



Budynek Taipei 101

Wieżowiec w strefie sejsmicznej, a przy tym nawiedzanej przez tajfuny to wyzwanie dla inżynierów. Zaprojektowanie i wdrożenie systemów przeciwpożarowych i stabilizujących budynek w czasie trzęsienia ziemi i przejścia tajfunu to zadanie szczególnie trudne, tym bardziej, że tak jak i przy innych podobnych projektach, konieczny był import wiedzy i doświadczenia spoza Tajwanu.

Cechy szczególne i warunki naturalne

Planowanie budowy wieży „Taipei 101”, rozpoczęto w 1999 roku. Budowa została ukończona w 2004 roku. Do roku 2010, kiedy to oddano do użytku Burj Khalifa in Dubaju, Taipei 101 był rankingowany jako najwyższy na świecie. Projekt budynku, ale też i jego realizacja, to szczególne wyzwanie ze względu na współwystępowanie dwóch zagrożeń: trzęsień ziemi i tajfunów. Budynek został zrealizowany z zachowaniem najwyższych standardów oraz doświadczeń zebranych na całym świecie.

Tajfuny występujące w rejonie Tajwanu mogą oznaczać wiatry wiejące z prędkością do 200 km na godzinę (szósty, najwyższy poziom skali). Oznacza to, że parametry sztywności bryły budynku oraz jego aerodynamiki muszą spełniać zasadniczo inne normy niż te, które wystarczyłyby

w innych regionach globu. Ciekawym aspektem jest to, że o ile siła wiatru jest zasadniczo przewidywalna, to jego kierunek już nie. Wynika to z natury tajfunów, które mają kształt wiru. Choć więc nadciągają nad wyspę Tajwan zwykle od zachodu, przynoszą wiatry wiejące pod dowolnym, a zarazem niemożliwym do przewidzenia kątem.

Zwiększanie odporności wieżowców na wiatr to cała gałąź inżynierii. Teoretycznie budynek o konstrukcji żelbetowej o sylwetce zbliżonej do Taipei 101 powinien przejawiać wychylenie trwające ok. 9 sekund. Modele projektantów pokazywały, że w przypadkach skrajnych wytrzymałość tajwańskiego wieżowca starczała zaledwie na 7 sekund. Konieczne było zastosowanie systemu aktywnego tłumienia wychyleń. Jego praca polega na zamianie energii mechanicznej wychyleń na energię cieplną potężnych siłowników. Wieżowce mające po kilkaset metrów bujają się nawet bez potężnych tajfunów, co może powodować nudności u pracujących i przebywających na wyższych piętrach ludzi. Aby zminimalizować bujanie stosuje się specjalne wygaszacze wiatru (ang. *wind dumpers*).



Realizacja: 1999-2004
Wysokość całkowita: 509 m
Najwyższe używane piętro: 439 m
Prędkość wind: 16.83 m/s
Plan i realizacja: C.Y. Lee & Partners

Na zdjęciu poniżej widzimy wygaszacz z Taipei 101, udostępniony do podziwiania dla turystów. Sfera ma śred-

nicę 5,5 metra i waży 660 ton – 0,35% wagi całego budynku. Zbudowano go z 41 warstw stalowych sztab. Jest drugim co do wielkości na świecie i jednym z dwóch dostępnych publicznie.



System siłowników wygasa do 40% oscylacji. Wygaszacz pozwala na aktywną redukcję zjawisk związanych z naporem wiatru... ale nie tylko. Drugim żywiołem zagrażającym budynkowi są trzęsienia ziemi. Nawet te stosunkowo niewielkie sprawiają, że wieżowce jeszcze długo po kilkunastosekundowej serii wstrząsów potrafią się bujać i „napędzać stracha” mieszkańcom. Efekt da się odczuć nawet w dwudziestopiętrowych apartamentowcach. Budynek Taipei 101 zaprojektowano tak, aby oparł się wstrząsom o sile do 9 w skali Richtera.

System swój chrzest bojowy przeszedł w 2013 roku, gdy uderzył tajfun Soulik – budynek został poddany wiatrowi o sile 14 w skali Boforta. Sześćsettonowa bryła odchylała się o rekordowe 70 cm we wszystkich kierunkach. Budynek pokazał też swoją odporność na trzęsienia ziemi. W roku 2019 trzęsienie ziemi o sile 6,1 z epicentrum oddalonym o 130 km wychyliło wygaszacz o rekordowe 20 cm.

W rozwiązaniu dylematu konstrukcyjnego pomogły doświadczenia architektów z sąsiadującej z Tajwanem Japonii. Główną jednak rolę odgrywa nietypowa geometria

ośmiu „pudeł”. Ich skośne ściany sprawiają, że obciążenia ścinające ram usztywniających elewację są przekazywane na konstrukcję trzonu na poziomie każdego cofnięcia.

Osobny wygaszacz wahań zainstalowano na konstrukcji szczytowej, tzw. pinaklu. Jemu z kolei zagrażały drgania wywołane przez wiatry o małej prędkości. Projektanci zdecydowali, że dwa mechanizmy tłumiące, każdy ważący 4,5 tony, zlikwidują zagrożenie.

Fundamenty konstrukcji

Tak jak w przypadku wielu miast na świecie, Tajpej ulokowane jest na wielometrowej warstwie osadów. Tej słabej nośności gruntu towarzyszy inna lokalna cecha, nasączona wodą niecka zapada się – nie aż tak alarmująco szybko jak grunt pod Mexico City, ale zjawisko tym bardziej wymusza opalowanie fundamentów aż do głęboko położonej skały macierzystej.



W przypadku okolic Taipei 101, gliny i warstwy koluwalne to 40-60 metrów. Pale wpuszczone są w skałę macierzystą na dodatkowe trzydzieści metrów. Projektanci zdecydowali, że wystarczającym zabezpieczeniem przed osiadaniem budynku będzie aż 550 pali. Spośród nich 380, każdy o średnicy 1,5 metra unosi żelbetową płytę, na której

wspiera się cały ciężar budynku. Po obrysie całej konstrukcji wpuszczono w grunt tzw. ścianę szczelinową. Sięgająca głębokości 47 metrów konstrukcja ma za zadanie m.in. odciąć dopływ wód gruntowych.

Siły oddziałujące (wiatr, wstrząsy tektoniczne) są redukowane przez masę betonowego wypełnienia kolumn nośnych oraz kratownice obwodowe, które je łączą. Newralgicznym miejscem wszystkich wysokich budynków są ich dolne sekcje. Siły ściskające i rozciągające słupy trzonowe i obwodowe są redukowane przez wspomniany wcześniej kształt ściętej piramidy oraz wybrane rozwiązanie konstrukcyjne: jest to tzw. megarama połączona kratownicami ze strukturą megasłupów na obwodzie.

Cechy szczególne i ciekawostki

Skalę trudności budowy jakiegokolwiek infrastruktury w terenach sejsmicznych dobrze ilustruje ilość stali potrzebnej do fundamentów tzw. półtunelu na szosie górskiej, co widać na zdjęciu obok. Widzimy na nim realizację tzw. półtunelu w miejscu narażonym na lawiny błotne i kamienne.

Bryła wieżowca ma kształt ośmiu „pudeł”. Ich kształt nawiązuje do kształtu historycznych sztab kruszców, ale jednocześnie usztywnia to konstrukcję i uodparnia na wiatry. Widoczne na zdjęciu wcięcia w narożnikach redukują skutki turbulencji. Droga żmudnych eksperymentów projektanci odkryli, że uskokowe ukształtowanie narożników, z głębokością uskoku 2,5 metra, zapewni optymalne usztywnienie konstrukcji. Dolna sekcja budynku ma kształt ściętej piramidy, co dodatkowo uodparnia budynek na wychylenia – podnosi parametr sztywności bocznej.

Tajwańczycy to kulturowo Chińczycy, a więc nie oparli się zastosowaniu symboliki liczby 8, która jest homofonem słowa „bogacić się”. Segmentów jest właśnie osiem. Restauracja i zamknięty hermetycznie pasaż widokowy dla

turystów – jakże by inaczej – zajmuje 88 piętro. Budynek nie uniknął też standardowej japońskiej praktyki „ewaporacji” (to nawiązanie do powieści *Rok 1984* George’a Orwela) piętra 44. Czwórka to homofon słowa „śmierć”, a w szpitalnych i hotelowych windach nie znajdziemy zwykle przycisku czwartego piętra – jest to zwykle piętro techniczne lub magazynowe, niedostępne dla gości. W Taipei 101 w brak piętra 44 jest rekompensowany przez „poziom 43” oraz „42A”.

Zabezpieczenia ewakuacyjne

Ćwiczenia ewakuacyjne dla wynajmujących i obsługi budynku organizowane są dwa razy do roku. Różne scenariusze pożarów omawiane są „na sucho”, a następnie ćwiczone. Ta praktyka nie odbiega od procedur powszechnie realizowanych na całym świecie. Rozbawił mnie jak najbardziej rozsądny wymóg organizatorów ćwiczeń, aby użytkownicy wynajmujący biura samodzielnie schodzili na sam parter, nawet jeśli ich biura znajdują się powyżej 60-go piętra. Taka przechadzka znakomicie sprzyja oswajeniu się z drogą ewakuacyjną i może zająć do 25 minut.



W wieżowcach takich jak Taipei 101 najistotniejszą kwestią zdaje się być sposób odprowadzania dymu w czasie pożaru. W przypadku pożaru dym wysysany jest przez

dukty rozmieszczone przy ścianach zewnętrznych, a następnie wytłaczany poza obręb budynku przez szczeliny na platformach zewnętrznych na piętrach technicznych.

Nad prawidłowo realizowaną ewakuacją czuwa zespół ratowniczy (zdjęcie poniżej), którego członkowie są przeszkoleni do udzielania pierwszej pomocy, kierowania tłumem i utrzymywania porządku w czasie sytuacji zagrożenia.

Piętra techniczne

Za szczególnie interesujące uznałem piętra techniczne, które wbudowano pomiędzy osiem segmentów wieżowca. Znajdują się w nich szafy ze sprzętem ratunkowym i pakietami ratunkowymi, a nawet kran dostarczający wody pitnej.

Na każdym piętrze technicznym znajduje się zbiornik na wodę do gaszenia pożarów (patrz zdjęcie). Największy z nich mieści 62 tony wody, a najmniejszy – ulokowany na 94 piętrze – jedynie 2,5 tony. Zbiorniki są oczywiście rozmieszczone tak, aby ich ciężar równomiernie rozkładał się na konstrukcję budynku. Wodę do nich pobiera się z wodociągów publicznych, a do poszczególnych zbiorników wynoszone są przez trzy pompy po jednej na każdym z wyznaczonych pięter technicznych. Ciekawym rozwiązaniem, jakim pochwalili się oprowadzający mnie inżynierowie, jest to, że każdy ze zbiorników obsługuje nie segment bezpośrednio pod nim, ale ten poniżej. Dzięki temu systemy gaśnicze otrzymują wodę pod dodatkowym ciśnieniem.

Na zdjęciu poniżej widzimy panoramę miasta Tajpej – widok z jednego z tarasów ewakuacyjnych na wysokości piętra technicznego. Panorama w kierunku północnym, ku pełnemu restauracji z owocami morza miastu Danshui (in. Tamsui). Tam też uchodzi do morza rzeka przepływająca przez miasto.



Windy i słowo podsumowania

Wysokościowce stawia się z dwóch powodów: brak miejsca i cena gruntu, jak w Hongkongu, oraz z przyczyn prestiżowych, tak jak w Dubaju, dla którego Burj Khalifa jest symbolem bogactwa i magnesem dla inwestycji. Dumni właściciele budynku starają się wyróżnić w architektonicznym wyścigu zbrojeń jakimś detalem lub parametrem.

W przypadku Taipei 101 oprócz wysokości samego budynku takim szczególnym parametrem była winda wożąca turystów na taras widokowy. Winda porusza się w górę z prędkością 16 metrów na sekundę. Informacje promujące wieżowiec podają jednak wartość 1010 m/min – podkreślając dumnie przekroczenie bariery 1000 metrów.

Rekordowe osiągnięcia mają swoją cenę i ukryte skutki uboczne. Gwałtowna zmiana wysokości w górę jest mniej niedogodna dla pasażerów, niż w dół. Podobnie jak w innych wieżowcach, winda zwozi turystów znacznie wolniej. W przypadku Taipei 101 – z prędkością 540 metrów na minutę.

Prestiż międzynarodowy brzmi jak nie do końca racjonalny powód do inwestowania olbrzymich kwot w budowę imponującego wieżowca. Jednak brak rozsądku jest

pozorny. Inżynieria jest potężnym narzędziem, a zdolność do sfinansowania i wzniesienia imponującego drapacza chmur jest często postrzegana jako pokaz siły i przewagi cywilizacyjnej. Konstrukcje takie jak Wieża Eiffla w Paryżu, Empire State Building w Nowym Jorku czy wieżowce Szanghaju to pokazy narodowej siły.

Ale wszystkie te konstrukcje, sięgające ku niebu i niczym palce wskazujące gwiazdy, są też przejawem czegoś dalece ważniejszego, wyrastającego ponad sprawy takie jak prestiż korporacji czy narodów. Są żywym świadectwem potęgi techniki i nauki, które stworzyła ludzkość. Te dwa potężne narzędzia dają ludziom ery nowożytnej możliwości większe niż mieli bogowie i czarnoksiężnicy opisywani w mitologiach i baśniach całego świata.

