

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

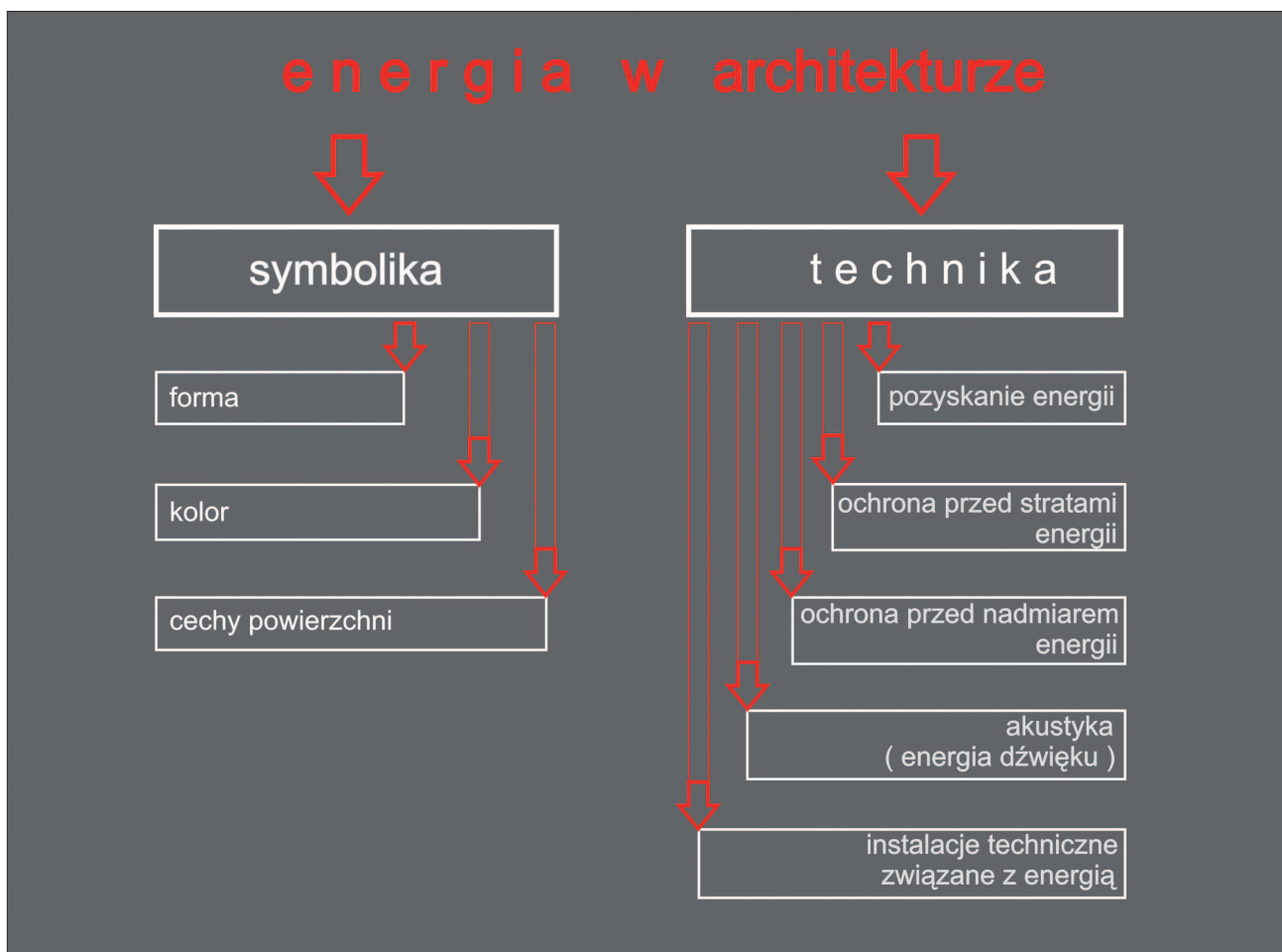
treatment of surfaces. Technical issues related to energy in architecture cover such problems as building forms and envelopes as well as services enhanced with new technologies. All these elements are designed to gain energy from renewable sources, to reduce heat losses and to protect buildings from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

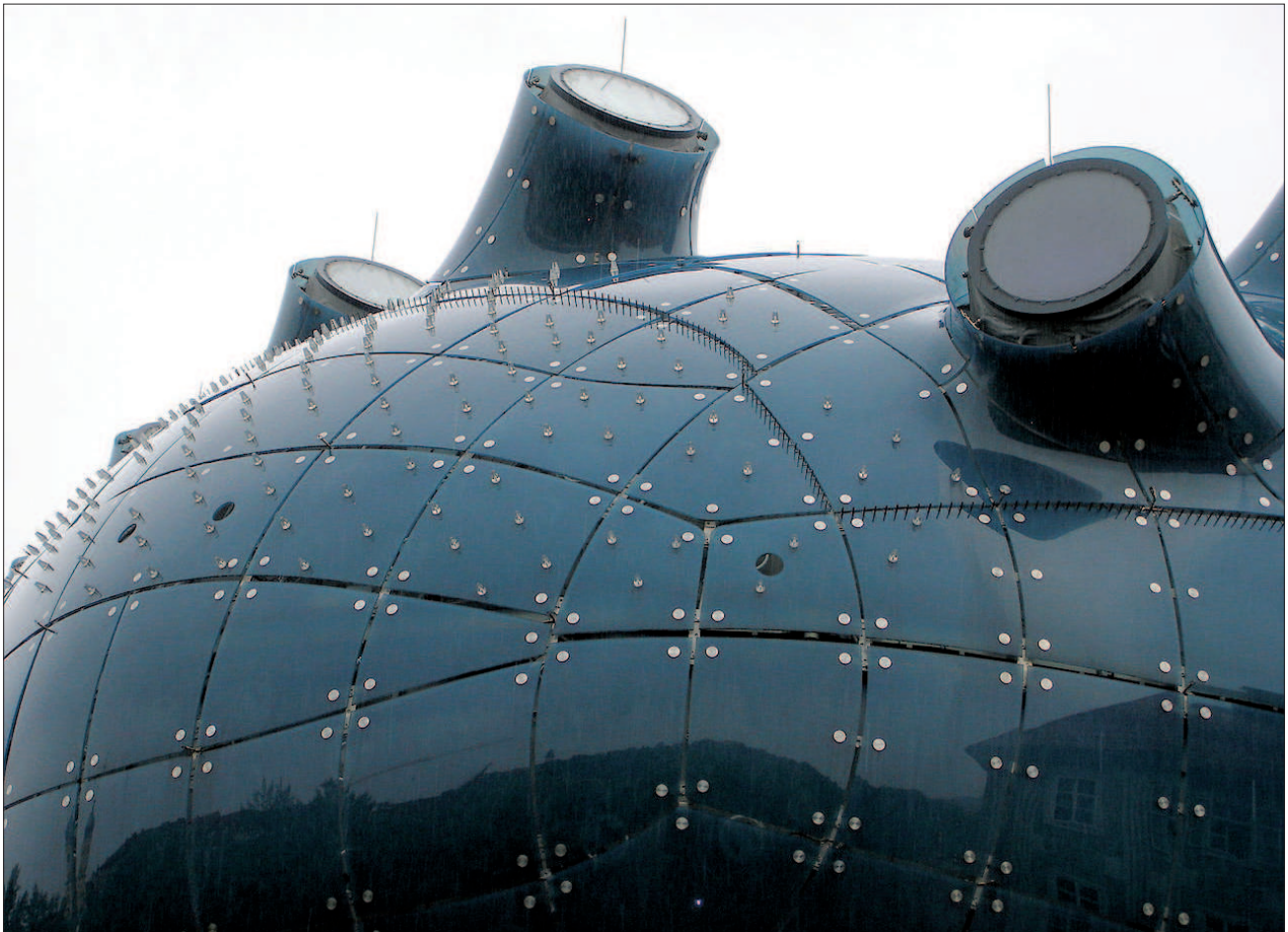
więcej konotacji niż tylko kojarzone z nią obecnie najczęściej zagadnienia związane z oszczędnością energii oraz z funkcjonowaniem obiektów w sposób zapewniający należyty komfort ich użytkownikom. Energia w szerszym ujęciu teoretycznym może być rozważana, a również i percypowana w przestrzeni także w 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 symbol-
 icznego 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 wła-
 ściwościom 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.

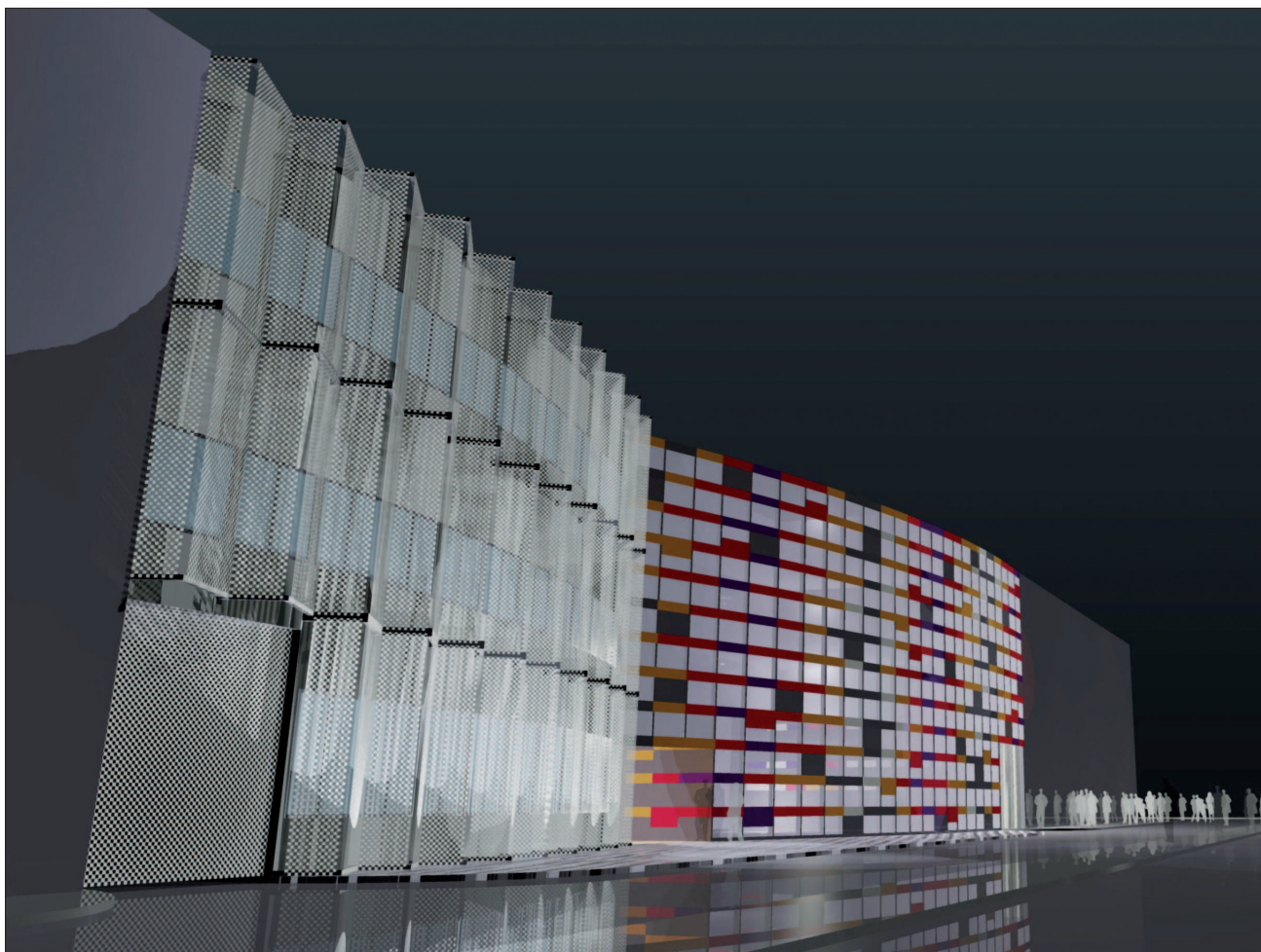
Symbolika – cechy powierzchni

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,

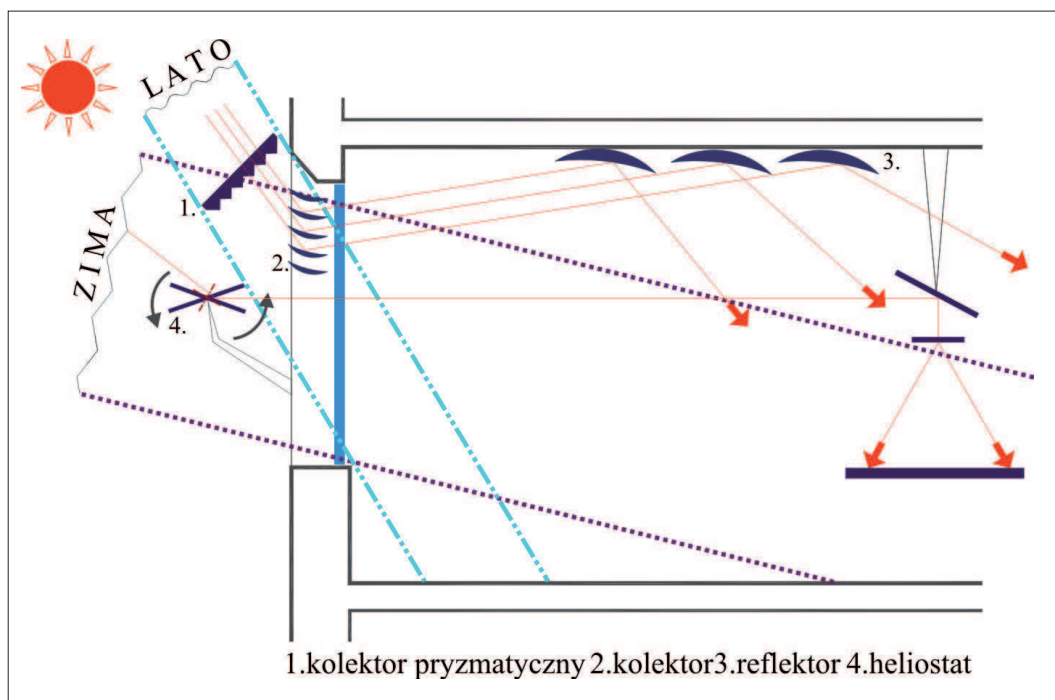
dopełniając bryłę obiektu, służą pozyskiwaniu energii bądź ochronie energetycznej redukującej straty ciepłone i coraz częściej stanowią standardowe rozwiązania projektowe.

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 odzworowanie 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

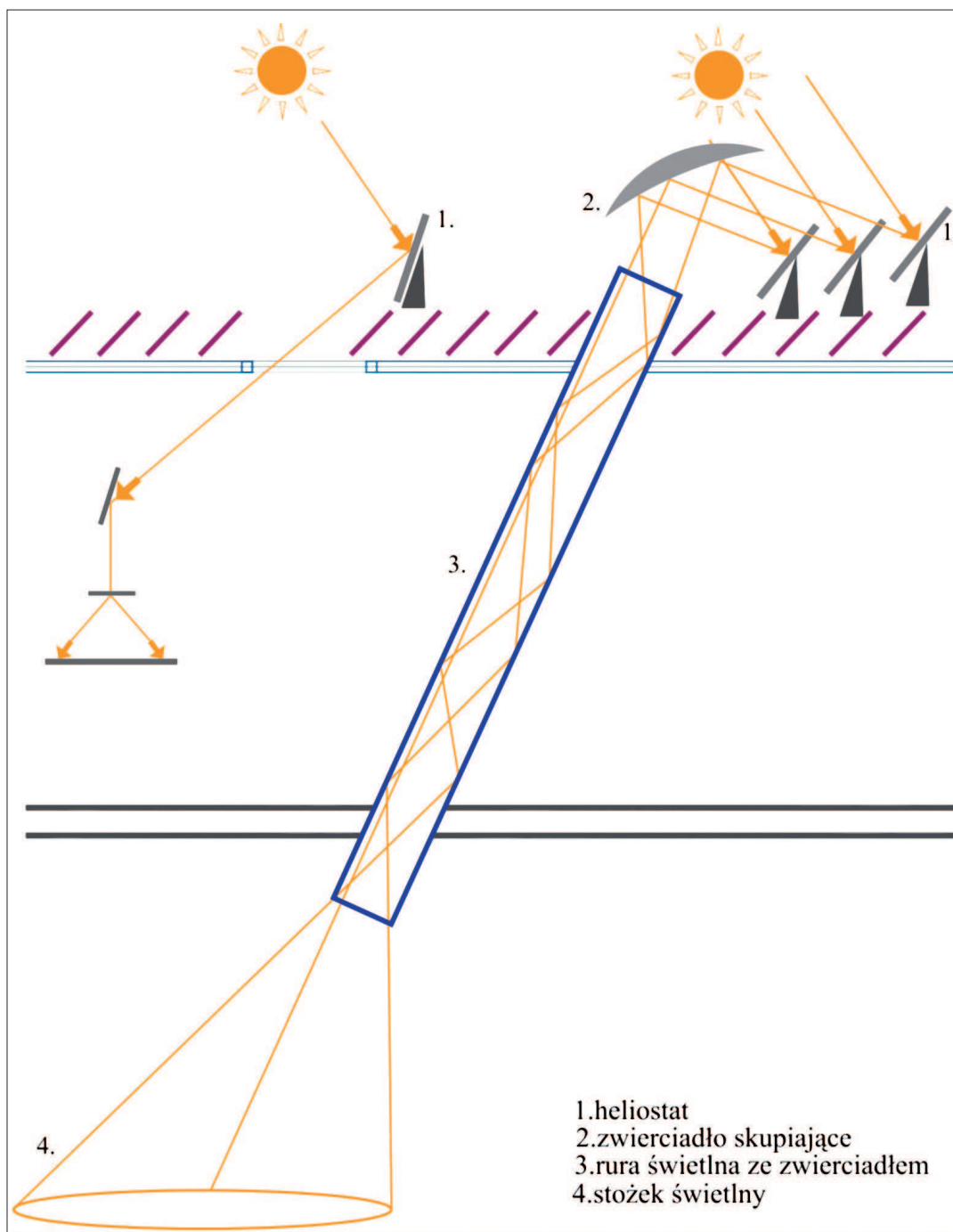
przeszklonych polega w zasadniczym stopniu na zachowaniu ich odpowiedniej konfiguracji przestrzennej. Dla elewacji południowych najkorzystniejsze ich położenie zapewnia kąt nachylenia względem płaszczyzny poziomej w granicach 55 do 67 stopni. Równocześnie najlepsze warunki oświetlenia wewnątrz budynku 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 zwiększanie 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.

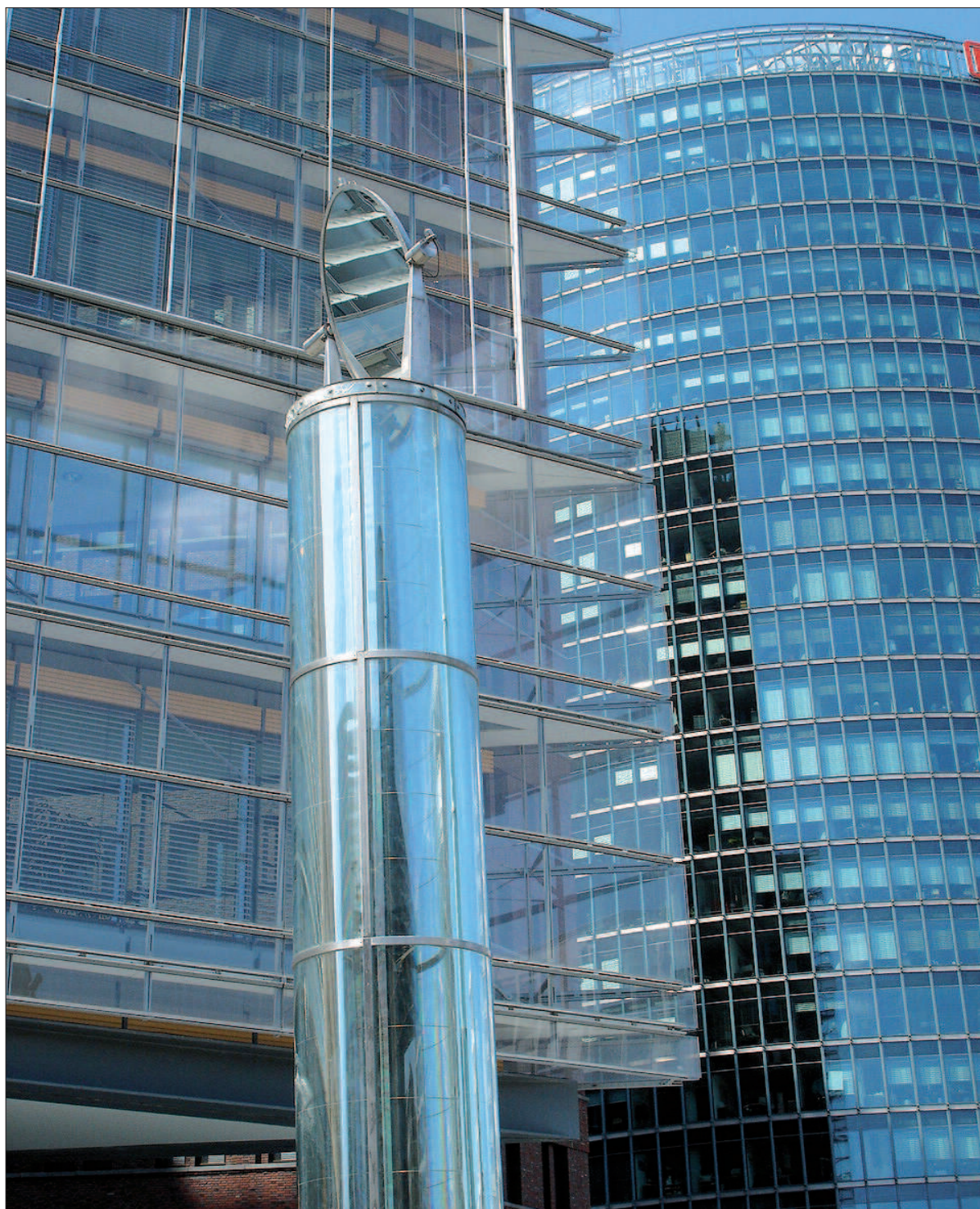


9. Technika | pozyskiwanie energii | system oświetlenia. Pozioma przegroda przeszklona z kilkoma niekonwencjonalnymi systemami doprowadzenia światła dziennego do wybranych miejsc pracy w pomieszczeniu. Rys. W. Celadyn wg rys.2.3.76 [w:] Ch. Schittig, G. Staib, D. Balkon, M. Schuler, W. Sobek, *Glass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



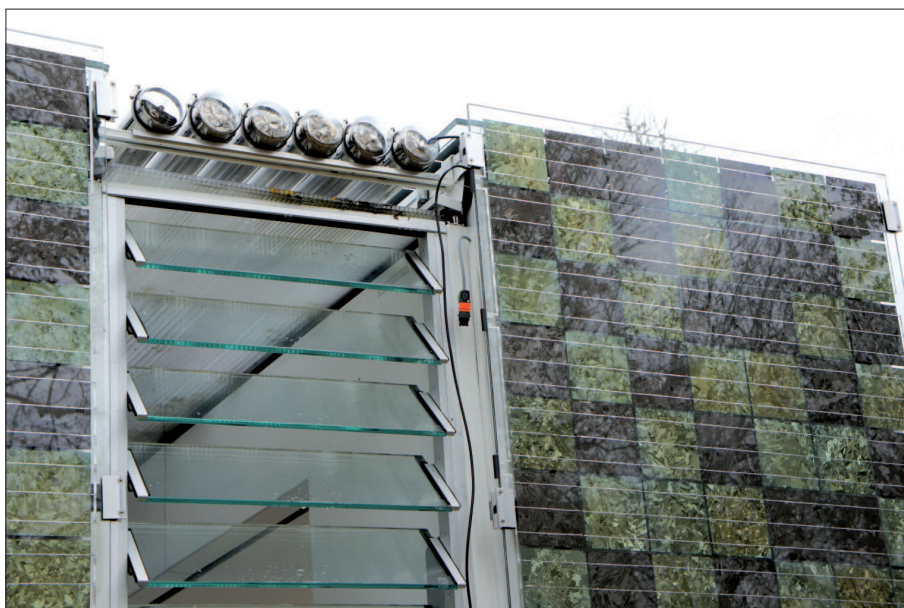
10. Technika | pozyskiwanie energii | system oświetlenia . Kolektor światła dziennego nad stacją podziemną metro, Berlin. Fot. W. Celadyn

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

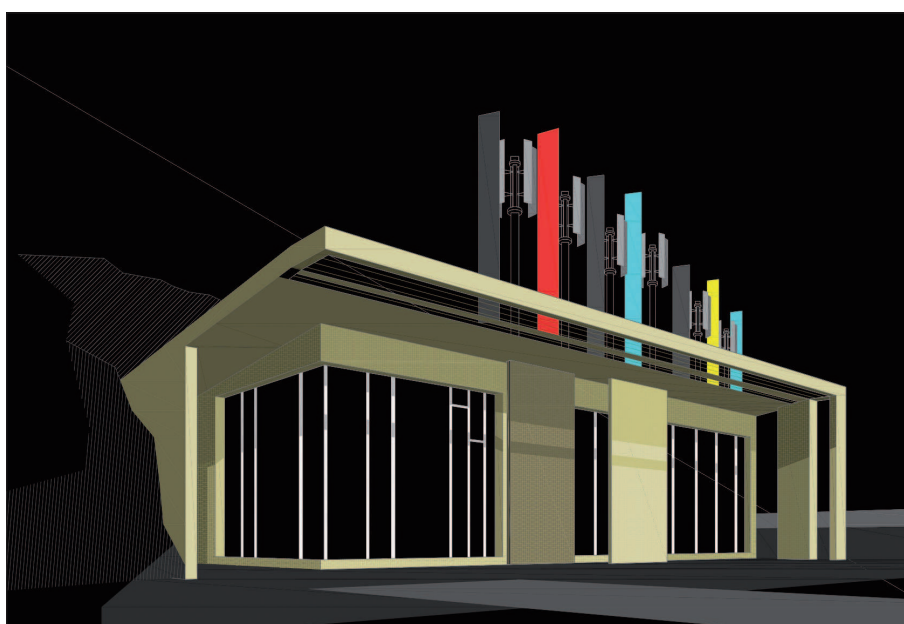
względu na możliwość ich łatwego montażu, a także w przypadku budynków istniejących wymagających termomodernizacji.

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 Stuttgarciu, 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

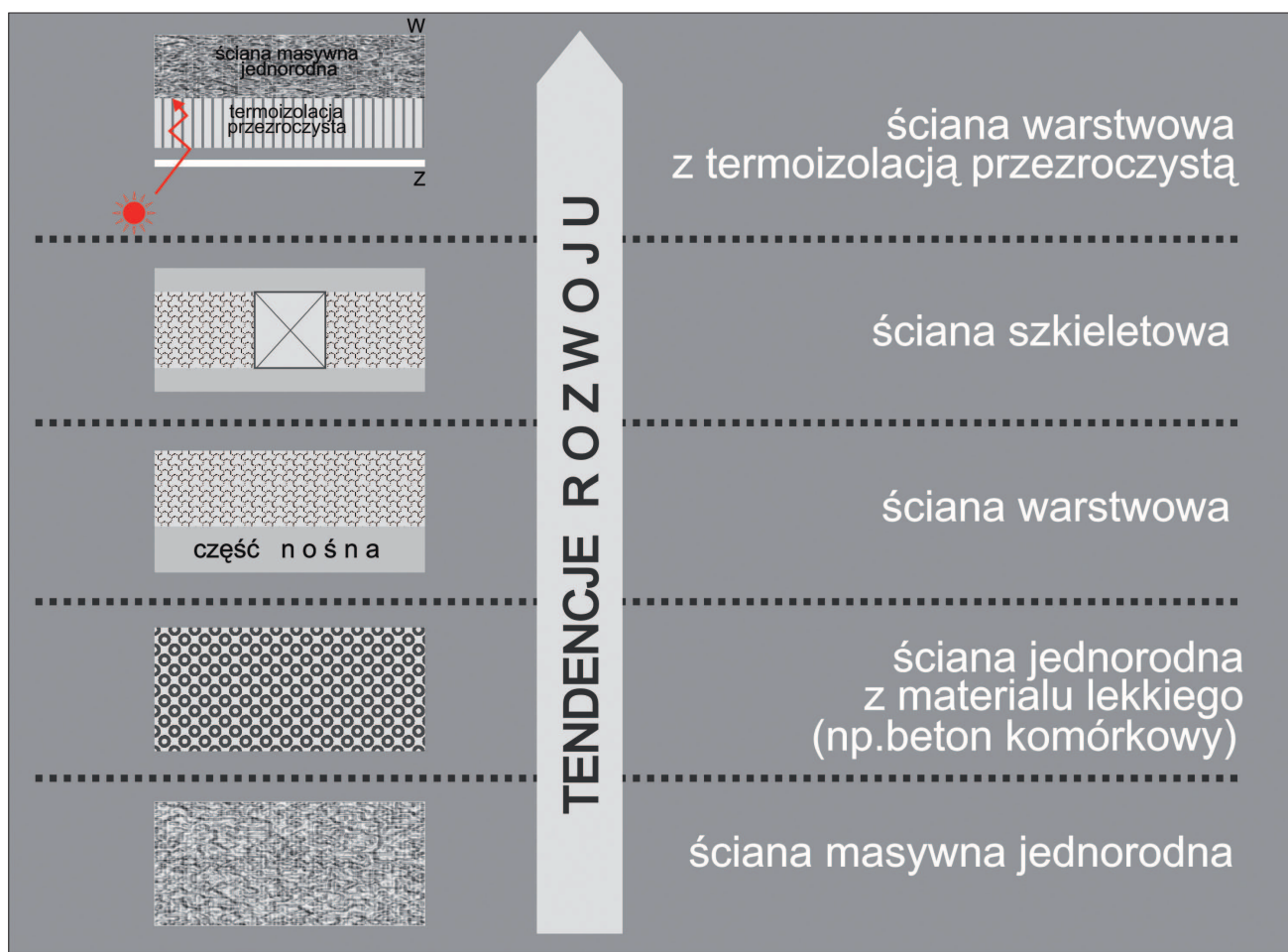


12. Technika | pozyskiwanie energii | turbiny wiatrowe. Projekt studialny domu jednorodzinne z turbinami wiatrowymi wyk. na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010, źródło : Archiwum Instytutu A-4 WA PK

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

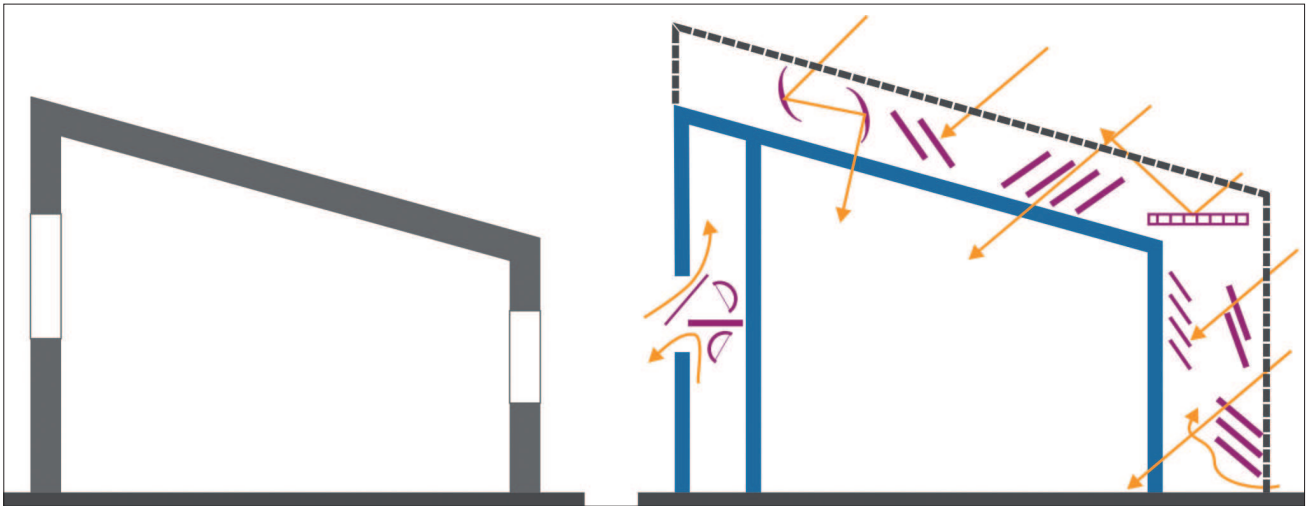
akustycznych w ich najbliższym sąsiedztwie może wpływać odpowiednie kształtowanie bryły uwarunkowane kierunkiem propagacji fal dźwiękowych od ich źródeł. Wklęsłe lub wypukłe ściany zewnętrzne, ich nachylenie ujemne lub dodatnie, stosowne materiały wykończeniowe elewacji, ich faktura, oraz ekrany i inne 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

ENERGY IN ARCHITECTURE

WACŁAW CELADYN

Problems of relations between energy issues and frequently discussed over the last decades. They are getting more and more attention in the contemporary design practice. As a result of consideration of energy aspects in buildings significant modifications in spatial and technical solutions as well as in legal and organizational design processes occur. This affects also methods of construction.

All these problems are nowadays widely debated and commented on in professional and scientific publications. The idea of energy in architecture has, however, many other connotations than the ones associated most frequently nowadays with the saving of energy as well as with the effective functioning that offers an adequate comfort to the users of buildings. Energy in buildings seen from broader theoretical perspective can also be considered and perceived in its symbolic aspect. Our imagination more often than not induces us to see in historic, and much more in many contemporary buildings, certain features that could be attributed to energy-related effects (Fig.1).

Among abstract ideas used by architecture, energy appears to be apparently the most interesting. It is not only due to its considerable potential in this regard but it also results from the importance of energy problems for space shaping processes. Therefore it seems appropriate to begin discussing this topic with the symbolic meaning of the term “energy” in architecture.

Symbolism

Comprehension of energy in its symbolic aspect, as a certain abstract idea immanently bound up with an architectural creation, can be related to many features of Psychological feelings appearing during the perception of some buildings happen to be consciously or unconsciously associated with their symbolic emanation of energy. This impression may indicate supposed topical “action” of energy or the effect of such an action in the past. In the latter case we may consider it a “post-energy-state“ of the building. The above -mentioned convictions naturally depend on subjective assessment of architectural

work. Symbolic intended or unintended energy features conceived by architects perceivable in designed buildings emerge in the form of buildings, selection of colours as well as in characteristic treatment of used materials.

Symbolism – the form

Energy is bound up with forms of buildings in a natural way. The physical existence of any form is not possible without “using” of energy in the process of its creation as a fragment of space. The use of the idea of energy as a formative factor in architecture leads to the creation of buildings or their fragments in a specific way. Its result is the domination of the effect of emanation of energy or the “petrification” of the post-energy-state of structure. The adoption of the first effect makes the building form to display symbolic cumulation of energy inside it and its potential emanation towards the outdoor space. In the most spectacular and technically advanced examples of buildings even a suggestion of resulting explosion can be perceived.

A good example of such formal solution is the BMW exhibition pavilion presented at the International Automobile Fair in Frankfurt on the Main in 1999 (ABB Architekten). Another similar exemplary building is the Kunsthau in Graz situated in the dense urban location (arch. P.Cook and C.Fournier) (Fig.2). In both cases their “bubble architecture” stylistics present pseudopneumatic forms marked with conspicuous energy potential which is associated with a tight and close-to-crack building envelope. If the second method is applied energy potential can be seen in buildings being in the state of unstable equilibrium. A representative example of this creative idea is the APL Tower in the port of Lisbon (arch. G.B. Architectos) (Fig.3).

Yet another method allowing to highlight symbolically effects of energy in buildings as an intentional concept for formal solution uses psychologically sensed dynamism of forms. This type of creative expression is undoubtedly most frequently recognizable even by laypersons in the art of architecture. Energy associations are

then even more obvious than in the case of static buildings displaying perceptible potential energy. Dynamic structures apparently seem to be petrified in their final pseudokinetic stage following supposed sudden stopping of previously moving fragments or their expansion into surroundings. Among the most spectacular examples illustrating this method of symbolic manifestation of energy in architecture should be mentioned the Mercedes-Benz Museum in Stuttgart (arch. UN Studio) (Fig.4) and particularly the Hotel Marques de Riscal in Elciego, Spain, built in the years 2003-2006 (arch. F.O.Gehry).

The exhibition of physical effects of symbolic impact of energy on architectural matter is yet another result of creative experiments concerning the discussed problem. These efforts are concentrated substantially on stylistic issues. The post-energetical state of buildings is present in the architecture of Deconstructivism as a result of supposed interference of energy. Its stylistic features are characteristic deformations and fragmentation of forms of buildings. These effects are attainable due to appropriate methods of designing forms, properties of used structures, technologies and materials. The deformations of buildings designed in the above-mentioned style involving energy features are often achieved perfectly by the application of components made of steel. Suffice it to say that perforated metal sheets, cladding or meshes have become quite popular easily formable building materials in the recent years. The perforated steel sheet has been used for the Copper Union building in New York (arch. Morphosis) as a façade finish and its second skin. It was a very realistic and convincing example of the idea of symbolic deconstructive formation of a building structure by “concealed” energy. Dominate in such cases light structures, however, heavy technologies also happen to appear.

The post-energetical state as a stylistic feature of architectural works can unexpectedly enough be referred to the compositional principle of asymmetry. It regards in particular the symmetrically composed forms or facades with asymmetrically located elements which distort symmetry – principle of composition having as a rule static character. Such deformation of symmetrical composition apparently suggests interference of power (energy) as a co-creative factor. Thus asymmetry as one of

the compositional rules may be considered the effect of previous participation of energy in spatial creation. This reasoning could be underpinned by some scientific findings and theories that make it less subjective. In the light of the cosmologic big-bang theory the effect of then released energy caused the so called symmetry breaking. Asymmetry seems to be, therefore, in physics a rather natural energy-related state that induces transformation of symmetrical systems into the asymmetrical ones¹. The problem of energy in architecture with its symbolic aspects could be then related per analogiam to natural physical phenomena in cosmic scale.

Symbolism – the colour

Symbolism of colours applied to buildings is a means of composition traditionally and readily used by architects. Intentional application of colours as a synonym of energy in art works has been even legitimized in industrial codification where definite colours symbolize anger, high temperature or motion that is conditions pertaining to energy. High degree of brightness and relevant colour are popularly enough, symbolically and psychologically associated with vigour, even with the high temperature of facades. Elements of architectural or plane artistic compositions painted with so called “warm colours” are gladly used by architects and then reveal symbolic connotations with energy (Fig.5).

Complicated colored compositions introduced by architects to buildings allow to obtain the effect of optic vibration on surfaces of facades thus suggesting the involvement of some kind of energy as an acting creative force. Consistent application of untypical colored panels of glass brought about a spectacular result of energy-induced quivering of the façade in the case of the Dutch Institute of Sound and Vision at Hilversum (arch. Neutelings-Riedijk, 2006). Colour as a means of artistic compositions reveals then in this discussion a significant potential.

Symbolism – the surface quality

Illusive effect of vibration is usually achieved not only due to appropriate colored compositions but also through proper treatment of surfaces of facades. One of the methods offering such poten-

¹ P. Davis, *Kosmiczna wygrana* (Cosmic jackpot), Warszawa 2008, s.177.

tial effects is the application of many small flat or three-dimensional elements and relevant fine division of elevations. This can be realized in many ways, for instance in the form of repeatable glass panels and plastic or metal elements arranged in different planes. Their diversified finishes enliven usually coherent and static forms of buildings. Resulting deformations and appearing additional reflexes give them characteristic dynamism and lightness. An example of the implementation of this kind of treatment is the Municipal Library at Nembro in Italy (arch. studio arche, 2007). Glass façade has been closed within another outer perforated envelope made of mobile, glazed ceramic tiles mounted to a steel grid. The outer skin is designed to play simultaneously the role of shading device. Due to the diversified mutual configuration of its tiles it gives the impression of vibrant envelope stimulated by energy. Energy as a creative factor may also assume the form of a special treatment of building surfaces transforming their symmetry into so called asymmetry in symmetry. This method has been used as the main compositional idea in the architectural concept design for the Faculty of Radio and Television, Silesian University at Katowice (arch. W. i M. Celadyn - 2011). Intentional completely different colour and surface treatment of both symmetrically arranged fragments of the main façade was intended to highlight the compound function of the building. Contrasting rhythm, fenestration and set of selected colours but above all the diversified surface treatment of both symmetric parts of elevation were supposed to be the elements emphasizing their mutual opposition and to create a sort of energy-related tension between them (Fig.6).

Presently designed and erected buildings with pseudomobile facades located in public spaces play the role of Transparent or semi-transparent facades with applied stainless steel media-meshes or LED-panels turn them into giant screens that deliver visual information to passers-by. These elements integrated with the building structures give them characteristic look, for some being very controversial from the aesthetic point of view. They transform itself in the medium of communication carrying information and publicity. Technical solutions of such media facades do not hamper the functional values of buildings as they allow close-to-clear view of the outdoor space through the installation. Graphic designs or video projections presented on elevations create a new type of contemporary pseudomobile facades. Pioneering

example of this kind has been the media-mesh elevation of the T-Mobile building in Bonn (Fig.7).

A very spectacular culture and television building complex CCTV in Beijing (arch. OMA/Rem Koolhaas, 2008) is another even more complete architectural work that falls into this category. Complementarity of function and applied technical solutions used as the idea of its skin designed for the presentation of graphic animation is a characteristic feature of the building. Perceptible dynamism of its façade is not only technically animated by electrical energy systems but also seems to be inseparably associated with energy in the symbolic sense.

Technology

Technology in architecture and construction – it is a term with numerous connotations. As far as energy issues related to it are concerned and for this discussion we can make an assumption that it covers substantially the problems of functional and spatial solutions as well as technical building equipment. Functional and spatial effects are attainable with the use of technologies and materials. Technical aspects of relations between complex problems of energy and architecture pertain substantially to the issues of activities in three directions. These are energy gains, reduction of energy losses from buildings and of excessive energy in indoor spaces. Energy is, moreover, considered in relations to its many diverse forms. In the case of built environment it should be taken into consideration as thermal radiation, daylighting, air movement, acoustic waves and even electromagnetic radiation. Some of these factors have exerted their distinct impact on historic and vernacular architecture. Nowadays they frequently determine our architecture conspicuously. This regards layouts, forms and outer skins of buildings as well their interiors.

Technical aspects of energy in architecture are closely tight both to the process of appropriate formation of buildings at the design stage and to later additions of flat or spatial structures to existing buildings. Technology in energy-conscious designing process is also perceivable in inner and outer installations in buildings. It assures their economic and effective functioning. Devices and structures developed to gain energy from unconventional sources or to reduce the heat loss from buildings are more and more often used as standard architectural solutions. Mostly massive external walls with slightly glazed fragments being energy-passive have been

subject to evolution towards the ones with greater proportion of glass. Finally they have turned to completely glazed outer skins becoming energy-active systems. The greater is the area of glazed parts of external walls the greater their susceptibility to the control of intensity of heat flow as well as daylight and air penetration into inner spaces. This progressing tendency in designing of energy-saving buildings is marked by the use of such technical structures as glasshouses and solar collectors or photovoltaic panels on facades and roofs. Application of transparent insulations on external walls or installation of diverse forms of wind turbines – these are also more and more often used methods of dealing with energy problems in contemporary architecture. Each of the above-mentioned energy-related solutions determines the forms and other components of buildings in a different way.

Technology – the gain of energy

The idea of integration of glasshouses with building structures as a method of gaining thermal energy with the solar passive heating system is being used in many ways. The most representative and complete example is the model house in Knoblachsland near Nuremberg (arch. Niederwoehrmeier & Kief). The maximum of solar radiation accessible in its inner spaces is assured by a glass envelope housing the primary structure of the building. This is the idea of the “house in a house”. Passive methods of solar gain in such complete or partial form taking advantage of the well-known physical phenomena seem to be the most obvious and natural solution in architecture. They are, however, not deprived of problems.

Glasshouses integrated with the south-facing walls of buildings have become recommended elements in the low-energy strategy and an attractive idea for formal creation. Optimal shaping of building forms on account of energy gains in the case of glass walls substantially consists in their appropriate spatial configuration. For south-facing facades their most advantages inclination lies between 55 and 67 degrees. The best dispersed daylighting of inner spaces is attainable with the northern slope of glass roof within the range of 28 to 33 degrees.

Passive solar optic systems make possible the control of daylight in inner spaces through the en-

hancement of its intensity and its optimal even distribution. The installation of these devices is recommended outside in front of glass walls and roofs or within their structure. The second component of the system that is the reflector mounted under ceilings of interiors allows to transfer the light beams inside up to 8 m deep from collectors or heliostats mounted on the exterior glazing² (Fig.8). In practice it gives the opportunity to daylight spaces located in the central area of lower stories of buildings including basements.

The horizontal and vertical surfaces of building glazed envelopes can be supplemented with single or groups of heliostats with supportive devices like focusing mirrors or light pipes. Concentrated light beams filtered and thermally modified due to this technological enhancement reach interior spaces and improve their daylighting conditions (Fig.9). An interesting example of this technology is the underground station in Berlin (fig.10). Solar collectors and photovoltaic panels allow to construct systems that are efficient in heat gains and generation of electricity from solar radiation. The technology used permits their installation on existing buildings. They can be components completely integrated with the building structure, if planned at the design stage, and appear as outstanding shaping elements (Fig.11).

Transparent insulation is sometimes applied on massive external walls. As a translucent leaf of their multilayered structure it transmit solar radiation to a massive part of walls and thus make the system energy-active. Fabricated as compound panels they allow to obtain solar thermal gain which is accumulated within the wall structure and further radiated inside to heat interiors. These systems gain popularity in some countries given their easy installation, especially in the case of existing buildings subject to thermal modernization.

Wind turbines as devices designed to gain energy from unconventional sources for buildings are still controversial for some non-energy-related reasons. This technology is so far sporadically used in architecture given their unsatisfactory performance, high cost and some reservations about aesthetics. Widely known are also some restrictions as to the insufficient wind velocity in many localities. They are important limiting factors. Some novelty in this dilemma are

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

scarce cases of their application on top of skyscrapers. One of them is a concept for Phare Tower in La Defense at Paris (arch. Morphosis - 2006). Modern wind turbines cleverly crowning this building have contributed to the unique formation of its silhouette giving it an individual interesting architectural character.

Perceivable progress in this technology and conception of turbines with vertical axles being particularly suitable for buildings and adherent spaces seem to have opened new interesting perspectives for this method of energy use in architecture (Fig.12).

Technology – the reduction of heat loss

Spatial concepts for buildings and their technical equipment designed to gain energy many times work also as elements of strategy of thermal protection and reduction of heat loss. As a rule, however, these functions are separated. Design methods considered rational for later building operation and heat loss reduction assume working out of optimal layout and form of the conceived building. Its most coherent form is a basic requirement of the shaping process. Other elements of the program of energy optimization are as follows: choice of adequate structure of external walls offering high thermal insulation and storage of energy, installation of thermal shields for glazed walls.

Evolution of structures of external walls that has occurred due to the research on the methods of reduction of heat loss from buildings through last decades presents the diagram in Fig.13. The development of the idea of modern external walls consist in their multilayered structure made of new building materials characterized by satisfactory physical properties and high thermal performance. Single glass walls sometimes occur to be transformed in complex structures for enhancement of thermal performance. The best results in this area can be achieved in the case of double facades where a second outer glass wall is added and thus a thermal buffer interspace is formed between both glass skins. The system can work as one insulating space for the whole façade or a set of individual spaces for every single story. Double facades have been recommended for twenty years especially for high-rise buildings.

Thermal stability as an advantageous physical property of building structures being of great importance for the comfort of interiors is usually achieved

by the use of massive walls. In the case of glass walls, light by the nature, and characterized by the low thermal capacity, new technologies propose phase-change-materials integrated with them to improve their thermal stability.

Technology – protection against the excess of energy

Overheating of internal spaces enclosed by glass walls or roofs in summer is a crucial issue in contemporary glass architecture. Numerous new technologies widely being introduced in architecture are designed to alleviate and solve this problem. The protection of glazed walls and interiors from excessive solar radiation is usually assured by shading device mounted in the area of glazing. They can be fixed or movable. Their assortment is very diversified : overhangs, awnings, horizontal or vertical louvers, perforated sheets, eggcrates, blinds, rolling shades and the like. The above-mentioned passive solar optic systems can also be used as sun shading devices. Similar methods of solar energy controls are being used for glass roofs. In this case they are often even more complicated and form simultaneously external and internal cooperating protective systems.

Technology – the acoustic energy

Acoustic waves and the effect of their penetration through walls is another energy factor of great importance for architecture. It is usually underestimated in standard buildings. Acoustics in buildings is pondered particularly in the case of specific functions of buildings. Contemporary technology allows to solve acoustic problems regarding undesired propagation of sound or noises. Architects are usually interested in acoustics of interiors but these problems concern the close vicinity of buildings may be achieved by appropriate shaping of building forms depending on the direction of propagation of acoustic waves from noise sources. Convex or concave walls, their mutual spatial configuration, positive or negative inclination, optimal integrated with facades – all these are formal and technical means which are accessible for architects to control and solve acoustic problems. It is obvious that they can have a significant impact on architectural works also building's surroundings. Amelioration of acoustic conditions in materials of elevations and their texture, acoustic screens and other devices.

Technology – the energy-related technical installations

Among numerous technical installations which mean a lot for energy concept for buildings so called solar chimneys should also be mentioned. They are part of ventilation systems operating basically in summer when they allow to evacuate the hot air from inside the building. These systems happen to be exposed outside the buildings and give them a specific look. But heat pumps, ground heat exchanger, standard heating installations etc. are technical equipment and energy systems integrated with buildings, and as a rule located inside the buildings do not influence their architectural forms as well as their aesthetic quality. External walls have gradually transformed into complicated spatial structures composed of different systems cooperating in optimization and control of diverse forms of energy flow (Fig.14). Special acoustic dampers integrated with glass walls lower the intensity of noise penetrating into the building and ameliorate the acoustic comfort in interiors. We can assume, however, that the development of external wall systems may proceed in completely opposite direction than so far. Such signal has already been given when the idea of dynamic building skin emerged³. The effect of its implementation would be plane and not three-dimensional walls. They would make multifunctional systems boasting physical and technical parameters self-controlled and subject to users' expectations. Such scenario of the development of future

building technologies would allow to avoid presently existing energy-related problems that hamper the architectural creativity marked by minimalist stylistics.

Integrated design as a result of increasing role of energy problems in architecture

Energy problems in architecture should be considered not only in symbolic, spatial and technical aspects as we did above. They also have an increasing impact on the methods of professional work. The solution of multiple energy problems has become the dominating properly valued and analyzed in the

design process modifies the character of architect's work and gives the impulse to the search for sustainable architecture. Integrated design, which covers the life cycle of buildings, has evolved from the problems of energy in buildings and their impact on environment. It requires active participation of different specialists from many related professions in the process of creation. This method of work involves diverse aspects of projects like functional, constructional, environmental, economical, sociological, cultural as well as durability of structures. The resulting design solutions should respect the successive stages of building's life to begin with the production of materials and building components through its construction than its use and maintenance including finally demolition, recycling and utilization of materials. Integrated design considers also different levels of optimization of applied materials, components or the whole structures of buildings. As a consequence of this reasoning there should come the development of the estimation methods of the most important stages of the construction process. Analysis of the above-mentioned factors that define the project's quality entails the evolution of the design process. Aside from the former professional participants cooperating with architects many more new specialist are being involved in order to obtain a valuable design product. In the first place the climate engineers should be mentioned, next the experts in so called "green building" would advise on the tendency in architectural and constructional activities. Expected parameters of buildings for energy certification in energy- and ecological performance such as LEED, BREEAM or DGNB. From this discussion emerges the idea of energy in architecture in its new meaning that regards not only spatial, aesthetic and technical parameters of buildings but also significantly modified character of work and cooperation of all participants of the design process.

Translation by the Author

*Prof. Waclaw Celadyn, Ph.D., D.Sc., Architect.
Cracow University of Technology
Faculty of Architecture
Institute of Building Design
Chair of Construction and Building Materials*

³ Mike Davis' idea from the year 1981. For further information see for example: A.Compagno, *Intelligente Glasfassaden*, Basel 1995, p. 8.