

Swobodne formy przestrzenne w architekturze wybranych budynków wysokościowych w XXI wieku

Elżbieta Krupińska-Skoczek, mgr inż. arch.
Wydział Architektury
Politechnika Warszawska

Elżbieta Krupińska-Skoczek, MSc Arch.
Faculty of Architecture
Warsaw University of Technology

Streszczenie

Budynki wysokościowe, tj. o wysokości wynoszącej powyżej 55 m nad poziomem terenu, stanowią charakterystyczne elementy i dominanty w dużych aglomeracjach miejskich, a rozwój budownictwa wysokościowego cechuje nie tylko poszukiwanie nowych, oryginalnych form, ale też szybki postęp techniczny. Wyróżniają się budynki o wysokości ponad 400 m powstające na Bliskim Wschodzie oraz w Chinach. Ewoluująca architektura budynków wysokościowych wynika z trendów i stylów, a wykorzystywanie rozwijających się metod cyfrowych umożliwia tworzenie skomplikowanych technicznie rozwiązań przestrzennych. W architekturze prezentowanych obiektów widoczne są dwie cechy: opływowy, swobodny kształt oraz w konsekwencji wzrastająca smukłość. Istotne jest też ukierunkowanie proekologiczne, m.in. na ograniczanie zużycia energii, które często wpływa na formę obiektu. W artykule dokonano przeglądu kształtowania form przestrzennych wybranych budynków wysokościowych zaprojektowanych i zrealizowanych w XXI wieku.

Słowa kluczowe

budynek wysokościowy | wieżowiec | forma
| kształtowanie | architektura

Wstęp

Rozwój budownictwa wysokościowego, tj. o wysokości wynoszącej powyżej 55 m nad poziomem terenu¹, początkowo w Ameryce Północnej, a następnie na innych kontynentach, znacząco przyczynił się do postępu, który dokonał się w technologiach budowania. Na wystawie „Early Modern Architecture, Chicago, 1870–1910” w nowojorskim Museum of Modern Art w 1933 r., drapacz chmur został przedstawiony jako najwyraźniejsze osiągnięcie amerykańskiej architektury drugiej połowy XIX wieku². Charakterystyczny, czytelny w pejzażu miasta budynek wysokościowy, to jednak nie tylko symbol możliwości współczesnej sztuki budowania, ale ważny wizerunkowo i gospodarczo obiekt, silnie wpływający na urbanistykę - budynki wysokościowe stanowią charakterystyczne dominanty

¹ Rozporządzenie ministra infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. z 8 kwietnia 2019 r., poz. 1065.

² *Exhibition of Early Modern Architecture: Chicago, 1870–1910*, New York 1933, s. 7.

w dużych aglomeracjach. Ich forma jest różna, na co mają wpływ panujące w danym czasie upodobania estetyczne i trendy stylowe³. Budowa wież World Trade Center w Nowym Jorku, zaprojektowanych przez Minoru Yamasaki oraz inżynierów Johna Skillinga i Leslie Robertsona, stanowiła kulminację w ewolucji wysokościowych budynków po II wojnie światowej. Wieże, ukończone w 1973 r., były wyrazem postępu we wdrażaniu nowych technologii projektowania i budowy wysokościowców, który dokonał się w ciągu dziesięcioleci. Zniszczenie WTC 11 września 2001 r. wywołało refleksję dotyczącą założeń konstrukcyjnych i systemów bezpieczeństwa⁴.

Jednym z głównych stymulatorów innowacji w projektowaniu drapaczy chmur pozostaje technologia. Niektóre z najbardziej niezwykłych rozwiązań konstrukcyjnych ostatnich lat zostały zrealizowane dzięki zastosowaniu zaawansowanego modelowania komputerowego. Rozszerzenie cyfrowych możliwości analitycznych w projektowaniu wysokościowych budynków zaowocowało znaczącym wzmocnieniem roli inżyniera. Najbardziej godną uwagi innowacją w tym zakresie są realizacje ukończone usztywnionych struktur konstrukcyjnych. Pierwsze wysokościowe budynki były pomyślane jako prostopadłościenna matryce pionowych słupów i poziomych płyt, współczesne konstrukcje zbliżają się do swobodnie skomponowanych sztywnych zewnętrznych powłok lub trójwymiarowych ram przestrzennych, kreujących nowe formy i relacje wnętrze – zewnętrznie. Innym przejawem innowacji jest projektowanie konstrukcji efektywnych energetycznie i zrównoważonych środowiskowo, co również często wpływa na kształt i wyraz architektoniczny budynku. Postęp, jaki się dokonał w narzędziach wspomagających projektowanie spowodował silny impuls w kierunku poszukiwania brył budynków o opływowych, swobodnych formach architektonicznych ukształtowanych niezależnie od systemu konstrukcyjnego. Krzywoliniowe, skręcone formy coraz częściej stają się widoczne we współczesnej pragmatyce projektowej.

W poszukiwaniach kształtu przestrzennego wieżowców pojawia się bardzo wiele propozycji autorskich. Niektóre projekty zadziwiają odwagą pomysłów i trudną do przewidzenia skalą skomplikowania realizacji. Takie koncepcje to m.in. wieżowiec *La Tour Sans Fins* (wieża bez końca) z lokalizacją w prestiżowej dzielnicy *La Defense* w Paryżu (il. 1) czy też budynek *Green Bird* w centrum Londynu. Autorami budynku *La Tour Sans Fins* byli architekci Jan Nouvel i Emanuel Cattani, a idea projektu to forma prostej rury o wysokości 460 m, która dominując „wyłaniania się” i „znika” w przestrzeni miejskiej. Niekonwencjonalny, oryginalny pomysł to również koncepcja budynku *Green Bird* o wysokości 442 m (100 kondygnacji), który zaproponowali architekci z pracowni Future System. Wielofunkcyjny obiekt przeznaczono na biura, hotel oraz apartamenty. Architekci tworząc tak niezwykłą formę budynku twierdzili, że istotą jest zmniejszenie oddziaływań od wiatru. Budynek *Green Bird* miał być najwyższym budynkiem w Londynie (i zdominować panoramę rzeki), z charakterystycznym elementem, diagridową stalową kratą w elewacji.

³ J. Pietrzak, *Koherencja struktury nośnej i formy przestrzennej w biurowych i wielofunkcyjnych europejskich budynkach wysokościowych*, rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem dr. hab. inż. Wiesława Rokickiego, Politechnika Warszawska, Wydział Architektury, Warszawa 2018 (maszynopis w bibliotece WAPW), s. 10.

⁴ G. Nordenson, *Tall Buildings*, New York 2003, s. 8.

1. Wizja budynku wysokościowego: *La Tour Sans Fins w Paryżu*, Jan Nouvel, Emanuel Cattani, 1989–1992, niezrealizowana. Źródło: www.jeannouvel.com

1. The vision of a high-rise building: *La Tour Sans Fins in Paris*, Jan Nouvel, Emanuel Cattani, 1989–1992, unrealized. Source: www.jeannouvel.com



1.

Wybrane realizacje budynków wysokościowych

Analizom poddano dziewięć obiektów o wysokości od 144 do 414 m, powstałych w latach 2004–2018 w Europie, Ameryce Północnej oraz Azji. Kryterium wyboru stanowiła charakterystyczna, swobodna forma i wykorzystanie nowoczesnych metod projektowych.

Zestawienie obiektów (nazwa/lokalizacja – miasto, projektant, rok realizacji, wysokość w metrach i kondygnacjach nadziemnych + podziemnych):

1. *Torre Agbar (Glories)*, Barcelona, Jean Nouvel, 2004, wys. 144 m, 35+4 kondygnacje;
2. *Absolute World Building D*, Toronto, MAD Architects, 2012, wys. 175,6 m, 56+6 kondygnacji;
3. *Pearl River Tower*, Guangzhou, Gordon Hill / Skidmore, Owings & Merrill, 2011, wys. 309,6 m, 71+5 kondygnacji;
4. *Al Hamra Tower*, Kuwejt, Skidmore, Owings & Merrill, 2011, wys. 414 m, 80+3 kondygnacje;
5. *Cayan Tower*, Dubaj, Skidmore, Owings and Merrill, 2013, wys. 306 m, 73+5 kondygnacji;
6. *China Zun*, Pekin, TFP Farrells, KPF, BIAD, 2018, wys. 527,7 m, 109+8 kondygnacji;
7. *Lotte World Tower*, Seul, KPF, 2016, wys. 555,7 m, 123+6 kondygnacji;
8. *Capital Gate*, Abu Dhabi, RMJM, 2011, wys. 160 m, 35 kondygnacji;
9. *Evolution Tower*, Moskwa, RMJM, Filip Nikandrov, 2014, wys. 255 m, 53 kondygnacje.

Wyróżniające się projekty realizacyjne powstają w światowych pracowniach projektowych, takich jak Foster Norman and Partners czy w biurach Architektki MAD Architects, Skidmore, Owings & Merill, Kohn Pedersen Fox Associates i RMJM.

2a.



2b.



2c.



Owalny, symetryczny kształt bryły wieżowca, to zwiastun zachodzących zmian w myśleniu o nowoczesnym budynku wysokim. Z projektów powstałych w pracowni Foster Norman and Partners szczególną uwagę zwraca budynek Towarzystwa Reasekuracyjnego Swiss Re w Londynie (il. 2a). Charakterystyczną cechą jest nienawiązanie formą budynku do istniejącej w otoczeniu zabudowy, co już w założeniu staje się kontrowersyjne. Podobnym obiektem był zrealizowany w 2004 roku w Barcelonie budynek *Torre Agbar (Glories)* o wysokości 144 m (il. 2b), który odznaczał się korzystnymi parametrami aerodynamicznymi, a zaprojektowany został przez Jeana Nouvela oraz BAC Engineering Consultancy Group (konstrukcja). Budynek ma 35 kondygnacji nadziemnych oraz 4 podziemne, konstrukcję tworzy powłokowa rama zewnętrzna oraz niesymetryczny trzon⁵. Interesującym, wręcz przełomowym, wydarzeniem w urbanistyce miasta było zrealizowanie sześciu budynków mieszkalnych w kompleksie *Absolute World Building D* w dzielnicy Mississauga (il. 2c) na przedmieściu Toronto w Kanadzie. Szczególną uwagę zwraca budowa w 2012 roku dwóch wysokich budynków o formie krzywoliniowej będącej antytezą standardowych pudełkowych brył zaprojektowanych przez MAD Architects.

Projekt koncepcyjny budynku wysokiego *Absolute World Towers*, nazywanego też *Marilyn Monroe Tower 56*, powstał w wyniku międzynarodowego konkursu zorganizowanego przez prywatną firmę deweloperską. Konkurs wywołał duże zainteresowanie w środowisku architektonicznym (ponad 90 zgłoszeń konkursowych). Komercyjny sukces i przestrzenne znaczenie zrealizowanego obiektu spowodował wzrost zainteresowania koncepcją oraz potrzebę dokonania w sąsiedztwie kolejnej podobnej inwestycji. Pod względem ukształtowania projekt znacząco odbiegał od typowego,

2. Budynki wysokościowe: a) Swiss Re w Londynie, Foster Norman and Partners, 2004. Fot. Dan Bridge 2020; b) Torre Agbar (Glories) w Barcelonie, Jean Nouvel, 2004. Fot. Samuel Sweet, 2019; c) Absolute World Building D w Toronto, MAD Architects, 2012. Fot. Scott Webb, 2016. Źródło ilustracji: www.pexels.com

⁵ *Torre Agbar*, <http://architectuul.com/architecture/torre-agbar> (dostęp 10.08.2020).

prostoliniowego kształtowania bryły. Organiczna, płynnie zmieniająca się forma budynku ilustrowała bardziej swobodne podejście do projektu. Budynek charakteryzuje zróżnicowanie kątowe w rzutach. W wyższym, o wysokości 175,6 m (56 poziomów nadziemnych i 6 podziemnych), który zawiera 427 apartamentów, „skręcanie” w rzucie najwyższej kondygnacji odniesione do podstawy wynosi 209°, w drugim, liczącym 158 m – 200°. Poszukiwania odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych doprowadziły do zastosowania żelbetowej ścianowej struktury budynku, która okazała się dostatecznie sztywna w przenoszeniu obciążeń, dlatego nie wprowadzono bardziej skomplikowanych rozwiązań w postaci krzywoliniowych struktur przestrzennych⁶.

Chiny oraz niektóre bogate w ropę kraje arabskie to obecnie jedne z największych architektonicznie poligonów doświadczalnych. Zaciekawiają współczesne dokonania słynnego z projektowania budynków wysokich biura Skidmore, Owings & Merrill. Smukłe wieżowce o niekonwencjonalnej formie to zrealizowane budynki *Pearl River Tower* w Guangzhou, *Al Hamra Tower* w Kuwejcie oraz *Cayan Tower* w Dubaju w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Wznoszący się na 309,6 metrów (71 pięter) budynek *Pearl River Tower* powstał w biznesowej dzielnicy Kantonu (Guangzhou). Autorem projektu był architekt Gordon Hill (projekt otrzymał szereg nagród m.in. Złotą Nagrodę w kategorii Ekologii, Obniżenia Zużycia Węgla i Ochrony Środowiska). Budowa wielofunkcyjnego obiektu o powierzchni 214 100 m² (71 pięter) trwała prawie 5 lat i została ukończona w 2011 roku. W założeniu miał to być budynek w 58% bardziej efektywny energetycznie niż konwencjonalne wieżowce. Przy projektowaniu zwrócono uwagę na najbardziej energochłonne elementy, jak wentylacja i klimatyzacja. Dla osiągnięcia oszczędności zastosowano rozwiązania techniczne umożliwiające redukcję, odzysk, pochłanianie oraz wytwarzanie energii. Jest to kolejny obiekt zrównoważony energetycznie (w założeniu miał produkować więcej energii niż zużywać). Aerodynamiczny kształt powoduje, że powietrze w sposób naturalny przemieszcza się po fasadzie budynku (przecięta fasada zasysa wiatr). Kształty otworów wlotowych w części wylotowej wywołują podciśnienie (prawie 2,5-krotne zwiększenie prędkości przepływu powietrza). Innowacyjnym rozwiązaniem jest odzyskiwanie ciepła przez jego akumulowanie od strony południowej i przenoszenie na stronę północną. Na fasadzie rozmieszczono mechanicznie sterowane żaluzje, które pozwalają utrzymać wewnątrz budynku w stałej temperaturze, co znacząco poprawia wentylację i wpływa na wyraz architektoniczny⁷.

Zlokalizowany w centrum miasta budynek *Al Hamra Tower* o wysokości 414 m (80 kondygnacji nadziemnych, 3 podziemne), to najwyższy budynek w Kuwejcie. Budynek z 11-kondygnacyjnym parkingiem stanowi wielofunkcyjny kompleks o bardzo różnym przeznaczeniu użytkowym. Poza częścią biurową w budynku znajduje się centrum handlowe, teatr, kina i wiele restauracji oraz kawiarni. Budowa wieżowca rozpoczęła się w 2005, a obiekt ukończono w 2011 roku. Przyjęta niekonwencjonalna forma budynku (fasadę południową wykonano z okładziny

⁶ A. Frearson, *Absolute Towers by MAD*, <https://www.dezeen.com/2012/12/12/absolute-towers-by-mad/> (dostęp 16.08.2020).

⁷ R. Tomlinson II et al., *Pearl River Tower. Guangzhou*, „CTBUH Journal”, 2014, Issue II, s. 12–17.

kamiennej) w dużej mierze wynikała z potrzeby zminimalizowania oddziaływania słońca. Konstrukcję budynku stanowi betonowa struktura powłokowo-trzonowa⁸.

Budynek *Cayan Tower* o wysokości 306 m (73 piętra) powstał w 2013 roku w Abu Dhabi w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Budowa obiektu rozpoczęła się w 2006 roku i została zakończona w 2013 roku. Budynek miał „obracać” się o 90°, tak jak *Turning Torso* w Malmö, jednak wycofano się z tego pomysłu. Ostatecznie wykonano ramową dwupowłokową konstrukcję (obrót kondygnacji względem osi wynosi 1,2°). Trzon środkowy w rzucie stanowi koło, słupy skrajne zostały pochylone, a pozostałe przesunięto mimośrodowo⁹.

Nowoczesne budynki wysokościowe *China Zun* w Pekinie w Chinach (il. 3a) oraz *Lotte World Tower* w Seulu, w Korei Południowej (il. 3b), to ostatnio wybudowane wieżowce, zaprojektowane w pracowni Kohn Pedersen Fox Associatec. W Pekinie, w dzielnicy zwanej *Central Business District* przewidziano wybudowanie ponad 20 wieżowców o wysokości od 150 do 368 metrów. 108-piętrowy Wieżowiec *CITIC Tower* o wysokości 528 m znany jako *China Zun Tower* jest jednym z najwyższych budynków zrealizowanych w Chinach, który powinien wytrzymać trzęsienia ziemi o sile do 8 stopni według skali Richtera. To trzeci najwyższy budynek zrealizowany w północnych Chinach, po wieżowcach *Goldin Finance 117* i *Tianjin CTF Finance Center* w Tianjin. Koncepcję budynku opracowała pracownia architektoniczna TFP Farrells, a dokumentację projektową biuro Kohn Pedersen Fox Associatec (projekt konstrukcji powstał w pracowni Arupa). Zakrzywiona bryła budynku przypomina starożytne chińskie naczynie ceremonialne zwane *zun*, które wykonywano z brązu, przeznaczone do ceremonii rytualnych. Przyjęta forma sprawia, że jest to jeden z najbardziej oryginalnych wieżowców, które powstały w ostatnich latach na świecie. Budynek *China Zun Tower* jest 60-piętrowym wielofunkcyjnym obiektem z przeznaczeniem na biura, luksusowe apartamenty, hotel, zawiera także 8 kondygnacji podziemnych. Na dachu wieżowca, na wysokości 524 m, ulokowano ogród. Strukturę budynku stanowi trzon wewnętrzny oraz megakolumny skratowane na całej wysokości. Ściany trzonu o grubości od 120 do 40 cm wykonano z betonu, natomiast stropy o konstrukcji z belek stalowych¹⁰.

Inspiracją do ukształtowania formy wieżowca *Lotte World Tower*, który wybudowano w 2017 roku w Seulu było nawiązanie do kaligrafii oraz tradycyjnej koreańskiej sztuki ceramicznej. Gmach o wysokości 556 m ma 123 kondygnacji nadziemnych i 6 podziemnych. Charakterystyczny stożkowy budynek jest obiektem wielofunkcyjnym, w którym najbardziej atrakcyjne kondygnacje przeznaczono do użytku publicznego (lokale rozrywkowe z tarasem widokowym i kawiarnią na dachu). Konstrukcję nośną budynku tworzy układ megakolumn oraz trzon środkowy.

⁸ K. Rosenfield, *Al Hamra Firdous Tower* / SOM, https://www.archdaily.com/196714/al-hamra-firdous-tower-som?ad_medium=gallery (dostęp 10.08.2020).

⁹ G.F. Shapiro, *Cayan Tower*, *Designed by Skidmore, Owings & Merrill*, https://www.architectmagazine.com/design/buildings/cayan-tower-designed-by-skidmore-owings-merrill_o (dostęp 12.08.2020).

¹⁰ Liu P., Cheng Y., Zhu Y.-S., *The Structural Design of "China Zun" Tower, Beijing*, https://www.researchgate.net/publication/308665927_The_Structural_Design_of_China_Zun_Tower_Beijing, (dostęp 30.08.2020).

3a.



3b.



3c.



3. Budynki wysokościowe: a) China Zun w Pekinie, TFP Farrells, KPF, BIAD, 2018. Fot. Magda Ehlers 2019; b) Lotte World Tower w Seulu, KPF, 2016. Fot. Ethan Brooke, 2019; c) Evolution Tower w Moskwie, RMJM, Filip Nikandrov, 2014. Fot. Autor nieznan.

Źródło ilustracji: www.pexels.com

3. High-rise buildings: a) China Zun in Beijing, TFP Farrells, KPF, BIAD, 2018. Magda Ehlers 2019; b) Lotte World Tower in Seoul, KPF, 2016. Photo Ethan Brooke, 2019; c) Evolution Tower in Moscow, RMJM, Filip Nikandrov, 2014. Photo Author unknown. Image source: www.pexels.com

Elewację wykonano z tafli szkła w odcieniu srebrnym osadzonych w białych metalowych profilach. Wieżowiec został posadowiony na płycie fundamentowej oraz palach i powinien wytrzymać trzęsienie ziemi o sile 9° w skali Richtera¹¹.

Nietypowe projekty budynków wysokościowych powstały w biurze moskiewskim GORPROJECT (przy współpracy pracowni RMJM, konstrukcję opracowywało biuro inżynierskie GK-Techstroy). Wieżowiec *Capital Gate*, zwany także *Krzywą Wieżą*, zlokalizowano w centralnym miejscu Capital Center w Abu Dhabi w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Zrealizowany w 2011 roku, elegancki w formie wieżowiec to dowód współczesnych możliwości realizacji spektakularnych projektów, których istotą jest także nadanie rangi oraz podkreślenie prestiżu inwestorów. Budynek o wysokości 165 m składa się z 36 kondygnacji nadziemnych oraz 1 podziemnej. Obiekt jest opisywany jako najbardziej pochyły budynek zrealizowany na świecie (nachylenie 18° w kierunku zachodnim). W budynku mieszczą się biura, hotel Hyatt, dwie restauracje i centrum rekreacyjne. Charakterystyczny trzon wykonano w konstrukcji kablobetonowej i otoczono systemem kratownic stalowych. Budynek posadowiono pośrednio na 490 palach współpracujących z płytą fundamentową. Zastosowana nowoczesna fasada (Cardinal) jest o 51% bardziej efektywna niż elewacja standardowa, co zmniejszyło zużycie energii o około 15%¹².

¹¹ *Lotte World Tower*, <https://www.arch2o.com/lotte-world-tower-kpf> (dostęp 02.08.2020).

¹² A. Devdas et al., *Capital Gate. Abu Dhabi*, <http://faculty.arch.tamu.edu/anichols/courses/applied-architectural-structures/projects-631/Files/CapitalGate.pdf> (dostęp 02.08.2020).

Natomiast wieżowiec *Evolution Tower* (il. 3c) zbudowano w Moskwie na terenie Moskiewskiego Międzynarodowego Centrum Biznesowego. Celem deweloperów i architektów było opracowanie rozpoznawalnego, charakterystycznego budynku, który byłby nową ikoną współczesnej Moskwy. Budowa rozpoczęła się w 2007 roku. Obiekt oddano do użytku w 2015 roku. 246-metrowa wieża, zawierająca 55 pięter, została zaprojektowana przez architekta Philipa Nikandrova z biura GORPROJECT. Inspiracją do ukształtowania skrzyśonej formy budynku była rzeźba „Pocałunek” Auguste Rodina. Wieżowiec w zamyśle autora miał symbolizować postęp techniczny wyrażony spektakularnymi osiągnięciami w budownictwie. Każde piętro jest obrócone o 3° w stosunku do poprzedniego, a łączny obrót ostatniej kondygnacji w stosunku do pierwszej wynosi 135°. W obiekcie zaplanowano ok. 65 000 m² powierzchni biurowej.

W budynku znajduje się również Muzeum Moskiewskiego Międzynarodowego Centrum Biznesu, Urząd Stanu Cywilnego oraz, na najwyższym piętrze, sala balowa o powierzchni 2000 m². W procesie projektowym w rozwiązaniu konstrukcji nośnej wprowadzono szereg zmian. Finalnie strukturę nośną stanowią megakolumny o średnicy od 2,1 m na dole do 1,2 m na górze (w rozstawie co 15 m) oraz wewnętrzny trzon. Ściana osłonowa została wykonana z zespolonych, giętych na zimno szyb osadzanych w ramach aluminiowych¹³.

Podsumowanie

Budynki wysokościowe stanowią ważne dominanty w aglomeracjach miejskich, stąd ich ukształtowanie jest istotnym elementem w determinowaniu przestrzeni. Ciągły rozwój budownictwa wysokościowego objawia się nie tylko w poszukiwaniu nowych oryginalnych form, ale też w szybkim postępie technicznym i technologicznym. Z czasem ikoniczne budynki powszednieją, choć zawsze tworzą trwałe obrazy epoki i miejsca, w których powstają. Wykorzystywanie rozwijających się metod cyfrowych umożliwia tworzenie coraz bardziej skomplikowanych technicznie rozwiązań projektowych. W architekturze prezentowanych obiektów widoczne są dwie cechy: opływowy, swobodny kształt oraz w konsekwencji wzrastająca smukłość, ograniczana jednak maksymalnym wychyleniem wierzchołków przyjmowanym najczęściej jako $f = H / 750-1200$, co wynika z potrzeby zapewnienia odpowiedniego komfortu użytkowego¹⁴. Coraz częściej pojawia się zabudowa przekraczająca 400 m wysokości, która powstaje głównie w Chinach, Arabii Saudyjskiej i Emiratach. Pojawia się zatem pytanie o granice ludzkich możliwości w podnoszeniu wysokości budynków. Na podstawie przeprowadzonych analiz możemy przypuszczać, że konsekwencją i skutkiem dalszego rozwoju będą nowe, niekonwencjonalne formy przestrzenne. Proekologiczne rozwiązania, w tym energooszczędne

¹³ A. Watts, *Modern Construction Case Studies: Emerging Innovation in Building Techniques*, Birkhäuser 2016, s. 34.

¹⁴ R. Paruch, *Strukturalne determinanty form architektonicznych współczesnych budynków wysokich*, rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. arch. Janusza Rębielaka, Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, Kraków 2019, https://repozytorium.biblos.pk.edu.pl/redo/resources/42033/file/resourceFiles/ParuchR_StrukturalneDeterminanty.pdf (dostęp 20.08.2020), s. 87.

„samowystarczalne”, wielofunkcyjne obiekty stają się podstawowymi, istotnymi kanonami w projektowaniu. Dążenie do maksymalnego wykorzystania energii słonecznej, wiatrowej, a także wprowadzania technik pasywnych wpływa na kształt budynków wysokościowych i rozwiązania detalu.

Bibliografia

- Devdas A., Kaja H., Mathews S., Kamoju R.O., Potluri T., *Capital Gate. Abu Dhabi*, <http://faculty.arch.tamu.edu/anichols/courses/applied-architectural-structures/projects-631/Files/CapitalGate.pdf>, (dostęp 02.08.2020)
- Exhibition of Early Modern Architecture: Chicago, 1870–1910*, New York 1933
- Frearson A., *Absolute Towers by MAD*, <https://www.dezeen.com/2012/12/12/absolute-towers-by-mad/> (dostęp 16.08.2020)
- Günel M.H., Ilgin, H. E., *Tall Buildings: Structural Systems and Aerodynamic Form*, London, New York 2014
- Liu P., Cheng Y., Zhu Y.-S., *The Structural Design of “China Zun” Tower, Beijing*, https://www.researchgate.net/publication/308665927_The_Structural_Design_of_China_Zun_Tower_Beijing, (dostęp 30.08.2020)
- Lotte World Tower*, <https://www.arch2o.com/lotte-world-tower-kpf> (dostęp 02.08.2020)
- Nordenson G., *Tall Buildings*, New York 2003
- Parker D., Wood A., *The Tall Buildings Reference Book*, London, New York 2013
- Paruch R., *Strukturalne determinanty form architektonicznych współczesnych budynków wysokich*, rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. arch. Janusza Rębielaka, Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, Kraków 2019, https://repozytorium.biblos.pk.edu.pl/redo/resources/42033/file/resourceFiles/ParuchR_StrukturalneDeterminanty.pdf, (dostęp 20.08.2020)
- Pietrzak J., *Koherencja struktury nośnej i formy przestrzennej w biurowych i wielofunkcyjnych europejskich budynkach wysokościowych*, rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Wiesława Rokickiego, Politechnika Warszawska, Wydział Architektury, Warszawa 2018 (maszynopis w bibliotece WAPW)
- Rosenfield K., *Al Hamra Firdous Tower / SOM*, https://www.archdaily.com/196714/al-hamra-firdous-tower-som?ad_medium=gallery, (dostęp 10.08.2020)
- Sarkisian M., *Designing Tall Buildings: Structure as Architecture*, London, New York 2016
- Shapiro G.F., *Cayan Tower, Designed by Skidmore, Owings & Merrill*, https://www.architectmagazine.com/design/buildings/cayan-tower-designed-by-skidmore-owings-merrill_o
- Tall buildings: Structural design of concrete buildings up to 300m tall*, [b.m. wyd.] 2014
- Taranath B. S., *Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction*, London, New York 2011
- Tomlinson II R., Baker W., Leung L., Chien S., Zhu Y., *Pearl River Tower. Guangzhou*, “CTBUH Journal”, 2014, Issue II
- Torre Akbar*, <http://architectuul.com/architecture/torre-agbar>, (dostęp 10.08.2020)
- Watts A., *Modern Construction Case Studies: Emerging Innovation in Building Techniques*, Birkhäuser 2016