

# Ekologiczne budownictwo wysokie na przykładzie Shanghai Tower

Prof. nadzw. dr hab. eur. inż. Tomasz Błaszczyński, mgr inż. Błażej Gozdowski, Politechnika Poznańska

## 1. Wprowadzenie

Z punktu widzenia ochrony środowiska i rozwoju zrównoważonego idealnym budynkiem byłby taki budynek, który w minimalnym stopniu odpowiedzialny byłby za pogarszanie się stanu środowiska naturalnego. Z drugiej jednak strony nie da się całkowicie wyeliminować negatywnego oddziaływania budowy i użytkowania budynku na środowisko. Cykl życia budynku mieszkalnego w naszej części Europy szacuje się na ok. 100 lat. Daje to wyobrażenie o skali oddziaływania na środowisko i pokazuje jednocześnie, że celowe byłoby rozpoczęcie prac nad opracowaniem odpowiednich zasad zapewniających dopuszczalny poziom oddziaływania.

Jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin budownictwa zrównoważonego jest budownictwo o niskim zapotrzebowaniu na energię i budownictwo ekologiczne. Polskie budynki tracą dziś bezużytecznie znaczny odsetek energii, która jest do nich doprowadzana. To energia, która ogrzewa klimat, zamiast nasze domy i uszczupla rodzinne budżety. Nie ma żadnego uzasadnienia, dla którego nowe budynki miałyby być równie energochłonne. Koszty wzniesienia energooszczędnego budynku są tylko o 4% wyższe niż budynku tradycyjnego. Tymczasem eksploatacja domu jednorodzinnego w standardzie energooszczędnym zamiast w standardzie tradycyjnym przynosi oszczędności w kosztach ogrzewania, nawet około dwóch tysięcy zł rocznie. Dzięki przejściu na energooszczędne standardy (choćby niskoenergetyczne) w budownictwie Polacy mogą wyemitować w skali roku o blisko milion ton CO<sub>2</sub> mniej. W perspektywie roku 2020 możemy zaoszczędzić ponad 13 miliardów złotych. Widać zatem, że za budownictwem energooszczędnym przemawiają dwa potężne argumenty: ekologiczny i ekonomiczny.

Nie ma wątpliwości, że wysoka energochłonność budynków wpływa na wysoką emisję gazów do atmosfery. Wytwarzanie energii z paliw kopalnych prowadzi do degradacji środowiska naturalnego. Efektem spalania surowców energetycznych są gazy emitowane do atmosfery. Tlenki siarki wywołują kwaśne deszcze. Freon jest przyczyną powstawania w atmosferze dziury ozonowej. Towarzysząca każdemu spalaniu emisja dwutlenku węgla w powietrzu zmienia jego właściwości filtrujące,

powodując tzw. efekt cieplarniany, czyli zjawisko klimatyczne, którego rezultatem są największe klęski żywiołowe (powodzie, susze, tajfuny itp.). W ostatnim czasie jest to jeden z głównych problemów, z którymi boryka się między innymi Unia Europejska. Parlament Europejski 18 maja 2010 roku w drugim czytaniu przyjął nowelizację dyrektywy o charakterystyce energetycznej budynków (2002/91/EC zmieniona przez 2010/31/UE, tzw. dyrektywa EPBD). Wcześniej, 14 kwietnia 2010 r., nowelizację zaakceptowała Rada Unii Europejskiej. Jest już pewne, że od 2020 roku wszystkie nowo budowane budynki będą musiały spełniać wysokie wymagania w zakresie efektywności energetycznej (muszą być prawie zeroenergetyczne). Już dzisiaj na świecie te trendy doszły do budownictwa wysokiego. Aktualnie już nie buduje się innych budynków wysokich jak zrównoważone, niskoenergetyczne czy nawet ekologiczne.

## 2. Analiza ekologicznego budownictwa wysokiego na przykładzie Shanghai Tower

Główną ideą, która przyświecała projektantom Shanghai Tower (Gensler DC) to maksymalne zrównoważenie projektu, a także osiągnięcie konkretnych celów: ekologicznej oceny Gold wg certyfikacji LEED, a także trzech gwiazdek wg China Green Building [4]. Wysokość budynku to 632 m. W celu osiągnięcia największych



**Rys. 1.** Widok na dzielnicę Lujiazui w Szanghaju – od lewej: Shanghai Tower, Jin Mao Tower oraz Shanghai World Financial Center [3]

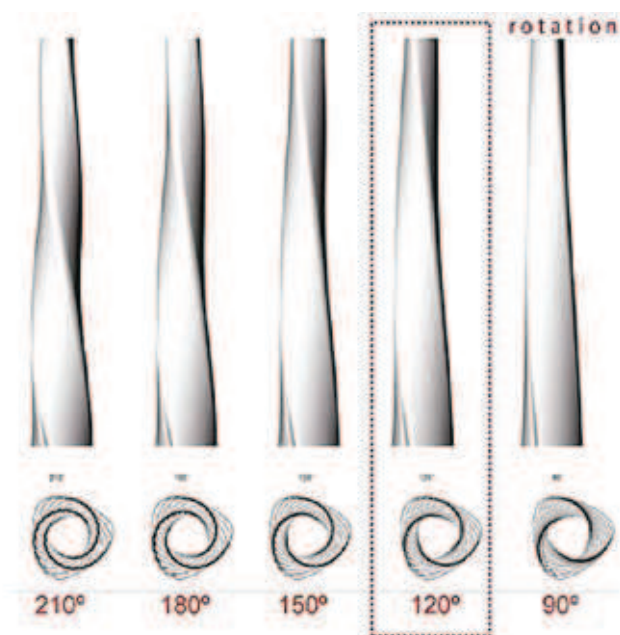
oszczędności koncepcja obiektu zakładała pionowe ułożenie na sobie dziewięciu 12- do 15-piętrowych sekcji z wydzielonymi systemami technicznymi (rys. 1). Według dostępnych szacunków koszty realizacji tej imponującej inwestycji wyniosły 2,4 miliarda dolarów [1–3].

Idea dziewięciu oddzielnych sekcji podłączonych do centralnej infrastruktury użytkowej pozwala na znaczne zmniejszenie transportu energii. Zgodnie z projektem budynku szacunkowe oszczędności wyniosły blisko 20 milionów dolarów (ponad 3,2 miliona dolarów) lub 21,59% rocznych kosztów energii w porównaniu do wartości wyjściowych, w czym skutecznie pomagają zastosowane turbiny wiatrowe. Ponadto budynek jest przeznaczony do zmniejszenia zużycia wody o 40% oraz do redukcji emisji dwutlenku węgla o 34 000 ton rocznie [4].

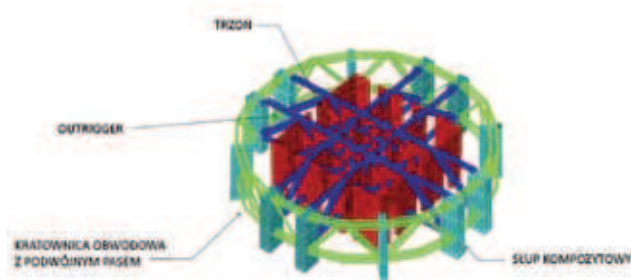
### 3. Optymalizacyjne podejście do projektu budynku

Za projekt Shanghai Tower odpowiadało amerykańskie biuro architektoniczne Gensler, a liderem zespołu był chiński architekt Jun Xia. Charakterystyczną cechą bryły wieżowca jest efekt spirali. Rzut kondygnacji jest zbudowany na trójkącie równobocznym, tworząc krzywiznę za pomocą stycznych. Względy konstrukcyjne zadecydowały, że ostatecznie przyjęto redukcję powierzchni dla najwyższych kondygnacji do 55%. Kolejnym zadaniem projektowym było ustalenie optymalnego kąta obrotu kondygnacji na wysokości budynku. Jako optymalny ze względów konstrukcyjnych i architektonicznych uznano kąt obrotu równy 120° (rys. 2) [4].

Uzyskana w wyniku optymalizacji konstrukcji geometria budynku pozwoliła na redukcję obciążenia wiatrem tylko



**Rys. 2.** Rozważane bryły budynku ze względu na obrót względem osi pionowej na wysokości konstrukcji [3]



**Rys. 3.** Schemat układu konstrukcyjnego na wysokości dwóch kondygnacji [4]

o 24%. Zdecydowały jednak względy ekonomiczne. Udało się bowiem oszczędzić blisko 50 milionów dolarów w budżecie [4]. Kolejnym wyzwaniem było stworzenie takiego układu konstrukcyjnego, aby wysoki na ponad 630 m budynek sprostał obciążeniom poziomym. Ograniczenie przemieszczeń wymagało zastosowania dość typowej dla dzisiaj realizowanych budynków wysokich konstrukcji opartej na masywnym trzonie oraz układzie obwodowo usytuowanych kompozytowych kolumn, tworzących układ ramowy. Całość została połączona kratownicowymi outriggerami, a dodatkowo na ośmiu poziomach wprowadzono wysokie na dwie kondygnacje kratownice (rys. 3). Grubość ścian trzonu jest zmienna na wysokości konstrukcji i wynosi od 1,2 m do 0,5 m [1, 2, 6].

Kolejnym dużym wyzwaniem było zaprojektowanie posadowienia Shanghai Tower. Grunty nienoisne w postaci dziewięciu następujących po sobie warstw piasku i gliny sięgały przynajmniej 120 m. Dodatkowym utrudnieniem było znajdujące się zaledwie 0,5 m poniżej poziomu terenu zwierciadło wód gruntowych. Połączenie gliny i wody stwarzało warunki, które klasyfikowały teren jako wysoce niekorzystny z uwagi na obciążenia sejsmiczne (typ IV zgodnie z Chińską klasyfikacją). Ze względu na tak trudne warunki gruntowe i możliwość wystąpienia obciążeń sejsmicznych konieczne było wykonanie 947 pali o średnicy 1 m, sięgających głębokości od 52 do 24 m. Na palach oparto płytę oczepową o grubości 6 m [1, 2].

### 4. Ekologiczne podejście do realizacji kompleksu biurowego

Zaawansowane rozwiązania konstrukcyjne to jednak standard w przypadku realizowanych w dzisiejszych czasach budynków wysokich. Twórcy chcieli jednak osiągnąć coś więcej – stworzyć prawdziwie „zielony” budynek wysokie, który spełniałby wszystkie założenia budownictwa zrównoważonego. Jedną z wielu idei, które przyświecały projektantom Shanghai Tower, było osiągnięcie kilku konkretnych celów: oceny Gold

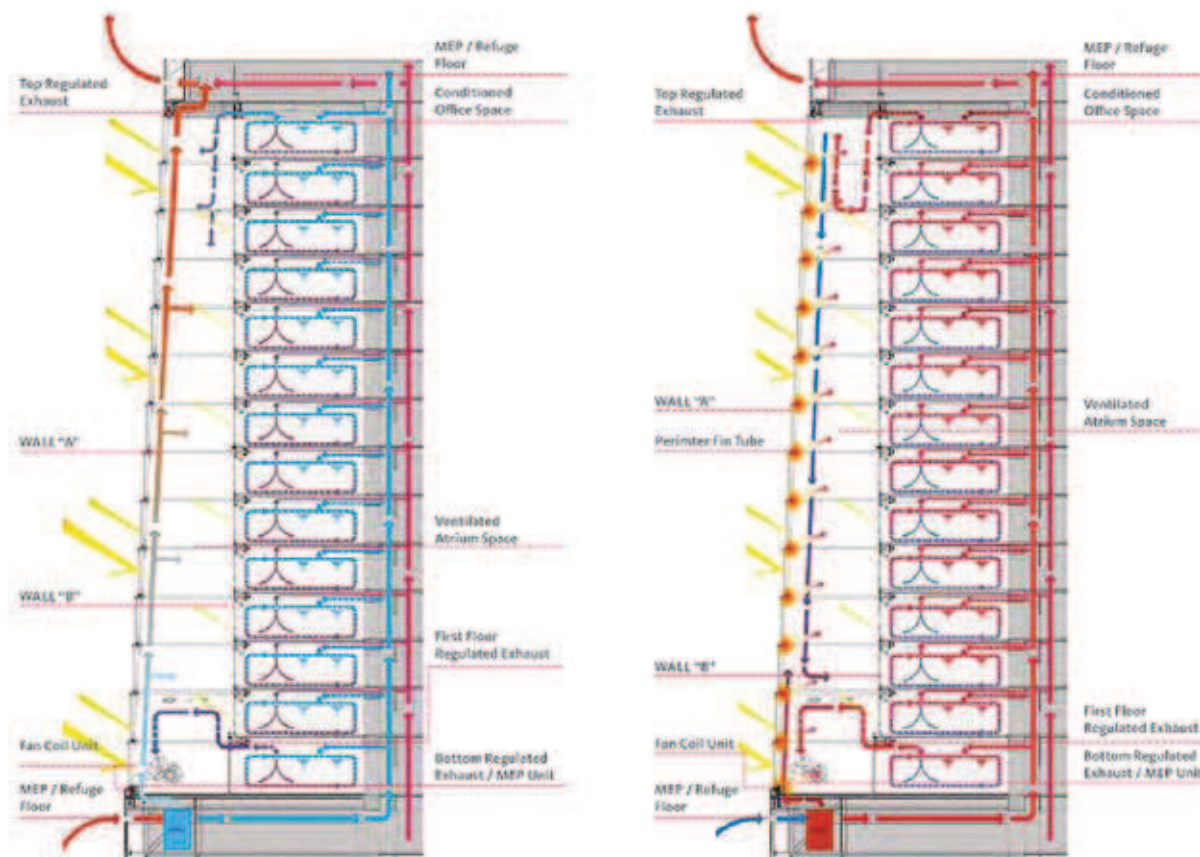


Rys. 4. Shanghai Tower – widok fasady [3]



Rys. 5. Shanghai Tower (wizualizacja) [3]

wg certyfikacji LEED, a także trzech gwiazdek wg China Green Building [4]. Wysokość budynku to 632 m. W celu osiągnięcia największych oszczędności koncepcja obiektu zakładała pionowe ułożenie na sobie dziewięciu 12- do 15-piętrowych sekcji z wydzielonymi systemami technicznymi. Idea dziewięciu oddzielnych sekcji podłączonych do centralnej infrastruktury użytkowej pozwala na znaczne zmniejszenie transportu energii. Zgodnie z projektem budynku szacunkowe oszczędności wyniosły blisko 20 milionów juanów



Rys. 6. Charakterystyka energetyczna atrium – lato (po lewej) i zima (po prawej) [5] <http://www.gensleron.com/cities/2012/11/27/shanghai-tower-the-curtain-wall.html>

(ponad 3,2 miliona dolarów) lub 21,59% rocznych kosztów energii w porównaniu do wartości wyjściowych, w czym skutecznie pomagają zastosowane turbiny wiatrowe. Ponadto budynek jest przeznaczony do zmniejszenia zużycia wody o 40% oraz do redukcji emisji dwutlenku węgla o 34 000 ton rocznie [4].

Wyjątkowo ciekawym rozwiązaniem jest podwójna szklana elewacja obiektu (rys. 4, 5). Wewnętrzna część podwójnej fasady otacza wewnętrzne sekcje obiektu i bezpośrednio się z nimi styka, podczas gdy trójkątna zewnętrzna warstwa tworzy drugą elewację, która łagodnie obraca się na wysokości.

Przestrzeń pomiędzy dwoma fasadami wypełnia dziewięć atriów-ogrodów (*sky gardens*), są one jak place w tradycyjnych miastach. Te atria wewnątrz budynku mieszczą restauracje, kawiarnie i sklepy oraz sklepiki, w sąsiedztwie bujnych ogrodów krajobrazowych. Zarówno wewnętrzna, jak i zewnętrzna fasada są przezroczyste, zakładając wizualne połączenie między wnętrzem budynku a miejską tkanką Szanghaju.

Budynek został tak skonstruowany, aby zmniejszyć nacisk wywierany przez wiatr, umożliwić zbieranie deszczówki celem wykorzystania jej w systemach klimatyzacyjnych oraz umożliwić generowanie energii przez turbiny wiatrowe. Jednym z innowacyjnych rozwiązań zastosowanych przez projektantów jest stacja uzdatniania wody, która poddaje recyklingowi „szarą wodę” oraz używa wodę opadową (zbieraną w dużej mierze z parapetów w kształcie lejków i transportowaną kanalikami do zbiorników retencyjnych) do nawadniania ogrodów oraz spłukiwania toalet. „Szara woda” jest również wykorzystywana w systemie klimatyzacji. W budynku istnieją dwie instalacje chłodnicze, co również znacznie redukuje energię wymaganą do transportu wody lodowej przez pompy obiektu (rys. 6). Kolejnym rozwiązaniem są naturalne systemy kogeneracji opalanej gazem, które zapewniają zarówno energię elektryczną, jak i ciepłą, w obszarze niskich stref, co ma tę zaletę, że zmniejsza zużycie energii źródła, a także emisję dwutlenku węgla, dzięki wykorzystywaniu czystego spalania gazu ziemnego (zamiast węgla o wysokiej zawartości siarki). Zaś do zasilania ogrzewania i systemu podgrzewania wody wykorzystywana jest para pod wysokim ciśnieniem wytwarzana w instalacjach.

Imponujące osiągi charakteryzują również windy zastosowane w budynku. Maksymalna prędkość, z jaką mogą się one poruszać, wynosi bowiem aż 18 m/s. Za dostarczenie 106 superszybkich wind odpowiadała firma Mitsubishi. Zgodnie z informacjami podanymi przez producenta dodatkowo zastosowany został specjalny system przetworników, który pozwolił na redukcję zużycia energii w przypadku wind o ok. 30% [1, 6].

Zakończona sukcesem inwestycja Shanghai Tower pokazuje, że to, co jeszcze do niedawna było poważnie kwestionowane, może być osiągnięte – zrównoważone budownictwo wysokie jest realne. Realizacja takich obiektów jest jednak niezwykle kosztowna i wymaga

rozwiązania szeregu problemów już na etapie projektu koncepcyjnego. Bardzo dużo zależy bowiem od architektury, która bezpośrednio przekłada się na wartości maksymalnych obciążeń poziomych, a także daje lub ogranicza możliwości efektywnych rozwiązań konstrukcyjnych. Ponadto bardzo wydajny musi być system zarządzania energią – nie tylko pozyskiwanie taniej energii jest tu istotne, ale również – a może nawet przede wszystkim – zarządzanie przepływem tej energii, w tym również jej przetwarzaniem zgodnie z potrzebami obiektu i jego użytkowników. W przypadku Shanghai Tower systemy wentylacji oraz ogrzewania zostały wzorcowo opracowane, a rozwiązania konstrukcyjne nie ograniczają w sposób znaczący funkcjonalności obiektu. Należy przewidywać, że kierunkiem określonym przez twórców z pracowni Gensler podążać będą również inni projektanci, a zrównoważone budownictwo wysokie stanie się standardem [7].

## 5. Podsumowanie

Coraz częściej mówi się o konieczności tworzenia obiektów budowlanych, które harmonijnie łączą różne funkcje, dużą trwałość, dobre (niezagrażające zdrowiu człowieka i podlegające recyklingowi) materiały budowlane i poprawne technologie, które nie wywierają negatywnego wpływu na środowisko, a przy tym dają niskie „globalne” koszty (inwestycja, eksploatacja, rozbiórka z ponownym wykorzystaniem). W tym kontekście kiedyś używało się nazwy „Green building”, a teraz wiadomo, że są to podstawowe zagadnienia budownictwa zrównoważonego. W Szwecji powstają budynki wysokie (np. Turning Torso) i nawet całe nowe dzielnice miast (np. w Malmö), oparte na zasadach budownictwa zrównoważonego (niskoenergetyczne, niskoemisyjne z gospodarką wtórną „brudnej wody”, zrównoważoną gospodarką odpadami i pełnym wprowadzeniem odnawialnych źródeł energii). W tej sytuacji jedynym, co nam pozostaje, to prowadzić szeroką edukację o zrównoważonym rozwoju, a zwłaszcza o wszystkich aspektach zrównoważonego budownictwa. Mamy nadzieję, że niniejsza monografia, chociaż w części, wypełni tę rolę.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Gu. J., Shanghai Tower: Building a Green, Vertical City in the Heart of Shanghai, Asia & Australasia: A selection of Written Works on the World's Tall Building Forefront, CTBUH Research Paper, 2015
- [2] Zeljic A. S., Shanghai Tower Façade Design Process, International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST 2010), Vancouver 2010.
- [3] <http://skyscrapercenter.com/shanghai/shanghai-tower>.
- [4] D.C. Gensler, Gensler Design Update: Shanghai Tower, Gensler Publications, 2010
- [5] Materiały prasowe Gensler: Shanghai Tower, Benedict Tranel, styczeń 2016 r.
- [6] Xia J., Poon D., Mass D. C., Case Study: Shanghai Tower, CTBUH Journal, II, 2010
- [7] N. Chambers, Is Net-Zero Tall Possible?, CTBUH Journal, II, 2010