

# EKOLOGICZNE WIEŻOWCE



**Prof. nadzw. dr hab. eur. inż. Tomasz Z. Błaszczyński**  
 Politechnika Poznańska,  
 Instytut Konstrukcji Budowlanych

Idea budownictwa zeroenergetycznego bardzo szybko znalazła zastosowanie w realizacji prestiżowych inwestycji. Celem stało się zaprojektowanie budynków o wielkiej powierzchni użytkowej, takich jak wysokie biurowce czy hotele, w których w pełni wykorzystano technologie pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych.

Zastosowanie takich rozwiązań w budynkach wysokich, których fasady mają ogromne powierzchnie, wręcz stworzone do pozyskiwania energii słonecznej, a możliwości zlokalizowania turbin pozyskujących energię z wiatru są bardzo duże, było oczywistą konsekwencją postępu technologicznego. Nowe koncepcje projektów cechuje coraz bardziej skomplikowana i różnorodna forma bryły budynku. Obecne tendencje proekologiczne wymagają, by obiekty były jak najbardziej samowystarczalne pod względem energii, dotyczy to również budynków wysokich. Dlatego coraz większą popularnością cieszą się obecnie tzw. budynki inteligentne. Reguluje się w nich wewnętrzną wilgotność i temperaturę powietrza, łączy wentylację automatyczną z naturalną, a także ogranicza zużycie energii nawet do 70%. Jedną z idei proekologicznych jest projektowanie wieżowców bioklimatycznych. W tego rodzaju budynkach komfort użytkowników powinno zwiększyć się przez kontakt ze światłem zewnętrznym oraz zielenią wewnątrz budynków za pomocą ogólnodostępnych tarasów czy wielopoziomowych atrium. Stosuje się również żaluzje na elewacji, które w zależności od pogody dogrzewają pomieszczenia, chronią przed utratą ciepła bądź izolują przed zbytnim nagraniem [1].

## **Commerzbank Tower – naturalna wentylacja i zdrowe światło**

Jednym z najbardziej kosztochłonnych wymagań jest wentylacja oraz ogrzewanie

budynków. W budynkach wysokich stanowi to około 30% zapotrzebowania energetycznego. Coraz częściej stosowanym rozwiązaniem, zmniejszającym te koszty, jest zastosowanie wentylacji naturalnej. Pierwszym obiektem, w którym wprowadzono to rozwiązanie, był zrealizowany w 1997 r. budynek Commerzbank we Frankfurcie nad Menem, długo przez uchwaleniem pierwszych dyrektyw europejskich dotyczących energooszczędności (fot. 1.). Budynek ten, zaprojektowany przez Sir Normana Fostera, mierzy 258,7 m i do 2005 r. był najwyższym budynkiem w Europie. Obecnie zajmuje ósme miejsce. Zastosowano w nim wiele nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych oraz proekologicznych. Budynek zaprojektowano na planie trójkąta równobocznego o zaokrąglonych wierzchołkach oraz nieco wypukłych bokach o długości około 60 m. Na dwóch bokach trójkąta znajdują się biura, a na trzecim ogród zimowy, który tworzy czteropiętrową przestrzeń. Ze względów konstrukcyjnych co cztery piętra lokalizacja ogrodu zmienia się na sąsiedni bok trójkąta.

Celem projektanta było stworzenie przyjaznej człowiekowi oraz środowisku przestrzeni biurowej. Efekt ten uzyskano za pomocą kilku konstrukcyjnych oraz technologicznych rozwiązań. Dzięki wewnętrznemu atrium oraz podzieleniu przestrzeni budynku na trzy części i stworzeniu w jednej z nich ogrodu zimowego dostarczono światło do każdego punktu budynku. Część ogrodowa zajmuje aż cztery kondygnacje i aby utrzymać sztywność budynku, co czwarte piętro zmie-

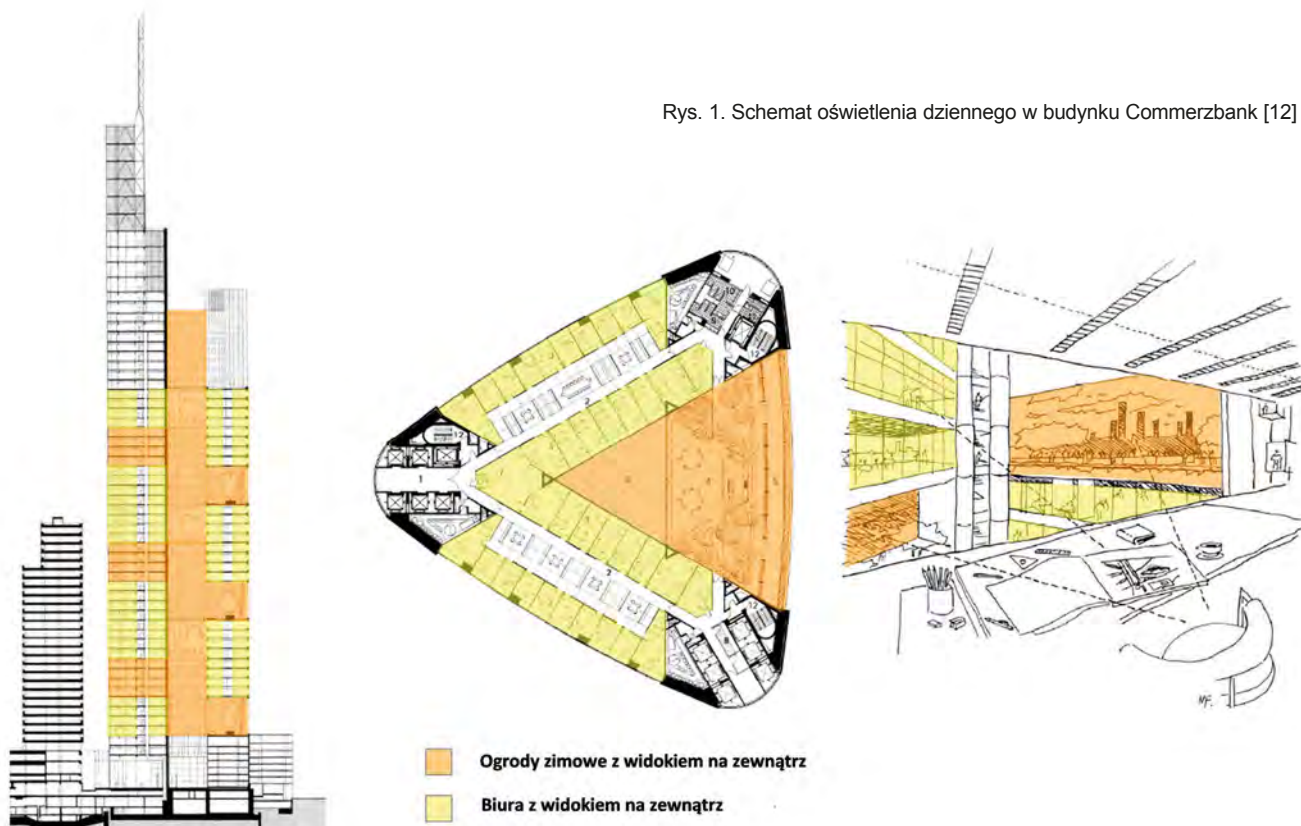
nia bok trójkąta. Narożne kolumny oprócz funkcji konstrukcyjnej zapewniają cyrkulację powietrza, tworząc podstawę wentylacji w budynku [2-4].

Kiedy analizowano możliwość zastosowania systemów ekologicznych w budynku, w pierwszej kolejności brano pod uwagę liczbę ludzi, którzy w przyszłości będą w nim przebywać. Połączenie czteropiętrowych podniebnych ogrodów oraz wewnętrznego atrium pozwala na to, aby do każdego punktu w biurze docierało światło, a także zapewnia niezakłócony widok na zewnątrz.

Pełna wysokość okien powoduje, że ilość światła docierająca do wnętrza jest wystarczająca do pracy i przez większą część dnia nie trzeba używać sztucznego oświetlenia. Frankfurt jest położony w strefie o niskim nasłonecznieniu, dlatego było to najlepsze rozwiązanie, żeby wykorzystać jak największą ilość światła dostarczanego przez słońce (rys. 1.) [2].

Wentylację pomieszczeń zapewniają również specjalnie zaprojektowane okna, zbudowane z dwuwarstwowego systemu fasadowego z pustką powietrzną, która umożliwiła cyrkulację powietrza. Szczeliny wentylacyjne pozwalające na napływ powietrza umieszczono przy parapetach, nieco poniżej skrzydła okna, tak by w trakcie deszczu woda nie dostawała się do środka. Podczas projektowania paneli należało wziąć pod uwagę odkształcenia cieplne oraz ruchy konstrukcji nośnej. Również panele tworzące oszkleenie podniebnych ogrodów musiały być odpo-

Rys. 1. Schemat oświetlenia dziennego w budynku Commerzbank [12]



wiednio zaprojektowane. Konstrukcyjnie system ten składa się z szeregu pionowych kratownic Virendeela, które połączono ze stalową konstrukcją stropów za pomocą połączeń ślizgowych. Kratownice te są wewnątrz wydrążone, wypełnione wodą oraz podłączone do systemu ogrzewania budynku. Przekształca je to w duże grzejniki, co zapewnia dobre warunki ogrodom zimowym podczas zimy.

Wszystkie te rozwiązania tworzą wentylację naturalną, dzięki czemu w budynku w znacznym stopniu ograniczono zużycie prądu (rys. 2.) [2, 3].

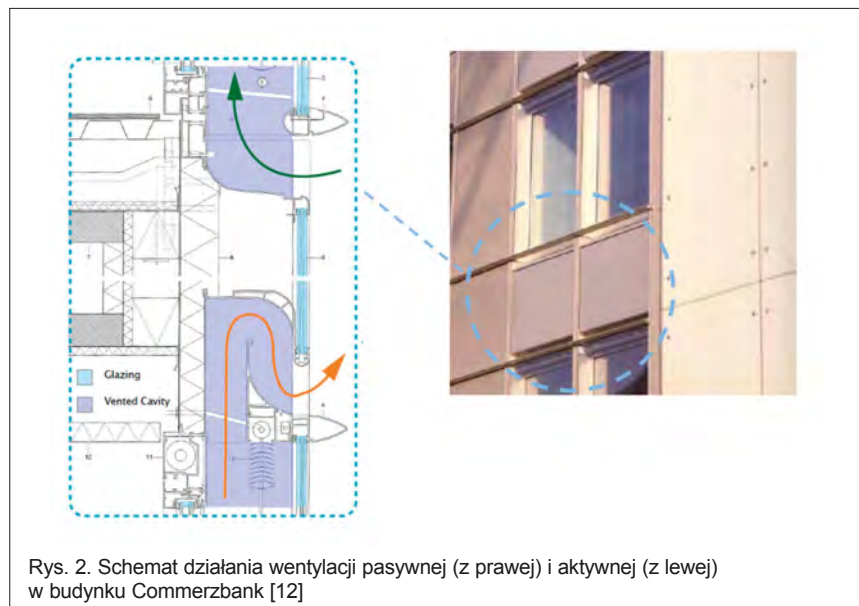
### The Shard – inteligentne przeszklenia i rekuperacja energii

Kolejnym wysokim europejskim budynkiem ekologicznym dążącym do zeroenergetyczności jest The Shard w Londynie (fot. 2.). Londyński wieżowiec zaprojektował włoski architekt Renzo Piano, laureat Nagrody Pritzкера z 1998 r., który stworzył wiele projektów znaczących budowli na całym świecie, m.in. Centre Georges Pompidou w Paryżu czy New York Times Building w Nowym Jorku. The Shard to najwyższy budynek zarówno w Londynie, jak i Europie

Zachodniej. Po zakończeniu prac w 2012 r. był najwyższym ukończonym wieżowcem w Europie. Wieżowiec ma 310 m wysokości i 72 piętra. Elewacja budynku w całości pokryta jest szkłem.

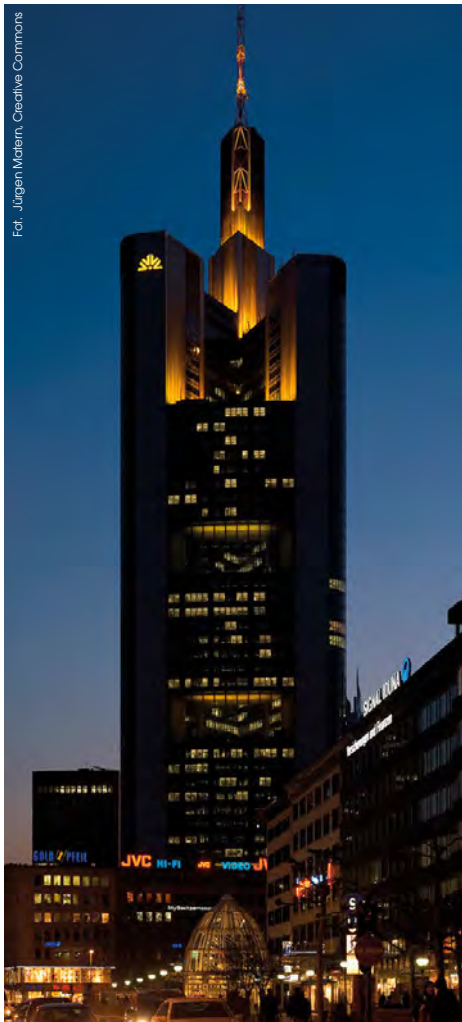
W The Shard znajdują się biura, restauracje, ekskluzywne apartamenty, pięcigwiazdkowy hotel, a także zlokalizowany na wysokości 244 m, położony najwyżej w mieście taras widokowy. Wieżowiec jest usytuowany we wschodnim Londynie, nad brzegiem Tamizy. Został oficjalnie otwarty 5 lipca 2012 r. przez premiera Kataru Hamada ibn Dżasim ibn Dżabr Al-Sani. Według początkowych założeń łączny koszt budowy The Shard miał wynosić 350 mln funtów. Rzeczywista wartość przedsięwzięcia okazała się o 85 mln funtów większa niż zakładano. Głównym udziałowcem budynku jest firma Mace Group.

The Shard zużywa o 30% mniej energii niż podobne budynki. Posiada elewację z potrójnego szkła i sterowane komputerowo żaluzje, które zmniejszają potrzebę używania klimatyzacji. Ciepło wydzielane przez komputery w pomieszczeniach biurowych i inne urządzenia oraz ich użytkowników jest ponownie wykorzystywane w systemie rekuperacji, a następnie ogrzewa pomieszczenia hotelowe i apartamenty. Elewacja budynku została uznana za jego najbardziej charakterystyczny element. Architekt chciał, aby budynek miał bardzo jasny i klarowny wygląd, a właściwie był przezroczysty. W związku z tym zastosowano szkło o niskiej zawartości żelaza. Potrójnie przeszklone panele składają się



Rys. 2. Schemat działania wentylacji pasywnej (z prawej) i aktywnej (z lewej) w budynku Commerzbank [12]





Fot. 1. Commerzbank Tower



Fot. 2. The Shard



Fot. 3. Bank of America Tower

z jednej warstwy zewnętrznej z powłoką niskoemisyjną połączoną z uszczelnioną wewnątrz szybą zespoloną [5, 6].

Zewnętrzna wnęka między drugą oraz trzecią szybą ma 300 mm szerokości i na każdym poziomie jest wentylowana. Gdy powietrze we wnęcie jest podgrzewane przez słońce, unosi się i wychodzi przez otwór w górnej części panelu, a zimne powietrze wchodzi do wnęki dołem. Ponadto wnęka zawiera roletę obsługiwana przez system zarządzania budynkiem (BMS).

### Bank of America Tower – dążenie do zeroenergetyczności

Nowoczesne rozwiązania technologiczne zastosowano również w Bank of America Tower (fot. 3.) wzniesionym w 2009 r. w Nowym Jorku. Biurowiec ma 58 pięter, został zaprojektowany przez Cook+Fox Architects i jako pierwszy budynek wysoki otrzymał certyfikat LEED Platinum. Do najciekawszych rozwiązań technologicznych wykorzystanych w nowojorskim biurowcu należą [6]:

- fasada wykonana ze szkła niskoemisyjnego i ceramiki;

- system oszczędzający wodę i gromadzący wodę opadową;
- efektywny generator pokrywający blisko 70% zapotrzebowania na energię;
- system wytwarzający w nocy lód, który w ciągu dnia służy do obniżenia temperatury powietrza (klimatyzacja).

Mimo efektywności zastosowanych rozwiązań i wykonania konstrukcji budynku w znacznej części z materiałów pozyskanych z recyklingu Bank of America Tower nadal generuje bardzo duże zapotrzebowanie na energię elektryczną, gdyż blisko 1/3 powierzchni użytkowej budynku jest zajmowana przez sprzęt komputerowy i biura. Nowojorski biurowiec wskazał jednak kierunek, w którym powinno się podążać, by stworzyć pierwszy w pełni ekologiczny budynek wysoki spełniający standardy budynku zeroenergetycznego [7].

### Shanghai Tower – szklane płuco miasta

Ciekawym miejscem powstawania obiektów budownictwa zrównoważonego (szczególnie budynków wysokich) dążących do zeroenergetyczności są Chiny, gdzie powstały

dwa najciekawsze budynki – Pearl River Tower, który został szczegółowo opisany w pracy [8], i Shanghai Tower (fot. 4.).

Wzorcowym przykładem wysokiego obiektu budownictwa ekologicznego jest zrealizowany w grudniu 2015 r. Shanghai Tower w Szanghaju w dzielnicy Lujiazui. Shanghai Tower to wieżowiec (trzeci w wysokich budynków w sercu Szanghaju), którego budowa rozpoczęła się w 2009 r. Inauguracja i przyznanie pozwolenia na użytkowanie miało miejsce w lutym 2016 r. [9].

Główna idea, która przyświecała projektantom Shanghai Tower (Gensler DC), to maksymalne zrównoważenie projektu, a także osiągnięcie konkretnych celów: odceny Gold według certyfikacji LEED, a także trzech gwiazdek według China Green Building [9]. Wysokość budynku to 632 m. W celu osiągnięcia największych oszczędności w koncepcji obiektu założono pionowe ułożenie na sobie dziewięciu 12- do 15-piętrowych sekcji z wydzielonymi systemami technicznymi. Idea dzieleniu oddzielnych sekcji podłączonych do centralnej infrastruktury użytkowej pozwala na znaczne zmniejszenie transportu energii. Zgodnie z projek-



Fot. Boycrest, Creative Commons

Fot. 4. Shanghai Tower

tem budynku szacunkowe oszczędności wyniosły blisko 20 mln juanów (ponad 3,2 mln dolarów) lub 21,59% rocznych kosztów energii w porównaniu z wartościami wyjściowymi, w czym skutecznie pomagają zastosowane turbiny wiatrowe. Ponadto budynek jest przygotowany do zmniejszenia zużycia wody o 40% oraz do redukcji emisji dwutlenku węgla o 34 tys. ton rocznie [9].

Wyjątkowo ciekawym rozwiązaniem jest podwójna szklana elewacja obiektu (fot. 1.). Wewnętrzna część podwójnej fasady otacza wewnętrzne sekcje obiektu i bezpośrednio się z nimi styka. Trójkątna zewnętrzna warstwa tworzy drugą elewację, która łagodnie skręca wraz z wysokością. Przestrzenie pomiędzy dwoma fasadami wypełnia dziewięć atriów ogrodów (ang. *sky gardens*), które przypominają place w tradycyjnych miastach. W atriach wewnątrz budynku znajdują się restauracje, kawiarnie i sklepy oraz sklepiki w sąsiedztwie bujnych ogrodów krajobrazowych. Zarówno wewnętrzna, jak i zewnętrzna fasada jest przezroczysta, dzięki czemu daje wizualne połączenie między wnętrzem budynku a miejską tkanką Szanghaju. Tak zbudowana fasada dodatkowo

redukuje o 24% obciążenie wiatrowe na budynek.

Obiekt skonstruowano tak, aby zmniejszyć nacisk wywierany przez wiatr, umożliwić zbieranie deszczówki celem wykorzystania jej w systemach klimatyzacyjnych oraz generować energię przez turbiny wiatrowe. Jednym z innowacyjnych rozwiązań zastosowanych przez projektantów jest stacja uzdatniania wody, która poddaje recyklingowi „szarą wodę” oraz używa wody opadowej (zbieranej w większości z parapetów w kształcie lejków i transportowanej kanalikami do zbiorników retencyjnych) do nawadniania ogrodów oraz splukiwania toalet. „Szara woda” jest również wykorzystywana w systemie klimatyzacji. W budynku istnieją dwie instalacje chłodnicze, co także znacznie redukuje energię wymaganą do transportu wody lodowej przez pompy obiektu. Kolejnym rozwiązaniem są naturalne systemy kogeneracji opalane gazem, które zapewniają zarówno energię elektryczną, jak i ciepłą w obszarze niskich stref. Ma to tę zaletę, że zmniejsza zużycie energii źródła, a także emisję dwutlenku węgla dzięki wykorzystywaniu czystego spalania gazu ziemnego (zamiast węgla o wysokiej zawartości siarki). Do zasilania ogrzewania i systemu podgrzewania wody wykorzystuje się parę pod wysokim ciśnieniem, wytwarzaną w instalacjach.

Wyścig technologiczny wciąż trwa i tylko kwestią czasu jest to, kiedy nastąpi otwarcie pierwszego na świecie zeroenergetycznego budynku wysokiego. Problem realizacji takiej inwestycji jest jednak bardzo złożony i wymaga odrębnej analizy, by wszystkie planowane rozwiązania dały przewidywane efekty w rzeczywistości.

### Plany na przyszłość

Burj Khalifa o wysokości 828 m, wybudowany w Dubaju, jest obecnie najwyższym budynkiem na świecie. Prawdopodobnie w 2020 r. zostanie wyprzedzony przez Jeddah Tower w Arabii Saudyjskiej, która obecnie jest w trakcie budowy. Jej wysokość wyniesie ok. 1000–1300 m.

The Jeddah Tower, znana również jako The Kingdom Tower, będzie budynkiem wielofunkcyjnym o łącznej powierzchni podłogi 245 tys. m<sup>2</sup>. Pomieści biura, 200-pokojowy hotel, 121 lokali usługowych oraz 360 apartamentów mieszkalnych. Niestety przy aktualnym postępie robót (80 m na rok) nie przewiduje się, aby obiekt powstał przed 2022 r.

Liczący 1700 m wysokości Sky Mile Tower – japoński drapacz chmur – zostanie najwyższym wieżowcem świata. Ma powstać w zatoce Tokio na specjalnie przygotowanych wyspach. Obiekt będzie miał formę sześciokątnej konstrukcji stożkowej opartej na trzech budynkach-kolumnach z podłączonymi miankowo strefami mieszkalnymi, składających się z 60–90 pięter i pokrywających się

częściowo co 320 m. Każdy z budynków-kolumn ma posiadać swój trzon, a w nim niezależny ciąg instalacyjny. Obiekt był projektowany zgodnie z analizami aerodynamicznymi wykonanymi w tunelu aerodynamicznym. Wieżowiec ma być w pełni odporny na wiatr, tajfuny, fale tsunami oraz trzęsienia ziemi, przez co stanie się jednym z najbezpieczniejszych budynków na świecie.

Zamieszka w nim blisko 55 tys. ludzi, którzy otrzymają do dyspozycji w swoich strefach mieszkalnych sklepy, restauracje, hotele, urzędy, biblioteki, siłownie oraz kliniki. Budynek będzie w całości obsługiwany przez sieć wind, które będą przemieszczały się pomiędzy każdą ze stref. Za architekturę odpowiada biuro Kohn Pedersen Fox Associates, a za konstrukcję Leslie E. Robertson Associates. Wieżowiec będzie w pełni ekologiczny. Energię potrzebną do ogrzania budynku w zimie i jego ochłodzenia w lecie zapewni słońce oraz wiatr. Woda zaś będzie centralnie gromadzona, przetwarzana i przechowywana w różnych poziomach, a następnie rozprowadzana po całym budynku. Sky Mile Tower stanie się częścią wielkiego projektu japońskiej myśli architektonicznej Next Tokyo 2045, który ma na celu przekształcenie największego miasta świata w bardziej przyjazne środowisku zarówno jego obecnych, jak i przyszłych mieszkańców. Cała inwestycja ma kosztować ponad 1,2 mld dolarów, jednak wszelkie środki przeznaczone na realizację projektu zostały zabezpieczone już pod koniec 2015 r. Aktualnie zatwierdzone są wszelkie plany związane z budową. Najwyższy budynek na świecie ma rozpocząć swoje działanie w 2045 r., jednak już teraz można oczekiwać, że z miejsca stanie się nowym cudem świata [11].

### Bibliografia

- [1] Błaszczyński T., Specyfika technologiczno-konstrukcyjna budynków wysokich, [w:] Budownictwo na obszarach zurbanizowanych. Nauka, praktyka, perspektywy, A. Halicka (red.), Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2014, s. 51–68.
- [2] Kenan M., Marco C.T., Commerzbank-Tower, Frankfurt 2006.
- [3] Arend J., Benkert M., de Filippis A., Saretta T., Commerzbank Tower, Frankfurt 2002.
- [4] Commerzbank. Frankfurt am Main, Sir Norman Foster and Partners, Londyn 2003.
- [5] <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=407549>> [dostęp: październik 2017].
- [6] Agrawal R., Parker J., Slade R., The Shard at London Bridge, „The Structural Engineer”, Vol. 92, 7, 2014, s. 18–30.
- [7] <<http://www.CTBUH.org>> [dostęp: październik 2017].
- [8] Błaszczyński T., Gwozdowski B., Budynek wysokie – w dążeniu do zeroenergetyczności, „Builder” 5, 2016, s. 16–19.
- [9] Błaszczyński T., Gwozdowski B., Ekologiczne budownictwo wysokie na przykładzie Shanghai Tower, „Przegląd Budowlany” 10, 2017, s. 87–90.
- [10] Gensler D.C., Gensler Design Update: Shanghai Tower, Gensler Publications 2010.
- [11] Malott D., Robertson L., Keisuke H., Heidi W., Next Tokyo 2045: A Mile-High Tower Rooted in Intersecting Ecologies, CTBUH Journal, II, 2015, 30–35.
- [12] T. Błaszczyński, B. Ksít, L. Grzegorzczak, Nowa certyfikacja energetyczna jako element budownictwa zrównoważonego, Poznań 2018.