

e i n i p o Budynki wysokie – wzrastająca rola betonu

Wytrzymałości betonów możliwych do praktycznego zastosowania osiągają obecnie w USA klasy B90-B120. Wyjątki, to znaczy aplikacje betonów o jeszcze wyższej wytrzymałości, potwierdzają tendencje rozwoju tego tworzywa. Realizacja najwyższych obecnie wieżowców świata świadczy o wzrastającej roli betonu – pisze prof. Adam Zbigniew Pawłowski. To kolejny głos w dyskusji na łamach magazynu „Budownictwo, Technologie, Architektura” i próba odpowiedzi na postawione przez redakcję pytanie: „Dlaczego beton ma przyszłość?”.



1. Bank of China w Hongkongu (pierwszy plan) oraz Central Plaza (w głębi) – widok

Budynki wysokie mają swoją ponad 120-letnią historię. Chicago, gdzie powstała słynna szkoła budownictwa wysokiego grupująca najwybitniejszych ówczesnych architektów i inżynierów, jest miejscem narodzin wieżowców. Na ich powstanie i rozwój zasadniczy wpływ miała wynaleziona w 1853 roku przez Ottisa winda, a następnie w 1880 roku jej elektryczny napęd. Bez systemu komunikacji pionowej wieżowców nie miałby sensu. W latach 1920-1940 powstają w USA (Chicago, Nowy Jork) setki nowych wieżowców. Tworzą się też grupy ich przeciwników twierdzących, iż powstawanie nowych wieżowców jest wynikiem „...błędów i luk w amerykańskim prawie”. W latach 30. powstaje słynny Rockefeller Center – zespół trzynastu wieżowców o wysokości 45-55 kondygnacji. Ta wyjątkowa operacja budowlana i finansowa pozwała na częściowe wyjście z impasu lat dwudziestych oraz daje impuls do rozwoju techniki. Rozpoczyna się pościg za wysokością, bicie jej kolejnych rekordów. W 1931

roku powstaje, zbudowany w dwa lata w Nowym Jorku, Empire State Building o wysokości 381 m, w 1972 dwie nowojorskie wieże WTC o wysokości 415 m oraz 417 m. W międzyczasie powstają w Chicago w 1969 John Hancock Center o wysokości 343 m oraz Amoco Building 346 m. Okres ten to dominacja konstrukcji stalowych, w których rozwoju specjalizował się przemysł amerykański.

Przez wiele lat beton był tworzywem uzupełniającym. W konstrukcji żelbetowej projektowano systemy posadowień budynków oraz stropy. Ich monolityczna konstrukcja pozwala na tworzenie sztywnych, poziomych tarcz zapewniających właściwą dystrybucję sił poziomych na elementy pionowe wieżowca.

Lata osiemdziesiąte to okres, trwającego do dzisiaj, rozwoju technologii betonu. Jakość i wytrzymałość betonu rosną, a domieszki stwarzają korzystniejsze warunki betonowania i dojrzewania betonu w zróżnicowanych wa-

Nr	Budynek	Miejsce	H (m)	Rok realizacji
1	BANK OF CHINA	HONGKONG CHINY	368,5	1989
2	AT&T CORPORATE CENTER	CHICAGO USA	306,9	1989
3	TEXAS COMMERCE TOWER	HOUSTON USA	304,8	1982
4	COLUMBIA SEAFIRST CENTER	SEATTLE USA	287,4	1984
5	NATIONSBANK PLAZA	DALLAS USA	280,7	1985
6	SCOTIA PLAZA	TORONTO KANADA	274,9	1989
7	IBM TOWER	ATLANTA USA	249,9	1987
8	BANK ONE CENTER	DALLAS USA	239,9	1987
9	TREASURY BUILDING	SINGAPUR	234,7	1986
10	THREE FIRST NATIONAL PLAZA	CHICAGO USA	229,5	1981
11	1100 LOUISIANA BUILDING	HOUSTON USA	228	1980
12	WESTIN STAMFORD HOTEL	SINGAPUR	225,9	1986
13	SOUTHEAST FINANCIAL CENTER	MIAMI USA	224,9	1983
14	OLYMPIA CENTRE	CHICAGO USA	221,9	1986

Tablica 1. Najwyższe budynki świata o konstrukcji stalowo-żelbetowej

Tablica 2. Najwyższe budynki świata o konstrukcji żelbetowej

Nr	Budynek	Miejsce	H (m)	Rok realizacji
1	CENTRAL PLAZA	HONGKONG CHINY	374	1992
2	SKYCENTRAL PLAZA	GUANGZHOU	321,9	1997
3	BAIYOKE TOWER II	BANGKOK	320,0	1997
4	TWO PRUDENTIAL PLAZA	CHICAGO USA	303,3	1990
5	RYUGYOHG HOTEL	PYONGYANG	299,9	1995
6	311 SOUTH WZCKER DRIVE	CHICAGO USA	292,9	1990
7	SUNTRUST PLAZA	ATLANTA USA	265,5	1992
8	NATIONSBANK CORPORATE CENTER	CHARLOTTE USA	265,5	1992
9	MESSETURM	FRANKFURT NIEMCY	257	1990
10	GATE TOWER	OSAKA JAPONIA	253,9	1996
11	BNI CITY TOWER	JAKARTA	249,9	1995
12	CARNEGIE HALL TOWER	NOWY JORK USA	230,7	1991
13	TWO PACIFIC PLACE	HONGKONG CHINY	228	1991

runkach. Wytrzymałości betonów możliwych do praktycznego zastosowania osiągają obecnie w USA klasy B90-B120. Wyjątki, to znaczy aplikacje betonów o jeszcze wyższej wytrzymałości, potwierdzają tendencje rozwoju tego tworzywa.

Walory betonu to szczególnie:

- wzrastający iloraz jego wytrzymałości do kosztów
- techniczne i ekonomiczne możliwości wykonania zabezpieczeń przeciwpożarowych
- większa, w stosunku do konstrukcji stalowej, sztywność pozwalająca na opanowanie wychyleń poziomych wieżowca
- łatwość kształtowania coraz bardziej skomplikowanych form przestrzennych.

Cechy te stają się szybko zauważalne przez autorów projektów, inwestorów i wykonawców.

Betony klas B60-B90 stają się rozwiązaniem standardowym na budowach amerykańskich, azjatyckich, a także (nieco niższe klasy) europejskich. Za wzrostem wytrzymałości betonu nie nadążają regulacje prawne. Zachowawczo zachowują się liczące się normy europejskie: niemiecka DIN-1045, angielska BS, także polska (do 1999 roku). Jedyne norma amerykańska ACJ-318 nadąża w swoich regulacjach za rozwojem technologii betonu.

Znaczne korzyści daje beton w zakresie zabezpieczeń konstrukcji przed pożarem. Wymagania związane z zabezpieczeniem przeciwpożarowym wieżowców wzrastają. Głównym elementem nośnym (stupy, ściany) stawia się z reguły warunki 4-godzinnej odporności ogniowej. W przypadku żelbetu wystarcza powiększenie otuliny zbrojenia do 7-8 cm. W przypadku stali wymaga to specjalnych natrysków lub okładzin. Takie zabezpieczenie konstrukcji stalowej podnosi jej koszt o ca 10%, zwiększa pracochłonność i wydłuża czas realizacji.

Konstrukcja żelbetowa zwiększa, w stosunku do stalowej, sztywność wieżowca. Ułatwia zmniejszenie do dopuszczalnej wartości wychylenia poziomego, zmniejsza podatność na dynamiczne oddziaływanie sił poziomych, także na przemieszczenia skrętne. Dopuszczalne wychylenia wieżowca zostały ustalone w drodze doświadczeń praktycznych. Wykonawcy amerykańscy rekomendują wychylenia dopuszczalne o wielkości $f=H/500$. Podobne wychylenia są proponowane w krajach azjatyckich, czemu trudno się dziwić, gdyż wieżowce są tam projektowane przeważnie przez Amerykanów. W Europie teoretyczne wychylenie poziome szczytu wieżowca przyjmuje się w granicach 1/700-1/800 wysokości, w Australii nawet w granicach 1/1000. Dla przykładu żel-

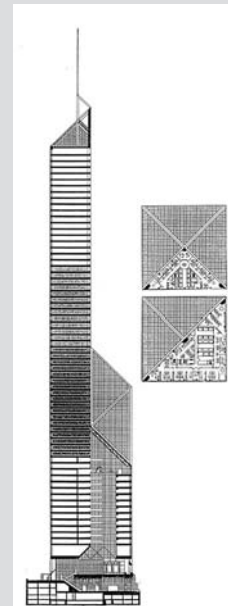
betowy wieżowiec Bourka Place zrealizowany w 1991 roku w Melbourne posiada wychylenie teoretyczne zaledwie 20 cm, co przy wysokości 223 m stanowi $f=1/1115$ H. Zastosowany system „trzon w trzonie” przy betonie o wytrzymałości 60 MPa okazał się zbyt sztywny. Ograniczenie wychylenia następuje poprzez zastosowanie odpowiedniego, przestrzennego systemu konstrukcyjnego. Sztywny trzon w budynkach o wysokości do 200 m albo „trzon w trzonie”, wreszcie zewnętrzna powłoka, dają w żelbecie możliwość odpowiedniego ograniczenia wychylenia wierzchołka wieżowca.

W świetle doświadczeń amerykańskich przemieszczenia pomierzone są mniejsze od przemieszczeń ustalonych obliczeniowo. Dotyczy to zarówno konstrukcji żelbetowej, jak i stalowej. Wybitny amerykański konstruktor wieżowców Fazlur Khan (autor projektów wieżowców Searsa wysokości 442 m i Johna Hancocka wysokości 343 m w Chicago) tłumaczył mi przed laty, iż obok wychyleń w płaszczyźnie niebezpieczne mogą być ruchy skrętne wieżowca. Robertson, współautor projektu konstrukcji nowojorskich wież World Trade Center, na moje pytanie o ekstremalne działanie sił poziomych, wiatru oraz sejsmicznych, był zdania, iż ważne może być też „przyłożenie” dynamicznej siły skupionej. Budynek WTC projektował na przypadkowe uderzenie samolotu. Samolot przełomu lat 60/70 był nieporównywalnie lżejszy od tych, które uderzyły w WTC. Na pytanie o możliwość zastosowania konstrukcji z betonu w wieżowcach WTC uważał (na początku lat 70.), iż było to niemożliwe.

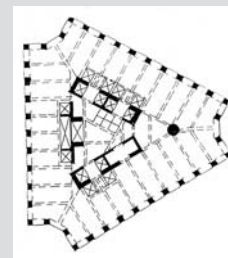
Wieżowce projektują obecnie czołowi architekci świata, jak Jeoh Ming Pei, Skidmore, Owings, Merrill (S.O.M.), Norman Foster, Richard Meier, Cesar Pelli, Philip Johnson, Kohn, Petersen, Fox (KPF). Swoimi autorytetami uzasadniają ich przydatność w mieście, ale jednocześnie narzucają bardziej urozmaicone ich kształty przestrzenne. Formy współczesnych wieżowców stają się coraz bardziej skomplikowane w rzucie i w przekroju. Ich projektowanie ułatwia jednak dobry warsztat inżynierów konstruktorów pracujących w oparciu o nowoczesne oprogramowania komputerowe. Skomplikowane formy dają się łatwiej i taniej wykonać w żelbecie, taki pogląd reprezentują dość powszechnie wykonawcy.

Wszystkie te względy spowodowały, że w ostatnich latach obserwuje się wyraźne ograniczenie konstrukcji stalowej w budynkach wysokich na rzecz konstrukcji mieszanej oraz konstrukcji w pełni żelbetowej. Konstrukcje mieszane stosowane w wieżowcach najwyższych (powyżej 360-400 m) stanowią formę przejścia od konstrukcji stalowych do żelbetu.

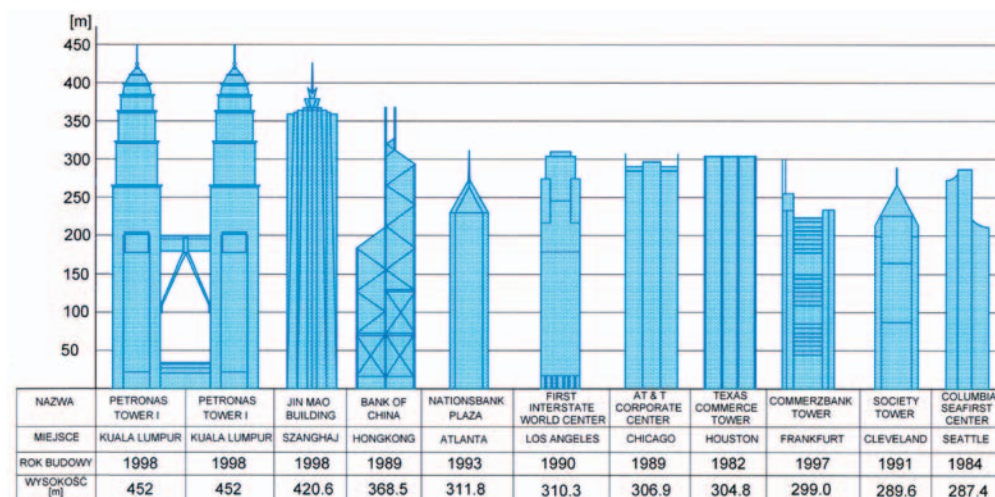
Prof. Adam Zbigniew Pawłowski jest autorem konstrukcji kilku zrealizowanych warszawskich wieżowców oraz kilkudziesięciu publikacji na temat budownictwa wysokiego.



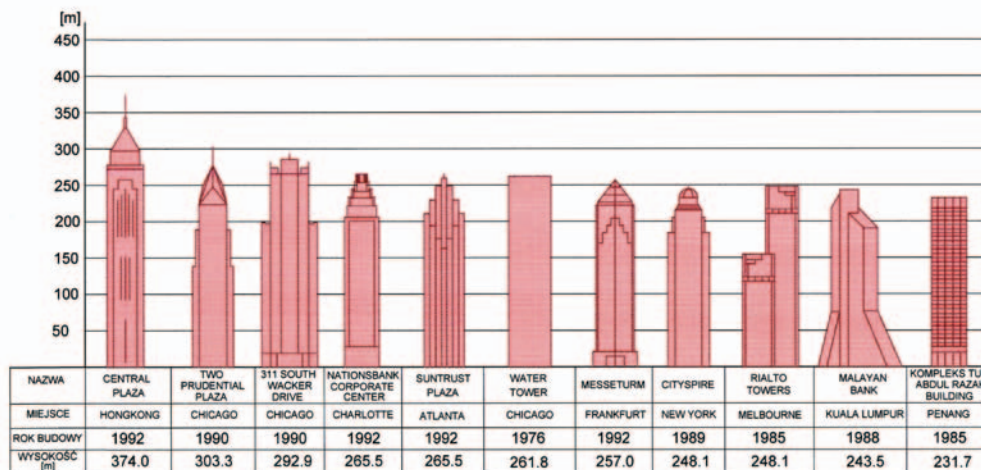
2. Bank of China – elewacja + rzut



3. Central Plaza – rzut



Sylwetki 1 – najwyższe budynki świata o konstrukcji stalowo-żelbetowej



Tablica 1 przedstawia najwyższe wieżowce świata zrealizowane w konstrukcji mieszanej w latach 80. Tablica 2 to najwyższe wieżowce świata zrealizowane w latach 90. w konstrukcji żelbetowej. Różnica jednej dekady jest wyraźnie widoczna. Wzrosła wysokość wieżowców zrealizowanych w betonie w porównaniu do konstrukcji mieszanej. Widać ponadto, iż do betonu przekonują się Amerykanie. Przez konstrukcję mieszaną należy rozumieć zastosowanie konstrukcji zespolonej, albo kojarzenie np. żelbetowych trzonów i stropów ze stalową konstrukcją szkieletową. Wśród przykładów konstrukcji mieszanej na szczególną uwagę zasługuje, zaprojektowany przez J.M. Peia wieżowiec Bank of China o wysokości 368,5 m w Hongkongu (rys. 1 i 2). Wyróżnia się charakterystyczną sylwetką, w której Autor, mimo wysoce zgeometryzowanej formy, stara się wprowadzić możliwie wiele przekazów z chińskiej tradycji. Rzut kwadratowy dolnych kondygnacji przechodzi w rzuty trójkątne

prostokątnego o zróżnicowanych wymiarach boku. Przy siedemdziesięciu kondygnacjach nadziemnych zaprojektowano pięć podziemnych. Na wolnym parterze zaprojektowany został, nawiązujący do chińskiej tradycji, ogród. Część konstrukcji nośnej, stropy oraz całe podziemie, zostały zaprojektowane w żelbecie. Wybitny konstruktor amerykański Robertson zaprezentował tutaj swój wielki talent poparty doświadczeniem wyniesionym z projektu WTC. W Hongkongu znajduje się ciągle najwyższy, żelbetowy wieżowiec świata (rys. 1). Central Plaza to biurowiec o wysokości 374 m o 78 kondygnacjach nadziemnych oraz 3 podziemnych. Światowej sławy zespół konstruktorów Ove Arup & Partners zaprojektował całą konstrukcję jako żelbetową (z małym dodatkiem profili stalowych), skonstruowaną w systemie „trzon w trzonie” (rys. 1 i 3). Potężne siły wiatru wynoszące na najwyższych kondygnacjach (250-370 m powyżej poziomu terenu) 4,3 KN/m² wymagały odpowiedniego zapewnienia stateczności budynku. Znaczna sztywność wieży pozwoliła na ograniczenie wychylenia jej wierzchołka do 40 cm, co stanowi $f=1/785 H$. Kształt trójkątny rzutu, mimo ściętych narożników, pozwalał na zmniejszenie wpływu sił wiatru na budynek. Posadowienie wieżowca za pośrednictwem kesonów w skale wpływało także pozytywnie na jego stateczność.

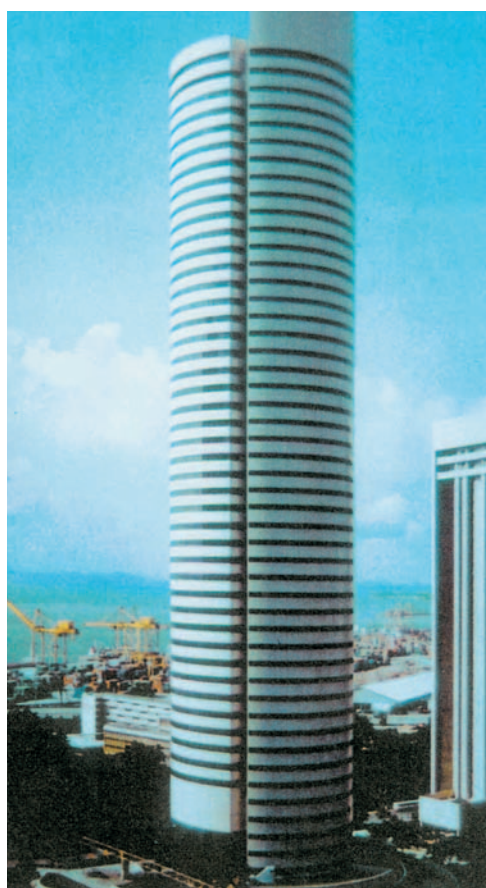
Konstrukcję stropów żebrowych stanowi płyta o grubości 16 cm i rozpiętości belek 12,0 m. Zastosowano beton klasy B60. Klasa B60, uzyskana z powodzeniem przed dwunastu laty w konstrukcji tak odpowiedzialnej, to duży wyczyn wykonawcy, ale jeśli chodzi o doskonalenie technologii betonu to właściwie pierwsze pewne kroki rozwoju tego tworzywa.

Betony wysokich wytrzymałości mogą tworzyć pewne problemy konstrukcyjne. Główny z nich to (ze względów ekonomicznych), logiczna konieczność wykorzystania ich wytrzymałości. Łatwo to realizować w przypadku pionowych elementów nośnych, szczególnie słupów, gdzie przy pełnym wykorzystaniu ich wytrzymałości opłaca się stosowanie także wyższego procentu zbrojenia. Szkoda, że polska norma ograniczyła maksymalną ilość zbrojenia do 4% przekroju słupa.

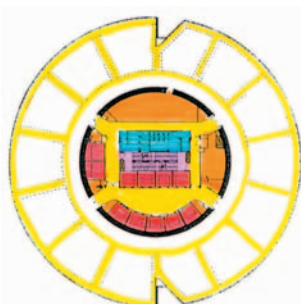
Bardzo trudno wykorzystywać wysoką wytrzymałość betonu w konstrukcji ścian podziemia, fundamentów, a nawet stropów. W takich przypadkach stosowanie 2-3 klas betonu w wieżowcu jest działaniem racjonalnym. W wieżowcu WCF w Warszawie o wysokości 145 m zaprojektowałem trzy klasy betonu, najwyższą B55 w słupach. Projekt został wykonany bezbłędnie.

Wyższe klasy betonu powodują zwiększenie skurczu. Sto-

4. Treasury Building – widok + rzut



for Archwum

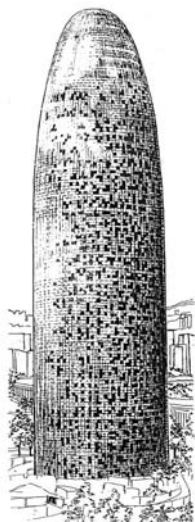


sowanie przerw technologicznych pozwalających na jego eliminację staje się rozwiązaniem racjonalnym, bardzo często stosowanym. Dobrym przykładem może być np. betonowanie płyt fundamentowych „w szachownicę”. Groźna może być wysoka temperatura, która powstaje w trakcie wiązania betonu, szczególnie płyt grubych, np. fundamentowych. Temperatura takich płyt powinna być kontrolowana, a przy jej wzroście do ca 50°C powinny być prowadzone działania zapobiegawcze. Betonowanie grubej płyty fundamentowej wieżowca odcinkami jest działaniem sensownym. W zrealizowanych wieżowcach (także w innych budynkach) stosowane są w fundamentach, ze względu na skurcz oraz warunki wiązania, raczej niższe klasy betonów, np. B30-B35. Duże możliwości minimalizowania temperatury betonowanej konstrukcji stwarza stosowanie cementów zawierających dodatki mineralne, w szczególności cementów hutniczych. Może mieć sens stosowanie dodatków zwalniających wiązanie betonu.

Wracając do przykładów wieżowców zrealizowanych w oparciu o beton, warto omówić ciekawy przykład wieżowca o niekonwencjonalnej konstrukcji stropów. Żelbetowy wieżowiec Treasury Building zrealizowany w 1986 roku w Singapurze ma wysokość 235 m, 52 kondygnacje nadziemne oraz 5 podziemnych (rys. 4). Charakterystyczny rzut kołowy miał na celu zminimalizowanie powierzchni ścian zewnętrznych (klimat tropikalny), ale także zmniejszenie działania sił wiatru. Konstrukcję tworzy trzon wewnętrzny o średnicy 23,0 m i niespotykanej grubości 160 cm do 100 cm w częściach górnych. Na szczególną uwagę zasługują dyskusyjne, wspomnikowe stropy o wyciągu 11,60 m, w których żelbet został wzmocniony profilami stalowymi. Nawet renomowana firma konstrukcyjna Arup nie była w stanie przekonać architekta i inwestora do zaniechania nieekonomicznej konstrukcji wspomnikowych stropów. Bryła budynku jest wyraźnie kontrowersyjna. Dwa przecięcia pionowe wieżowca mają zapewne na celu stworzenie bardziej smukłej sylwetki budynku – w rzeczywistości patrząc na rzut wydają się zabiegiem sztucznym. Wspornikowe stropy są rozwiązaniem unikalnym, jednak bezsensownym ekonomicznie.

Europę cechowała zawsze duża wstrzeźliwość we wznoszeniu wieżowców. Wyłomem była budowa paryskiej dzielnicy Défense. Obecnie wieżowce wznoszone są najczęściej w Londynie oraz we Frankfurcie nad Menem. Skala europejska to wieżowce o wysokości 100-200 m (wyjątki potwierdzają regułę). W zabudowie wysokiej Europy widać jednak przyspieszenie w nowych realizacjach. Dotychczas w miastach europejskich zbudowano ponad 400 budynków o wysokości $H \geq 100,0$ m, ale w budowie znajduje się obecnie ponad 90 wieżowców!

Niższa, w stosunku do amerykańskiej oraz azjatyckiej, wysokość zabudowy przesądziła jednoznacznie w Europie o wyborze betonu jako tworzywa konstrukcyjnego. Z wieżowców realizowanych zaledwie parę ma konstrukcję stalową lub mieszaną. Pewne uprzedzenie do budynków wysokich wynika zapewne z dużego przywiązania do walorów historycznej zabudowy miast europejskich. Wydaje się, iż ten pogląd ulega zmianie. Powstają wprawdzie wieżowce niezbyt wysokie, ale często o zaskakującej formie przestrzennej. Przedstawmy dwa przykłady. Pierwszy w oparciu o żelbet stworzył architekt francuski Jean Nouvel. Budowany w Barcelonie, mieście Gaudiego, budynek-rzeźba Torre Agbar, dla jednych jest uroczy, drugich szokuje. W budynku zlikwidowano czytelny podział elewacji (rys. 5). Trzon,



5. Torre Agbar, Barcelona – elewacja



6. Turning Torso, Malmö – elewacja + rzut

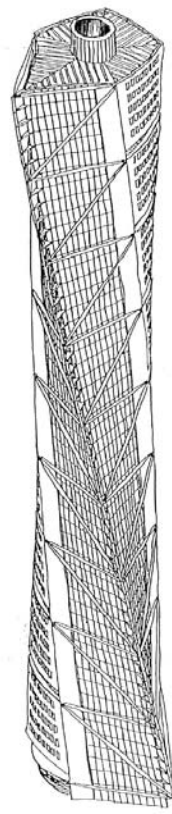
zewnątrzna powłoka oraz stropy tworzą bardzo sztywną konstrukcję przestrzenną. Aerodynamiczny kształt zmniejsza działanie sił wiatru, chociaż przy wysokości 142 m i przyjętym układzie konstrukcji nie ma to zasadniczego znaczenia.

Inny zadziwiający kształt ma wieżowiec Turning Torso o wysokości 190 m, gdzie konstrukcja żelbetowego trzonu została połączona z zewnętrzną konstrukcją żelbetowych słupów, wspomaganych widocznymi w elewacjach stalowymi skratowaniami (rys. 6). Bardzo zgeometryzowana konstrukcja z obracającym się o 90° „kregostupem” autorstwa Hiszpana Santiago Calatravy wznoszona w Malmö, niezbyt dużym mieście szwedzkim, budzi zdumienie.

Zaskakuje przestrzennie zespół dwóch przechylnych wieżowców Puerta de Europa w Madrycie (rys. 7) o wysokości 113 m, zaprojektowanych przez amerykańskiego architekta Philipa Jonsona. Każdy wieżowiec o konstrukcji mieszanej nachylony pod kątem 14,3° posiada trzon i stropy żelbetowe. Z obawy przed utratą stateczności po stronie rozciąganej został wykonany żelbetowy blok balastowy o wadze 14.000 ton.

Liczące się w Europie polskie budynki wysokie mają zdefiniowany system konstrukcyjny budynku trzonowego z rzadko współpracującym na działanie sił poziomych zewnętrznym szkieletem. Tworzywem konstrukcyjnym jest zdecydowanie beton. Dominuje klasa B50. Uzyskiwana wytrzymałość betonu bywa jednak wyższa. Np. w wieżowcu WCF (rys. 8) w wyniku badań stwierdzono, iż przyjęty przez nas beton B55 osiągnął (mimo realizacji w okresie zimy) wytrzymałość o 15% wyższą.

W wieżowcach najwyższych, na świecie obowiązuje obecnie pełna logika kształtowania konstrukcji. Najwyższy



7. Puerta de Europa, Madryt – widok



8. Warszawskie Centrum Finansowe – widok

(jeszcze przez kilka miesięcy) wieżowiec świata Petronas Towers zrealizowany w Kuala Lumpur składa się z dwóch połączonych wież o wysokości 452 m (rys. 9). Architekt amerykański Cesar Pelli dołożył dużo starań, aby kształty wież wywodziły się z tradycji islamu. Sprowadziło się to do nałożenia dwóch obróconych względem siebie kwadratów, co z dodaniem ośmiu półokręgów stworzyło 16-ramienną gwiazdę. W wieżowcu dominuje żelbet. Na żelbetowych palach o przekroju 1,20 x 1,70 m i długości 40-80 m zbudowano w żelbecie pięć kondygnacji podziemnych. System konstrukcji nadziemnej to „trzon w trzonie”. Trzon wewnętrzny o średnicy 46,0 m połączono z zewnętrzną konstrukcją okrągłych żelbetowych słupów. Amerykańscy projektanci konstrukcji Thornton-Tomasetti dali się już poznać jako autorzy najwyższego, niezrealizowanego wieżowca w USA. Wieżowiec budowały dziesiątki najlepszych firm amerykańskich, japońskich oraz europejskich, tych ostatnich specjalizujących się w konstrukcjach posadowienia.

Wieże Petronas Towers stracą wkrótce prymat wysokości. Najwyższym stanie się wieżowiec realizowany w konstrukcji mieszanej na Tajwanie. Wieżowiec Taipei Financial Center zwany Taipei 101 bije kolejne rekordy: poziom najwyższej kondygnacji – 439 m oraz dachu – 449 m. Konstruowany przez zespół Thornton-Tomasetti posiada konstrukcję mieszaną: żelbetowy trzon ośmiu superkolumn o konstrukcji stalowo-żelbetowej oraz żelbetowe, skomplikowane posadowienie. Wyższy od Petronas Towers będzie także wieżowiec realizowany w Hongkongu. Mogą one jednak stracić pozycję lidera na rzecz budowanego od paru lat wieżowca Shanghai World Financial Center. Amerykańscy architekci KPF oraz inżynierowie Ove Arup zaprojektowali zadziwiającą formę przestrzenną,

której konstrukcję tworzą zarówno rurowe słupy stalowe wewnętrzne, jak i okrągłe słupy żelbetowe w części zewnętrznej rzutu (rys. 10). Zmienna forma rzutu, a szczególnie okrągły otwór na szczycie mają stanowić łatwe do zapamiętania logo miasta. Otwór o średnicy 50,0 m nawiązuje do geometrii historycznego ogrodu chińskiego.

Pogoń za rekordami wysokości wieżowców wiąże się z szeregiem czynników, szczególnie prestiżem inwestora, miasta, a nawet kraju. Formy wieżowców nawiązują w wielu krajach do ich historii, niekiedy do religii.

Zapewne będzie postępowało dalsze rozwarstwianie skal wysokości – miasta europejskie nie zdecydowały się, ze względu na kult swoich historii, na pogoń za wysokościami amerykańsko-azjatyckimi.

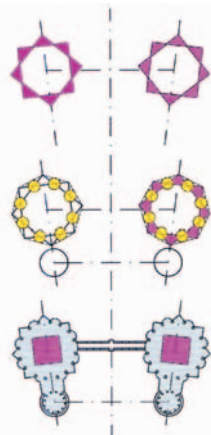
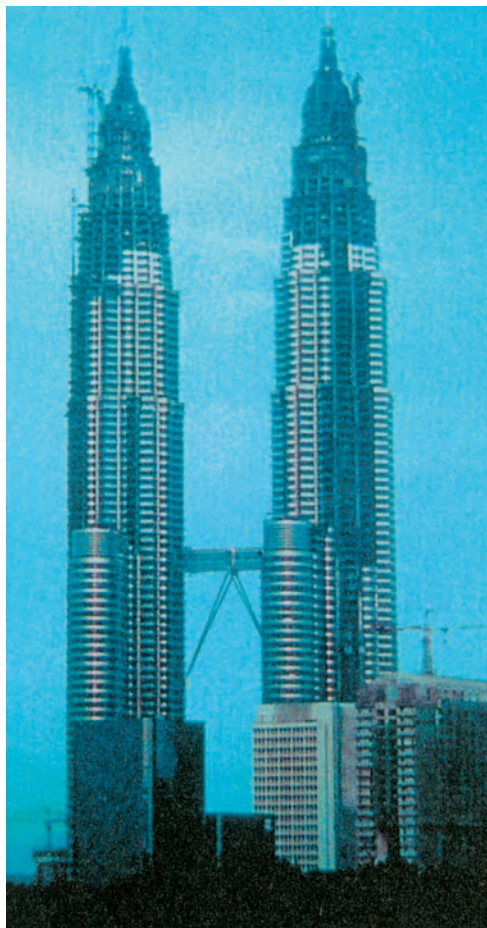
Ważnym czynnikiem jest rozwój nowych technik (poszukiwanie nowych lub doskonalenie istniejących), jakie niesie budowa wieżowców, nowych tworzyw. Najważniejsze są niewątpliwie techniki związane z komunikacją, komfortem instalacyjnym, obudową zewnętrzną, bezpieczeństwem ludzi, szczególnie zabezpieczeniami przed ogniem.

Realizacja najwyższych obecnie wieżowców świata świadczy o wzrastającej roli betonu. Zapewne dla projektów o rekordowej wysokości najrozsądniejszą, najbardziej zgodną z wymogami ekonomii będzie konstrukcja mieszana, gdzie każde z tworzyw będzie wykorzystane zgodnie z jego właściwościami.

Trudno przewidzieć, czy będą silne impulsy praktyczne do podnoszenia wytrzymałości betonu powyżej B110-B120. Ważniejsza będzie gwarancja jakości, odpowiednia do warunków klimatycznych, także tempa budowy, regulacja szybkości dojrzewania betonu oraz możliwość opanowania skurczu.

W wieżowcach będzie rosło zapotrzebowanie na betony o mniejszych ciężarach jednostkowych przy zachowaniu wysokich wytrzymałości. Zmniejszenie ciężaru 1 m² stropu w wieżowcu np. 80-kondygnacyjnym to problem już obecnie ważny. Niektóre projekty amerykańskie stosują bardzo lekkie, warstwowe stropy. Sądzę, iż w najbliższych latach tematem ważnym będzie projektowanie stropów lżejszych na bazie betonu.

9. Petronas Towers – widok + rzut



prof. dr hab. inż. Adam Zbigniew Pawłowski
Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej

10. SWFC, Szanghaj – elewacje

