

ENERGIA W ARCHITEKTURZE

WACŁAW CELADYN

STRESZCZENIE

Zagadnienie relacji pomiędzy energią a architekturą jest często omawiane w odniesieniu do aspektów technicznych i aktualnych wymogów w zakresie zasad projektowania budynków energooszczędnych i przepisów prawnych. To obecnie szeroko podejmowana tematyka w pracach naukowych z zakresu architektury i budownictwa. Energia może być jednakże rozważana również w aspekcie symboliki w ramach architektonicznych idei twórczych i odczuć psychologicznych. Subiektywne odczucia w tym zakresie bywają bardzo zróżnicowane i dotąd raczej szerzej nie były analizowane. Istniejące możliwości związane z pojęciem energii wykorzystywanym na różne sposoby w twórczych ideach kształtowania przestrzennego wydają się warte rozważenia wobec wielkiego i ciągle wzrastającego znaczenia terminu we współczesnym budownictwie i architekturze. W symbolicznej

sferze zagadnienia można dostrzec przejawy energii w formach budynków, ich kolorystyce czy fakturze powierzchni. Problematyka techniczna dotyczy problemów energetycznych w powiązaniu z odpowiednim kształtowaniem formy obiektów, przegród zewnętrznych i wyposażenia technicznego. Te elementy architektoniczno – budowlane służą pozyskiwaniu energii ze źródeł odnawialnych, ochronie przed stratami i nadmiarem energii cieplnej.

Imperatyw projektowy związany z energią spowodował istotne zmiany w procesie projektowania i charakterze zawodu architekta.

Słowa kluczowe: architektura, koncepcje architektoniczne, energia w architekturze, budownictwo energooszczędne

ENERGY IN ARCHITECTURE

ABSTRACT

Problems of relations between energy and architecture are frequently discussed as to technical aspects and requirements related to low-energy buildings and adequate regulations. This issue is largely deliberated in scientific and professional literature about architecture and construction. Energy, however, can also be considered as part of symbolic aspects of architectural ideas and psychological sensation. Subjective impressions in this regard are diversified and so far rarely analyzed. There is some interesting potential in the idea of energy as a creative factor being applied in different ways in architectural design. In the symbolic sphere of the issue one can perceive indications of energy in architectural forms, applied colours and

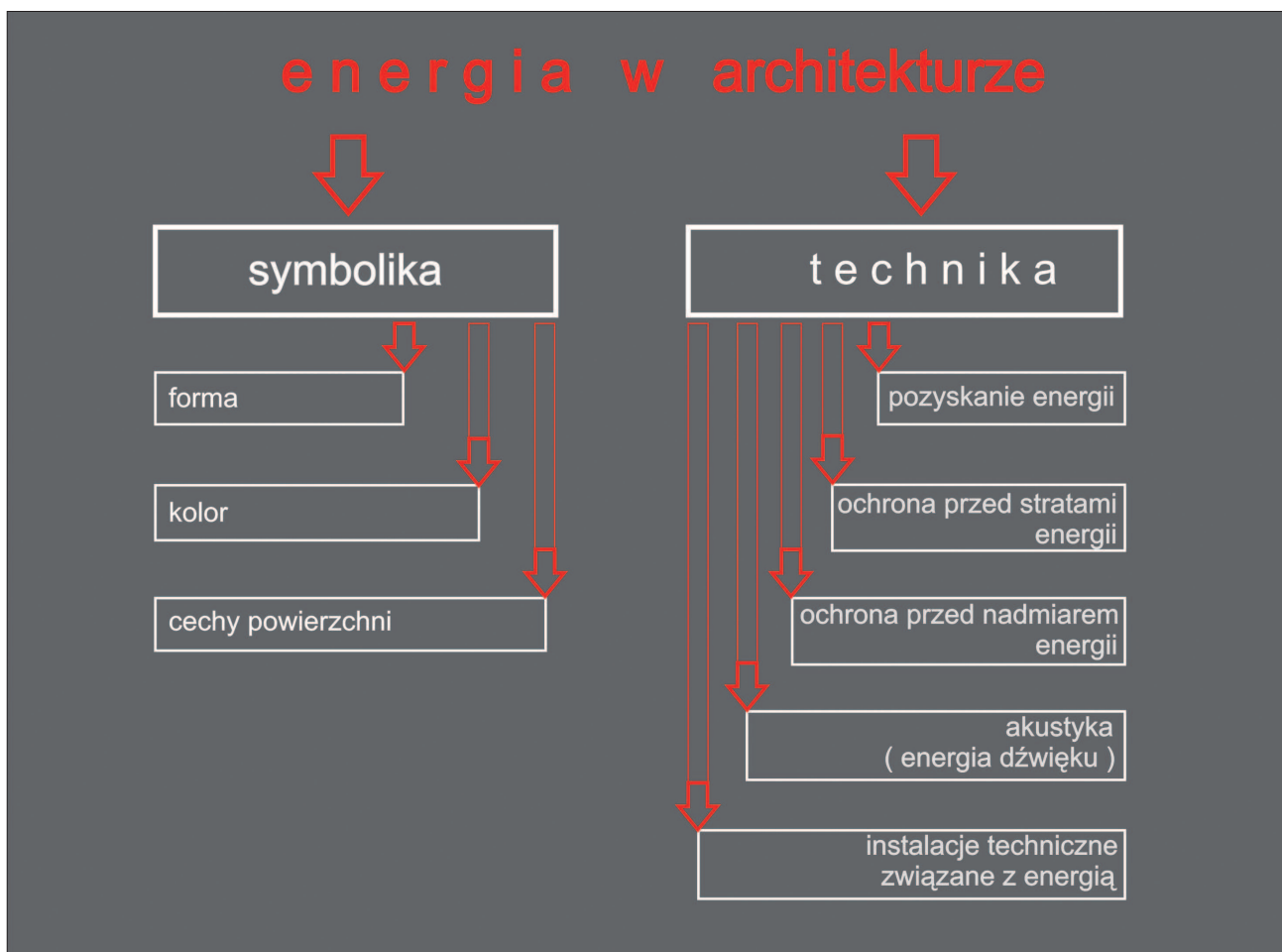
treatment of surfaces. Technical issues related to energy in architecture cover such problems as building forms and envelopes as well as services enhanced with new technologies. All these elements are designed to gain energy from renewable sources, to reduce heat losses and to protect buildings from excess of thermal energy.

Energy as contemporary design imperative has stimulated over the last years important modifications in professional methods and procedures of architectural design.

Keywords: architecture, architectural ideas, energy in architecture, low-energy buildings

Problemy dotyczące wzajemnych relacji pomiędzy zagadnieniami energetycznymi a projektowaniem architektonicznym podejmowane na przestrzeni wielu ostatnich dekad uzyskują coraz istotniejsze znaczenie we współczesnej praktyce projektowej. Rezultatem uwzględnienia aspektów energetycznych w architekturze stają się zmiany w kwestiach

rozwiązań przestrzennych, technicznych, prawnych i organizacyjnych procesów projektowych oraz w metodach realizacji obiektów architektonicznych. Te zagadnienia są obecnie szeroko podejmowane i komentowane w dyskusjach oraz w publikacjach naukowych i zawodowych. Hasło „energia w architekturze” posiada jednakże historycznie znacznie



1. Diagram relacji pomiędzy architekturą a energią. Rys. W. Celadyn
 1. Diagram of relations between architecture and energy, by W. Celadyn

więcej konotacji niż tylko kojarzone z nią obecnie najczęściej zagadnienia związane z oszczędnością energii oraz z funkcjonowaniem obiektów w sposób zapewniający należyty komfort ich użytkownikom. Energia w szerszym ujęciu teoretycznym może być rozważana, a również i percypowana w przestrzeni także w znaczeniu symbolicznym. Nasza wyobraźnia nierzadko pomaga nam w dostrzeganiu w historycznych, a w szczególności w wielu współczesnych obiektach architektonicznych, pewnych cech charakterystycznych, które bez wątpienia moglibyśmy przypisać różnego rodzaju związkom ze zjawiskami energii (il.1).

Spośród abstrakcyjnych pojęć wykorzystywanych jako główny motyw idei twórczych w architekturze energia wydaje się być jednym z najbardziej interesujących. Wynika to nie tylko ze znacznych możliwości w tym zakresie, ale również z aktualności problematyki energetycznej w procesach kształtowania przestrzeni. Wydaje się celowe rozpoczęcie rozważań na ten temat od tego właśnie aspektu terminu „energia” w odniesieniu do architektury.

Symbolika

Percepcja energii w sensie symbolicznym, jako pewnego abstraktu immanentnie związanego z danym dziełem architektonicznym, może się odnosić do kilku charakterystycznych cech obiektu. Psychologiczne odczucia pojawiające się podczas obserwacji niektórych budynków kojarzone bywają w sposób świadomy lub podświadomy z symboliczną emanacją przez nie energii. To wrażenie wskazywać może bądź na domyślne aktualne „działanie” energii, lub na efekt jej „działania” w przeszłości. W drugim przypadku możemy mówić o stanie „post - energetycznym” obiektu. Wspomniane odczucia zależne są, naturalnie, każdorazowo od subiektywnej oceny dzieła architektonicznego.

Cechy energetyczne dostrzegalne w projektowanych obiektach i uzyskane jako efekt zamierzony lub częściej przypadkowy, w sferze symboliki ujawniają się w formie obiektu, doborze koloru oraz wykorzystaniu odpowiednich cech powierzchni charakterystycznych dla zastosowanych materiałów.



2. Symbolika | forma | emanacja energii | energia potencjalna. Kunsthhaus w Graz, arch. P. Cook i C. Fournier, 2003. Fot. W. Celadyn
 2. Symbolism | Form | Emanation of energy | Potential energy. Kunsthhaus in Graz, arch. P. Cook and C. Fournier, 2003. Phot. by W. Celadyn

Symbolika – forma

Energia jest związana z formą w sposób naturalny. Samo zaistnienie jakiegokolwiek formy jest bowiem niemożliwe bez „użycia” energii przy tworzeniu jej jako fragmentu przestrzeni. Wykorzystanie pod względem formalnym pojęcia energii w architekturze prowadzi do kreowania obiektów w taki sposób, aby dominował w nich efekt struktury emanującej energię lub też stanowiły swoistą dokumentację stanu post-energetycznego budynku. Przy zastosowaniu pierwszej metody odpowiednie ukształtowanie obiektu architektonicznego wykorzystujące symbolicznie aspekt energetyczny daje w rezultacie efekt wrażenia kumulacji energii wewnątrz struktury i jej potencjalne „promieniowanie” na zewnątrz. W rozwiązaniach najbardziej spektakularnych i najczęściej najbardziej zaawansowanych technicznie występuje wręcz sugestia eksplozji. Wśród przykładów takich rozwiązań formalnych są m.in. pawilon samochodowy BMW prezentowany na Międzynarodowych Targach Motoryzacyjnych w 1999 roku we Frank-

furcie n. Menem (ABB Architekten), jak również zlokalizowany w gęstej tkance śródmiejskiej Grazu Kunsthhaus (arch. P. Cook i C. Fournier, il.2). Obydwa obiekty w stylu „bubble architecture” prezentują formy pseudopneumatyczne o widocznym potencjale energetycznym związanym z napięciem i bliską pęknięciu strukturą obudowy przestrzeni wewnętrznej. Potencjał energetyczny dostrzec można również w obiektach pozostających w stanie równowagi chwiejnej. Dobrym przykładem takiej idei twórczej jest wieża kontrolna portu w Lizbonie (arch. G.B. Architectos, il.3).

Innym sposobem pozwalającym na wyeksponowanie symbolicznego efektu energetycznego jako świadomej koncepcji formy, jest nadanie obiektowi odczuwalnej psychologicznie dynamiki. Ten rodzaj ekspresji twórczej jest niewątpliwie bardziej rozpoznawalny nawet przez niezbyt wprawnych odbiorców dzieł architektonicznych. Skojarzenia energetyczne są w takich przypadkach bardziej oczywiste, niż przy obiektach statycznych o wyczuwalnej energii potencjalnej. Nacechowany dynamizmem budy-



3. Symbolika | forma | emanacja energii | energia potencjalna. Kontrolna wieża portowa w Lizbonie, arch.: Goncalo Byrne G.B. Arquitectos, 1997. Fot. W. Celadyn

3. Symbolism | Form | Emanation of energy | Potential energy. APL Tower in Lisbon, arch.: Goncalo Byrne G.B. Arquitectos, 1997. Phot. by W. Celadyn

nek utrwalony zostaje w swej finalnej pseudokine-
 tycznej fazie wskutek domyślnego, gwałtownego
 zahamowania ruchu jego fragmentów lub ekspansji
 w otaczającą przestrzeń. Pośród najbardziej spektak-
 kularnych realizacji ilustrujących tę metodę symboli-
 cznego ujęcia problemu energetycznego wymienić
 należy Mercedes-Benz Muzeum w Stuttgarcie (arch.
 UN Studio, il.4), a w szczególności Hotel Marques
 de Riscal w Elciego w Hiszpanii zrealizowany w la-
 tach 2003-2006 (arch. F.O. Gehry).

Eksponowanie fizycznych skutków symboliczne-
 go oddziaływania czynnika energetycznego na mate-
 rię obiektów stanowi efekt różnorodnych twórczych
 eksperymentów, podejmowanych głównie w obszar-
 ze zabiegów stylistycznych. Stan post-energetycz-
 ny obiektu, jako rezultat domyślnej ingerencji zja-
 wisk energetycznych, prezentują obiekty tworzone

w nurcie architektury dekonstruktywistycznej z cha-
 rakterystycznymi deformacjami oraz fragmentacją
 brył. Efekty te uzyskuje się najczęściej dzięki odpo-
 wiednim sposobom kształtowania form oraz właś-
 ciwościom zastosowanych konstrukcji, technologii
 i materiałów. Ingerencję czynnika energetycznego
 w struktury tych obiektów i powstałe w ich efek-
 cie odkształcenia doskonale odwzorowują elementy
 stalowe - blachy perforowane, powłoki czy siatki
 stalowe. Te ostatnie, jako dominujące wykończenie
 fasad, zastosowane w obiekcie Cooper Union w No-
 wym Jorku w 2006 roku (arch. Morphosis) bardzo
 plastycznie i realistycznie ilustrują ideę destrukcyj-
 nego, symbolicznego kształtowania budynku przez
 energię utajoną. W takich przypadkach dominują
 struktury lekkie, aczkolwiek technologie ciężkie
 również się pojawiają.



4. Symbolika | forma | emanacja energii | dynamika. Mercedes-Benz Museum, Stuttgart, arch. UNStudio, 2006.
Fot. W. Celadyn

4. Symbolism | Form | Emanation of energy | Dynamism. Mercedes-Benz Museum, Stuttgart, arch. UNStudio, 2006.
Phot. by W. Celadyn

Stan post-energetyczny w obszarze stylistycznym obiektów architektonicznych można odnieść także do stosowania kompozycyjnej zasady asymetrii, w szczególności do asymetrycznie skomponowanych form budynku lub tylko elewacji, w których zastosowano element zaburzający symetrię, zatem zasadę kompozycyjną z reguły mającą charakter statyczny. Taka deformacja kompozycji symetrycznej odzwierciedlać może interwencję siły (energii) jako czynnika współtworzącego.

Asymetria w roli czynnika kompozycyjnego może być również traktowana jako efekt uprzedniego uczestnictwa energii w kreacji przestrzennej. Stanowisko takie mogą podbudowywać niektóre teorie naukowe, niewątpliwie w pewien sposób obiektywizując je. W świetle teorii kosmologicznej efekt działania energii Wielkiego Wybuchu powodował tzw. łamanie symetrii. W fizyce zatem asymetria wydaje się być naturalnym stanem wynikającym z działania energii, która powoduje transformację systemów sy-

metrycznych w kierunku niesymetrycznych¹. Zagadnienia energii w architekturze w wymiarze symbolicznym można by więc odnieść *per analogiam* do naturalnych zjawisk fizycznych w skali kosmicznej.

Symbolika – kolor

Symbolika koloru stosowanego w obiektach architektonicznych jest tradycyjnie chętnie wykorzystywana przez twórców. Świadome użycie barw jako synonimu energii w kompozycjach plastycznych zostało nawet usankcjonowane w ramach kodyfikacji przemysłowej, gdzie określone kolory symbolizują niebezpieczeństwo, wysoką temperaturę czy też ruch – stany związane z energią. Wysoki stopień jaskrawości i odpowiednia barwa kojarzone są dość powszechnie z temperaturą powierzchni elewacji w sensie psychologicznym i symbolicznym. Te elementy kompozycji płaskich i przestrzennych związane z paletą kolorów tzw. ciepłych bywają często

¹ P. Davis, *Kosmiczna wygrana*, Warszawa 2008, s.177.



5. Symbolika | kolor | jaskrawość, temperatura. Budynek biurowy GSW, Berlin, arch. M. Sauerbruch, L. Hutton, 1999.

Fot. W. Celadyn

5. Symbolism | Colour | Brightness | Temperature. GSW Headquarters, Berlin, arch. M. Sauerbruch, L. Hutton, 1999.

Phot. by W. Celadyn

stosowane przez architektów i wtedy w konsekwencji ujawniają też symboliczne konotacje energetyczne (il.5).

Wprowadzane przez projektantów niektóre złożone kompozycje kolorystyczne pozwalają dodatkowo uzyskać efekt optycznej wibracji na powierzchniach elewacji, będący domyślnie wynikiem zaangażowania jakiegoś rodzaju energii. Konsekwentne zastosowanie nietypowych kolorowych szklanych paneli przyniosło na przykład spektakularny rezultat energetycznego rozedrgania elewacji budynku Holenderskiego Instytutu Dźwięku i Wizji w Hilversum z roku 2006 (arch. Neutelings-Riedijk), gdzie kolor jako czynnik kompozycji plastycznych ujawnił w tej materii znaczne możliwości.

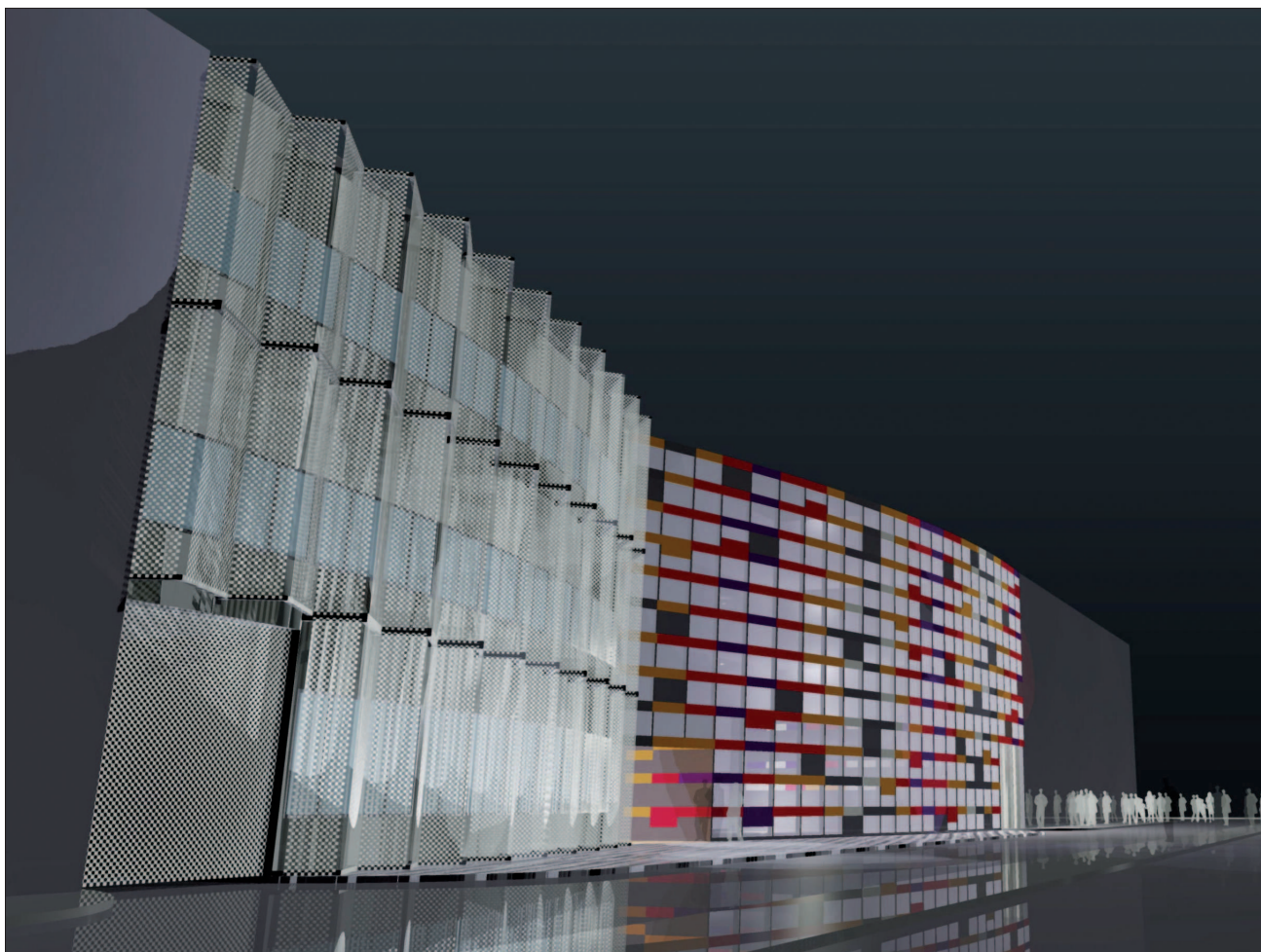
Symbolika – cechy powierzchni

Iluzoryczny efekt wibracji osiągnąć bywa nie tylko dzięki przemyślanym kompozycjom kolorystycznym, ale też poprzez odpowiednie wykorzystanie cech plastycznych elewacyjnych powierzchni. Jedną

z metod pozwalających na uzyskanie takiego wrażenia jest wprowadzenie wielu drobnowymiarowych płaskich lub przestrzennych podziałów elewacji. Mogą one być realizowane na wiele sposobów, na przykład w postaci powtarzalnych paneli wykonanych ze szkła, tworzyw sztucznych czy metali rozmieszczonych w różnych płaszczyznach względem siebie. Elementy te poprzez zróżnicowane sposoby wykończenia powierzchni, począwszy od gładkich poprzez refleksyjne po matowe, wzbogacają i ożywiają zazwyczaj zwarte i statyczne bryły budynków. Zaistniałe dzięki temu deformacje struktury obiektu oraz dodatkowe refleksy przydają elewacjom dynamiki i lekkości. Przykładem takiego rozwiązania jest budynek Biblioteki Miejskiej w Nembro we Włoszech z 2007 roku (arch. studio arche), gdzie szklana zewnętrzna elewacja została zamknięta wewnątrz drugiej fasady wykonanej z ruchomych polerowanych płytek ceramicznych mocowanych na stalowym ruszcie, które służą ponadto jako osłona przeciwsłoneczna. Dzięki wzajemnie zróżnicowanej konfiguracji stwarzają wrażenie wibrującej, energetycznie stymulowanej powłoki obiektu.

Energia jako czynnik kreacyjny może się również ujawniać na poziomie traktowania fakturalnego brył bądź elewacji, przekształcając ich symetrię w „asymetrię w symetrii”. Takie twórcze poszukiwanie kompozycyjne zostało zastosowane jako główna idea kształtowania elewacji budynku w projekcie konkursowym, koncepcji architektonicznej gmachu Wydziału Radia i Telewizji Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z 2011 r. (arch. W. i M. Celadyn). Świadome zastosowanie, diametralnie odmiennie potraktowanych fakturalnie i kolorystycznie dwóch wyraźnie wyodrębnionych i symetrycznie skonfigurowanych części elewacji obiektu, podkreśliło jego złożoną funkcję. Zastosowany w projekcie kontrastujący rytm, artykulacja płaszczyzn i kolorystyka, ale przede wszystkim zróżnicowana faktura dwóch symetrycznych części elewacji, podkreślić miały wzajemną opozycję obu fragmentów budynku oraz energetyczne napięcie między nimi (il.6).

Współcześnie realizowane obiekty o elewacjach pseudomobilnych pełnią w przestrzeni publicznej funkcje nośnika treści o charakterze reklamowo-informacyjnym. Transparentne elewacje medialne typu „media-mesh”, w których wykorzystywane są konstrukcje siatek ze stalowych prętów lub pełne elektroniczne panele stają się wielkoformatowymi ekranami - służą wizualnej komunikacji z odbiorcami. Jako elementy zintegrowane ze strukturą



6. Symbolika | cechy powierzchni | asymetria faktury elewacji. Projekt konkursowy budynku Wydziału Radia i Telewizji Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, arch. W. i M. Celadyn, 2011; archiwum Autora

6. Symbolism | Surface quality | Asymmetry of elevation. Silesian University, Faculty of Radio and TV, Katowice, Competition entry, arch. W. i M. Celadyn, 2011, Author's archive

obiektów z punktu widzenia estetycznego nadają im często specyficzne walory estetyczne i symboliczne, czasami mocno kontrowersyjne. Warto podkreślić, że przyjęte rozwiązania techniczne elewacji w postaci siatek medialnych w żaden sposób nie obniżają funkcjonalności obiektów. Różnego typu instalacje graficzne czy projekcje video na ich powierzchni kreują nowy rodzaj elewacji nazywanych pseudomobilnymi. Pionierską realizacją tego typu była elewacja budynku biurowego T-Mobile w Bonn (il.7). Komplementarność w zakresie funkcji obiektu oraz środków technicznych użytych w kształtowaniu zewnętrznej jego powłoki przeznaczonej do ekspozycji graficznej animacji prezentuje kompleks CCTV w Pekinie (arch. OMA/Rem Koolhaas) zrealizowany w 2008 roku i mieszczący siedzibę stacji telewizyjnej oraz centrum kulturalne. W tym przypadku dynamika elewacji jest nie tylko technicznie animowana dzięki wykorzystaniu energii elektrycznej,

ale niewątpliwie jest również nacechowana energią w sensie symbolicznym.

Technika

Technika w architekturze i budownictwie – to pojęcie bardzo szerokie. W odniesieniu do zagadnień energetycznych z nimi związanych, dla potrzeb niniejszych rozważań można założyć, że obejmuje głównie problematykę rozwiązań funkcjonalnych, przestrzennych i wyposażenia instalacyjnego. Efekty funkcjonalne i przestrzenne uzyskuje się bowiem dzięki wykorzystaniu środków technicznych w postaci zastosowanych technologii i materiałów.

Aspekty techniczne dotyczące relacji pomiędzy złożonymi zagadnieniami energetycznymi a architekturą dotyczą zasadniczo trzech kierunków działań w budynkach. Są to: pozyskiwanie energii, zapewnienie ochrony budynków przed stratami energii,



7. Symbolika | cechy powierzchni | pseudomobilność | elewacje medialne. Budynek biurowy T-Mobile, Bonn, arch. P. Schmitz, 2004. Fot. W. Celadyn

7. Symbolism | Surface quality | Pseudomobility | Media facades. T-Mobile Headquarters, Bonn, arch. P. Schmitz, 2004. Phot. by W. Celadyn

oraz ograniczenie jej nadmiaru. Energia jest w tym przypadku rozważana w odniesieniu do wielu zróżnicowanych jej przejawów. W przypadku obiektów budowlanych należy ją widzieć w postaci promieniowania termicznego, światła widzialnego, przepływu powietrza, fal akustycznych, a nawet promieniowania elektromagnetycznego. Niektóre z tych czynników miały istotny wpływ na architekturę historyczną czy ludową, obecnie determinują współczesną architekturę w sposób mniej lub bardziej wyraźny w odniesieniu do cech zewnętrznych budynków, zarówno bryły i elewacji, jak i aranżacji ich wnętrza.

Techniczne aspekty energii w architekturze związane są z procesem odpowiedniego kształtowania bryły obiektów na etapie projektowym, jak również z uzupełnianiem budynków istniejących dodatkowymi strukturami o charakterze form płaskich bądź przestrzennych. W procesie projektowania energoświadomego technika manifestuje się również w instalacjach wewnętrznych lub zewnętrznych budynków, zapewniając ich prawidłowe funkcjonowanie i wymagane standardy ekonomiczne. Struktury te,

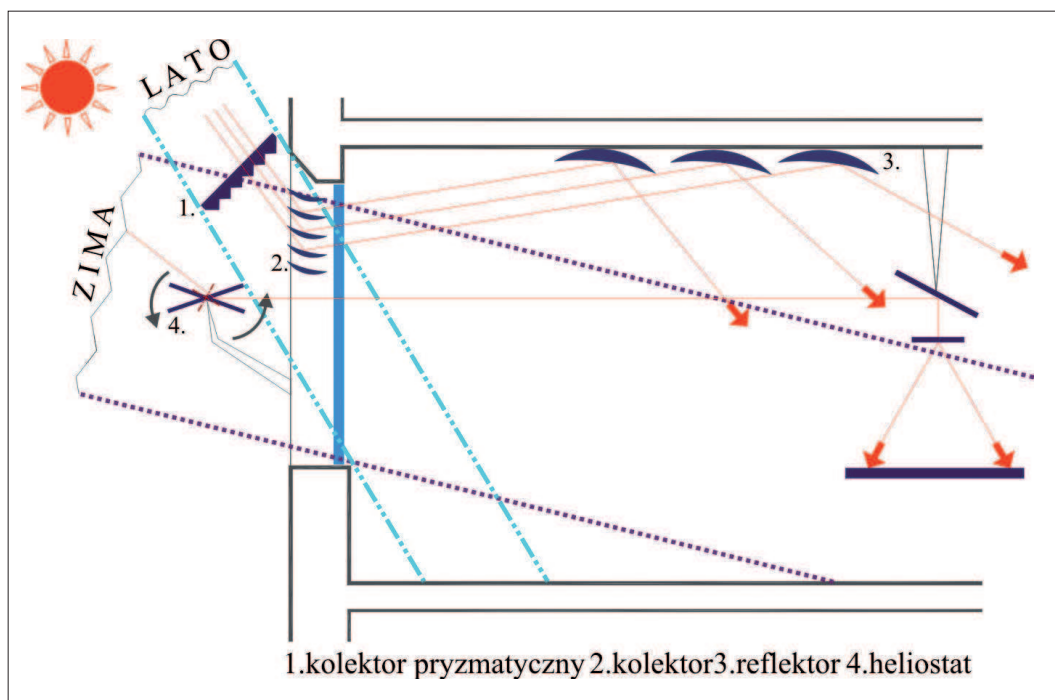
dopełniając bryłę obiektu, służą pozyskiwaniu energii bądź ochronie energetycznej redukującej straty ciepłne i coraz częściej stanowią standardowe rozwiązania projektowe.

Rozwiązania ścian zewnętrznych z przewagą przegród pełnych względem przeszklonych posiadające w przeszłości cechy energetycznie bierne, dzięki coraz większym przeszkleniom ewoluują dziś w stronę ścian energetycznie aktywnych charakteryzujących się rozwiązaniami przegród wykonanych całkowicie ze szkła. Im większa jest powierzchnia przeszkleń, tym większe uzyskujemy możliwości sterowania intensywnością i kierunkiem przepływu energii cieplnej, penetracją do wnętrza światła naturalnego, a także infiltracją powietrza. Tendencja ta, stale postępująca w kształtowaniu obiektów energooszczędnych znajduje odwzorowanie w realizacji takich struktur technicznych, jak szklarnie, instalacje kolektorów słonecznych czy też paneli fotowoltaicznych na płaszczyznach ścian i dachów. Wprowadzanie w strukturach ścian zewnętrznych termoizolacji transparentnych oraz montaż zróżnicowanych w formie i skali turbin wiatrowych, to także metody coraz częściej stosowane. Każdy zatem wymieniony wyżej czynnik energetyczny formuje obiekty architektoniczne w odmienny sposób.

Technika - pozyskiwanie energii

Koncepcja szklarni zintegrowanej ze strukturą budynku w systemie pasywnego ogrzewania słonecznego, stosowana jako metoda pozyskiwania energii, znalazła najbardziej kompletną, wzorcową niemal realizację w nowatorskim projekcie domu mieszkalnego w Knoblachsland koło Norymbergi (arch. Niederwoehrmeier & Kief). Maksymalny dostęp światła naturalnego do wybranych pomieszczeń tego domu zapewnia przeszklona powłoka zewnętrzna obudowująca właściwą strukturę budynku, stanowiąc realizację idei „domu w domu”. Bierna metoda pozyskiwania energii słonecznej, tak w kompletnej jak i częściowej formie wydaje się być z punktu widzenia technicznego i fizycznego najbardziej oczywista, chociaż niepozbawionym problemów sposobem pozyskiwania energii wykorzystującym znane zjawiska fizyczne. Szklarnie zintegrowane ze ścianami południowymi budynków stały się postulowanymi elementami w budownictwie energooszczędnym i atrakcyjnym środkiem kształtowania przestrzennego.

Optymalne kształtowanie bryły budynku ze względu na pozyskiwanie energii w przypadku przegród



8. Technika | pozyskiwanie energii | system oświetlenia. System kolektorowo-reflektorowy zastosowany w celu oświetlenia ogólnego pomieszczenia światłem dziennym oraz oświetlenia miejscowego powierzchni pracy z użyciem heliostatu wg rys.3 [w:] W. Celadyn, *Architektura budynków inteligentnych i jej aspekty przestrzenno-techniczne*, Materiały konferencyjne, 2nd International Congress on Intelligent Building Systems „InBus 2002”, Kraków

8. Technology | Energy gains | Daylighting system. Passive solar optic systems as a method of daylight distribution and local lighting of work place with heliostat, diagram by W.Celadyn, based on Fig.3 [in:] *Architektura budynków inteligentnych i jej aspekty przestrzenno-techniczne*, Proceedings of the 2nd International Congress on Intelligent Building Systems „InBus 2002”, Kraków

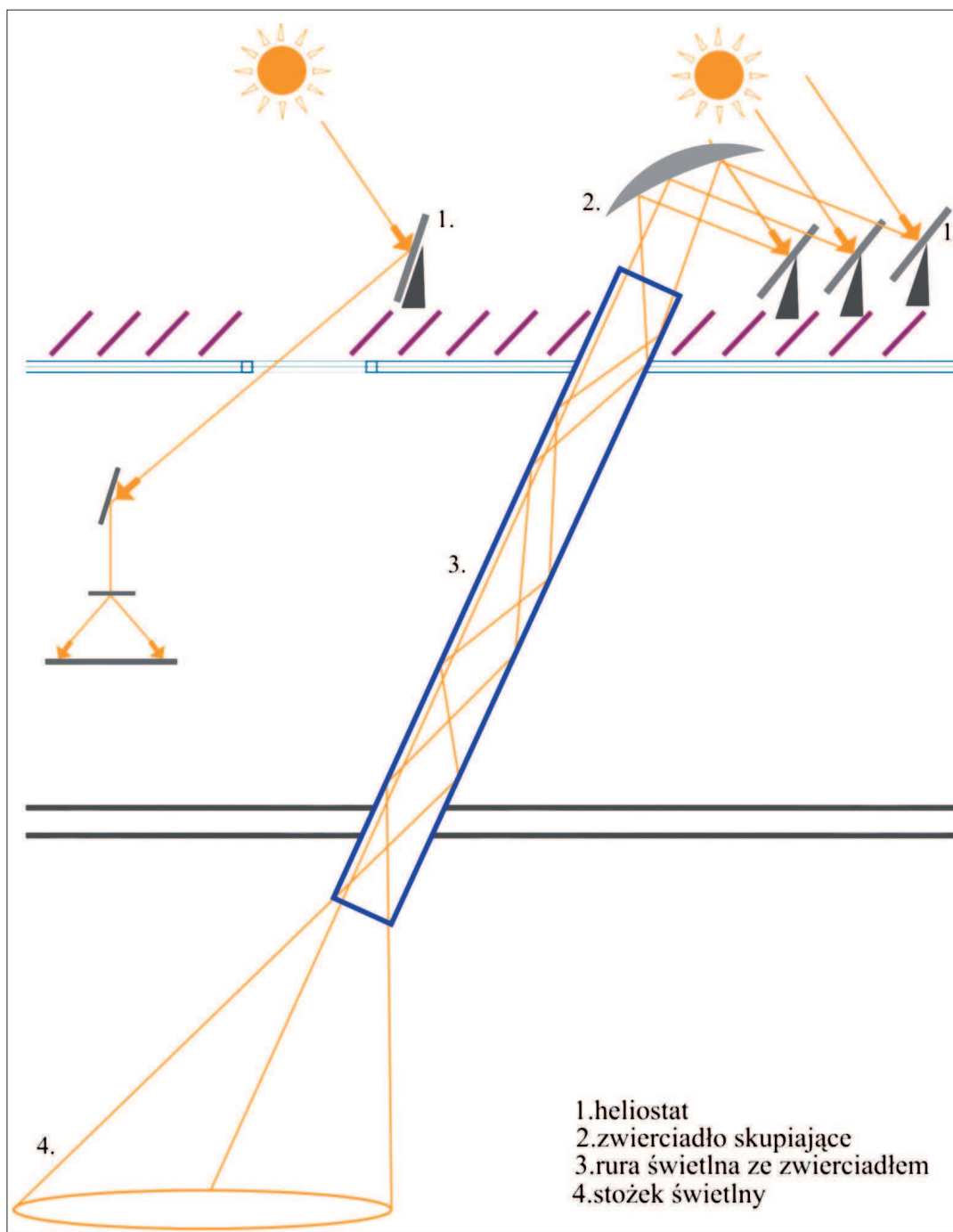
przeszklonych polega w zasadniczym stopniu na zachowaniu ich odpowiedniej konfiguracji przestrzennej. Dla elewacji południowych najkorzystniejsze ich położenie zapewnia kąt nachylenia względem płaszczyzny poziomej w granicach 55 do 67 stopni. Równocześnie najlepsze warunki oświetlenia wewnątrz budynku światłem naturalnym rozproszonym uzyskuje się dla północnego nachylenia przeszklonej połaci dachu w przedziale od 28 do 33 stopni.

Systemy kolektorowo-reflektorowe oświetlenia dziennego, określane także jako bierne optyczne systemy słoneczne (PSO - passive solar optic), zapewniają możliwość regulacji oświetlenia pomieszczeń naturalnym światłem dziennym poprzez zwiększenie jego intensywności, jak również umożliwiają jego racjonalną dystrybucję. Montaż tych urządzeń jest najkorzystniejszy przed przegrodami przeszklonymi na zewnątrz bądź wewnątrz samej struktury przegrody. Rozwiązania z użyciem reflektorów montowanych pod sufitami pomieszczeń pozwalają na przesyłanie światła naturalnego na odległość do

8 m od miejsca kolektorów bądź heliostatów montowanych na przegrodzie zewnętrznej² (il.8). W praktyce oznacza to możliwość zapewnienia również oświetlenia dziennego w pomieszczeniach zlokalizowanych w strefie środkowej budynków i niższych kondygnacjach, łącznie z kondygnacjami podziemnymi. Umożliwia montaż na poziomych i pionowych przegrodach zewnętrznych budynków zarówno pojedynczych heliostatów, jak ich zestawów uzupełnionych zwierciadłami skupiającymi światło lub rurami świetlnymi zaopatrzonymi w dodatkowe zwierciadła wzmacniające. Za ich pośrednictwem skoncentrowane wiązki światła, po filtracjach i modyfikacjach termicznych, docierają do pomieszczeń wymagających doświetlenia (il.9). Interesującą realizacją tego systemu jest podziemna stacja metro w Berlinie (il.10).

Kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne tworzą systemy umożliwiające skuteczne pozyskiwanie energii cieplnej i elektrycznej z promieniowania słonecznego. Stosowana technologia pozwala na ich

² Siemens Aktiengesellschaft, *Daylight System*, s. 2.



9. Technika | pozyskiwanie energii | system oświetlenia. Pozioma przegroda przeszklona z kilkoma niekonwencjonalnymi systemami doprowadzenia światła dziennego do wybranych miejsc pracy w pomieszczeniu. Rys. W. Celadyn wg rys.2.3.76 [w:] Ch. Schittig, G. Staib, D. Balkon, M. Schuler, W. Sobek, *Glass Construction Manual*, Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH, Munich 1999

9. Technology | Energy gains | Daylighting system. Glass roof with unconventional daylight distribution systems for selected work places. Diagram by W. Celadyn based on Fig.2.3.76 [in:] Ch. Schittig, G. Staib, D. Balkon, M. Schuler, W. Sobek, *Glass Construction Manual*, Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH, Munich 1999

montaż w trakcie eksploatacji istniejących obiektów. Uwzględniane na etapie projektowym mogą być elementami całkowicie zintegrowanymi ze strukturą obiektu. W ten sposób stają się ważnymi elementami kształtowania budynku zarówno z punktu widzenia formalnego, jak również ekonomicznego (il. 11).

Termoizolacje transparentne (TWD – Transparente Wärmedämmung) stanowią element zewnętrznych ścian warstwowych tworzonych na bazie konstrukcji masywnych. W tych złożonych strukturach przegród termoizolacje transparentne, jako warstwy przepuszczające promieniowanie słoneczne, są ele-



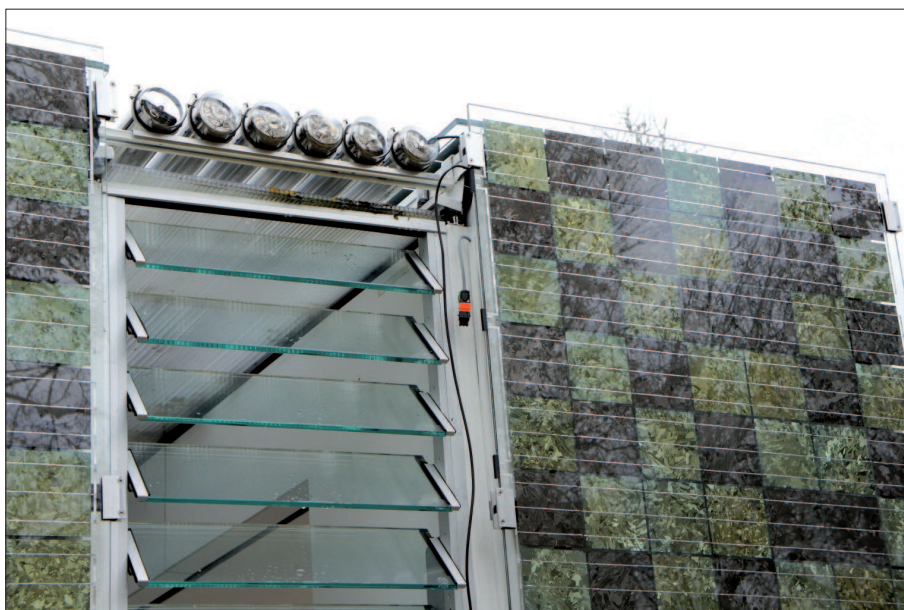
10. Technika | pozyskiwanie energii | system oświetlenia . Kolektor światła dziennego nad stacją podziemną metro, Berlin. Fot. W. Celadyn

10. Technology | Energy gain | Daylighting system. Passive solar optic system for daylighting of underground station, Berlin. Phot. by W. Celadyn

mentem aktywizującym energetycznie ściany zewnętrzne. Przeświecające płyty o złożonej strukturze zapewniają zyski energetyczne kumulowane wewnątrz przegrody od promieniowania słonecznego i następnie przekazywane do wnętrza pomieszczenia. Rozwiązania te są coraz częściej stosowane ze

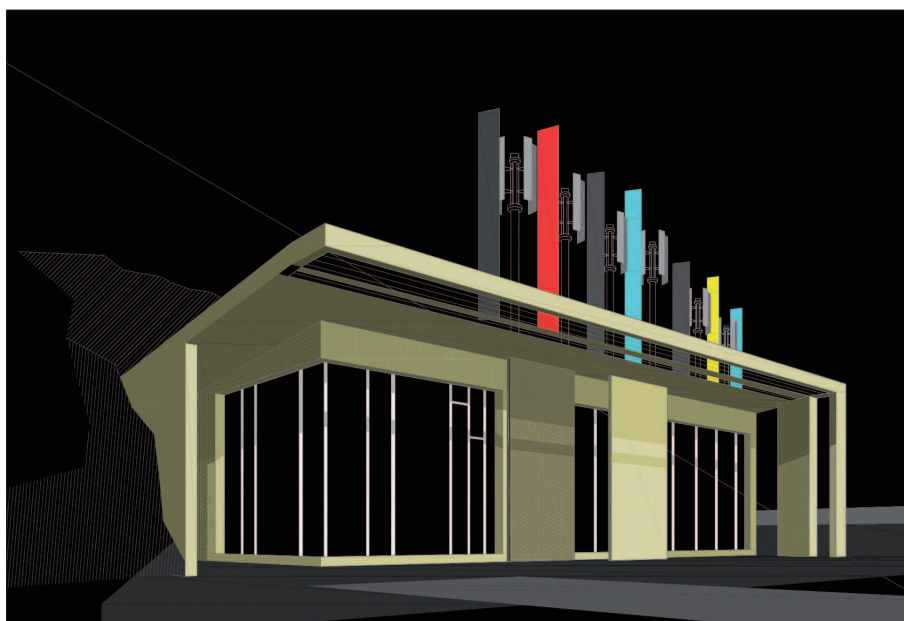
względu na możliwość ich łatwego montażu, a także w przypadku budynków istniejących wymagających termomodernizacji.

Turbiny wiatrowe jako urządzenia służące pozyskiwaniu energii ze źródeł odnawialnych pozostają nadal rozwiązaniami kontrowersyjnymi, często



11. Technika | pozyskiwanie energii | kolektory. Kolektory próżniowe i panele fotowoltaiczne na elewacji. Pawilon doświadczalny w Hochschule fur Technik w Stuttgarcie, Konkurs Decathlon, 2010. Fot. W. Celadyn

11. Technology | Energy gain | Solar collectors. Solar collectors and façade photovoltaic panels. Research house at Hochschule fur Technik in Stuttgart, Decathlon Competition, 2010. Phot. by W. Celadyn

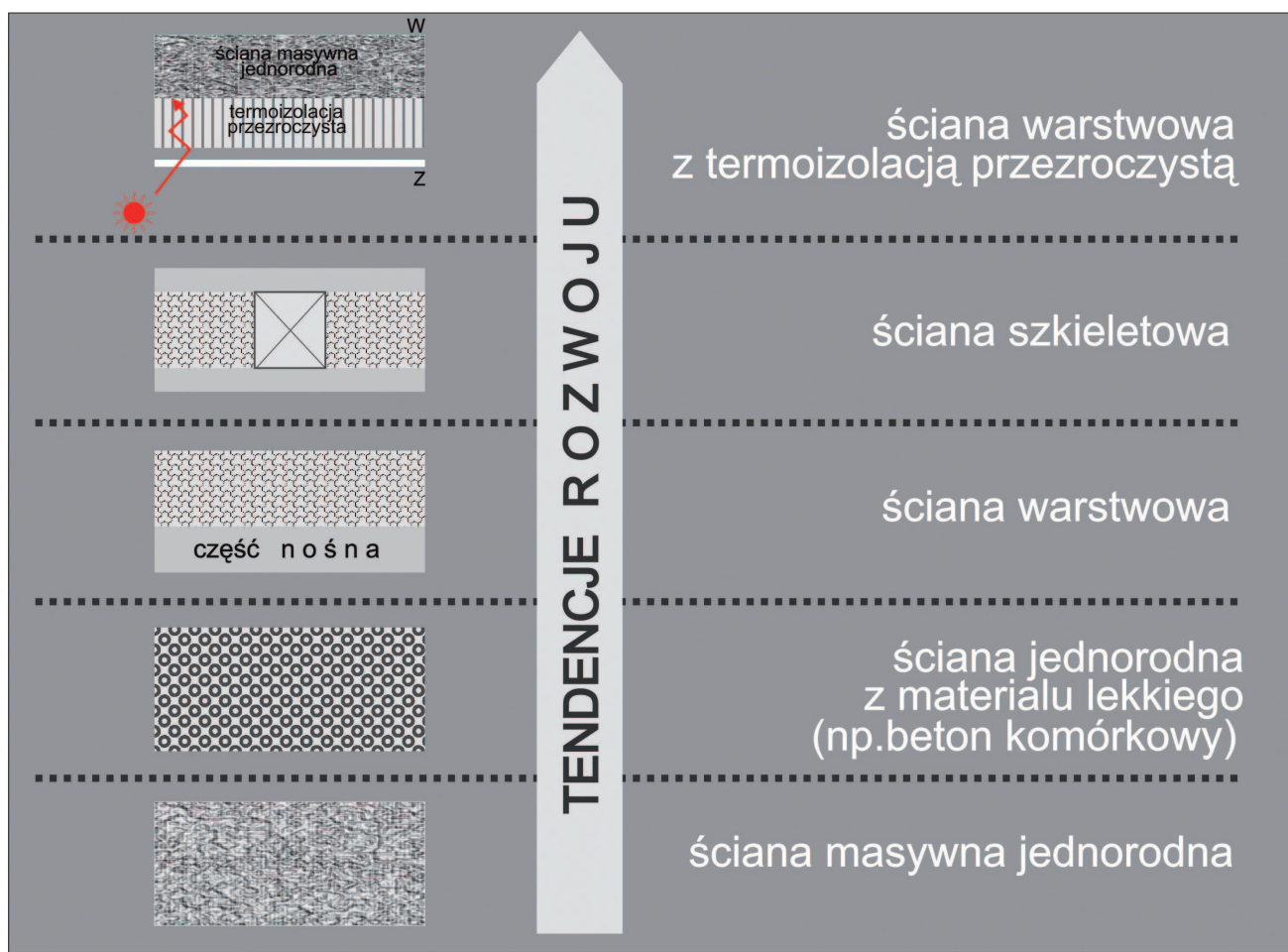


12. Technika | pozyskiwanie energii | turbiny wiatrowe. Projekt studialny domu jednorodzinne z turbinami wiatrowymi wyk. na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010, źródło : Archiwum Instytutu A-4 WA PK

12. Technology | Energy gains | Wind turbines. Research design of a single-family house with wind turbines made at Cracow University of Technology, Faculty of Architecture, Krakow 2010, source: Archive of the A-4 Institute,CUT, Faculty of Architecture

z pozaenergetycznych względów. W powiązaniu z obiektami architektonicznymi stosowane bywają na razie jeszcze dość sporadycznie ze względu na niezadowalającą jeszcze efektywność energetyczną, wysokie koszty, a nawet zastrzeżenia natury estetycznej. Ich stosowanie ograniczone jest również lokalizacją wymagającą korzystnej prędkości wiatrów. Nowością są próby umieszczenia turbin wiatrowych

na budynkach wysokościowych, jak propozycja ich wykorzystania w projekcie Phare Tower w dzielnicy La Defence w Paryżu z roku 2006 (arch. Morphosis). Nowoczesne wiatraki wyeksponowane na szczycie obiektu kształtują jego unikalną formę, nadając mu indywidualny charakter. Coraz doskonalsze konstrukcje turbin o osi pionowej które szczególnie predestynowane są do zastosowania w architekturze



13. Technika | ochrona przed stratami energii | struktura ścian. Przeobrażenia strukturalne ścian zewnętrznych; wg rys.1.5.3. [w:] W. Celadyn *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004

13. Technology | Reduction of energy losses | Structure of walls. Structural transformation of external walls, diagram by W.Celadyn, based on Fig.1.5.3 [in:] *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004

wydają się otwierać nowe, niezwykle interesujące możliwości w zakresie kształtowania miejskiego krajobrazu (il.12).

Technika - ochrona przed stratami energii

Rozwiązania przestrzenne budynków oraz ich techniczne wyposażenie służące pozyskiwaniu energii stanowi niejednokrotnie element strategii ochrony termicznej budynku, czyli redukcji strat ciepłych. Zazwyczaj jednak funkcje te są rozdzielne. Metody projektowania budynków, zarówno wielko kubaturowych, jak i o skali mniejszej, racjonalne z punktu widzenia późniejszej eksploatacji i ograniczania strat ciepłych rozpoczynają się od odpowiedniego kształtowania rzutów oraz brył budynków. Podstawowym wymogiem w tym zakresie jest możliwie maksymalna zwartość brył projektowanego obiektu.

Kolejnym elementem programu optymalizacji energetycznej w projektowaniu jest wybór odpo-

wiedniej struktury ścian zewnętrznych zapewniający ich wysoką termoizolacyjność i akumulację ciepła, a w przypadku ścian przeszklonych także instalacji na nich osłon termicznych. Ewolucję, jaka dokonała się w strukturze przegród zewnętrznych w związku z badaniami nad metodami ograniczania strat energetycznych w budynkach ilustruje załączony diagram (il. 13). Z diagramu wynika, że tendencja dotycząca konstrukcji ścian zewnętrznych idzie w stronę ich rozbudowy i wielowarstwowej kompozycji materiałów budowlanych o ściśle określonych właściwościach fizycznych. Niejednokrotnie pojedyncze, zewnętrzne przegrody przeszklone przekształcane zostają w struktury złożone, służące podniesieniu efektywności termicznej. Struktury złożone, podwójne, mają umiejscowiony na zewnątrz przeszklonej przegrody specjalny bufor termoizolacyjny, który funkcjonować może zarówno jako bufor wspólny dla całej fasady, jak też indywidualny dla każdej kondygnacji z osobna. Od końca lat dzie-

więćdziesiątych XX w. rozwiązanie to zalecane jest szczególnie dla budynków wysokościowych.

Istotna dla bilansu energetycznego budynku stabilność termiczna wewnątrz bywa zapewniana przez stosowanie masywnych przegród. W przypadku z natury lekkich ścian przeszklonych proponuje się zintegrowane z nimi elementy zawierające materiały zmienne fazowo. Pozwalają one na zapewnienie tym przegrodom pewnej zdolności akumulacyjnej.

Technika - ochrona przed nadmiarem energii

We współczesnym budownictwie obiektów przeszklonych jednym z największych problemów jest obecnie kwestia przegrzewania wewnątrz w okresie letnim. Rozwiązania techniczne wprowadzane w związku z tym powszechnie w projektach architektonicznych mają na celu spełnianie postulatu ochrony obiektów przed nadmiarem energii. Zabezpieczenie przeszkleń elewacji przed nadmiarem promieniowania słonecznego zapewniają montowane przed nimi osłony przeciwsłoneczne o zróżnicowanym asortymencie. Wymienić tu należy pionowe i poziome żaluzje, rolety, ale również i wspomniane wcześniej systemy kolektorowo-reflektorowe, które oprócz roli urządzeń regulujących oświetlenie naturalne pomieszczeń stanowią jednocześnie osłony przeciwsłoneczne. Systemy stosowane w przestrzeni dachów i przegród poziomych to niejednokrotnie współdziałające ze sobą układy osłon przeciwsłonecznych z nadrukiem oraz wewnętrznych, regulowanych osłon termicznych.

Technika – energia fal dźwiękowych (akustyka)

Niewystarczająco docenianym czynnikiem energetycznym w standardowych obiektach architektonicznych są fale dźwiękowe. Akustyka w budynkach jest rozważana najczęściej w odniesieniu do obiektów o specyficznych funkcjach. Współczesna wiedza umożliwia stosowanie środków technicznych pozwalających na rozwiązywanie problemów akustycznych dotyczących niepożądanego sposobu rozprzestrzeniania się energii fal dźwiękowych. Jednak przedmiotem zainteresowania projektantów są zazwyczaj wnętrza obiektów, gdy tymczasem niezwykle istotne problemy akustyczne występują również w otoczeniu budynków. Na poprawę warunków

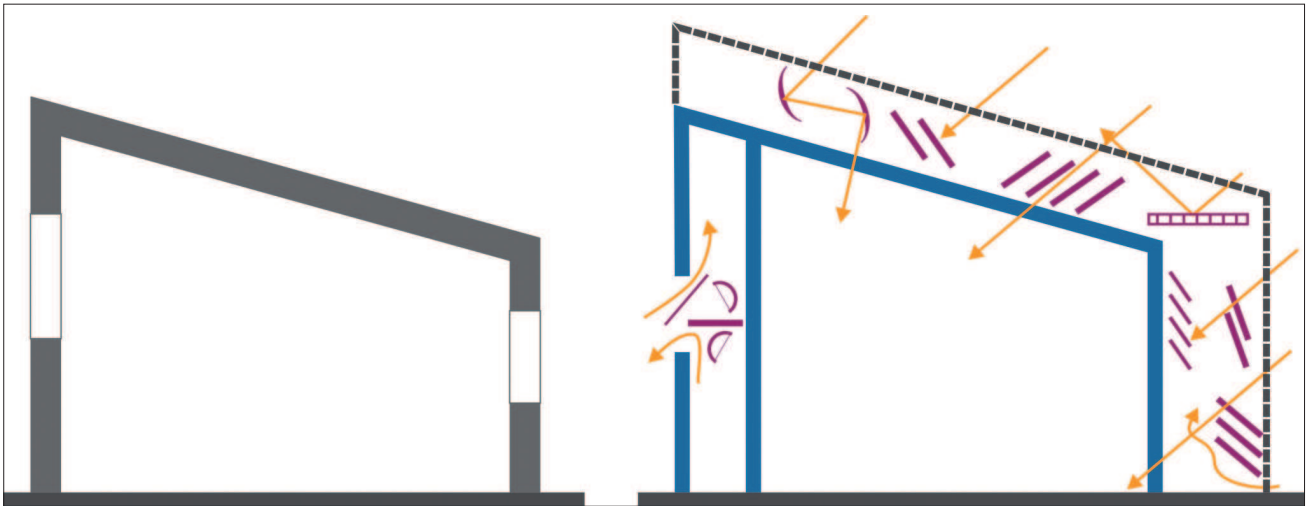
akustycznych w ich najbliższym sąsiedztwie może wpływać odpowiednie kształtowanie bryły uwarunkowane kierunkiem propagacji fal dźwiękowych od ich źródeł. Wklęsłe lub wypukłe ściany zewnętrzne, ich nachylenie ujemne lub dodatnie, stosowne materiały wykończeniowe elewacji, ich faktura, oraz ekrany i inne urządzenia akustyczne zintegrowane z elewacją – to środki techniczne pozostające do dyspozycji projektantów w celu regulacji problemów akustycznych. Środki te w istotny sposób mogą wpływać na charakter architektury obiektów.

Technika - instalacje techniczne związane z energią

Wśród innych instalacji technicznych mających istotne znaczenie w tworzeniu koncepcji energetycznej budynku znajdują się tzw. kominy słoneczne, które stanowią część systemu wentylacji obiektów najczęściej umożliwiają w lecie odprowadzenie na zewnątrz nadmiaru nagrzanego powietrza. Rozwiązania takie bywają zazwyczaj wyeksponowane zewnętrznie, nadając obiektom specyficzne cechy architektoniczne. Standardowe instalacje grzewcze, pompy ciepła, gruntowe wymienniki ciepła, itd., które stanowią niezbędne elementy wyposażenia systemu energetycznego budynku i integralną jego część, są z reguły umieszczane wewnątrz budynków i tym samym nie wpływają zasadniczo na rozwiązania przestrzenne architektury i jej jakość.

Przegrody zewnętrzne z pojedynczych przekształcają się w rozbudowane struktury przestrzenne złożone z systemów współdziałających w optymalizacji i regulacji przepływu energii pod różnymi postaciami (il.14). Specjalne urządzenia tłumiące, zintegrowane z przeszklonymi ścianami zewnętrznymi ograniczają intensywność przenikania do budynków fal dźwiękowych, poprawiając ich warunki akustyczne. Jednocześnie jednak należy przypuszczać, że rozwój systemów przegród zewnętrznych może pójść w zupełnie przeciwnym kierunku, co sygnalizowano już w tzw. idei obudowy dynamicznej budynku³. Efektem zmian w tym zakresie byłyby ściany zewnętrzne nie przestrzenne, lecz płaskie, wielofunkcyjne o cechach fizycznych – technicznych sterowanych zgodnie z oczekiwanymi parametrami. Przy takim scenariuszu rozwoju techniki budowlanej stylizacja minimalistyczna

³ Idea Mike'a Davisa z 1981 r. Na ten temat zob. np.: A. Compagno, *Intelligente Glasfassaden*, Basel 1995, s.8.



14. Technika | instalacje techniczne związane z energią | struktura ścian. Przekształcenie tradycyjnych przegród zewnętrznych w rozbudowane struktury przestrzenne wg rys.1 [w:] W. Celadyn, *Architektura budynków inteligentnych i jej aspekty przestrzenno-techniczne*, Materiały konferencyjne, 2nd International Congress on Intelligent Building Systems „InBus 2002”, Kraków

14. Technology | Energy-related services | Structure of walls

Transformation of traditional external walls into spatial structures, diagram by W.Celadyn,

Based on Fig.1 [in:] W. Celadyn, *Architektura budynków inteligentnych i jej aspekty przestrzenno-techniczne*, Proceedings of the 2nd International Congress on Intelligent Building Systems „InBus 2002”, Kraków

w architekturze nie musiałaby się wiązać z problemami energetycznymi występującymi obecnie.

Projektowanie zintegrowane jako wynik wzrastającej roli problemów energii w architekturze

Problemy dotyczące zagadnienia energii w architekturze powinny być rozpatrywane nie tylko w rozważanej sferze symbolicznej i przestrzenno-technicznej. W coraz większym stopniu wpływają one również na metody pracy zawodowej projektantów. Rozwiązywanie problemów energetycznych stało się dziś głównym kierunkiem działań w architekturze oraz budownictwie. Imperatyw energetyczny odpowiednio eksponowany i analizowany w procesie projektowym coraz mocniej modyfikuje charakter pracy architekta, stając się równocześnie impulsem do wprowadzania zasad architektury i budownictwa zrównoważonego. Istotą architektury zrównoważonej pod względem środowiskowym, a tym samym energetycznym, jest projektowanie zintegrowane obejmujące cały okres użytkowania planowanego obiektu, co wymaga aktywnego współuczestnictwa specjalistów z wielu pokrewnych branż.

Projektowanie zintegrowane obejmuje różne aspekty procesu projektowego, od funkcjonalno-konstrukcyjnych i ich trwałość, poprzez środowiskowe, ekonomiczne do socjo-kulturowych. Proponowane w jego ramach rozwiązania projektowe powin-

ny respektować kolejne fazy użytkowania obiektów począwszy od pozyskiwania i produkcji materiałów budowlanych lub ich elementów poprzez realizację, użytkowanie i konserwację, a kończąc na procesie rozbiórki, recyklingu i utylizacji jako odpadów. Taki sposób projektowania wymaga ponadto rozważenia różnych poziomów optymalizacji w odniesieniu do zastosowanych materiałów, elementów oraz całych struktur budynków, czego konsekwencją byłoby doskonalenie oceny najważniejszych faz całego cyklu realizacji. Analiza wszystkich tych czynników wpływających na jakość projektu powoduje wyraźną ewolucję procesu projektowego. Istotnymi uczestnikami procesu projektowego współpracującymi z architektami, oprócz dotychczasowych, w coraz większym stopniu stają się specjaliści z dziedziny inżynierii klimatu, eksperci tzw. budownictwa „zielonego” doradzający w zakresie certyfikacji energetycznej w funkcjonujących już dziś systemach oceny energetycznej i ekologicznej, takich jak LEED, BREEAM czy DGNB.

Jak wynika z powyższych rozważań, pojęcie energii w architekturze nabrało nowych znaczeń związanych już nie tylko z parametrami przestrzennymi, technicznymi i estetycznymi obiektów, ale również z charakterem pracy uczestników procesu projektowego.

Wacław Celadyn, prof. dr hab. inż. arch.
Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej
Instytut Projektowania Budowlanego
Katedra Budownictwa Ogólnego i Materiałów Budowlanych