięter, 208 m wysokości



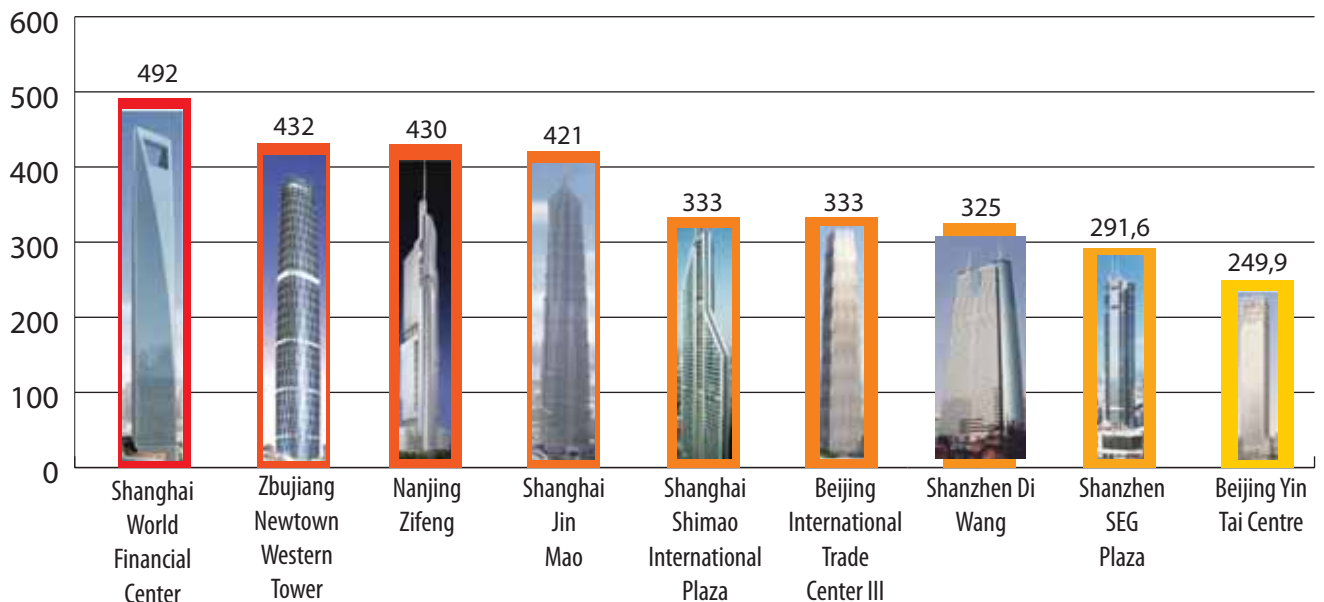
Rys. 4. Dalian Yuan yang Mansion – pierwszy apartamentowiec przekraczający wysokość 200 m (1998); 51 pięter, 201 m wysokości



Rys. 5. Shenzhen Diwang Business Mansion – pierwszy obiekt przekraczający wysokość 300 m (1998); 81 pięter, 325 m wysokości



Rys. 6. Shanghai Jin Mao Building – pierwszy obiekt przekraczający wysokość 400 m (1999); 88 pięter, 420,5 m wysokości



Rys. 7. Najwyższe budynki o konstrukcji stalowej (powyżej 250 m) w Chinach kontynentalnych



wać w stronę autorytaryzmu. Reformy społeczno-ekonomiczne zapoczątkowały obecnie największą migrację w historii świata – ze wsi do miast przeniosło się już 140 mln Chińczyków. Nadal prawie 800 mln obywateli Chin utrzymuje się z maleńkich gospodarstw wiejskich lub z drobnych usług i rzemiosła. Całkowite bezrobocie kształtuje się na poziomie powyżej 20%, a liczba ludności żyjącej poniżej progu ubóstwa (oficjalne dane za 2001 r.) jest szacowana na 10%.

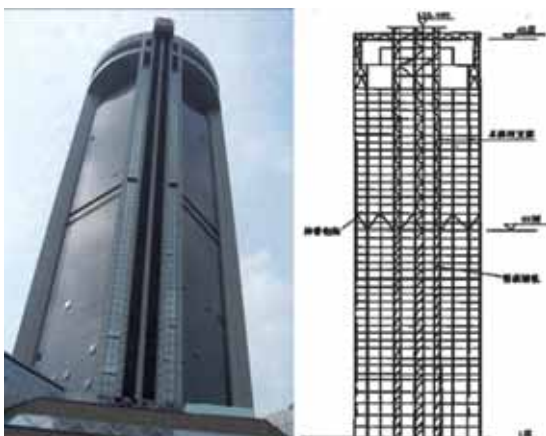
Bezprecedensowe w dzisiejszych Chinach jest otwarcie tego kraju na świat i jego szybka okcydentalizacja (łac. *occidens*, Zachód), polegająca na przyjmowaniu wzorców kultury krajów cywilizacji zachodniej oraz powszechna ich akceptacja. Najczęściej spotykanym przypadkiem okcydentalizacji jest amerykanizacja, widoczna na przykładzie nowych rozwiązań urbanistycznych wielu miast Państwa Środka, polegająca zwłaszcza na budowie nowych wieżowców. Duży wolumen inwestycji zagranicznych oraz eksportu jest szczególnie widoczny w postaci okazałych, reprezentacyjnych budynków banków, hoteli i wieżowców firm. Odbывается to, niestety, często kosztem tradycyjnej, pięknej chińskiej zabudowy, realizowanej przez wieki według tradycyjnych wzorców.

Proces ten rozpoczął się już jednak znacznie wcześniej. Dokumentują to pierwsze wieżowce kolonialnych chińskich miast, w tym zwłaszcza Szanghaju, co ilustruje rysunek 1. Współczesne Chiny tworzy ok. 50 miast, zamieszkiwanych przez od 1 do 10 mln mieszkańców, a największy z nich, Szanghaj, wraz z przyległymi i powiązаныmi komunikacyjnie przedmieściami, liczy ok. 30 mln mieszkańców. Kiedy czytamy, że sam Szanghaj ma dziś więcej wieżowców niż całe USA, to wydaje się to nam grubą przesadą. Fakty potwierdzają jednak w pełni te spostrzeżenia – „nowy świat” leży dziś w Azji.

### Najwyższe budynki Państwa Środka

Historia wysokich konstrukcji stalowych budynków w Państwie Środka jest relatywnie krótka, lecz imponująca. Pierwszy budynek, którego wysokość przekraczała 100 m, powstał zaledwie 20 lat temu (rys. 2) w Shenzen (1987). Przekraczanie kolejnych granic wysokości (200–400 m) ilustrują obiekty pokazane na rysunkach 3–6. Obecnie najwyższym obiektem (492 m) jest wieża Shanghai World Financial Center, którą na tle innych obiektów o wysokości przekraczającej 250 m pokazano na rysunku 7. Imponuje ona nie tylko parametrami konstrukcyjnymi, ale również architekturą i standardem wykończenia wnętrza.

Wraz ze wzrostem wysokości zmieniały się schematy układu konstrukcyjnego obiektów. Pierwsze z nich posiadały konstrukcję ramową, dwukierunkową złożoną z układu ram typu H, przy czym jedna, dwie kondygnacje dolne posiadały konstrukcję żelbetową, monolityczną. Następnie zaczęto stosować w pełni stalowe konstrukcje ramowo-tarczowe, usztywniające stalowy rdzeń wieży po wysokości oraz poziome usztywnienia tarczowe z systemem kratownicowych wysięgników. Przykładem konstrukcji zrealizowanej w tej technologii jest obiekt hotelowy pokazany na rysunku 8.



Rys. 8. Shanghai Jin Jiang Hotel – przykład konstrukcji stalowej ramowo-tarczowej; 44 piętra, 153 m wysokości, 8500 t stali

Niektóre nowsze obiekty o wysokościach powyżej 400 m (rys. 9), posiadają konstrukcje rurowo-powłokowe o konstrukcji zewnętrznej ściany nośnej w postaci skośnej ramy stężającej. Dolna część wieży (poniżej 67. kondygnacji, cały obiekt liczy 103 piętra) posiada dodatkowo, żelbetowe usztywnienie rdzeniowe konstrukcji.



Rys. 9. Guangzhou (Kanton) Zhujiang Western Tower – przykład wież o konstrukcji rurowej; 103 piętra, 432 m wysokości

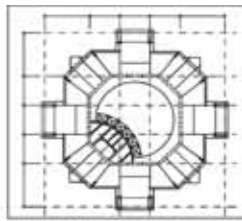
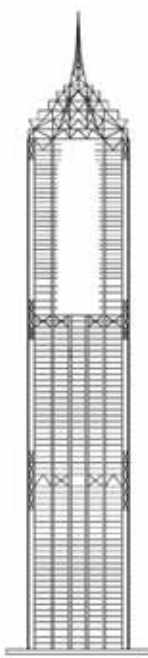
Innym przykładem niezwykle wyrafinowanej konstrukcji jest wieżowiec Światowego Centrum Handlu w Szanghaju (rys. 10). Ten liczący 492 m obiekt posiada konstrukcję mieszaną, żelbetowo-stalową, z czterema narożnymi megakolumnami i wewnętrznym rdzeniem usztywniającym. Górne kondygnacje posiadają w pełni stalową konstrukcję ramową z dodatkowym systemem usztywnień powierzchniowych.



Rys. 10. Shanghai World Financial Center – konstrukcja mieszana żelbetowo-stalowa; 101 pięter, 492 m wysokości

Przykładem konstrukcji mieszanej, stalowo-żelbetowej, jest wieża Jinmao w Szanghaju (rys. 11). Jej dolne kondygnacje do poziomu 56 piętra posiadają konstrukcję rurową z pustą przestrzenią wewnątrz, górne są usztywnione za pomocą megakolumn żelbetowych.

Innym, oryginalnym przykładem jest konstrukcja ramowo-rurowa wieży w Pekinie – Beijing (rys. 12), tworząca kompozyt



Rys. 11. Konstrukcja mieszana stalowo-rurowa Shanghai Jinmao Tower w części dolnej (poniżej 56 kondygnacji), z żelbetowym rdzeniem usztywniającym w części górnej; 88 pięter, 421 m wysokości

zewewnętrznej konstrukcji rurowej i rdzenia w postaci stalowej stężonej ramownicy. Przekrój obu konstrukcji ilustruje schemat.

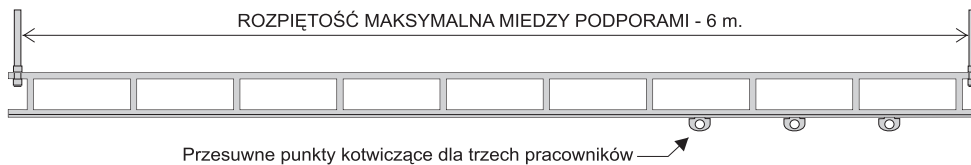
Projektowanie nowych wysokich obiektów posiada w Chinach szereg szczegółowych uregulowań normowych [1]. Dużą uwagę poświęca się zagrożeniom sejsmicznym i kumulacji oddziaływań zmęczeniowych w wysokich konstrukcjach stalowych (rys. 14 i 15) oraz w konstrukcjach mieszanych stalowo-żelbetowych. Oddzielne uregulowania dotyczą zagrożeń pożarowych, antyterrorystycznych itp.



Rys. 12. Konstrukcja ramowo-rurowa Beijing International Trade Center IIIA; 74 piętra, 330 m wysokości

Na rysunku 13 pokazano dwa stanowiska badawcze z tunelem wiatrowym i symulatorem wstrząsów sejsmicznych w trakcie testów Shanghai World Financial Center. Badania wykonywano na obiektach w różnej skali, z zachowaniem wszystkich cech

## STAŁY SYSTEM OCHRONNY TRASER



POJEDYNCZA KRATOWNICA STAŁEGO SYSTEMU POZIOMEGO TRASER

**PROTEKT**<sup>®</sup>  
sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości

Stały poziomy system **TRASER** jest systemem służącym do ochrony przed upadkiem z wysokości, zapewniającym jednocześnie swobodę przemieszczania w poziomie.

System **TRASER** może być instalowany do różnego rodzaju konstrukcji budowlanych.

Podstawowym elementem systemu jest szyna w kształcie kratownicy wyposażona w tor jezdny dla wózka kotwiczącego, będącego ruchomym punktem przyłączenia indywidualnego systemu ochrony przed upadkiem z wysokości. Pojedyncze kratownice mogą być szeregowo, łączone ze sobą.

System **TRASER** jest zgodny z PN-EN 795 Klasa D

**PROTEKT**

ul. Starorudzka 9

93-403 Łódź

tel. 0 42 6802083

fax 0 42 6802093

info@protekt.com.pl

www.protekt.com.pl



podobieństwa geometrycznego i konstrukcyjnego, symulacja obciążenia użytkowego itp. Znaczna część obiektów po wybudowaniu posiada zainstalowane systemy ciągłego monitoringu podstawowych parametrów konstrukcyjno-materiałowych. Wyniki tych badań są publikowane na renomowanych konferencjach naukowych [1]. Pozwala to utrzymać odpowiedni reżim jakościowy wykonawstwa i bezpieczeństwo użytkowania, często wynika to również z żądań ubezpieczycieli obiektów.

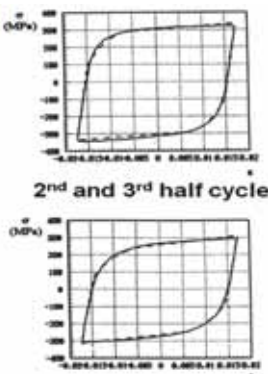


Rys. 13. Widok stanowisk badawczych z tunelem wiatrowym i symulatorem wstrząsów sejsmicznych w trakcie testów Shanghai World Financial Center

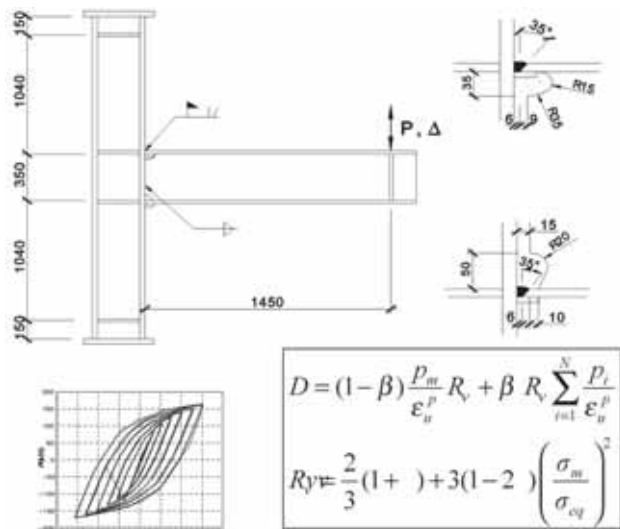
Sprawą nie mniej ważną i wymagającą oddzielnego rozważenia pozostają technologie budowy tego typu spektakularnych obiektów. Są one bardzo zróżnicowane i każdorazowo dostosowane do specyfiki konstrukcyjno-materiałowej wznoszonego budynku, jego wyposażenia, odporności na oddziaływania sejsmiczne, względów bezpieczeństwa, standardu eksploatacyjnego. Należy stwierdzić, że i w tym obszarze działań dokonano ogromnego postępu.

### 1D Hysteretic Model for Steel

$$D = (1 - \beta) \frac{E_m^p}{E_u^p} + \sum_{i=1}^N \beta \frac{E_i^p}{E_u^p}$$



Rys. 14. Przykładowy wynik analizy modelu histerezy jednowymiarowej dla stali. Wynik obliczeń dla 2 i 3 cyklu (rys. powyżej) oraz 683–684 półcyklu (rys. poniżej)



$$D = (1 - \beta) \frac{P_m R_v}{E_u^p} + \beta R_v \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{E_u^p}$$

$$R_y = \frac{2}{3} (1 + ) + 3(1 - 2 ) \left( \frac{\sigma_m}{\sigma_{cy}} \right)^2$$

Rys. 15. Wynik analizy dla modelu histerezy trójwymiarowej w konstrukcji stalowej z wynikiem badań testowych



- żelbetowy trzon:
  - duża sztywność konstrukcji
  - dobra ochrona przeciwpowozarowa
  - niski koszt
- +
- stalowa konstrukcja:
  - szybki montaż
  - duża wytrzymałość
  - spełnienie wymogów odporności sejsmicznej
- = konstrukcja mieszana

Rys. 16. Stalowo-żelbetowa konstrukcja mieszana jako wynik badań obiektu o wysokiej odporności sejsmicznej

Dotychczasowe prace studialno-badawcze, a także wyniki uzyskane w trakcie budowy i eksploatacji wysokich budynków oraz rezultaty monitoringu obiektów pozwoliły na ustalenie optymalnych cech konstrukcyjnych z punktu widzenia ich odporności na wpływy sejsmiczne. Uznano, że cechy te najlepiej posiada konstrukcja mieszana z żelbetowym trzonem usztywniającym, obudowana stalową konstrukcją ramową.

Perspektywicznie ten typ konstrukcji będzie dominował w dalszych realizacjach obiektów, zwłaszcza na terenach sejsmicznych. Nowe wyzwania będą polegać, rzecz jasna, na dalszych próbach pokonania kolejnych barier, jakie niosą za sobą kolejne progi wysokości 500 m i wyżej. Coraz większą uwagę poświęca się architekturze obiektu i jego wkomponowaniu w istniejące otoczenie. Wysokie ryzyko wstrząsów tektonicznych jedynie częściowo studzi te zapędy. Wydaje się jednak, że rola stosowanej tu profilaktyki konstrukcyjnej i najnowszych technologii pozwoli osiągnąć zamierzone cele.

### Podsumowanie

Chiny, najludniejsza potęga świata, rozwijają się szybciej niż Ameryka i Europa, bo w tempie ponad 10% rocznie. Dziś w gospodarce światowej Indie i Chiny razem wzięte znaczą tyle, co połowa Japonii. Wielu ekonomistów przewiduje, iż jeśli ten trend się utrzyma i nie będzie wyniszczających wojen oraz rujnąjących kataklizmów, w ciągu jednego pokolenia oba te kraje znajdą się wśród największych potęg gospodarczych. Indie zajmą miejsce Niemiec, obecnie trzeciej gospodarki świata, a Chiny miejsce USA, czyli pierwszej.

Już dziś Chiny zajęły to miejsce w bardzo prestiżowej i efektywnej dziedzinie inżynierii, jaką jest budownictwo wysokich budynków. Nie tylko słynny chiński mur jest już widoczny z kosmosu. Wystarczy zajrzeć na Google-Maps, by każdy mógł się o tym przekonać. Proponuję na początek Szanghaj, gdzie sięgających chmur wieżowców jest dzisiaj znacznie więcej aniżeli w całych Stanach Zjednoczonych.

### Literatura

1. Zuyan Shen i Inn.: Innovation & Sustainability of Structures. Proc. Of the International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures In Civil Engineering. Southeast Univ. Press, Nanjing, China, Jan. 2008.

AUTOR BARDZO SERDECZNIE DZIĘKUJE KOLEGOM I PRZYJACIEŁOM Z TONGJI UNIVERSITY - SHANGHAI, A ZWŁASZCZA PROF. SHEN ZUYAN ORAZ PROF. QIFENG LUO ZA OKAZANĄ ŻYCZLIWOŚĆ I POMOC W POZYSKANIU MATERIAŁÓW DO NINIEJSZEJ PUBLIKACJI ORAZ ZGODĘ NA ICH UDOSTĘPNIENIE.