

EWA DWORZAK-ŻAK*

ŚCIANY ZEWNĘTRZNE NOWEJ GENERACJI – AKTYWNE, INTERAKTYWNE, MEDIALNE

FAÇADES NEW GENERATION – ACTIVES, INTERACTIVES, MEDIALS

Streszczenie

Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się niezwykle szybki rozwój nowych technologii w zakresie przegród zewnętrznych budynków. Z monofunkcyjnej przegrody budowlanej ściany zewnętrzne przeistaczają się w przegrody interaktywne, o wielorakim spektrum zadań. Poszukiwania nowych rozwiązań idą w kierunku tworzenia ścian zewnętrznych:

- 1) reagujących na zmienne warunki otoczenia, w kontrolowany sposób wykorzystujących jego energię, umożliwiających stosowanie kompleksowych systemów regulacji mikroklimatu wewnątrz obiektu,
- 2) umożliwiających zmienność efektów wizualnych elewacji i percepcji architektury (iluzja w odbiorze formy, optyczny kamuflaż przestrzenny),
- 3) wchodzących w dialog z użytkownikami przestrzeni zewnętrznej i wewnętrznej, będących nośnikiem informacji, przekazujących pewne przesłanie.

Zwiastunami tego typu poszukiwań i ekspresji nowych rozwiązań ścian zewnętrznych są projekty oraz realizacje przede wszystkim w dziedzinie architektury użyteczności publicznej.

Słowa kluczowe: architektura, nowe technologie budowlane, ściany zewnętrzne nowej generacji

Abstract

The development of new technologies of external walls and glazed façades offered to architects extensive possibilities, opens new artistic and stylistic perspectives. Recent inventions in domain of glass technology allow to build energy-efficient architecture, transparent glazing buildings or reflecting the sky and surroundings, total comfortable for users. New technologies allows to move away from the right angles and create organic (curved) forms as well buildings with façades new generation – active, interactive, medial and multimedial, "speaking" to people.

Keywords: architecture, new building technology, new generation façades

* Dr inż. arch. Ewa Dworzak-Żak, Instytut Projektowania Architektonicznego, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Obserwując rozwój różnych technologii budowlanych w ostatnich latach, przyglądając się nowatorskim realizacjom, można stwierdzić, że największe zmiany dotyczą projektowania ścian zewnętrznych (zewnętrznej obudowy budynków). Nowe technologie w tym zakresie stwarzają nieznaną dotąd możliwości kształtowania architektury w najbliższej przyszłości. Jednocześnie problematyka dotycząca ścian zewnętrznych staje się coraz bardziej skomplikowana. Z jedno-, dwu-, lub trzywarstwowych przegród przeistaczają się one w złożone, wielofunkcyjne systemy, dostosowane do zmiennych sytuacji, często sterowane za pomocą urządzeń elektronicznych i komputerów.

W nowoczesnym pojęciu ściana zewnętrzna jest przegrodą interaktywną, o wielorakim spektrum zadań. Przede wszystkim powinna być przegrodą reagującą na zmienne warunki otoczenia, w kontrolowany sposób wykorzystującą jego energię, pozwalającą na tworzenie kompleksowych systemów regulacji mikroklimatu wewnątrz obiektu. Poszukuje się też takich rozwiązań, które umożliwią zmiany ekspresji elewacji, a nawet formy budynku, wykorzystując transparentność lub refleksyjność szkła, zjawisko optycznego kamuflażu przestrzennego czy inne prawa iluzji w odbiorze formy. Poszukiwania w zakresie nowoczesnych przegród zewnętrznych zmiernają jeszcze dalej. Powstają elewacje mające zdolność komunikowania się z otoczeniem, będące nośnikiem informacji, ekranem emitującym obrazy i treści, medium głoszącym jakieś przesłanie. Coraz częstsze są próby tworzenia przegród zewnętrznych, tzw. medialnych lub multimedialnych, wchodzących w dialog z użytkownikami obiektu oraz z osobami przebywającymi w otaczającej go przestrzeni.

2. Od tafli szkła do przestrzennej struktury

W przeważającej większości wznoszonych dziś obiektów, zwłaszcza użyteczności publicznej, standardem stały się zewnętrzne przegrody w znacznej części przeszklone. Stawiane im wymagania są złożone i często wzajemnie sprzeczne. Szklana fasada determinuje ilość światła i energii cieplnej docierających do wnętrza lub wydostających się na zewnątrz budynku. Wymagany jest dostęp światła dziennego do odległych od ściany zewnętrznej miejsc (określony przez odpowiednie regulacje prawne), jednocześnie musi być zapewniona ochrona przed nadmiernym nagrzewaniem się pomieszczeń i niepożądanym odbłaskiem¹. Spełnienie tych różnych wymagań umożliwiają przede wszystkim zaawansowane technologie produkcji szkła (np. szkło termotropowe, termochromowe, elektrochromowe, helioaktywne, sitodruk naniesiony na tafle, szkło z warstwami ciekłego kryształu). Ważną rolę odgrywa też zastosowana konstrukcja elewacji. Istotne dla estetyki przeszklonych ścian zewnętrznych, jak też ich przejrzystości było wprowadzenie połączeń silikonowych, przeszklonych ścian strukturalnych oraz mocowania punktowego tafli szkła². Umożliwiło to m.in. osiągnięcie efektu dematerializacji architektury.

¹ Aktywność energetyczna przeszklonych przegród zewnętrznych została szeroko omówiona w: W. Celadyn, *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.

² A. Bojęś, *Aspekty architektoniczne kształtowania budynków użyteczności publicznej z lekkimi ścianami osłonowymi nowej generacji*, Monografia nr 267, Politechnika Krakowska, Kraków 2000.

W wielu obiektach ze szklaną przegrodą zewnętrzną współpracują różnego rodzaju systemy wspomaganie energetycznego, podnoszące jej efektywność cieplną lub akustyczną, regulujące ilość światła dziennego wpadającego do wnętrza (żaluzje, łamacze światła, rolety, markizy). Znajdują się one po stronie zewnętrznej przegrody, wewnątrz przegród lub od strony pomieszczenia. Są nieruchome lub ruchome. Mogą być zainstalowane w bezpośrednim sąsiedztwie przeszklonych przegród, tworząc z nimi zintegrowaną całość, bądź też znajdować się w pewnej od nich odległości. W ten sposób z płaskiej zewnętrznej przegrody tworzy się przestrzenna struktura.

Główną fasadę siedziby Agory SA w Warszawie (proj.: JEMS Architekci: O. Jagiełło, M. Miłobędzki, M. Sadowski, J. Szczepanik-Dzikowski, 2000–2002), skierowaną na południe, rozwiązano tak, aby możliwa była kontrola i ograniczanie dopływu światła słonecznego do miejsc pracy. Na ścianę osłonową, niemal w pełni przeszkloną, nałożono ażurową przesłonę składającą się z pionowych desek z drewna klejonego oraz stalowych, kratownicowych pomostów z balustradami. Ustawione prostopadle do fasady deski chronią wnętrza przed nadmiernym słońcem. Również pomosty działają jako łamacze światła. Rytmiczna, przestrzenna elewacja, pełna światłocieni, nadaje architekturze budynku unikatową estetykę.



Ryc. 1. Siedziba Agory SA, Warszawa, fragment elewacji

Fig. 1. Agora SA office building, Warszawa, fragment of façade

Kryterium kontroli dostępu światła i energii cieplnej oraz dążenie do przystosowania budynku do zmiennych warunków zewnętrznych doprowadziły do powstania elewacji podwójnych, wentylowanych, zwanych inteligentnymi. Taką np. elewację wykonano od strony południowej w biurowcu Fokus w Warszawie (proj. S. Kuryłowicz, 1998–2000)³. Poza funkcją termiczno-akustyczną (ochrona przed hałasem z Trasy Łazienkowskiej), intencją projektantów było stworzenie wizualnej głębi. Podwójna elewacja daje dodatkową możliwość wentylacji pomieszczeń i ogranicza straty ciepła w okresie zimowym. Zewnętrzna osłona o szerokiej na 52 cm przestrzeni wentylowanej wykonana jest z tafli szkła hartowanego o grubości 12 mm, mocowanych punktowo do kratowych stalowych pomostów. Zaopatrzona jest w żaluzje listwowe sterowane napędem elektrycznym, pozwalającym na indywidualną regulację ilości energii słonecznej w pokojach biurowych.

³ S. Kuryłowicz, *Pudło ze szkła*, Architektura murator nr 3/2003.



Ryc. 2. Odbicie hotelu Vancouver w przeszklonej elewacji budynku biurowego, Vancouver, Brytyjska Kolumbia, Kanada

Fig. 2. Glazed curtain wall of the office building reflecting the façade of hotel Vancouver, Vancouver, British Columbia, Canada



Ryc. 3. Filharmonia w Łodzi, fragment elewacji
Fig. 3. Philharmonic Hall in Łódź, fragment of façade

Innowacyjne rozwiązanie przegrody zewnętrznej zastosowano w budynku biurowo-produkcyjnym „Solar Fabrik” we Freiburgu w Niemczech (proj. Rolf+Holz Architekten, 1998). Polega ono na zintegrowaniu pasywnych i aktywnych sposobów wykorzystania energii słonecznej. Do części biurowej dostawiono od strony południowej przeszkloną arkadę, tzw. słoneczną, pozwalającą na efektywne pozyskiwanie energii słonecznej. Funkcjonalnie arkada jest przestrzenią komunikacyjną, ogrodem zimowym, barem kawowym. W wyniku efektu szklarniowego następuje tam zamiana energii słonecznej w ciepło, które jest akumulowane w masywnych elementach konstrukcyjnych budynku i rozprowadzane w przestrzeni wewnętrznej. Pasywny system stanowi zewnętrzną przeszkloną ścianę arkady, nachyloną pod kątem 73° (dostosowana do kierunku padania promieni słonecznych zimą). System aktywny tworzy instalacja w postaci modułów fotowoltaicznych, przetwarzająca energię słoneczną w elektryczną. Moduły te rozmieszczono na trzy sposoby: wysunięte przed przeszkleniem, w płaszczyźnie przeszklenia oraz jako zwieńczenie części dachowej⁴.

3. Transparentność

Szkło wprowadza we wciąż nieprzewycięzalną materialność architektury złudzenie rozplywania się, lekkości, dematerializacji. Przezroczyste, przeszklone elewacje prześwie-

⁴ J. Marchwiński, *Arkada słoneczna – budynek „Solar Fabrik” we Freiburgu*, Świat Szkła nr 5/2007.

tlają budynek, ukazują jego konstrukcję i życie wewnętrzne. Istotne dla osiągnięcia efektu transparentności czy dematerializacji architektury było wynalezienie przeszklonych ścian strukturalnych oraz delikatnego i niewidocznego mocowania punktowego tafli szkła.

W Lille, w ramach rozbudowy Muzeum Sztuk Pięknych, wzniesiono nowoczesny obiekt (mieszczący bibliotekę, kawiarnię, biura) równoległe do istniejącego historycznego gmachu, w linii zabudowy ul. de Valmy. Pomiędzy starą i nową częścią utworzono ogród rzeźb. Głównym założeniem przyjętym przez projektantów (Jean-Marc Ibos, Myrto Vitard, 1993–1997) było jak najdalej idące podkreślenie architektury zabytkowego budynku. Nowy obiekt rozwiązano w formie cienkiego „jak żyłotka”, przeszklonego pawilonu. Patrząc od ul. de Valmy, widzi się przeświecający przez nowy budynek zabytkowy gmach muzeum. Patrząc od strony ogrodu rzeźb, widzi się odbicie historycznej budowli w szklanej elewacji pawilonu. Elewacja ta wykonana została z tafli szklanych ozdobionych wdrukowaną, delikatną grafiką w kolorach złotym i czerwonym. Odbicia zabytkowej budowli na tak zaprojektowanym ekranie przypominają obrazy impresjonistów, w sensie ich delikatności i iluzji.

Wrażenie transparentności i ulotności kojarzącej się z lataniem chcieli uzyskać projektanci siedziby Polskich Linii Lotniczych LOT, zlokalizowanej w sąsiedztwie portu lotniczego Warszawa Okęcie (proj. S. Kuryłowicz, 2000–2002)⁵. Wybór rozwiązania podyktowany był też względami technicznymi, przede wszystkim koniecznością zapewnienia izolacyjności akustycznej. Zastosowano podwójną ścianę przeszkloną – warstwa wewnętrzna ma konstrukcję słupowo-ryglową, natomiast warstwę zewnętrzną tworzą tafle szklane mocowane punktowo. Jej działanie jest zintegrowane z wentylacją budynku. Elementem dodatkowym, istotnym dla wyrazu architektonicznego elewacji jest umieszczenie nadruków (logo firmy LOT) na wewnętrznych płaszczyznach szyb.

Dzięki zastosowaniu przeszklonych elewacji i ich nowatorskiemu rozwiązaniu EURO-PARK w Salzburgu (proj. Massimiliano Fuksas, 1995–1997) nie przypomina centrum handlowego⁶. Budowla sprawia wrażenie niedużej, choć mamy do czynienia z liczącym 340×140 m kolosem. Na szklanej ścianie rozciąga się na całą wysokość prześwitujący napis EUROPARK. Powtórzony na drugiej podwieszanej kurtynie szklanej rozmywa poczucie kubatury i stwarza wrażenie przezroczystej struktury. Całość odbija się w lustrze wody otaczającej budynek, a nocne podświetlenie przestrzeni pomiędzy dwoma płaszczyznami szkła sprawia, że elewacja przybiera abstrakcyjny wygląd.



Ryc. 4. Medialna „skóra” Galerii Sztuki Nowoczesnej Kunsthau w Grazu

Fig. 4. Medial "skin" of Kunsthau in Graz

⁵ A. Bulanda, *LOT*, *Architektura murator* nr 7/2002.

⁶ J. Mękal, K. Mękal, *Nowe centra handlowe w Salzburgu*, *Architektura i Biznes* nr 5/1998.

4. Zmienność efektów wizualnych

Już zwyczajne szkło, dzięki swej naturalnej refleksyjności – w zależności od kąta padania światła słonecznego i warunków atmosferycznych – tworzy zmieniający się układ plam kontrastujących z materiałem, którym wykończone są pełne części ścian. Tak jest w dzień. A w nocy, przezroczyste elewacje tworzą migotliwą, zmieniającą się w czasie mozaikę. Zaawansowane technologie produkcji szkła dają ogromne możliwości uzyskiwania efektu zmienności i „ożywiania” elewacji (np. szkło refleksyjne, ornamentowane, drukowane, fotochromatyczne, termochromatyczne, elektrochromatyczne).

Zastosowanie szkła refleksyjnego sprawia, że budynek wizualnie zamyka się przed otoczeniem, mimo to odbija pożyczone od niego obrazy. Te odbicia zmieniają się, gdy przemieszczamy się względem budynku. Refleksyjność jest początkiem rozmywania granicy rzeczywistości. Zmienność elewacji mogą nadawać też ruchome elementy kontrolujące przepływ energii cieplnej i światła – żaluzje, łamcze światła, markizy. Ożywiają ją, tworzą ruchomy ornament.

Optyczny kamuflaż przestrzenny polega, podobnie jak u niektórych zwierząt, na umiejętności „znikania” z pola widzenia przez upodobnienie się do tła – kolorytu, form i faktur występujących w otoczeniu. Kamuflaż taki można uzyskać, stosując transparentne ściany zewnętrzne ze szkła o dużym stopniu przezroczystości lub ściany ze szkła refleksyjnego odbijające otoczenie. Technologia optycznego kamuflażu opracowana przez Tachi Lab polega na uzyskaniu podobnego efektu dzięki osiągnięciu pozornej transparentności obiektu przez wyświetlanie na jego ścianach obrazu tła otoczenia znajdującego się za nim. Projekcja obrazu na powierzchni przeszklonej lub nieprzezroczystej przegrody jest możliwa dzięki zastosowaniu powłoki ze specjalnego materiału (ang. *retro-reflective material*), zbudowanego z małych drobin, świecących pod wpływem strumienia światła skierowanego na powłokę⁷. Szersze zastosowanie technologii optycznego kamuflażu pozwoliłoby na zniesienie bariery wizualnej, jaką jest przegroda, ale też mogłoby podważyć sens samej architektury, która zostałaby zdematerializowana.

5. Elewacje medialne i multimedialne

Postęp techniczny umożliwił rozdzielenie struktury budynku i jego obudowy zewnętrznej, która uwolniona stała się jego „żyjącą skórą”. Jest ona jednocześnie integralną częścią wnętrza oraz elementem przestrzeni zewnętrznej. Dzięki najnowszym technologiom możliwe stało się tworzenie spektakularnych, przyciągających uwagę obserwatora efektów – wzbogacanie plastycznego wyrazu elewacji. Obserwuje się powrót do ornamentyki uznanej za martwą na przestrzeni wielu lat XX w., ale ornamentyki w nowym wydaniu.

Elewacje medialne to elewacje o nowatorskich technicznych rozwiązaniach, umożliwiających przekazywanie pewnych treści, komunikatów, emitowanie różnych napisów, znaków i obrazów, nieruchomych lub ruchomych. Obudowa zewnętrzna – przeszklona, półprzezroczysta lub pełna – za pomocą różnych zainstalowanych w niej elementów może przypominać o przeszłości, przekazywać informacje o tym, co się dzieje wewnątrz budynku, wyświetlać obrazy, a nawet filmy. W obiektach przeszklonych szkło może być nie tylko przezroczystą powłoką albo lustrem odbijającym otoczenie, ale też nośnikiem znaczeń, wizytówką instytucji. Może być też imitacją i substytutem pełnej ściany.

⁷ A. Kwiatkowska, *Forma architektoniczna jako kod digitalny*, Archiwolta nr 4/2006.

W gmachu Filharmonii Łódzkiej (proj. Romuald Loegler, 2004) zasadnicza część elewacji – wielki łuk triumfalny – jest odtworzeniem fasady XIX-wiecznego budynku, który dawniej stał w tym miejscu. Łuk, boniowania, pilastry – wszystko to jest nadrukiem na szklanych płytach zamocowanych na tle pełnej ściany. Historyzującemu wejściu towarzyszy długa elewacja przesłonięta kurtyną z wąskich pasków. To też jest nadruk na szkło. Nurt malowanych cieni historii na szklanych taflach jest próbą pogodzenia tęsknoty za przeszłością z nowoczesnością. Daje nowe możliwości w dziedzinie konserwacji i rekonstrukcji obiektów zabytkowych. Napisy i ornamenty na szkło, odbierane często jako zabieg czysto estetyczny, mogą mieć też na celu przeciwdziałanie przegrzaniu pomieszczeń w lecie czy rozproszenie światła dziennego.

Nośnikiem treści bywają ruchome elementy wyposażenia ścian zewnętrznych. W hotelu Puerta América w Madrycie (zaprojektowanym przez kilkunastu zaproszonych renomowanych architektów; elewacje: Jean Nouvel, 2005) całkowicie przeszkloną elewację przysłonięto elektronicznie sterowanymi, wielobarwnymi markizami, ograniczającymi dostęp promieni słonecznych do wnętrza. Pomędzy szklanymi ścianami a markizami biegną kratownicowe pomosty techniczne (zrezygnowano z balkonów ze względów bezpieczeństwa). Na ruchomych markizach wypisane są wersy z wiersza Paula Eluarda „Liberté” w dziewięciu różnych językach.

Galeria Sztuki Nowoczesnej Kunsthaus w Grazu (proj.: Peter Cook i Colin Fournier, 2001–2003) to biomorficzny obiekt, zwany „Bąblem” lub „Przyjaznym Obcym”, ze względu na usytuowanie w historycznym otoczeniu⁸. Jego obudowa jest niezwyklej medium prezentowania sztuki i związanych z nią przekazów informacyjnych. Ekspozycyjną przestrzeń, pozbawioną wewnętrznych elementów nośnych, otacza „elektroniczna skóra” – multimedialna fasada BIX. Ta akrylowo-szklana, ciemnoniebieska powłoka wyposażona została w 925 neonowych krążków sterowanych komputerowo, zmieniających ją w ekran o niskiej rozdzielczości. Wyświetlane są na niej sekwencje prostych obrazów lub teksty. Każdy świetlny krążek działa jak piksel kontrolowany przez centralny komputer. Z obudowy wystają świetliki okienne, niczym czułki dziwnego stworzenia. Wyposażone są w system żaluzji regulujących natężenia światła naturalnego w salach ekspozycyjnych, w zależności od potrzeb.

Niekonwencjonalne możliwości przekazu informacji daje szkło (np. projekcje obrazów na szklany ekran). Rozwijają się technologie przegród zewnętrznych wykorzystujące wirtualną, trójwymiarową projekcję przestrzeni (3D-projekcje), które łączą w sobie elementy wyświetlania obrazu na powłokę zewnętrzną (lub wewnętrzną) obudowy budynku oraz animacji w przestrzeni.

W elewacjach Epicentrum Prady w Tokio (proj. Jacques Herzog i Pierre de Meuron, 2003) wykorzystano różne właściwości szkła oraz projekcje multimedialne⁹. Budynek, w odróżnieniu od większości sklepów eleganckich firm wykańczanych marmurem, jest w całości przeszklony. Obudowa zewnętrzna utworzona została z kilku rodzajów szkła montowanego w regularnej romboidalnej siatce konstrukcyjnej. Tworzy ona coś w rodzaju mozaiki składającej się z płaskich (przezroczystych, delikatnie barwionych, przyciemnianych i matowych) oraz wypukłych modułów szklanych. Gięte szkło daje ciekawe efekty związane z odbiciem obrazu i światła. Patrząc z zewnątrz, ma się wrażenie podobne do przegładania się w krzywym zwierciadle, natomiast od wewnątrz można podziwiać efek-

⁸ *Kunsthaus Graz*, Architektura i Biznes nr 1/2004. Opracowanie redakcyjne na podstawie materiałów udostępnionych przez Landesmuseum Joanneum w Grazu.

⁹ B. Haduch, *Epicentra Prady*, Architektura i Biznes nr 7-8/2006.

townie zniekształconą panoramę Tokio. Szkło staje się rodzajem interaktywnego ekranu w stylu *low-tech*. Efekty te podkreśla specjalne oświetlenie nocne. W wybranych modułach, tzw. wirtualnych oknach, efekt odbicia zmodyfikowany został za pomocą najnowszych technologii. Przechodzący obok budynku mogą np. „przymierzać” pewne części garderoby czy dodatki wyświetlane za pomocą projekcji multimedialnych na panelach szklanych, bez potrzeby wchodzenia do wnętrza sklepu.

6. Podsumowanie

Dynamiczny rozwój nowych technologii przegród zewnętrznych budynków sprawia, że architektura w coraz mniejszym stopniu przypomina architekturę tradycyjną. Coraz częściej odchodzi od form prostokątnych, przybiera formy organiczne, biomorficzne. Jednocześnie nowatorskie możliwości tworzenia elewacji, np. interaktywnych czy multimedialnych, sprawiają, że mniej ważna jest realna forma obiektu (może to być proste „pudło”), a istotna staje się jego wizja wygenerowana przez przeszklenia lub umieszczone na elewacjach urządzenia elektroniczne.

W literaturze fachowej zaciera się granica pomiędzy pojęciami: elewacja, ściana zewnętrzna, obudowa zewnętrzna, przegroda zewnętrzna. Coraz częściej spotyka się obrazowe określenia: zewnętrzna struktura, zewnętrzna powłoka, „skóra” budynku.

W systemowym, skomputeryzowanym podejściu do projektowania obudowy zewnętrznej budynków, w coraz większym stopniu przystosowanej do przekształceń wyglądu obiektu, jak też zmiennych warunków jego użytkowania, wiedza architekta jest niewystarczająca. Architekt – projektant budynku musi współpracować w tym zakresie z różnymi specjalistami (m.in. z dziedziny elektroniki, sterowania komputerowego, mikroklimatu wewnętrznego, mechaniki precyzyjnej, optyki i wielu innych). Należałoby może wprowadzić do procesu kształcenia architektów niektóre zagadnienia związane z projektowaniem „futurystycznych” przegród zewnętrznych.

Literatura

- [1] B o j ę ś A., *Aspekty architektoniczne kształtowania budynków użyteczności publicznej z lekkimi ścianami osłonowymi nowej generacji*, Monografia nr 267, Politechnika Krakowska, Kraków 2000.
- [2] B u l a n d a A., *LOT*, Architektura murator nr 7/2002.
- [3] C e l a d y n W., *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.
- [4] D w o r z a k - Ź a k E., *Architektura kształtowana światłem*, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa Instytutu Projektowania Architektonicznego „Definiowanie przestrzeni architektonicznej – Architektura jako sztuka”, Czasopismo Techniczne z. 10-A/2004, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2004.
- [5] K w i a t k o w s k a A., *Forma architektoniczna jako kod digitalny*, Archiwolta nr 4/2006.
- [6] K u r y ł o w i c z S., *Pudło ze szkła*, Architektura murator nr 3/2003.
- [7] M a r c h w i ń s k i J., *Arkada słoneczna – budynek „Solar Fabrik” we Freiburgu*, Świat Szkła nr 5/2007.
- [8] Przewodnik po szkle, Wyd. Saint-Gobain Glass, 2000.