



Jego wysokość sir Shard

Rozwój budynków wysokich nierozzerwalnie wiąże się z poszukiwaniem wydajnych materiałów konstrukcyjnych pozwalających budować wyżej i bezpieczniej. Oddany do użytku na początku lutego tego roku żelbetowy wieżowiec Shard w Londynie dowodzi wyższości idei nad materią, stając się wydarzeniem nie tylko z uwagi na skalę przedsięwzięcia, ale także na zastosowane technologie.

Nowoczesny drapacz chmur, wieżowiec Shard w Londynie, ustępuje dziś w Europie wysokością jedynie budowanemu sześć lat moskiewskiemu Mercury City Tower. Wyścig ku niebu pomiędzy obiema europejskimi stolicami zakończył się, kiedy Mercury osiągnął docelową wysokość żelbetowej konstrukcji 338,82 metrów, sięgając w niebo 75 pięter. Prymat Mercurego nie potrwa jednak długo. W tym roku planowane jest bowiem zakończenie budowy 360-metrowej wschodniej wieży kompleksu biznesowego Federacja Tower w Moskwie.

Beton pnie się ku niebu

Wyścig zbrojeń w dziedzinie budowy wieżowców na Starym Kontynencie nie byłby możliwy, gdyby

nie olbrzymi rozwój betonu, który jako nowoczesny materiał konstrukcyjny w ostatnich trzech dekadach stworzył nowe możliwości w projektowaniu i wznoszeniu budynków wysokich. Dzięki nim Europa, ze swoimi bogatymi tradycjami budowlanymi, nie pozostała w tyle wobec megalomańskiej mody na wieżowce.

Andrzej Ajdukiewicz, profesor Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej, wlicza główne zalety betonu w konstrukcji budynków wysokościowych. Są to: szybkość wznoszenia konstrukcji monolitycznych, wysoka ognioodporność (szczególnie istotna po 11 września 2001 roku) oraz wymagania dotyczące sztywności poziomej konstrukcji. Z drugiej jednak strony, jak podkreśla profesor, stosowanie żelbetu jako podstawowego materiału przy budowie najwyższych budynków wymagało specjalistycznych prac badawczych, dotyczących właściwości betonu w wielu aspektach.

Rozwój budynków wysokich nierozzerwalnie wiąże się bowiem z poszukiwaniem wydajnych materiałów konstrukcyjnych, pozwalających budować wyżej i bezpieczniej. Początkowo w konstrukcjach budynków wysokich dominowała stal, co wiązało się z nie dość rozwiniętą, jak na owe czasy, technologią betonu, przez co produkowane betony cechowała znacznie niższa wytrzymałość niż stal. Obecnie zainteresowanie betonem jako głównym materiałem konstrukcyjnym w budownictwie wysokościowym znacznie wzrosło. Na przestrzeni ostatnich lat nastąpił znaczący postęp w dziedzinie właściwości fizycznych tego materiału. Dodawane domieszki umożliwiły znaczny wzrost wytrzymałości, przyspieszyły okres dojrzewania betonu i umożliwiły wykonywanie prac budowlanych w temperaturach poniżej 0 st.C.

Dynamiczny rozwój tych technologii doprowadził w końcu w 2009 roku do przełamania wszelkich barier wysokości, przyczyniając się do powstania najwyższego budynku świata, Burj Khalifa w Du-



baju, który dotąd nie ma sobie równych. Choć jego całkowita wysokość to 828 m, wiadomo, że konstrukcja z żelbetu mierzy aż 586 m i liczy sobie 156 kondygnacji, co daje mu zarazem tytuł najwyższego na świecie obiektu z betonu.

Po wydarzeniach z 11 września 2001 roku pojawiły się głosy, że epoka budynków wysokich skończyła się. Jednak w ostatnich latach obserwuje się powrót silnej tendencji do budowania wysoko, a problemy bezpieczeństwa są rozwiązywane przez nowe przepisy i zmiany konstrukcyjno-materiałowe. Jak podkreślają jednak autorzy opracowania „Fire Safety Strategies for Supertall Buildings in Hong Kong” publikowanego przez Council on Tall Buildings and Urban Habitat, wraz ze wzrostem wymagań technologicznych stawianych przed superwysokimi budynkami podnoszą się koszty ich budowy oraz wpływ na środowisko, co z kolei oddala je od naczelnej zasady zrównoważonego rozwoju, jakże istotnej w dzisiejszej rzeczywistości. Rodzi to pytania o zasadność budowy takich obiektów, w szczególności na terenie Europy, która nie boryka się przecież z tak dużymi problemami gęstości zaludnienia, jak na przykład Hongkong, gdzie na obszarze 1,108 kilometra kwadratowego żyje siedem milionów ludzi. W europejskich miastach ten problem jednak nie występuje, a zatem budowa bardzo wysokich obiektów jest jedynie przejawem megalomanii ich fundatorów.

Wieżowce – studium przypadku

Wieżowce z ubiegłego wieku i dzisiejsze znacznie różnią się od siebie. Dr Jacek Wdowicki z Politechniki Poznańskiej przypomina, że „pierwsze budynki wysokie wzniesione w Chicago w drugiej połowie XIX w. cechowały gładkie fasady, najczęściej z cegły, bez dekoracji, urozmaicone jedynie wykuszami. Ukazuje to problem, który powstał wówczas i jest aktualny do dzisiaj: jak w zakresie architektonicznej kompozycji projektować obiekty o skali i funkcji, dla których odniesienia historyczne nie istnieją. Próbę rozwiązania tego dylematu podjęli chicagowski architekt Louis Sullivan (1856–1924) oraz twórcy World Columbian Exhibition – 1893 w Chicago. Dalszy postęp w poszukiwaniu nowych form architektury zgodnej z techniką i duchem czasu nastąpił pod wpływem modernizmu, który dotarł na amerykański kontynent wraz z napływem emigrantów – intelektualistów europejskich”.

W swoim opracowaniu dr Wdowicki przypo-

mina, że na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku kontynuowano trend budowania „coraz wyżej”. W 1969 roku w Chicago powstał obiekt John Hancock Center (343,0 m), a w 1972 i 1973 r. bliźniacze wieże World Trade Center (415-417 m) w Nowym Jorku. W latach 70. ubiegłego stulecia zaczęto wznosić „megastruktury”, a wśród nich drapacz chmur Sears Tower (442 m) w Chicago w 1974 roku. Później powróciło zainteresowanie odniesieniami do form historycznych, które jednak traktowano dowolnie i wybiórczo, w sposób nie dosłowny, lecz „aluzyjny”. Były to początki postmodernizmu, który od lat 80. XX w. do dziś dominuje w projektowaniu budynków wysokich.

Od tamtego czasu wiele się jednak zmieniło. Dotyczy to zarówno zmiany funkcji (z biurowej na mieszkaniową czy hotelową), jak i formy. Rozwój technik komputerowych umożliwił również tworzenie wymyślnych kształtów oraz form budynków wykazujących ikarowskie aspiracje.

Technologia w służbie idei

Rozwój technologii budowy (szalunki przestawne o dużej dokładności montażu i demontażu, systemy transportu pionowego – pompy, skrócenie wykonywania kondygnacji do kilku dni), duża podatność na kształtowanie, szybszy wzrost wytrzymałości niż ceny, duża odporność ogniowa to kolejne zalety przemawiające za stosowaniem betonu. Trudno dziś wyobrazić sobie jednak budowę wielopiętrowego budynku bez nowoczesnych urządzeń umożliwiających zautomatyzowanie procesu wylewania betonowych elementów konstrukcji. Pompy do betonu umożliwiają nieskomplikowany transport mieszanki na dużą odległość i wysokość. Jest to szczególnie ważne latem, gdy beton szybko wiąże, a trzeba mu zapewnić jednorodną strukturę. Należy jednak zauważyć, że możliwości techniczne, które pozwalają na pompowanie betonu nawet na wysokość 600 m – tak było w przypadku budowy Burj Khalifa – stawiają kolejne wyzwania przed technologami.

– Kluczem do sukcesu stało się takie opracowanie składu mieszanki, aby przy jej wpompowaniu na wysokość kilkuset metrów zachowała ona swoje właściwości i osiągnęła oczekiwane parametry – zauważa Michał Elert, dyrektor handlowo-technologiczny z firmy BASF. To nietatwe zadanie wymaga indywidualnego podejścia i wielu testów. Dla Burj Khalifa rurociągi najpierw rozpięto płasko na

Makieta przedstawiająca ranking budynków wysokich na świecie, znajdująca się w Burj Khalifa w Dubaju



podłożu, aby sprawdzić, jak zachowa się mieszanka w tak długim systemie.

Podobnie było w przypadku oddanego do użytku na początku lutego tego roku wieżowca Shard w Londynie. Realizacja obiektu, która dowodzi wyższości idei nad materią, stała się wydarzeniem nie tylko z uwagi na skalę przedsięwzięcia, ale także na zastosowane technologie. Zaprojektowany przez Włocha Renzo Piano 306-metrowy budynek przypomina ściętą bryłę lodu. Ten wielofunkcyjny wieżowiec wzniesiono w miejscu 26-piętrowych biurowców z lat 70. ubiegłego wieku, nad stacją metra London Bridge. Jest to obecnie jeden z najbardziej ruchliwych węzłów transportowych stolicy Wielkiej Brytanii. Inwestycja to przejaw nowego kierunku w polityce przestrzennej władz Londynu, który przewiduje intensyfikację zabudowy w miejscach, w których zapętłają się węzły komunikacyjne miasta. Forma wieżowca to wypadkowa analiz panoramy Londynu z różnych punktów widokowych. Tak powstał zwężający się ku górze obiekt, którego forma pozwoliła na ekonomiczne rozplanowanie funkcji. Tak do 28. piętra sięgają biura, od 31. do 33. gastronomia, 34. do 52. hotel, 53. do 65. mieszkania. Powyżej taras widokowy z charakterystycznym, ostrym zwieńczeniem.

Z uwagi na to, że budynek wzniesiono na fundamentach istniejącego tam wcześniej zespołu zabudowy biurowej, jego posadowienie musiało to uwzględnić. Tymczasem, jak podkreśla dr Jacek Wdowicki z Politechniki Poznańskiej, pod względem statycznym każdy z budynków wysokich jest wspornikiem, w związku z tym należy zapewnić mu odpowiednie zakotwienie, w przeciwnym razie może dojść do katastrofy. Stąd też tak ważne jest projektowanie kondygnacji podziemnych, często w postaci skrzyni fundamentowej. „Liczba tych kondygnacji zazwyczaj zależy od wysokości budynku i jego funkcji. Najczęściej jest to od 2 do 5 kondygnacji, lecz np. w budynku La Societe Generale w Paryżu zbudowano 10 kondygnacji podziemnych (przy 40 kondygnacjach nadziemnych), a w wieżowcu Sears Tower w Chicago jedynie 3 kondygnacje podziemne (przy 110 kondygnacjach nadziemnych).”

Wieżowiec z żelbetu

Shard stanął na wkopanych w ziemię na głębokość 53 metrów palach, na których wsparto następnie płytę denną. Ściany oporowe wykonano z pali o średnicy 1 m w rozstawie co 75 cm. Rozkład materiałów zastosowanych do budowy konstrukcji odpowiada podziałom funkcjonalnym wewnątrz obiektu. U podstawy w części biurowej, czyli tam, gdzie występują największe rozpiętości, zastosowano konstrukcje stalowe – kompozytowe stopy na stalowych belkach z płytą w formie wylewki z lekkiego betonu zbrojonego. Jednak już w części hotelowej optymalne okazało się zastosowanie betonowych stropów sprężanych, natomiast w najwyższych kondygnacjach mieszkalnych konstrukcji żelbetowej. Wybór żelbetu podyktowany był dobrym współczynnikiem izolacji akustycznej tego materiału, co pozwoliło na zwiększenie dźwiękoszczelności w części mieszkalnej, ale także okazało się celowe ze względu na dużą masę własną, która zmniejsza odchylenia wieży podczas działania sił wiatru. W początkowych fazach projektowych rozważano wprawdzie wykorzystanie całej konstrukcji ze stali, dużo lżejszej w stosunku do betonowej, jednak wówczas niezbędne byłoby zastosowanie kosztownych systemów tłumienia drgań. Sam trzon wieżowca (wspornik osadzony w płycie dennej i zaprojektowany tak, aby skutecznie opierać się nie tylko zmiennym obciążeniom użytkowemu, ale także naporom wiatru) sięgający aż do 72. piętra wykonano z żelbetu, a jedynie przeszklone zwieńczenie wsparto na stalowym ruszcie.

Na dolnych kondygnacjach obwód budynku był na tyle duży, że nie wymagał stosowania dodatkowych elementów podnoszących bezwładność konstrukcji. Wyżej, gdzie z powodu mniejszej liczby pionów windowych zmniejszył się również obwód, zastosowano dodatkowo ściany usztywniające wraz z konstrukcją kratową, między trzonem a elementami obwodowymi, które powyżej 40. kondygnacji wykonano jako stalowe profile wypełnione betonem. Problemy, jakie rodzi, i wyzwania, jakie stawia przed konstruktorami i technologami rozwój budownictwa wysokiego, wpływa na postęp budownictwa w różnych aspektach. Jak podkreśla prof. Ajdukiewicz - beton stał się wielką szansą w dziedzinie nowych rozwiązań konstrukcji budynków wysokich i wyzwaniem to zostało podjęte przez największe biura projektowe świata. Pomimo wielkich sukcesów ostatnich lat wyzwania są nadal ogromne. Wznoszenie budynków ponad 1000-metrowych przestało już dawno uchodzić za science fiction, a prace nad ich budową już trwają, co w niedalekiej przyszłości powinno przynieść pierwsze efekty realizacyjne, wynosząc beton jeszcze bliżej nieba.

Dawid Hajok

Literatura:

1. A. Ajdukiewicz, *Beton pnie się ku niebu – budownictwo wysokie jutra*, *Wydział budownictwa, Politechnika Śląska*
2. J. Wdowicki, *Budynki wysokie i wysokościowe*, *Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Wytrzymałości Materiałów, Politechnika Poznańska*

