

prof. nadzw. dr hab. Eur. inż. Tomasz Z. Błaszczyński^{1*)}
mgr inż. Błażej Gwozdowski¹⁾

Budynki wysokie – w dążeniu do zeroenergetyczności

DOI: 10.15199/33.2015.07.33

Idea budownictwa zeroenergetycznego bardzo szybko znalazła zastosowanie w realizacji bardziej prestiżowych inwestycji. Celem stało się zaprojektowanie budynków o wielkiej powierzchni użytkowej, takich jak wysokie biurowce czy hotele, w pełni wykorzystujących technologie pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Zastosowanie takich rozwiązań w budynkach wysokich, których fasady mają ogromne powierzchnie, stworzone do pozyskiwania energii słonecznej, a możliwości zlokalizowania turbin pozyskujących energię z wiatru są bardzo duże, było oczywistą konsekwencją postępu technologicznego.

Wykorzystanie w budynkach wysokich rozwiązań stanowiących podstawę budownictwa zrównoważonego nie oznacza jednak wyłącznie projektowania i wznoszenia nowych obiektów. Bardzo ciekawe rozwiązania zastosowano w budynku wysokim w Manchesterze. Wzniesiony na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku obiekt *CIS Tower* (*Co-operative Insurance Tower*) poddawany był przez lata wielu naprawom związanym z wadliwym systemem elewacyjnym, którego elementy zaczęły odpadać od żelbetowej konstrukcji już sześć miesięcy po ukończeniu budowy. Dopiero w 2004 r. zdecydowano się dokonać całkowitej renowacji tego budynku, a projekt zakładał wykorzystanie nowoczesnych technologii w celu pozyskania energii ze źródeł odnawialnych. Prace zostały ukończone w 2006 r. Budynek zyskał nie tylko nową „twarz” (fotografia 1), ale również stał się zdecydowanie bardziej oszczędny i przyjazny środowisku.

Wśród podstawowych technologii zastosowanych w *CIS Tower* należy wymienić przede wszystkim największą w tamtym czasie w Europie pionową fasadę z modułami fotowoltaicz-



Fot. 1. CIS Tower po renowacji z 2006 r.
[Fot. Adrian Welch]

nymi. W całym budynku zainstalowano łącznie 7244 moduły 80 W, głównie na elewacji środkowej wieży. Na dachu znalazły natomiast miejsce 24 turbiny wiatrowe. Dzięki takim rozwiązaniom *CIS Tower* jest w stanie wyprodukować w ciągu roku tyle energii, ile zużywa przeciętny dom jednorodzinny przez ponad 305 lat. Ponadto budynek ograniczył emisję dwutlenku węgla aż o 100 t w ciągu roku. Do obiektu zeroenergetycznego wciąż dużo jednak brakuje, ponieważ odrestaurowany wieżowiec jest w stanie sam zaspokoić jedynie niewiele ponad 10% własnego zapotrzebowania na energię.

Oszczędzanie energii przez pozyskiwanie jej ze źródeł odnawialnych było również priorytetem twórców *Pearl River Tower*. Celem inwestora, którym jest *China National Tobacco Corporation*, było stworzenie najbardziej energooszczędnego budynku wysokiego na świecie. W ten sposób pod okiem Gordona Gilla z *Skidmore Owings and Merrill* oraz we współpracy z *Rowan Williams Davies & Irwin Inc.* i *Shanghai Construction Group* rozpoczęto w 2006 r. realizację konstrukcji o wysokości 310 m mającej osiągnąć status

zeroenergetycznego budynku wysokiego (fotografia 2).

Program oszczędności energii przewidywał:

- wentylowany wysoko sprawny dwuwarstwowy system fasadowy z mechanicznie regulowanymi zasłonami;
- wysoko sprawny trójwarstwowy system przeszkleń fasady;
- sufit chłodzony wodą, z obwodową instalacją klimatyzacyjną;
- rozprężoną instalację wentylacyjną wykonaną w przestrzeni podłogi podniesionej;
- system osuszania powietrza wykorzystujący, jako źródło energii, ciepło gromadzone przez dwuwarstwowy system fasadowy;



Fot. 2. Pearl River Tower [Fot. Gaetan]

- niskoenergetyczny, wysokowydajny system oświetlenia rozprowadzający światło przez instalację o układzie promienistym.

Drugim krokiem w procesie minimalizacji zużycia energii przez instalację budynku było wprowadzenie do projektu systemów pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. W ramach tych działań zaprojektowano:

- rozbudowany na szeroką skalę system fotowoltaiczny PV zintegrowany z południowym systemem fasadowym;

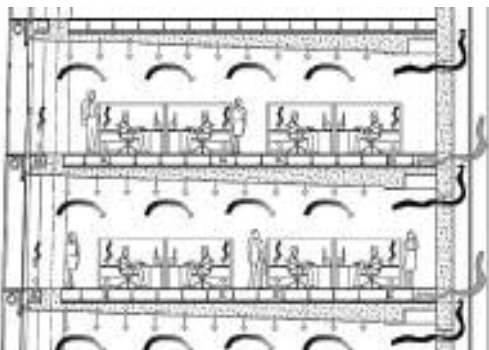
¹⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
^{*)} Autor do korespondencji: tomasz.blaszczyński@put.poznan.pl

– system wykorzystywania dziennego światła naturalnego zintegrowany z automatycznie regulowanymi zasłonami;

– wydajne, zintegrowane z budynkiem silniki wiatrowe zaprojektowane tak, aby wykorzystywać geometrię konstrukcji.

Trzecim zabiegiem, nie mniej ważnym, było stworzenie strategii odzyskania energii wprowadzonej różnymi drogami do budynku. W *Pearl River Tower* wykorzystano powietrze obiegowe w celu ogrzewania lub chłodzenia powietrza wewnętrznego, w zależności od temperatury na zewnątrz budynku. Przepływ powietrza na kondygnacji został przedstawiony na rysunku 1. Ponadto za obniżanie temperatury wewnątrz budynku odpowiada instalacja, w której czynnikiem chłodzącym jest woda o temperaturze ok. 14°C. Jej zadaniem jest chłodzenie metalowej konstrukcji sufitu, a w konsekwencji chłodzenie powietrza w pomieszczeniach. Do kontrolowania pracy wszystkich instalacji przewidziano zaawansowany System Zarządzania Budynkiem (z ang. BMS). Dużym sukcesem było skonstruowanie bardzo wydajnej instalacji PV. Stworzony na potrzeby *Pearl River Tower* BIPV (ang. Building Integrated Photovoltaics), czyli zintegrowany z budynkiem system pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego, pozwolił ograniczyć koszty związane z konstrukcją i obsługą, które w przypadku standardowej instalacji PV są wyższe.

W celu zwiększenia efektywności pozyskiwania energii słonecznej krzywiznę elewacji skonstruowano tak, aby część południowa zyskała optymalną powierzchnię i formę. Stąd taka asymetryczna bryła budynku, która zosta-



Rys. 1. Przepływ powietrza w Pearl River Tower [5]

ła poprzedzona analizą trajektorii słońca w ciągu roku dotyczącą lokalizacji *Pearl River Tower* [1 – 3].

Podobne analizy kształtu bryły budynku przeprowadzono z uwagi na lokalizację turbin wiatrowych (rysunek 2). Stąd charakterystyczne wcięcia na dwóch poziomach konstrukcji oraz krzywizna elewacji, tworząca swego rodzaju leje mające sprowadzać strumienie powietrza w kierunku rzędów turbin (fotografia 3). Takie rozwiązanie pozwoliło nie tylko zyskać energię ze źródła



Rys. 2. Przepływ powietrza w Pearl River Tower [2]



Fot. 3. Portal sprowadzający strumień wiatru w kierunku turbin [1]

odnawialnego, jakim jest działanie wiatru, ale także zmniejszyć skutki parcia wiatru na budynek. Zabieg ten wpłynął także na koszty konstrukcji budynku. Zmniejszając bowiem poziom obciążeń poziomych, zmniejszono także ilości stali i betonu konieczne do zapewnienia odpowiedniej sztywności całej konstrukcji [1, 2].

Kolejnym elementem mającym zwiększyć efektywność pozyskiwania energii z działania wiatru było zastosowanie turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu. Ich główną zaletą jest to, że pracują równie efektywnie, bez względu na kierunek działania wiatru [1]. Efektywność założeń projektowych została przetestowana w tunelu aerodynamicznym na szczegółowo odwzorowanym modelu budynku. Sprawdzone zachowanie konstrukcji i ciśnienie wiatru przy różnych kierunkach jego oddziaływania tak, aby zasymulować

wszelkie sytuacje, które mogą wystąpić w rzeczywistości. Badania wykazały, że prędkość wiatru w portalach najczęściej przewyższa przynajmniej dwukrotnie prędkość wiatru w otoczeniu budynku [1, 3]. Można zatem stwierdzić, że krzywizna fasady oraz umiejscowienie portali zostały dobrane właściwie w kontekście pozyskiwania energii z wiatru.

Jakkolwiek pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych pozwoliło znacznie ograniczyć konsumpcję energii z paliw kopalnych, to jednak bez niej biurowiec o powierzchni użytkowej przekraczającej 200 tys. m² nie mógłby efektywnie funkcjonować. Dążąc do maksymalnych oszczędności, wyposażono konstrukcję w 50 połączonych szeregowo, wydajnych gazowych mikroturbin, generujących ponad 3 MW energii (fotografia 4). Takie rozwiązania to krok w kierunku zwiększenia efektywności wykorzystania generowanej energii. Standardowa miejska sieć elektryczna cechuje się efektywnością poniżej 30 – 35%, jeżeli wziąć pod uwagę przeciętną drogę od miejsca produkcji energii do miejsca jej wykorzystania. Dla porównania zaimplementowane w *Pearl River Tower* mikroturbiny

gwarantują wykorzystanie generowanej przez nie energii na poziomie ponad 80%. Zaletą są też wymiary zastosowanych urządzeń, ponieważ każda z mikroturbin to sprzęt wielkości przeciętnej lodówki. Istotny jest także fakt, iż do produkcji energii może być wykorzystanych wiele różnych czynników, poczynając od nafty, przez biogaz, olej napędowy, metan i propan, a na gazie ziemnym kończąc. Za chłodzenie ukła-



Fot. 4. Model mikroturbin [1]

du mikroturbin odpowiada instalacja wykorzystująca jako czynnik powietrze, które po ogrzaniu może być ponownie wykorzystane do wytwarzania ciepłej wody w budynku lub w nawiewnej instalacji ogrzewania. Wykorzystanie nowych technologii w biurówcu narzuca dodatkowe wymagania związane z wytwarzaniem hałasem oraz wibracjami, które oczywiście zastosowane rozwiązania musiały spełnić. Problemem jest natomiast chińskie prawo, które zabrania wykorzystania tego typu rozwiązań w budynkach komercyjnych. Zgodnie z przepisami powinny one być podłączone do publicznej sieci elektrycznej. W przypadku uruchomienia mikroturbin *Pearl River Tower* stanie się pierwszym na świecie samowystarczalnym budynkiem wysokim [1, 3].

W efekcie zastosowania opisanych technologii uzyskano redukcję konsumpcji energii o ok. 60% [1], przy czym największe oszczędności dotyczą klimatyzacji oraz instalacji ogrzewania. Przypadek *Pearl River Tower* pokazał jednak, że o ile znaczne oszczędności są realne i stworzenie samowystarczalnego budynku wysokiego jest możliwe, o tyle wymaga to wyjątkowej pracy już na etapie projektowania przy udziale ekspertów wszystkich branż. W tym samym kierunku poszli twórcy *Lighthouse Tower*, budynku wysokiego mającego powstać w Dubaju. Projekt tego spektakularnego wieżowca zakłada 64-piętrową konstrukcję o wysokości 402 m.

Podobnie, jak w przypadku *Pearl River Tower*, architekci już na etapie koncepcji założyli wiele rozwiązań sprzyjających pozyskiwaniu energii ze źródeł odnawialnych. Najbardziej imponującym pomysłem są trzy turbiny wiatrowe, każda o średnicy 29 m. W odróżnieniu od rozwiązania zastosowanego w *Pearl River Tower*, turbiny mają mieć poziomą oś obrotu i stanowić istotny element elewacji, zajmując znaczną jej część. Przewiduje się, że będą one w stanie zaspokoić nawet do 25% całkowitego zapotrzebowania na energię budynku. Jest to możliwe dzięki niespotykanej do tej pory w budownictwie wysokim bryle konstrukcji. *Lighthouse Tower* ma być budynkiem szerokim i niezwykle smukłym, nie tylko nieunikającym znaczących obciążeń wywołanych przez wiatr, ale wręcz nastawionym na nie ze względu na dużą po-

wierzchnię dwóch elewacji. Z uwagi na możliwość przelotu strumieni powietrza konstrukcja zachowa stabilność, natomiast ogromne turbiny będą mogły wydajnie pracować. W budynku ma znaleźć się dodatkowo miejsce na 6000 paneli PV, mogących wyprodukować do 5% energii potrzebnej do jego funkcjonowania. Ponadto projektanci mówią o możliwości znacznych oszczędności w konsumpcji wody (o 35%), a całkowite oszczędności energii zużywanej przez budynek mają sięgać blisko 65%. Te liczby mają uczynić *Lighthouse Tower* jednym z pierwszych budynków wysokich spełniających warunki platynowego certyfikatu LEED [4]. Inżynieria wiatrowa znalazła zastosowanie również w innej ciekawej inwestycji, jaką są ukończone w 2008 r. dwie wieże *Bahrain World Trade Center* (fotografia 5).



Fot. 5. The Bahrain World Trade Center Towers [Fot. Conor McCabe [5]]

Pomiędzy dwiema głównymi częściami konstrukcji mierzącymi 240 m, projektanci umiejscowili trzy turbiny wiatrowe o poziomych osiach obrotu i średnicy 29 m. Łącznie są one w stanie wygenerować nawet do 1300 MWh energii rocznie, co jest wartością stanowiącą 11 – 15% całkowitego zapotrzebowania budynku na energię [6]. W momencie ukończenia budowy *Bahrain World Trade Center* było jednym z najbardziej energooszczędnych budynków wysokich na świecie, ale oczekiwania są zdecydowanie większe i projektowane

obecnie obiekty dążą do pełnej zeroenergetyczności.

Kolejnym przykładem ciekawego projektu budynku wysokiego, który ma aspiracje osiągnąć status zeroenergetycznego, jest *Burj al-Taqa*. Koncepcja Eckharda Gerbera i Thomasa Lückinga, która nie bez powodu zyskała drugą nazwę *Energy Tower*, przewiduje zastosowanie wielu zaawansowanych technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, a także imponujące oszczędności w konsumpcji energii. Efektem ma być zerowa emisja dwutlenku węgla. Na szczycie budynku przewidziano miejsce na turbinę wiatrową wysokości 60 m o pionowej osi obrotu, która wraz z instalacją PV o powierzchni 15 tys. m² będzie odpowiadać za dostarczenie energii niezbędnej do funkcjonowania budynku [7]. Wiatr ma być również wykorzystany do wentylacji budynku, natomiast energia słoneczna będzie zasilać instalację ogrzewania. W ten sposób projektanci przewidują, że *Burj al-Taqa* stanie się budynkiem zeroenergetycznym. Do ukończenia realizacji tej imponującej inwestycji wciąż jednak bardzo daleko.

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

Literatura

- [1] Frechette R., Gilchrist R., Toward Zero Energy: A Case Study of the Pearl Tower, Guangzhou, China, CTBUH 8th World Congress, Dubai 3-5 marca, 2008.
- [2] <http://www.iaacblog.com/selfsufficientbuilding/files/2011/01/Yashaswini/Case-studies.pdf>.
- [3] Le F., Antell J., Reiss M., Pearl River Tower Guangzhou: Fire Protection Strategies for an Energy Efficient High-Rise Building, CTBUH 8th World Congress, Dubai 3-5 marca, 2008.
- [4] http://www.holcimfoundation.org/Portals/1/docs/A09/A09B/2ndHolcimAwards_Essay_14_Dubai.pdf.
- [5] <http://www.flickr.com/photos/54339698@N07/5961031203/>.
- [6] http://www.e-architect.co.uk/Bahrain/bahrain_wtc_wind_turbines.htm.
- [7] [http://www.gerberarchitekten.de/index.php?id=88&stp_context_navigation\[parent\]=22%2C82&L=1&cHash=392f73c615](http://www.gerberarchitekten.de/index.php?id=88&stp_context_navigation[parent]=22%2C82&L=1&cHash=392f73c615).

Przyjęto do druku: 21.03.2015