

PROEKOLOGICZNE ROZWIĄZANIA w budynkach wysokich



dr inż. arch. Hubert Markowski
Politechnika Warszawska,
Uczelnia Techniczno-Handlowa im. Heleny Chodkowskiej
mgr inż. Krzysztof Owczarczyk
prof. zw. dr hab. inż. Kazimierz Szulborski
Politechnika Warszawska

Budynki wysokie, ze względu na swoją specyfikę, często są uznawane za energetycznych „egoistów”, czerpiących szeroko z zasobów środowiska naturalnego. Dlatego projektanci wieżowców jako pierwsi podjęli próby przededefiniowania sposobu projektowania i użytkowania tego typu obiektów, tak aby stworzyć budynek zrównoważony środowiskowo.

Początki wdrażania rozwiązań proekologicznych w budownictwie wiążą się ze sformulowaniem zasad zrównoważonego rozwoju w 1988 roku. Zasady te określają relację pomiędzy środowiskiem a człowiekiem i postulują ograniczenie konsumpcji energii, szczególnie tej pochodzącej ze źródeł nieodnawialnych.

Implementacja wyżej wymienionych zasad do szeroko pojętego budownictwa napotyka wiele problemów związanych ze specyfiką tego sektora gospodarki. Wykorzystanie do wznoszenia budynków znacznych ilości materiałów, szczególnie tych pochodzących ze źródeł nieodnawialnych, oraz znaczna ilość emisji CO₂ związana z ich produkcją sprawiają, że postulaty związane z ograniczeniem wpływu budownictwa na środowisko naturalne stają się szczególnie ważne [1].

Projektanci wieżowców jako pierwsi podjęli próby przededefiniowania sposobu projektowania i użytkowania tego typu obiektów, tak aby stworzyć budynek zrównoważony środowiskowo. Rozwiązana technicznie wypróbowane w wieżowcach są z powodzeniem stosowane w budownictwie ogólnym.

Zmiany w podejściu do projektowania wieżowców dotyczą:

- integracji pracy wszystkich projektantów na etapie powstawania koncepcji architektonicznej
- wykorzystania w procesie projektowania analiz numerycznych MES i CFD
- wpływu usytuowania budynku na otoczenie, w tym klimat wietrzny
- dostosowanie wysokości budynku do warunków otoczenia (redukcja wysokości obiektów)
- optymalizacji kształtu budynku
- analizy zastosowanych materiałów konstrukcyjnych w kontekście

- redukcji emisji CO₂ oraz możliwości wtórnego ich wykorzystania
- kształtowania wnętrza budynku w taki sposób, aby możliwe było wykorzystywanie energii słonecznej do jego ogrzewania
- wykorzystania wentylacji naturalnej do przewietrzania pomieszczeń
- wprowadzania zieleni do wnętrza budynku w celu wytworzenia przyjaznego użytkownikom mikroklimatu
- wykorzystywania efektu kominowego do wentylacji naturalnej całego obiektu
- wprowadzenie automatycznego sterowania, łączącego wszystkie instalacje w jeden inteligentny system.

Commerzbank we Frankfurcie

To najsłynniejszy budynek, jaki do tej pory powstał, wykorzystujący wyżej wymienione postulaty. Dzieło światowej sławy architekta sir Normana Foster'a o wysokości 259 m zachwyca swoją logiką (fot. 1). Głównym założeniem, które leżało u podstaw projektu, było stworzenie budynku wykorzystującego minimalną ilość energii oraz emitującego ograniczone ilości CO₂.

Wykonanie tego założenia wymagało współdziałania architektów, konstruktorów oraz specjalistów zajmujących się instalacjami sanitarnymi, w szczególności wentylacją. Podstawowym problemem, który stanął przed projektantami, była konieczność zminimalizowania zużycia energii elektrycznej potrzebnej do wentylacji i klimatyzacji w budynku. Rozwiązaniem było wykorzystanie naturalnej cyrkulacji powietrza, powstającej w wyniku różnicy ciśnień pomiędzy podstawą a szczytem budynku. Do wywołania ruchu powietrza potrzebna była wewnętrzna pusta przestrzeń przebiegająca przez całą strukturę wie-



Fot. ATR0002

Fot. 1. Commerzbank we Frankfurcie

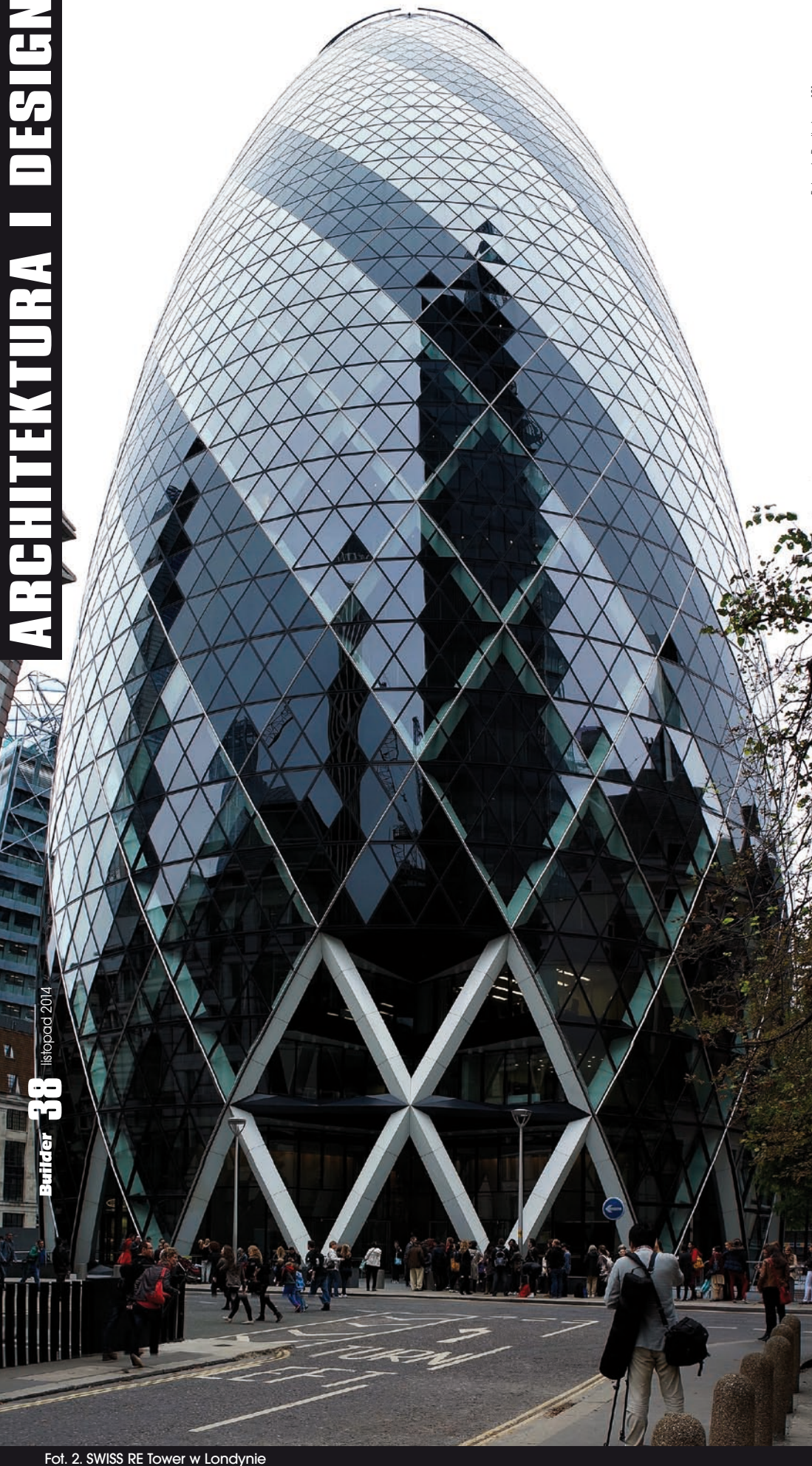
zowca. Zastosowano wewnętrzne atrium, połączone z zieloną ogrodową umieszczoną w czterokondygnacyjnych patiach. Zostały one usytuowane spiralnie wokół atrium, analogicznie jak kształt cyrkulacji powietrza wewnątrz budynku. Rozwiązanie problemu wprowadzenia naturalnej wentylacji znalazło odbicie w formie architektonicznej budynku, jak i w jego konstrukcji. Zadaniem, jakie stanęło przed konstruktorami, była konieczność zastąpienia centralnego trzonu innym układem pozwalającym na uzyskanie właściwej sztywności przestrzennej budynku. Brak centralnego trzonu to nie tylko problem konstrukcyjny. Jego usytuowanie wiąże się z poprawnym rozwiązaniem komunikacji pionowej. Trzony w większości wypadków są powiązane z windami i szachtami instalacyjnymi. Dlatego też rozwiązania konstrukcyjne powinny uwzględniać wielkość zapotrzebowania na komunikację pionową. Konstruktorzy budynku Commerzbank zaproponowali układ nośny polegający na zastosowaniu trzech osobnych trzonów. W dwóch z nich zostały wydzielone przestrzenie niezbędne dla komunikacji pionowej. W trzecim została umieszczona winda służąca celom ratowniczym oraz pomieszczenia sanitarne i sala konferencyjna. Trzony nie stanowiłyby dobrego układu konstrukcyjnego bez wzajemnego powiązania ich pracy. Zadanie związane ze stworzeniem jednego współpracującego ustroju konstrukcyjnego było utrudnione ze względu na spiralne patia, mające wysokość czterech kondygnacji, oraz pionowe atrium. Problem ten rozwiązano wykonując stropy oparte na belkach Virendeela, które zamocowane do trzonów zapewniły odpowiednią współpracę całego układu konstrukcyjnego. Kształt budynku został dobrany poprzez wielokrotne analizy jego aerodynamiki z wykorzystaniem technik numerycznych CFD, jak i w tunelu aerodynamicznym. Celem badań było uzyskanie optymalnej formy architektonicznej, obniżającej powstawanie sił wewnętrznych w konstrukcji oraz analiza wpływu ciśnień powietrza na naturalną wentylację pomieszczeń odbywającą się poprzez zewnętrzną elewację. W efekcie uzyskano budynek zużywający do 40% mniej energii elektrycznej, w stosunku do konwencjonalnych rozwiązań. Pozytywne rozwiązania nie niwelują negatywnych konsekwencji związanych z ich wprowadzeniem. Pionowe atrium spowodowało podniesienie kosztów wykonania konstrukcji nośnej. Dodatkowo zmniejszyło bezpieczeństwo pożarowe obiektu. Patia niewątpliwie poprawiają mikroklimat wnętrza i jego komfort użytkownika, jednak zmniejszają również powierzchnię użytkową wieżowca. Mimo negatywnych konsekwencji związanych z wprowadzeniem rozwiązań proekologicznych budynek ten jest jednym z najlepszych tego typu wieżowców na świecie.

SWISS RE Tower w Londynie

Niezwykły wieżowiec, którego projekt także powstał w pracowni sir Normana Fostera (fot. 2). Obiekt ten bardzo dobrze wpisuje się w nurt proekologiczny. Dzięki zintegrowanemu projektowaniu oraz zastosowaniu najnowszych rozwiązań technicznych wieżowiec potrafi automatycznie dbać o klimat panujący w jego wnętrzu. Dzięki wprowadzonym rozwiązaniom został zachowany wysoki komfort użytkownika budynku przy znacznym obniżeniu kosztów zużywanej energii elektrycznej oraz zmniejszeniu emisji CO₂. W związku z tym jest przyjazny środowisku naturalnemu.

Wszystkie decyzje projektowe podjęte przy powstawaniu tego obiektu były podporządkowane ww. założeniom. Cylindryczny kształt bryły jest wynikiem analizy przepływów CFD oraz licznych badań w tunelu aerodynamicznym. Minimalizowanie oporów powietrza powoduje znaczne obniżenie obciążeń konstrukcji budynku, co prowadzi do zmniejszenia





Fot. arch. Dephcharge101

wymiarów tworzących ją elementów, a ostatecznie również kosztów budowy. Optywowy kształt wieżowca generuje mniejszą ilość zawirowań i odbić wiatru od elewacji. Dzięki temu warunki aerodynamiczne w otoczeniu obiektu nie ulegają znacznej zmianie, co ma bardzo duże znaczenie dla osób przebywających w otoczeniu wieżowca oraz dla okolicznej zabudowy.

Forma budynku jest dość futurystyczna i wprowadzenie jej do silnie zurbanizowanego rejonu londyńskiego City nie obyło się bez problemów. Władzom miasta ten bardzo odważny kształt niespecjalnie się podobał. Ostatecznie decyzja była pozytywna. Radnych przekonały argumenty, że forma budynku nie jest przejawem wybujałej fantazji czy chęci zaistnienia ambitnego architekta, tylko wynikiem optymalizacji i czysto pragmatycznego podejścia, w wyniku którego osiąga się wymierne korzyści, także natury ekologicznej.

Wieżowiec ma 180 m wysokości, na co składa się 41 kondygnacji. Projekt konstrukcji został przygotowany przez znaną firmę projektową Ove Arup & Partners.

Konstrukcja budynku jest w pełni stalowa. Posiada ustrój dwupowłokowy ze stalowym trzonem. Do kształtowania elewacji zewnętrznej zastosowano układ rur o średnicy do 58 cm. Powłoki są ze sobą połączone stropami złożonymi ze stalowych żeber. Sposób mocowania stropów do wewnętrznej powłoki różni się w zależności od kondygnacji. Co drugie piętro trafia ona na sztywne węzły powłoki znacznie od siebie oddalone. Ta sytuacja wymusiła na projektantach zastosowanie stalowego pierścienia w formie wieńca, na którym opierają się belki stropów. W przypadku kondygnacji powyżej i poniżej żebra belki stropowe są mocowane bezpośrednio do powłoki. Na belkach stropowych ułożona została płyta żelbetonowa, na której wylano płytę żelbetową. Forma powłoki zewnętrznej, pochylenie prętów i wielkość poszczególnych pól wynikają z rozwiązań służących wentylacji budynku. Zastosowano spiralne kanały napowietrzające wewnętrzne kondygnacje. Są one w rzucie trójkątami, gdzie jeden bok jest szerokości jednej sekcji powłoki elewacji i biegnie wraz z nią spiralnie do szczytu budynku. Elewacja budynku Swiss Re nie tylko wynika z zasad kształtowania wyrazu architektonicznego poprzez logikę konstrukcji, lecz także jest uwikłana w zależność od wentylacji budynku.

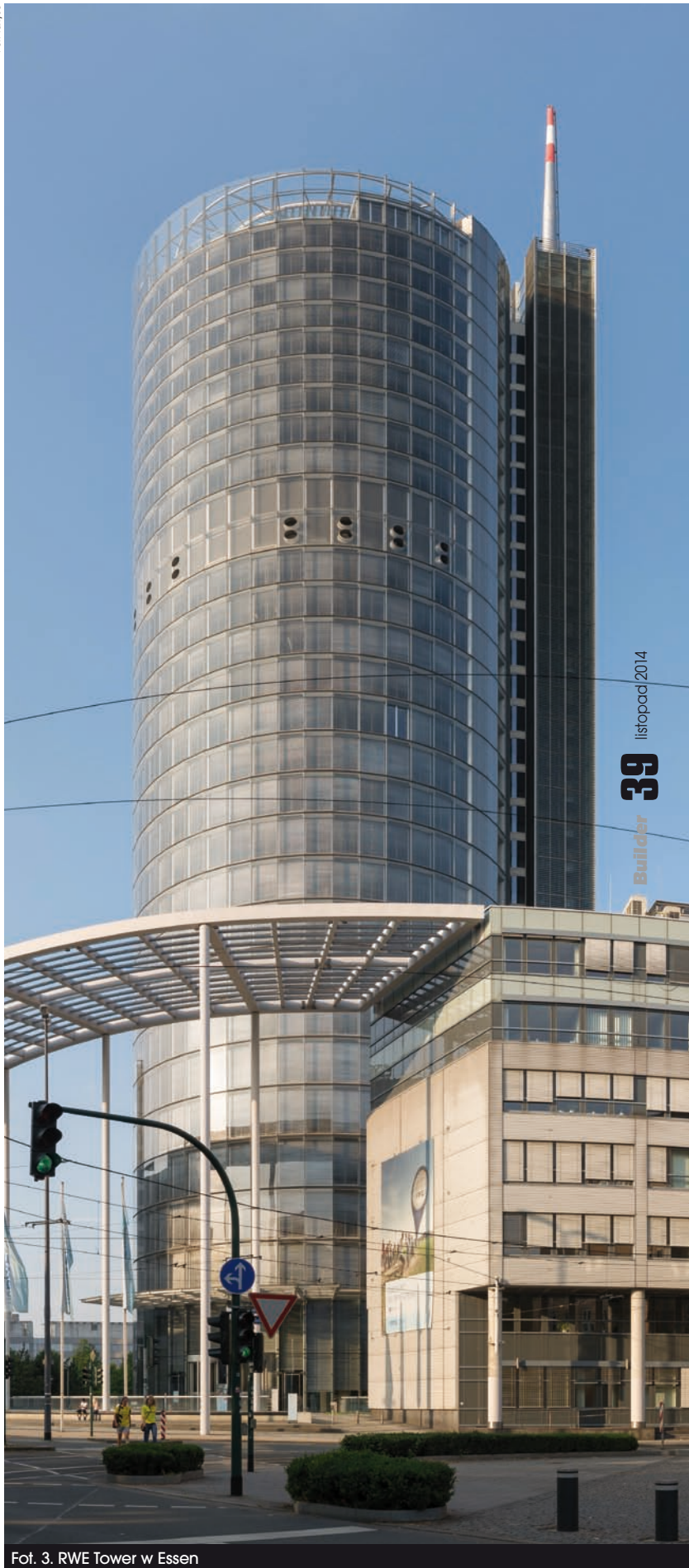
RWE Tower w Essen

Budynek ten został zaprojektowany dla niemieckiego koncernu RWE z centralą w Essen (fot. 3). Jego projektantem była pracownia Ingenhoven Overdiek Kahlem & Partner. Inwestor postawił przed projektantami bardzo wysokie wymagania związane ze zminimalizowaniem zużycia energii elektrycznej potrzebnej do użytkowania obiektu. Nieprzypadkowo koncern RWE jest jednym z największych w Europie jej dostawców, a sztandarowym hasłem firmy jest ekologia. Biurowiec ma wysokość 127 m i został ukończony w 1997 r. Układ konstrukcyjny jest trzonowo-słupowy. Założenia projektowe nie pozwoliły na usytuowanie całości trzonu w środku budynku, co dla konstrukcji budynku o cylindrycznym kształcie byłoby najlepszym rozwiązaniem. Zaprojektowanie przez architektów na szczytowych kondygnacjach wewnętrzznego atrium wymusiło na konstruktorach umieszczenie dodatkowych dwóch trzonów przy bocznych elewacjach. Niewątpliwie tego typu rozwiązanie wpływa na ograniczenie przestrzeni biurowej z dostępem do światła dziennego, jednak pozwala na uwolnienie środka budynku od konstrukcji, a co za tym idzie – i komunikacji. To pozwoliło na stworzenie dodatkowej przestrzeni użytkowej, która została doskonale wykorzystana do funkcjonowania budynku. Komunikacja pionowa jest umieszczona na zewnątrz głównej bryły w postaci szybkiebieżnych wind panoramicznych. Dodatkowa zewnętrzna, prostopadłościenna forma urozmaica architekturę budynku i podkreśla jej strzelistość. Elewacja jest podwójnie szklona, co ma zapewnić napływ ogrzanego zewnętrznego powietrza do budynku i naturalną wentylację. Ze względu na systemowy charakter tego typu rozwiązań elewacyjnych konstrukcja słupów została cofnięta do wnętrza budynku. Wszystkie instalacje sterujące budynkiem są ze sobą połączone, co daje wymierne korzyści płynące z ograniczenia zużycia energii elektrycznej. Wielokrotnie testowany w tunelu aerodynamicznym układ „rybiej paszczy” zastosowany w elewacji pozwala na doprowadzenie zewnętrznego powietrza do budynku. Wszystkie systemy ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń są wyposażone w czujniki reagujące na zmianę klimatu wewnątrz oraz na zewnątrz wysokościowca. Analizują także decyzje użytkowników poszczególnych pomieszczeń. Na dachu budynku umieszczone są zespoły baterii fotowoltaicznych. Ruchoma platforma zapewnia ich optymalne ustawienie w stosunku do padających promieni słonecznych. Budynek RWE jest następnym przykładem realizacji europejskiej, która za cel stawia sobie budowę obiektu imponującego rozwiązaniami technicznymi i komfortem użytkowania, a nie dominacją wysokości.

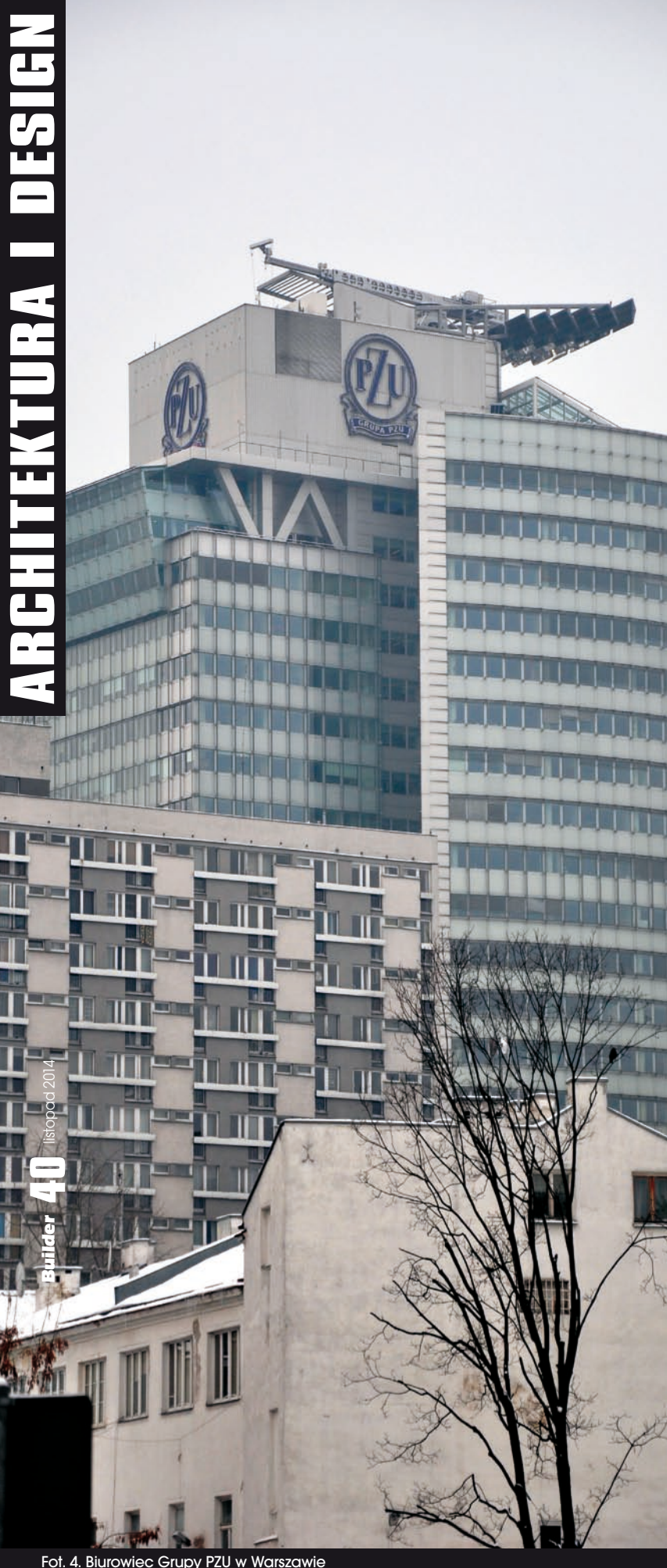
Biurowiec Grupy PZU w Warszawie

Projekt architektoniczny został przygotowany przez Tadeusza Spychałę. Za przygotowanie dokumentacji konstrukcyjnej odpowiedzialny był Jerzy Błażeczek, projekt weryfikował Jerzy Lindeman. Wysokość obiektu to 97 m. Budynek posiada 25 kondygnacji nadziemnych i 4 podziemne (fot. 4). Został zrealizowany w 2000 r. Założeniem inwestora było stworzenie pierwszego w Polsce budynku wykorzystującego najnowsze zdobycze w dziedzinie rozwiązań proekologicznych. Forma architektoniczna składa się z prostopadłościanu i połączonej z nią zaokrąglonej bryły. Konstrukcja jest tradycyjnie trzonowo-słupowa. Ze względu na znaczną powierzchnię kondygnacji poza trzonem znajduje się wiele słupów nośnych, które skomplikowały racjonalne zaprojektowanie układu funkcjonalnego budynku. Konstrukcja jest w całości żelbetowa, stropy są płytowe z zastosowaniem belki obwodowej. Podwójna szklana fasada mocowana do stropów pozwala na otwieranie okien w pomieszczeniach biurowych i indywidualne sterowanie klimatem w pomieszczeniach, co znacznie redukuje zapotrzebowanie na energię elektryczną do wentylacji i chłodzenia wieżowca. Centralne atrium ze względu na swoje usytuowanie doświetlone zostało charakterystycznymi lustrzanymi panelami zamocowanymi na dachu. Kąt nachylenia zwierciadeł jest kontrolowany komputerowo, tak aby w zależności od kąta padania promieni słonecznych oświetlenie atrium było jak najlepsze [2].

Fot. Luxiso



Fot. 3. RWE Tower w Essen



Fot. Wierulko

TOWER Bio2 w Paryżu

Dotychczasowe osiągnięcia projektantów dotyczące redukcji oddziaływania na środowisko naturalne budynków znacznie wyprzedzają postęp w pozostałych sektorach budownictwa. Jednak już teraz powstają nowe pomysły na ograniczenie wpływu budownictwa wysokiego na środowisko. Przykładem pokazującym kierunek myślenia, w jakim zmierza projektowanie drapaczy chmur, jest koncepcyjny projekt wieżowca Tower Bio2. Przyszła lokalizacja obiektu to Nanterre, przedmieścia Paryża. Pomyślną projektem jest biuro architektoniczne X-TU Architects, za konstrukcję budynku oraz bio-fasady jest odpowiedzialny BSF i ICADE. Koncernem finansującym tą inwestycję jest firma Ideve. Wysokość budynku ma wynosić 150 metrów. W całości budynek będzie pełnił funkcje biurowe. Powierzchnia użytkowa została zaprojektowana na około 70 tys. m². Koszt realizacji obiektu przewidziano na 170 mln euro. Konstrukcja budynku jest żelbetowa, trzonowa, wspomagana megakolumnami rozmieszczonymi po obwodzie budynku.

Ten drapacz chmur będzie jednym z pierwszych wieżowców wykorzystujący ideę podniebnych farm (ang. sky farms). Idea ta mówi o konieczności wykorzystywania każdego elementu budynku do wzrostu roślinności w tym fasad i dachów budynków. Zadaniem tak powstałych miejskich lasów jest zamiana wytwarzanego dwutlenku węgla w tlen oraz energię elektryczną lub ciepło.

W budynku Bio2 projektanci zaproponowali zastosowanie bio-aktywnej fasady, wykorzystującej algi jako paliwo do przetwarzania energii. Glony te są niezwykle pracowite, potrafią zwiększyć swoją objętość kilkukrotnie w ciągu doby. Dodatkowo do wzrostu potrzebują jedynie dwutlenku węgla oraz wody, najlepiej zanieczyszczonej. Podczas wzrostu i procesu fotosyntezy przetwarzają dwutlenek węgla na tlen oraz wytwarzają ciepło, które może być wykorzystywane do produkcji prądu w specjalnych generatorach. Dodatkowo panele wykorzystujące algi do przemiany energii słonecznej w elektryczną są znacznie bardziej wydajne od najlepszych paneli fotowoltaicznych [3].

Aktualnie rozwiązania proekologiczne stosowane w budynkach wysokich stają się standardem. Rozwój takich dziedzin nauki jak bioinżynieria, elektronika czy informatyka pozwala na stosowanie nowych zaawansowanych technologii służących redukcji zużycia energii oraz ograniczeniu emisji CO₂ przez budynki. Niekorzystne zmiany stale zachodzące w środowisku naturalnym powodują zaostrzenie norm dotyczących emisji szkodliwych substancji do środowiska. Dlatego inżynierowie i naukowcy poszukują wciąż nowych rozwiązań technicznych służących ekologii.

Bibliografia:

- [1] Zielonko-Jung K., Marchwiński J., Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2012.
- [2] Markowski H., Rozprawa doktorska: Kształtowanie konstrukcji i form architektonicznych budynków wysokich. Wydawnictwo PW, Warszawa 2011.
- [3] Nowak A., Tendencje i kierunki w rozwoju budynków wysokich w krajach europejskich; rozdział 3.3, Paryż. WAPW, Warszawa 2011.

Abstract: Eco-friendly solutions applied to high-rise buildings.

The article points out changes in the process of designing skyscrapers. Environmentally friendly solutions have been presented and illustrated by examples of world architecture, such as Commerzbank in Frankfurt and Swiss re Tower in London by Norman Foster, RWE Tower in Essen by Ingenhoven Overdick Kahlen & Partners, PZU Skyscraper in Warsaw by Tadeusz Spychała, BIO2 Tower in Paris by X-TU Architects.

Skyscrapers are often described as "egoists among buildings" in terms of energy consumption, using up a great deal of natural resources. For this reason, designers of high-rise buildings have been the first to try to redefine methods of designing and manage such buildings, in order to create a sustainable building in its environment.