

O tendencjach w kształtowaniu architektonicznym i konstrukcyjnym wieżowców

mgr inż. arch. Aleksandra Torberntsson (ORCID: 0000-0003-3689-8978), Szkoła Doktorska nr 5, prof. dr hab. inż. Hanna Michalak (ORCID: 0000-0001-5914-4859), Wydział Architektury, Politechnika Warszawska

1. Wprowadzenie

Klasyfikacja budynków z uwzględnieniem kryterium wysokości jest zawarta w „Warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” [23]. Według niej budynki o wysokościach: do 12 m są definiowane jako niskie, 12–25 m – średniowysokie, 25–55 m – wysokie, a powyżej 55 m – wysokościowe.

Budynki o wysokościach znacznie przekraczających 100 m są często określane jako wieżowce bądź drapacze chmur. W słowniku PWN zawarto charakterystykę wieżowców jako budynków wolnostojących o wielu kondygnacjach i niewielkiej w stosunku do wysokości powierzchni podstawy [24]. Wieżowce o funkcji biurowej, w tym dużej powierzchni użytkowej, zlokalizowane na małej powierzchni działki rozpoczęto wznosić w dużych miastach Stanów Zjednoczonych Ameryki w drugiej połowie XIX wieku. W realizacji tego rodzaju obiektów wykorzystywano wówczas najnowsze osiągnięcia konstrukcyjne, np. szkieletu stalowego i technologiczne – urządzeń windowych, infrastruktury technicznej do zaopatrzenia budynków w wodę.

Rozwój amerykańskich wieżowców został ograniczony w latach siedemdziesiątych XX wieku ze względu na tendencję rozbudowy miast w kierunku przedmieść. Kontynuacja realizacji wieżowców o rekordowych wysokościach i wdrażania nowych rozwiązań konstrukcyjnych, architektonicznych, materiałowych itp. współcześnie występuje przede wszystkim w Azji, w tym m.in. Chinach, Zjednoczonych Emiratach Arabskich [15].

2. Historia

Historia drapaczy chmur jest ściśle związana z ważnym osiągnięciem XIX wieku – wynalazkiem urządzeń windowych i masową produkcją stali.

Pierwsze windy były napędzane hydraulicznie z silnika parowego. W roku 1852 Elisha Graves Otis wprowadził rozwiązanie mające na celu zwiększenie bezpieczeństwa użytkownika wind, tj. zabezpieczenie kabiny przed upadkiem za pomocą mechanizmu zapadkowego. Podczas normalnej pracy mechanizm zapadkowy był połączony ze sprężyną i utrzymywany w pozycji złożonej. Siła napinająca sprężynę

pochodziła od ciężaru kabiny podtrzymywanej przez napiętą linę. W przypadku zerwania liny sprężyna wypychała mechanizm zapadkowy, który blokował się w nacięciach pionowych belek umieszczonych wzdłuż szybu windy i natychmiast zatrzymywał kabinę [7]. Założona przez niego firma Otis Elevators Company jest współcześnie największym producentem urządzeń windowych na świecie. koncepcja transportu pionowego rozwijała się dalej, aż w 1880 roku niemiecki wynalazca Werner Von Siemens opracował pierwszą windę o napędzie elektrycznym. Kolejnym udoskonaleniem było wprowadzenie automatycznego zamykania drzwi szybu windowego [12].

Podstawowym czynnikiem mającym, z uwagi na zmniejszenie ciężaru własnego konstrukcji, znaczący wpływ na rozwój budownictwa wysokościowego i tzw. drapaczy chmur było wdrożenie nowych układów nośnych – stalowej konstrukcji szkieletowej z wypełnieniem w postaci murowych ścian [19].

W 1855 roku angielski wynalazca Henry Bessemer opatentował nową technologię wytwarzania stali skutkującą m.in. zmniejszeniem kosztów jej produkcji [9].

Historia drapaczy chmur rozpoczęła się w 1885 roku w Chicago, gdzie powstał pierwszy budynek wysokościowy na świecie. Budynek Home Insurance zaprojektowany przez inż. Williama LeBarona Jenneya był zlokalizowany u zbiegu ulic Adams i LaSalle. Obiekt miał 10 pięter i wysokość wynoszącą 42 m. W 1890 roku zostały dobudowane dwa kolejne piętra prowadzące do zwiększenia jego wysokości do 55 m. W tym budynku po raz pierwszy została wykorzystana konstrukcja stalowa szkieletowa, której ciężar własny był znacząco mniejszy w stosunku do tradycyjnej konstrukcji murowej budynków. W konsekwencji zmiana uległa rola ścian w układzie nośnym – z konstrukcyjnych w tradycyjnych układach budynków ścianowych murowych do roli ściany osłonowej i wypełnienia konstrukcji szkieletu stalowego. Z tego względu ściany murowe jako niekonstrukcyjne mogły mieć mniejsze grubości i w konsekwencji konstrukcja budynku – mniejszy ciężar własny. Tego rodzaju rozwiązanie miało również istotny wpływ na zwiększenie swobody kształtowania architektonicznego, w tym funkcjonalno-przestrzennego budynków, prowadząc do możliwości zastosowania w elewacjach większych otworów okiennych i lepszego

doświetlenia pomieszczeń biurowych [14]. W 1931 roku został zburzony, a na jego miejscu wzniesiono kolejny drapacz chmur Field Building.

William LeBaron Jenney stał się pionierem nowej amerykańskiej architektury i jest uważany za założyciela szkoły chicagowskiej, której przedstawicielami byli między innymi: Henry Hobson Richardson, Dankmar Adler, Daniel Burnham, William Holabird, Martin Roche, John Root, Solon S. Beman oraz Louis Sullivan [14, 19].

W listopadzie 1887 roku amerykański architekt Leroy Buffington złożył wniosek o nadanie patentu na konstrukcję wieżowca, który otrzymał w maju 1888 roku. W tym samym roku opublikował artykuł pt. „Northwestern Architect”, w którym definiuje zalety konstrukcyjne i ekonomiczne budynków o stalowej konstrukcji szkieletowej. Pod koniec 1888 roku opublikował w czasopiśmie branżowym wizjonerską koncepcję konstrukcji stalowej ramowej wieżowca o 28 kondygnacjach. Buffington opracował kolejne projekty drapaczy chmur o 50 i 100 piętrach, które również opatentował [18].

Idea wznoszenia drapaczy chmur była najbardziej popularna w Chicago, gdzie od 1888 roku powstawało ich coraz więcej, tj. w ciągu 5 lat zbudowano 12 wieżowców o liczbie pięter 16–20, w tym m.in. Masonic Temple, Monadnock Building, Manhattan Building, The Arc at Old Colony, Tacoma Building. W analogicznym okresie od 1893 roku w Nowym Jorku były zrealizowane cztery budynki o wysokości powyżej 16 pięter [29].

Kolejnym ważnym osiągnięciem w budownictwie wysokościowym było wprowadzenie, w latach 1894–1895, szklanej ściany osłonowej. Po raz pierwszy takie rozwiązanie zastosowano w Chicago w budynku Reliance zaprojektowanym przez Burnham & Root. Elewacje tego budynku wykonano ze szkła i białej terakoty. Wówczas uznawano taką koncepcję materiałową ukształtowania elewacji jako podatną na „samooczyszczenie”, tj. zmywanie jej zanieczyszczeń podczas deszczu. Chociaż założenie okazało się błędne, to jednak dało początek nowoczesnym tego rodzaju rozwiązaniom projektowym [6].

W latach 1894–1895 zakończono budowę w Nowym Jorku budynków o stalowej konstrukcji ramowej i rekordowej wysokości wynoszącej ponad 100 m, tj. American Surety Building i Manhattan Life Insurance Company. Od tego momentu rozpoczął się okres dominacji budownictwa wysokościowego w Nowym Jorku [29].

W roku 1889 z okazji Wystawy Światowej zorganizowanej w Paryżu i stulecia Rewolucji Francuskiej została zakończona budowa Wieży Eiffla o wysokości 300 m, tj. najwyższej wówczas budowli inżynierskiej na świecie. Wieża została zaprojektowana jako obiekt tymczasowy o okresie użytkowania 20 lat, przez inżyniera mostownictwa Gustawa Eiffla. Konstrukcja przestrzenna kratowa ma ciężar 10 tys. ton [13, 26].

Wiek XX cechują kolejne rekordowe pod względem wysokości realizacje „drapaczy chmur”, tj. w 1930 roku został

wzniesiony budynek w stylu art deco – 40 Wall Street o wysokości 282,5 m i liczbie pięter – 70. W 1931 roku został wybudowany Empire State Building o 103 kondygnacjach, w tym jednej podziemnej i wysokości 381 m. Do 1971 roku był najwyższym budynkiem na świecie, ustępując miejsce bliźniaczym wieżom World Trade Center. Budynek był wyposażony w system zaopatrzenia w wodę za pomocą zbiorników sytuowanych wewnątrz budynku (w innych wieżowcach Nowego Jorku takie zbiorniki były wprowadzane na dachu), zsypy pocztowe, urządzenia windy i system konstrukcyjny – ramowy, stalowy zabezpieczony przed korozją przez obetonowanie, zbiorniki przeciwpożarowe [16].

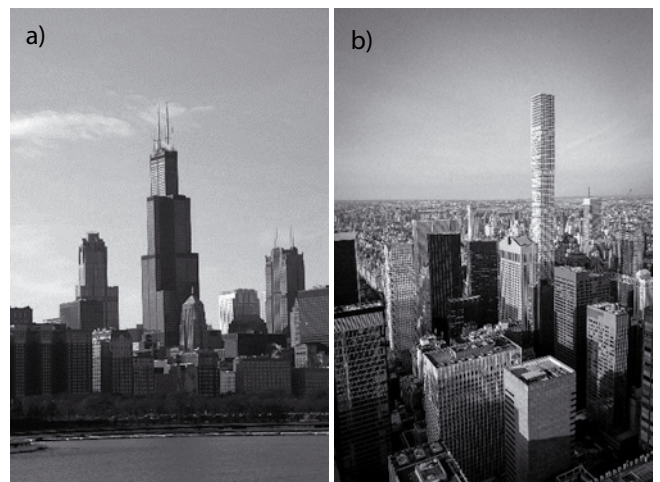
W roku 1998 po raz pierwszy w historii najwyższy budynek na świecie został wzniesiony poza Stanami Zjednoczonymi. Malezyjskie bliźniacze wieże Petronas Towers o wysokości 451,9 m (88 pięter) zlokalizowane w Kuala Lumpur przez 6 lat były najwyższym drapaczem chmur. Architekt Cesar Pelli zaproponował konstrukcję (wynalezioną przez Fazlurę Rahmana Khana) w postaci „pierścienia” 16 kolumn wykonanych z żelbetu i zastosował szklaną fasadę na planie nawiązującym do wzorców z kultury islamu. Dwie wieże są połączone ze sobą dwukondygnacyjnym mostem Skybridge usytuowanym na wysokości pięter 41 i 42 [3].

3. Tendencje w kształtowaniu architektonicznym brył wieżowców

Wieżowce można klasyfikować z wykorzystaniem wielu kryteriów, w tym uwzględniając kształt ich bryły, formę czy rodzaj konstrukcji.

W przypadku kryterium – kształtu bryły budynków, bazując na przykładach z literatury, można wyróżnić następujące cztery kategorie:

- o bryle utworzonej przez „wyciągnięcie” rzutu do góry. Przykładami tego rodzaju budynków są m.in. Willis Tower (rys. 1a), 432 Park Avenue (rys. 1b), John Hancock Center, Petronas Twin Towers [25];



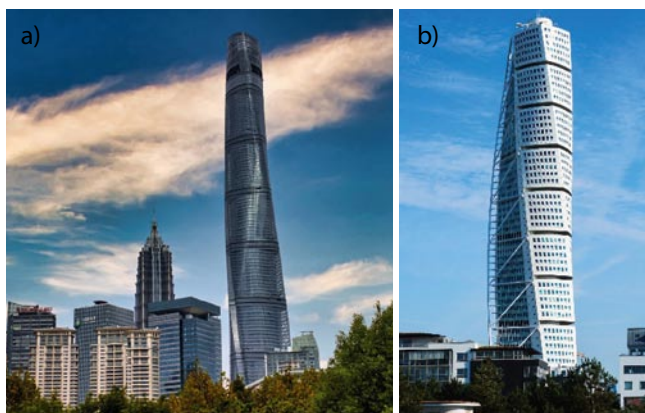
Rys. 1. Budynki: a) Willis Tower [30], b) 432 Park Avenue [31]

- o bryle utworzonej w wyniku obrotu określonej figury wokół własnej osi, np. Agbar Tower, Tokyo Skytree (rys. 2a), Tornado Tower, Swiss Re (rys. 2b) [25];



Rys. 2. Budynki: a) Tokyo Skytree [32], b) Swiss Re [33]

- o bryle powstałej w wyniku skręcenia i „wyciągnięcia” rzutu do góry, tj. Evolution Tower, Canton Tower, Shanghai Tower (rys. 3a), Turning Torso (rys. 3b), Avaz Twist Tower [25];



Rys. 3. Budynki: a) Shanghai Tower [34], b) Turning Torso [35]

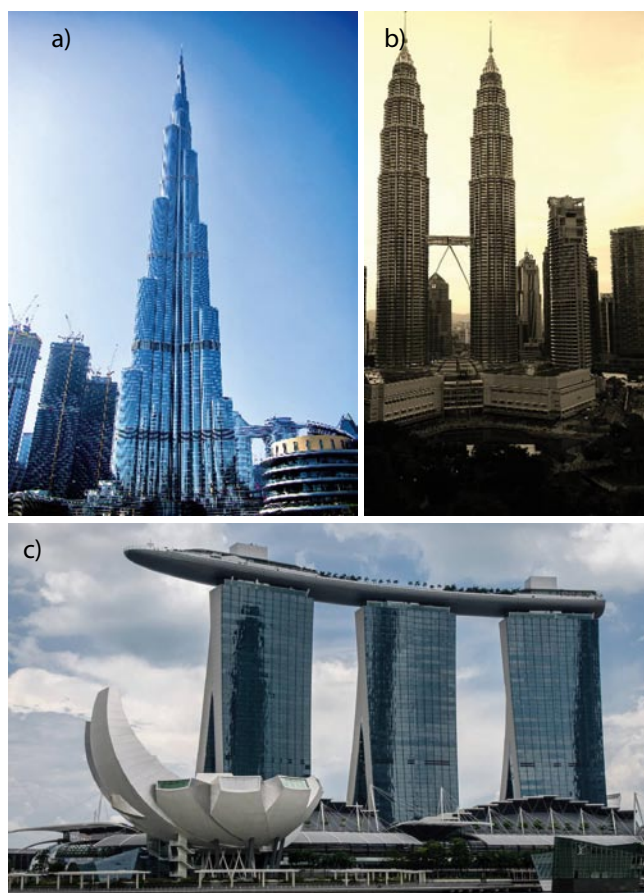
- o bryle ukształtowanej w sposób „swobodny”, w tym np. Transamerica Pyramid (rys. 4a), Al Hamra Tower, Marina Bay Sands Hotel, Shanghai World Finance Center, Burj Al Arab Jumeirah (rys. 4b) [25].



Rys. 4. Budynki: a) Transamerica Pyramid [36], b) Burj Al Arab Jumeirah [37]

Wieżowce zazwyczaj są ukształtowane z pojedynczej bryły (w tym budynek o obecnie największej wysokości Burj Kalifa – 828 m w Dubaju, ZEA, rys. 5a) bądź dwu- lub wielobryłowe. Przykładem wieżowców dwubryłowych są m.in. Petronas Twin Towers (o najwyższej wysokości w tej grupie wynoszącej 451,9 m, rys. 5b), JW Marriott Marquis Dubai (355 m), Emirates Towers (355 m), Huaguoyuan Tower 1 (335 m), Yachthouse Residence Club (281 m), Bahrain World Trade Center (240 m) czy Tower C (zaprojektowany przez Zaha Hadid Architects o wysokości 400 m).

Najmniej liczną grupę stanowią wysokościowce wielobryłowe, takie jak Raffles City Chongqing (654,5 m), World One (280 m), Marina Bay Sands Hotel (206,9 m, rys. 5c), Baku Flame Towers (od 140 do 190 m) czy obecnie projektowany przez Daniela Libeskinda – Trimphones o wysokości 220 m.



Rys. 5. Budynki: a) Burj Kalifa (wieżowiec jednobryłowy) [38], b) Petronas Twin Towers (wieżowiec dwubryłowy) [39], c) Marina Bay Sands Hotel (wieżowiec wielobryłowy) [40]

Wieżowce można także sklasyfikować według zastosowanego rodzaju układu nośnego, np. o układzie ramowym (budynki o wysokości 30–60 pięter), trzonowe (20–60 pięter), powłokowe (60–90 pięter), megakolumny (około 140 m) [19].

Rozwiązania materiałowe konstrukcji drapaczy chmur są realizowane jako stalowe, żelbetowe bądź stalowo-żelbetowe. Historia wieżowców była zapoczątkowana wprowadzeniem

ramowych konstrukcji stalowych i trwała aż do lat 80. XX wieku, kiedy to zaczęła zwiększać się rola betonu w budownictwie wysokościowym. Najwyższym budynkiem o konstrukcji stalowej jest Willis Tower wzniesiony w 1974 r. o wysokości 442 m, znajdujący się w Chicago, a najwyższa wieża i tym samym największa wolnostojąca konstrukcja na świecie Tokyo Skytree zrealizowana w 2012 r. w Tokio ma wysokość 634 m. W latach 80. XX wieku zaczęły powstawać wieżowce o konstrukcji żelbetowej, w tym najwyższy w tej kategorii – Trump Tower (2009 r.) o wysokości 423,2 m. Pod koniec XX wieku zaczęto wykorzystywać w budownictwie wysokościowym konstrukcje mieszane, tj. stalowego szkieletu i żelbetowych trzonów. Ten rodzaj reprezentuje wzniesiony w 2009 r. najwyższy obecnie budynek świata – Burj Kalifa o wysokości 828 m.

Burj Khalifa został zaprojektowany przez Adriana Smitha ze Skidmore, Owings & Merrill. Forma budynku nawiązująca do islamskiej architektury regionu – zainspirowana kwiatem pustyni – jest o geometrii trójdzielnej w kształcie litery Y. Bryła budynku została ukształtowana aerodynamicznie z uwzględnieniem wyników badań modelowych w tunelu aerodynamicznym, aby ograniczyć wpływ oddziaływania wiatru na wieżę i jej mieszkańców. Analizy obejmowały charakterystykę oddziaływania wiatru w Dubaju oraz badania elewacji poddanej parciu wiatru czy analizę mikroklimatu na tarasach i wokół podstawy wieży. Sztywność przestrzenną budynku zapewnia m.in. rdzeń o rzucie sześciokątnym. Ściany rdzenia zostały wykonane z betonu o wytrzymałości na ścislenie wynoszącej 80 MPa podawanego z poziomu gruntu na wysokość 601 m. Ciśnienie betonu podczas pompowania do tego poziomu wynosiło około 200 barów. Rdzeń mieści przestrzeń komunikacji pionowej z wyjątkiem schodów wyjściowych w każdym ze skrzydeł. Budynek jest posadowiony na płycie fundamentowej o grubości 3,7 m opartej na 192 palach o średnicy 1,5 m i głębokości 50 m [1, 11, 21].

Technologia wykorzystywana od ponad 100 lat polegająca na umieszczeniu kabiny w szybie windowym przemieszczanej w płaszczyźnie pionowej dzięki zawieszeniu na stalowych linach jest przestarzała i trudna do stosowania w wieżowcach. Ze względu na duży ciężar własny lin, a także energię potrzebną do ich zasilania nie jest efektywna i stanowi znaczące ograniczenie w projektowaniu wieżowców. W firmie ThyssenKrupp wprowadzono nowe rozwiązanie urządzeń windowych, tj. windy magnetyczne. Kabiny – bez potrzeby użycia lin – przemieszczają się w płaszczyźnie poziomej bądź pionowej w szybach na zasadzie lewitacji magnetycznej [20].

4. Wieżowce projektowane

Sky City to drapacz chmur, o wysokości 838 m, projektowany do wzniesienia mieście Changsha w Chinach. Działania poprzedzające budowę zostały wstrzymane w sierpniu

2013 r. w związku z koniecznością uzyskania dodatkowych zezwoleń. Po dwóch latach od wstrzymania budowy fundamenty zostały wypełnione wodą, a lokalni mieszkańcy wykorzystują je do hodowli ryb [10]. Inżynierowie z firmy Broad Sustainable Building oszacowali, że budowa tego wieżowca z prefabrykatów będzie trwała tylko 90 dni. Gdyby budynek został zbudowany, byłby najwyższym budynkiem na świecie (dopóki Jeddah Tower nie zostanie ukończona). Rozwiązanie projektowe uwzględniało wzniesienie budynku o 202 kondygnacjach nadziemnych mieszczących apartamenty, hotel, szpital, szkołę i urzędy. Zaprojektowano 10 dróg ewakuacyjnych do ewakuacji każdej kondygnacji w ciągu 15 minut. Elewacja tego wieżowca miała zostać pokryta czterowarstwowym szkłem, które utrzymywałoby temperaturę wewnątrz budynku na stałym poziomie od 20 do 27°C. Dodatkowo powietrze w pomieszczeniach miałyby być filtrowane i 20-krotnie czystsze niż powietrze na zewnątrz [5]. Zużycie stali do wykonania wieżowca miało wynosić 270 tys. ton. Rozwiązanie projektowe budynku miało się charakteryzować odpornością na trzęsienia ziemi o sile do 9 stopni w skali Richtera, oszczędnością energii, trwałością, a ponadto walorami ekologicznymi, m.in. dzięki zastosowaniu do wzniesienia materiałów z recyklingu itp.

Jeddah Tower zaprojektowany po północnej stronie Jeddah w Arabii Saudyjskiej miał być pierwszym na świecie budynkiem o wysokości 1 km. W styczniu 2018 r. właściciel budynku JEC wstrzymał prace konstrukcyjne. Projekt opracowany przez amerykańskiego architekta Adriana Smitha, który zaprojektował także Burj Khalifa, zawiera wiele unikalnych cech konstrukcyjnych i estetycznych. W rozwiązaniu projektowym Jeddah Tower będą wykorzystywane materiały usztywniające, aby zapobiec nadmiernemu kołtysaniu, w tym beton o bardzo dużej wytrzymałości. Grubość rdzenia będzie wynosiła do kilku metrów i będzie on zintegrowany w przenoszeniu obciążeń ze stalową ramą i ścianami usztywniającymi. To rozwiązanie ma zapewnić odporność obiektu w przypadku ewentualnego ataku terrorystycznego. Budynek będzie miał 59 wind, z których pięć to windy dwupoziomowe, a także 12 ruchomych schodów. Będzie miał również najwyżej usytuowany taras widokowy na świecie [28].

Bionic Tower projektowany do wzniesienia w Hongkongu lub Szanghaju ma mieć główną wieżę o wysokości 1228 m i 300 kondygnacji nadziemnych. Budynek składać się będzie z dwóch połączonych ze sobą kompleksów. Pierwszy – Bionic Tower będzie miał dwanaście pionowych dzielnic, z których każda ma wysokość 80 m. Dzielnice będą oddzielone strefami bezpieczeństwa, aby ułatwić budowę i ewakuację w przypadku ewentualnego zagrożenia. Każda okolica ma dwie grupy budynków, jedną wewnątrz budynku i jedną na zewnątrz. Obie grupy budynków są usytuowane wokół dużych ogrodów i basenów. Drugi kompleks – Base Island ma w rzucie kształt zbliżony do okręgu o średnicy 1000 m i składać się będzie z wielu

budynków, ogrodów, basenów i infrastruktury komunikacyjnej. Te kompleksy będą wykorzystywane jako przestrzenie hotelowe, biurowe, mieszkalne, handlowe, a także o funkcji kulturowej, sportu i rekreacji [22].

Wieżę Nakheel początkowo planowano wznieść na sztucznych wyspach Palm Jumeirah jako centralny element tych wysp. Wieża Nakheel miała w swoim rozwiązaniu funkcjonalnym mieścić przestrzenie o różnym przeznaczeniu, w tym mieszkalnym, hotelowym, biurowym, obserwacyjnym, handlowym. Ukształtowanie wieżowca uwzględnia wzorce z architektury islamu. Składa się z czterech wież połączonych kilkoma mostami usytuowanymi na różnych poziomach. Projektowana wysokość wieżowca wynosi 1400 m. Do zapewnienia sztywności przestrzennej układu konstrukcyjnego zastosowano w każdej z czterech wież odrębny żelbetowy rdzeń [8, 27].

Podstawowymi problemami skutkującymi wstrzymaniem realizacji kolejnych, coraz wyższych wieżowców są m.in. znaczący koszt wykonywania elewacji ukształtowanej aerodynamicznie, brak dostępności odpowiedniego sprzętu budowlanego, trudności w ograniczeniu przemieszczeń poziomych „kołysania” budynku spowodowane oddziaływaniem wiatru. Ponadto poważnym problemem jest projektowanie budynku ujmującego w zakresie jego wysokości trzy strefy klimatyczne, znaczące gabaryty rdzenia centralnego ze względu na trudności z pompowaniem betonu na tak dużą wysokość oraz skurcz betonu, zapewnienie odpowiedniej ochrony przeciwpożarowej oraz sprawnej ewakuacji z najwyższych kondygnacji, zabezpieczenie przed atakiem terrorystycznym, nieznany wpływ obiektów na środowisko oraz przestarzała technologia transportu pionowego nienadążająca za postępem w kształtowaniu wysokościowym (windy).

Drapacze chmur są często podejmowanym wyzwaniem przez projektantów. Koncepcja Heal-Berg, która została wyróżniona w konkursie Evolo Skyscraper 2017, przedstawia pływający drapacz chmur, który „uzdrowiłby” otoczenie z wykorzystaniem laserów (University of California, Davis) przekształcających dwutlenek węgla w tlen. Dodatkowo projektanci założyli, że spełni on wymagania w zakresie zrównoważonego rozwoju i będzie wykorzystywał energię osmotyczną (dwa strumienie wody o różnym stopniu zasolenia) oraz wiatrową (z turbin). Kolejną innowacją jest zaproponowany materiał, który wykorzystywałby technologię druku 3D i grafen [4].

Innym przykładem nowej, ciekawej koncepcji projektowej jest The Symbiotic Towers. Ukształtowany w formie trzech wież, inspirowanych erozją skał, został zaprojektowany przez AmorphouStudio. Elewacja będzie pokryta panelami fotowoltaicznymi, które przekształcają energię słoneczną w elektryczną potrzebną do zasilania instalacji wentylacyjnej. Geometria oraz powłoki wież zostały opracowane zgodnie z warunkami klimatycznymi Dubaju. Każda wieża ma mieć odmienną geometrię, skręcony kształt [2].

5. Podsumowanie

Na podstawie analizy istniejących, projektowanych oraz koncepcji projektowych wieżowców można sformułować w sposób ogólny tendencje w kształtowaniu formy budynków wysokościowych, tzw. wieżowców.

Z uwagi na znaczące wartości oddziaływania wiatru zazwyczaj bryły wysokościowców są obrotowe, kształtowane aerodynamicznie. Okładzinę wieżowców stanowią szklane ściany kurtynowe montowane do podkonstrukcji stalowej.

Zazwyczaj budynki są kształtowane w taki sposób, aby jak najlepiej wykorzystać walory warunków klimatycznych do pozyskania energii, np. wyposażenie nasłonecznionych elewacji w panele fotowoltaiczne czy ograniczenie nadmiernej absorpcji energii przez odpowiednie sytuowanie budynku zapobiegające jego przegrzewaniu się i w konsekwencji zwiększonemu użyciu instalacji klimatyzacyjnej. Podobne kryteria są brane pod uwagę przy doborze materiałów budowlanych, np. Burj Kalifa ma szklane fasady pokryte powłoką zapobiegającą przenikaniu promieni słonecznych do wnętrza budynku. W wieżowcach coraz częściej są stosowane materiały budowlane wykorzystujące nanotechnologię umożliwiające, np. samooczyszczenie, samonaprawianie powierzchni.

W projektowaniu drapaczy chmur coraz częściej są uwzględniane odnawialne źródła energii, w tym w zależności od lokalizacji obiektu są to np. turbiny wiatrowe, wodne, instalacja fotowoltaiczna.

Innym proekologicznym rozwiązaniem jest zastosowanie elementów roślinnych w budynku jako zielonych elewacji bądź ogrodów sytuowanych na tarasach. Elementy natury są widoczne nie tylko w postaci roślinności, ale również w formach architektonicznych. Projektanci zauważyli, że konstrukcje oparte na wzorach inspirowanych światem przyrody są bardziej trwałe.

Ważnym aspektem kształtowania i projektowania obiektów o dużych wysokościach jest znaczący wpływ na rozwój wielu dziedzin nauki, w tym m.in. inżynierii materiałowej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abdelrazaq A., Kim K. J., Kim J. H., Brief on the Construction Planning of the Burj Dubaj Project, Dubai, UAE, CTBUH, 2008
- [2] Amazing Architecture (dostęp 26.05.2022), <https://www.amazingarchitecture.com/skyscrapers/the-symbiotic-towers-project-in-dubai-uae-emirates-by-amorphoustudio>
- [3] Architecture Week (dostęp 22.05.2022) http://www.architectureweek.com/2003/0219/building_1-2.html
- [4] Beltrame L., Tafreshi S. N., eVolo (dostęp 26.05.2022), <https://www.evolo.us/heal-berg-reverse-climate-changing-machine/>
- [5] Building Design+Construction (dostęp 24.05.2022), <https://www.bdcnetwork.com/supertall-sky-city-will-house-4400-families-changsha-china>
- [6] Chicago Architecture Center (dostęp 22.05.2022), <https://www.architecture.org/learn/resources/buildings-of-chicago/building/reliance-building/>
- [7] Crawford M., ASME (dostęp 08.07.2022), https://www.asme.org/topics-resources/content/elisha-graves-otis?fbclid=IwAR01R-ce03neqvjptSW-zNlybe2s1Diyri0xhAE_Tosfh8N8v6drOgOoFxoA
- [8] Design Build Network (dostęp 25.05.2022), <https://www.designbuild-network.com/projects/nakheelharbourandtow/>

- [9] Flavell-While C., The Chemical Engineer (dostęp 22.05.2022), <https://www.thechemicalengineer.com/features/cewctw-henry-bessemer-man-of-steel/>
- [10] Frearson A (dostęp 24.05.2022), <https://www.dezeen.com/2015/07/20/foundations-planned-worlds-tallest-building-changsha-china-repurposed-fish-farm-skyscraper-broad-sustainable-building/>
- [11] Ghorbanzadeh M., The harmony between architectural forms and structural, Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 2017
- [12] History of Elevators (dostęp 22.05.2022), <http://www.elevatorhistory.net/>
- [13] History of the Eiffel Tower. The History, 2021 (dostęp 08.07.2022), <https://www.youtube.com/watch?v=yXSHfV2OXBM>
- [14] History.com (dostęp 22.05.2022), <https://www.history.com/topics/landmarks/home-insurance-building>
- [15] Holland O., The History Of Skyscrapers, CNN, 2021 (dostęp 08.07.2022), <https://www.youtube.com/watch?v=ybRXUq9L6RU>
- [16] Młody Technik (dostęp 22.05.2022), <https://mlodytechnik.pl/eksperymenty-i-zadania-szkolne/wynalazczosc/30196-budowanie-na-wysokosc-czyli-o-wieżach-i-wieżowcach>
- [17] Monson C., Megaprojects (dostęp 24.05.2022), <https://megaprojects.net/buildings/sky-city-the-skyscraper-china-tried-and-failed-to-build-in-90-days/>
- [18] Morrison H., Buffington and the Invention of the Skyscraper, The Art Bulletin, 1, 1944, tom 26
- [19] Pawłowski A. Z., Cała I., Budynki wysokie, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006
- [20] Petrova M., CNBC (dostęp 24.05.2022), <https://www.cnbc.com/2017/12/13/thyssenkrupp-multi-elevator-goes-up-down-sideways.html>
- [21] Poulos H. G., Bunce G., Foundation Design for the Burj Dubai – The World's Tallest, 2008
- [22] Pozuelo F., NAN Arquitectura (dostęp 25.05.2022), https://nanarquitectura.com/2021/05/05/la-arquitectura-bionica-y-su-equilibrio-con-la-naturaleza/43238?doing_wp_cron=1653590588.5178959369659423828125
- [23] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.)
- [24] Słownik języka polskiego, PWN (dostęp 22.05.2022), <https://sjp.pwn.pl/slowniki/wie%C5%BConiec.html>
- [25] Szolomicki J., Golasz-Szolomicka H., Technological Advances and Trends in Modern High Rise Buildings, MDPI, 2019
- [26] The Editors of Encyclopaedia Britannica, Britannica (dostęp 22.05.2022), <https://www.britannica.com/topic/Eiffel-Tower-Paris-France>
- [27] The Tower Info (dostęp 25.05.2022), <https://thetowerinfo.com/building-s-list/nakheel-tower/>
- [28] Weismantle P., Stochetti A., Case Study: Kingdom Tower, Jeddah, 2013, CTBUH Journal
- [29] Wikipedia (dostęp 22.05.2022), https://en.wikipedia.org/wiki/Early_skyscrapers#Background:_1850%E2%80%931879
- [30] <https://pixabay.com/pl/photos/willis-tower-willis-wie%c5%bca-chicago-630154/>
- [31] <https://pixabay.com/pl/photos/nowy-jork-usa-432-park-avenue-4352083/>
- [32] <https://pixabay.com/pl/photos/tokio-j%c4%99zyk-japo%c5%84ski-1040079/>
- [33] <https://pixabay.com/pl/photos/londyn-budynki-korniszon-4391575/>
- [34] <https://pixabay.com/pl/photos/sylwetka-na-tle-nieba-drapacz-chmur-4625499/>
- [35] <https://pixabay.com/pl/photos/budynki-drapacz-chmur-architektura-5431425/>
- [36] <https://pixabay.com/pl/images/search/transamerica%20pyramid/>
- [37] <https://pixabay.com/pl/photos/dubai-burj-al-arab-arabskie-budynki-3671752/>
- [38] <https://pixabay.com/pl/photos/burj-khalifa-dubai-architektura-4926555/>
- [39] <https://pixabay.com/pl/photos/petronas-twin-towers-wie%c5%bce-petronas-337663/>
- [40] <https://pixabay.com/pl/photos/marina-bay-sands-singapur-963165/>

ORGANIZATOR

POiD


MONTERIADA

JAK ZAMONTOWAĆ NOWOCZESNE
 PRODUKTY BUDOWLANE

MONTERIADA

2023
 31.01 - 03.02

ZADBAJ
 O CIEPŁY DOM


**DOBRY
 MONTAŻ**