

Budynki wysokie

– w dążeniu do zeroenergetyczności

prof. nadzw. dr hab. Eur. inż. Tomasz Z. Błaszczyński
mgr inż. Błażej Gwozdowski
Politechnika Poznańska

Idea budownictwa zeroenergetycznego bardzo szybko znalazła zastosowanie w realizacji bardziej prestiżowych inwestycji. Celem stało się zaprojektowanie budynków o wielkiej powierzchni użytkowej w pełni wykorzystujących technologie pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Zastosowanie takich rozwiązań w budynkach wysokich było oczywistą konsekwencją postępu technologicznego.

Wykorzystanie w budynkach wysokich rozwiązań stanowiących podstawę budownictwa zrównoważonego nie oznacza jednak wyłącznie projektowania i wznoszenia nowych obiektów. Bardzo ciekawej operacji na budynku wysokim dokonano w Manchesterze (rys. 1). Wzniesiona na przełomie lat 50. i 60. CIS Tower (*Co-operative Insurance Tower*) poddawana była 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 roku zdecydowano się dokonać całkowitej renowacji tego budynku wysokiego, a projekt zakładał wykorzystanie nowoczesnych technologii w celu pozyskania energii ze źródeł odnawialnych. Prace zostały ukończone w 2006 roku, a budynek nie tylko zyskał nowy wygląd (rys. 2), lecz także 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 fotowoltaicznymi. W całym budynku zainstalowano łącznie 7244 moduły 80 W, głównie na elewacji środkowej wieży. Na dachu znalazło się natomiast miejsce dla 24 turbin wiatrowych. 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 ton 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.

Cel – najbardziej energooszczędny budynek

Oszczędzanie energii poprzez 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 roku realizację 310-metrowej konstrukcji mającej osiągnąć status zeroenergetycznego budynku wysokiego (rys. 3).

Nadrzędnym celem projektantów wzniesionego w chińskim Guangzhou wieżowca było wykorzystanie wszystkich możliwości do zmniejszenia konsumpcji energii. W tym celu należało skupić się na dwóch zadaniach: projekcie instalacji HVAC (ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja) oraz systemie oświetlenia. Program oszczędności energii przewidywał:

- wentylowany wysokosprawny dwuwarstwowy system fasadowy z mechanicznie regulowanymi zasłonami (rys. 4),
- wysokosprawny trójwarstwowy system przeszkleń fasady,
- sufit chłodzony poprzez chłodną wodę, z obwodową instalacją klimatyzacyjną,
- rozprzężoną instalację wentylacyjną wykonowaną w przestrzeni podłogi podniesionej,
- system osuszania powietrza wykorzystujący jako źródło energii ciepło gromadzone przez dwuwarstwowy system fasadowy,
- niskoenergetyczny, wysokowydajny system oświetlenia, rozpraszający światło poprzez 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 PV (fotowoltaiczny) zintegrowany z południowym systemem fasadowym,
- system wykorzystywania dziennego światła naturalnego zintegrowany z automatycznie regulowanymi zasłonami,
- wydajne, zintegrowane z budynkiem silniki wiatrowe zaprojektowane tak, by wykorzystywać geometrię budynku.

Trzecim zabiegiem, nie mniej ważnym, było stworzenie strategii odzysku energii wprowadzonej różnymi drogami do budynku. W *Pearl River Tower* wykorzystano powietrze obiegowe w celu ogrzewania lub chłodzenia powietrza zewnętrznego, w zależności od temperatury na zewnątrz budynku. Przepływ powietrza na kondygnacji został przedstawiony na rys. 5.

Ponadto za obniżanie temperatury wewnątrz budynku odpowiada instalacja, w której czynnikiem chłodzącym jest woda o temperaturze ok. 14°C. Jej zadaniem jest chłodzenie metalowych elementów sufitu, a w konsekwencji chłodzenie powietrza w pomieszczeniach.



1



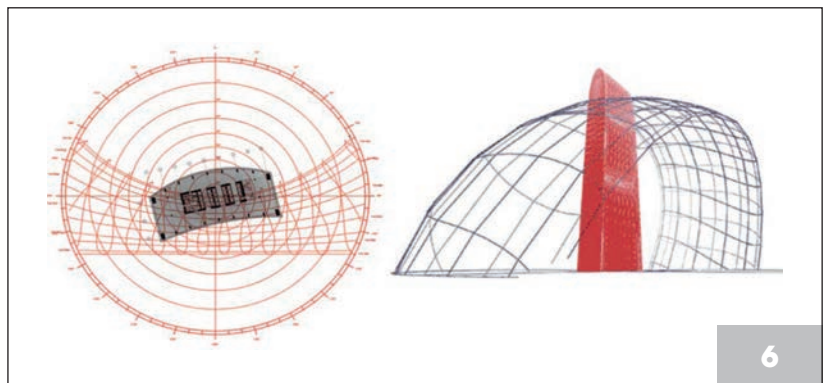
2



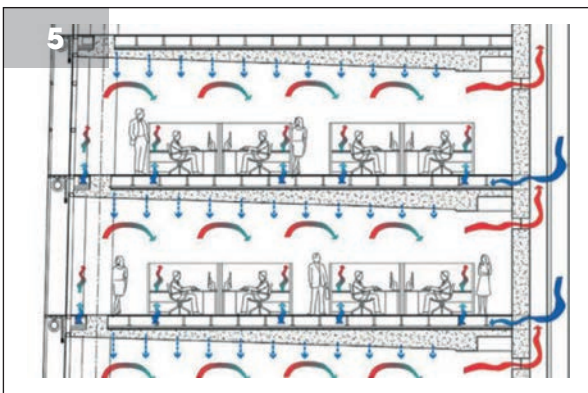
3



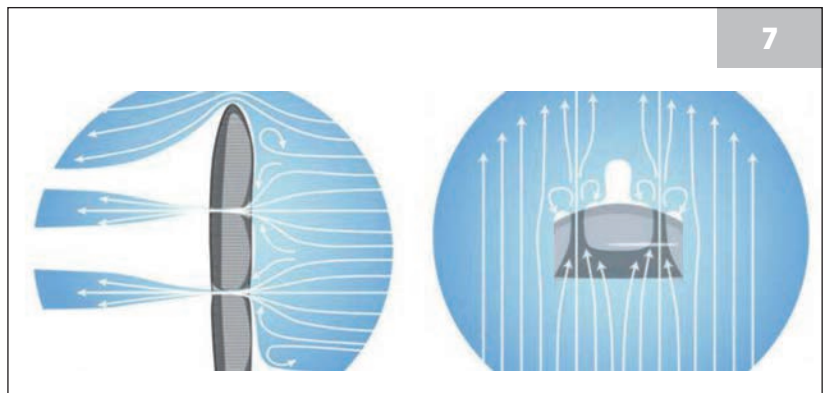
4



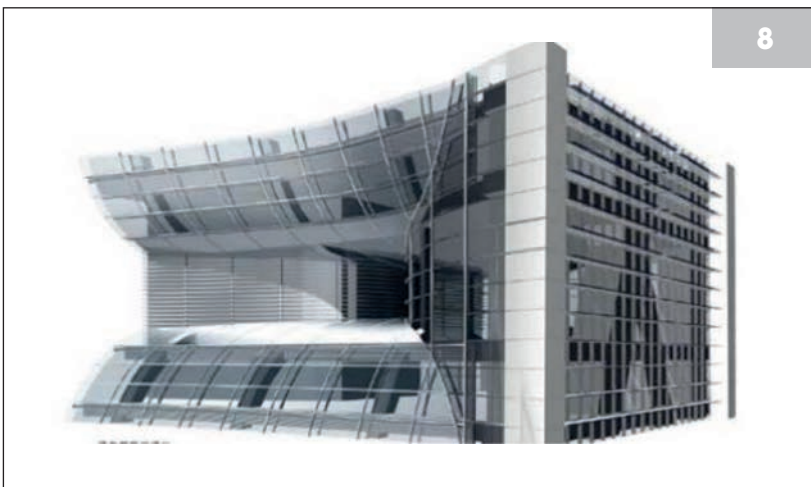
6



5



7



8

Rys. 1. Wadliwa fasada CIS Tower przed renowacją w 2005 roku (1, autor: Stephen Douglas)

Rys. 2. CIS Tower po renowacji z 2006 roku (2, autor: Adrian Welch, 2006)

Rys. 3. Pearl River Tower (3, autor: Gaetan, 2013)

Rys. 4. Wysokosprawny dwuwarstwowy system fasadowy (4)

Rys. 5. Przepływ powietrza w Pearl River Tower (5)

Rys. 6. Analiza trajektorii słońca dla lokalizacji Pearl River Tower (5)

Rys. 7. Przepływ powietrza w Pearl River Tower (5)

Rys. 8. Portal sprowadzający strumień wiatru w kierunku turbin (4)

Do kontrolowania pracy wszystkich instalacji przewidziano zaawansowany System Zarządzania Budynkiem (z ang. BMS). Dużym sukcesem było skonstruowanie bardzo wydajnej instalacji PV – stworzonego na potrzeby *Pearl River Tower* BIPV (ang. *Building Integrated Photovoltaics*). Jest to zintegrowany z budynkiem system pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego. Zintegrowanie polegało na zastępowaniu elementów budynku (przeszklenia dachowe, elementy fasad) elementami fotowoltaicznymi. Dzięki takiemu zabiegowi obniżono końcowy koszt systemów fotowoltaicznych i przyczyniono się do samowystarczalności budynków pod względem zasilania. Ideę tą wprowadzono już na etapie projektowym.

W celu zwiększenia efektywności pozyskiwania energii słonecznej, bryła budynku została zaprojektowana przez architektów przy uwzględnieniu kwestii technicznych z tym związanych. W związku z tym krzywiznę elewacji skonstruowano tak, aby część południowa zyskała optymalną powierzchnię i formę. Stąd taka asymetryczna bryła budynku, która nie jest w tym wypadku tylko pochodną fantazji architekta, ale wynikiem analizy trajektorii słońca w ciągu roku dla lokalizacji *Pearl River Tower* (rys. 6) [4-6].

Energia z powietrza

Podobne analizy dotyczące kształtu bryły budynku przeprowadzono z uwagi na lokalizację turbin wiatrowych (rys. 7). Stąd charakterystyczne wcięcia na dwóch poziomach konstrukcji oraz krzywizna elewacji, tworząca swego rodzaju leje mające sprowadzać strumienie powietrza w kierunku rzędów turbin (rys. 8). Takie rozwiązanie pozwoliło nie tylko zyskać energię ze źródła odnawialnego, jakim jest działanie wiatru, lecz także zmniejszyć skutki parcia wiatru na budynek. Zabieg ten wpłynął na koszty konstrukcji budynku. Zmniejszając bowiem poziom obciążeń poziomych, zmniejszono także ilość stali i betonu konieczną do zapewnienia odpowiedniej sztywności całej konstrukcji [4, 5].

Kolejnym elementem mającym zwiększyć efektywność pozyskiwania energii z działania wiatru było zastosowanie turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu (rys. 9). Ich główną zaletą jest to, że zawsze pracują one równie efektywnie, bez względu na kierunek działania wiatru [4].

Efektywność założeń projektowych została przetestowana w tunelu aerodynamicznym na szczegółowo odwzorowanym modelu budynku. Sprawdzone zachowanie konstrukcji i ciśnienie wiatru dla różnych kierunków jego oddziaływania, tak aby stworzyć wszelkie możliwe sytuacje, które mogą przydarzyć się w rzeczywistości. Badania wykazały, że dla większości przypadków prędkość wiatru w portalach przewyższa przynajmniej dwukrotnie prędkość wiatru oddziałującego na budynek [4, 6]. Można zatem stwierdzić, że krzywizna fasady oraz umiejscowienie portali zostały dobrane właściwie w kontekście pozyskiwania energii z wiatru.

Jeden krok do zeroenergetyczności

Jakkolwiek pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych pozwoliło poważnie ograniczyć jej konsumpcję przy użyciu paliw kopalnych, to jednak bez nich mierzący 310 m biurowiec, o powierzchni użytkowej przekraczającej 200 tys. m² nie mógłby efektywnie funkcjonować. Dążąc do maksymalnych oszczędności, zdecydowano się jednak na rozwiązanie wpisujące się w dążenie do stworzenia budynku zeroenergetycznego. Obiekt wyposażono mianowicie w 50 połączonych szeregowo, wydajnych gazowych mikro-turbin, generujących ponad trzy megawaty energii (rys. 10).

Takie rozwiązania to krok w kierunku zwiększenia efektywności wykorzystywania 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 zastosowane w *Pearl River Tower* mikro-turbiny gwarantują wykorzystanie generowanej przez nie energii na poziomie ponad 80%. Różnica jest zatem więcej niż znacząca. Za-

letą są wymiary zastosowanych urządzeń, ponieważ każda z mikro-turbin to sprzęt wielkości przeciętnej łódzki. Istotny jest także fakt, że do produkcji energii może być wykorzystanych wiele różnych czynników, począwszy od nafty, przez biogaz, olej napędowy, metan i propan, a na gazie ziemnym skończywszy. Za chłodzenie układu mikro-turbin 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 także dodatkowe wymagania związane z wytwarzanym hałasem oraz wibracjami, które oczywiście zastosowane rozwiązania musiały spełnić. W przypadku zastosowania mikro-turbin *Pearl River Tower* stało się pierwszym na świecie zeroenergetycznym budynkiem wysokim [4, 6].

W efekcie zastosowania tych technologii uzyskano redukcję konsumpcji energii rzędu blisko 60% [4], przy czym największe oszczędności dotyczą klimatyzacji oraz instalacji ogrzewania. Przypadek *Pearl River Tower* pokazał jednak, że o ile znaczne oszczędności są realne i stworzenie budynku wysokiego samowystarczalnego jest możliwe, o tyle wymaga to wyłożonej pracy już na etapie projektowania przy udziale ekspertów wszystkich branż.

Pierwsi na szczycie

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 (rys. 11).

Podobnie jak w przypadku *Pearl River Tower* architekci już na etapie koncepcji założyli szereg rozwiązań sprzyjających pozyskiwaniu energii ze źródeł odnawialnych. Najbardziej imponującym pomysłem są trzy turbiny wiatrowe, każda o średnicy 29 metrów. 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 znacznych obciążeń wywoływanych przez wiatr, lecz także nastawionym na nie ze względu na znaczące powierzchnie dwóch elewacji. Z uwagi na możliwość przelotu strumieni powietrza konstrukcja zachowa stabilność, natomiast ogromne jak na zastosowanie w budynku turbiny będą mogły wydajnie pracować.

W budynku ma znaleźć się dodatkowo miejsce na 6000 paneli PV, mogących wyprodukować do 5% energii potrzebnej budynkowi do funkcjonowania. Ponadto projektanci mówią o możliwości znacznych oszczędności w konsumpcji wody (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 [7].

Inżynieria wiatrowa znalazła zastosowanie również w innej ciekawej inwestycji, jaką są ukończone w 2008 roku dwie wieże *Bahrain World Trade Center* (rys. 12).

Pomiędzy dwiema głównymi częściami konstrukcji, mierzącymi 240 m, projektanci umiejscowili trzy turbiny wiatrowe o poziomych osiach obrotu i średnicach 29 m. Łącznie są one w stanie wygenerować nawet do 1300 MWh energii rocznie, co jest wartością stanowiącą 11% do 15% całkowitego zapotrzebowania budynku na energię [9]. po zakończeniu budowy, *Bahrain World Trade Center* stał się jednym z najbardziej energooszczędnych budynków wysokich na świecie. Projektanci jednak nie spoczywają na laurach – projektowane obecnie obiekty dążą do pełnej zeroenergetyczności.

Kolejnym przykładem ciekawego projektu budynku wysokiego, który może osiągnąć status zeroenergetycznego, jest *Burj al-Taqa* (rys. 13). Koncepcja Eckharda Gerbera i Thomas Lückinga, która nie bez powodu zyskała drugą nazwę *Energy Tower*, przewiduje zastoso-

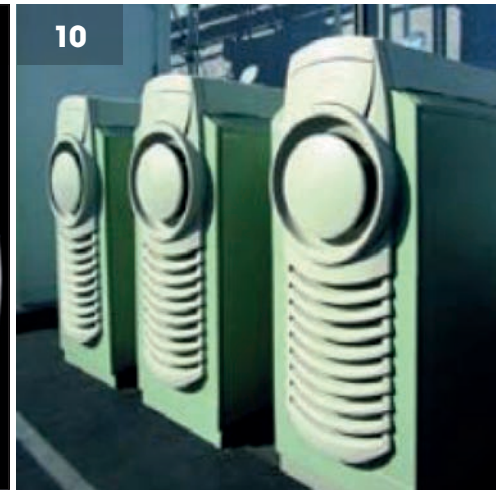
cie budynku przewidziano miejsce na mającą 60 m wysokości turbinę wiatrową o pionowej osi obrotu, która wraz z instalacją PV o powierzchni 15 tys. m² ma odpowiadać za dostarczenie energii niezbędnej do funkcjonowania budynku [10]. Wiatr ma być również wykorzystany do wentylacji budynku, natomiast energia słoneczna – 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.

Jak widać, nawet budynki wysokie mogą stać się obiektami zeroenergetycznymi. Problem realizacji takiej inwestycji jest jednak bardzo złożony i wymagana jest dogłębna analiza, by wszystkie planowane rozwiązania dały przewidywane efekty w rzeczywistości. ■

Abstract: *The idea of building zero-energy very quickly found application in prestigious projects. The aim was to design a building of large usable area that fully exploits technologies for energy generation from renewable sources. The use of such solutions in high-rise buildings was obvious consequence of technological progress.*

Bibliografia

- [1] www.wikipedia.en
- [2] <http://www.e-architect.co.uk/>
- [3] <http://www.flickr.com/photos/91448664@N05/8375022507>>
- [4] 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.
- [5] <http://www.iaacblog.com/selfsufficientbuilding/files/2011/01/Yashaswini/Case-studies.pdf>.
- [6] 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.
- [7] http://www.holcimfoundation.org/Portals/1/docs/A09/A09B/2ndHolcimAwards_Essay_14_Dubai.pdf.
- [8] <http://www.flickr.com/photos/54339698@N07/5961031203/>
- [9] http://www.e-architect.co.uk/Bahrain/bahrain_wtc_wind_turbines.htm
- [10] [http://www.gerberarchitekten.de/index.php?id=88&stp_context_navigation\[parent\]=22%2C82&L=1&cHash=392173c615](http://www.gerberarchitekten.de/index.php?id=88&stp_context_navigation[parent]=22%2C82&L=1&cHash=392173c615).
- [11] Assets.inhabitat.com.



Rys. 9. Model turbiny z pionową osią obrotu (4)

Rys. 10. Model mikro-turbin (4)

Rys. 11. Wizualizacja Lighthouse Tower (7)

Rys. 12. The Bahrain World Trade Center Towers (8, autor: Conor McCabe)

Rys. 13. Wizualizacja Burj al-Taqa, Dubaj (11)