

LUCYNA NYKA\*, BOGUSŁAWA KONARZEWSKA\*\*

## PROCESY INTEGRACJI NOWOCZESNYCH SYSTEMÓW OBRAZOWANIA ZE STRUKTURALNYMI ROZWIĄZANAMI FASAD BUDYNKÓW

### INTEGRATION OF IMAGING SYSTEMS WITH BUILDINGS' FACADES STRUCTURAL SOLUTIONS

#### Streszczenie

Obecnie coraz częściej do nowych technologii budowlanych wkraczają te uznawane tradycyjnie za przynależące do innych dziedzin, jak technologie interaktywne, medialne czy filtrów optycznych. Ich zastosowanie zmienia sposoby architektonicznych rozwiązań fasad budynków, które projektowane są jako aktywne powierzchnie reagujące na ruch użytkowników lub zmiany parametrów bezpośredniego otoczenia. Osprzęt i systemy technologiczne są coraz częściej integrowane w rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe fasad, zmieniając sposób ich budowy i stawiając przed architektami i konstruktorami nowe zadania.

*Słowa kluczowe: fasady medialne, fasady interaktywne, technologie fasad aktywnych*

#### Abstract

The range of new building technologies is currently expanded by those traditionally related to other disciplines, such as interactive and media technologies as well as technologies of optic filters. Their implementation changes the architectural solutions for the buildings' facades resulting in designing them as active surfaces, responsive to the movement of users or changes in the parameters of the immediate environment. Technological devices and systems are more often integrated into the structural and material facades' arrangements, changing their design schemes and thus imposing new challenges on structural engineers and architects.

*Keywords: media facades, responsive facades, active facades technologies*

\* Dr hab. inż. arch. Lucyna Nyka, prof. nadzw. PG, Katedra Architektury Morskiej i Przemysłowej, Wydział Architektury, Politechnika Gdańska.

\*\* Dr inż. arch. Bogusława Konarzevska, Katedra Technicznych Podstaw Projektowania Architektonicznego, Wydział Architektury, Politechnika Gdańska.

## 1. Wstęp

Obecnie coraz częściej do nowych technologii budowlanych wkraczają te uznawane tradycyjnie za przynależące do innych dziedzin, jak technologie systemów reaktywnych, medialnych i filtrujących. Zmieniają one wizerunek fasad budynków, które coraz częściej bywają projektowane jako aktywne powierzchnie. Fasady takie emitują w przestrzeń miasta zmieniające się obrazy, reagują na ruch użytkowników lub zmiany parametrów otoczenia. Na ile rozwój tych technologii poszerza tradycyjny warsztat architekta? Co zmieniają one w zakresie rozwiązań projektów powierzchni budynków?

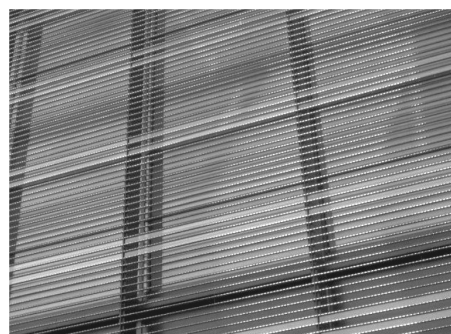
Odpowiedzi na powyższe pytania nie są jednoznaczne. Wynika to z faktu, że w pierwszych realizacjach tego typu systemy technologiczne były niejako dodawane do standardowych rozwiązań fasadowych, nie zmieniając ich struktury czy detalu. W ten sposób konstruowane były na przełomie lat 50. i 60. pionierskie medialne projekty Charlesa i Ray Eamesów wykorzystujące technologię wielu ekranów. Miejskie projekty interaktywne oparte na technologii cybernetycznej tworzył na przełomie lat 60. i 70. Vladimir Bonacic. Dzieła, nazwane przez samego autora „dynamicznymi obiektami”, to przestrzenne, kolorystyczne kompozycje, które dzięki możliwości interwencji ze strony obserwatora stawały się interaktywnymi dziełami. Realizowane były one na fasadach budynków głównych ulic Zagrzebia w postaci takich projektów, jak: DIN. PR 18 z 1969 roku czy DIN. PR 10 z roku 1971 [7].

Dzisiaj również powstaje wiele projektów, gdzie medialne lub interaktywne struktury nakładane są na istniejące fasady budynków. Dzieje się tak najczęściej w przypadku modernizacji istniejących obiektów. Przykładem może być przebudowa centrum handlowego Galleria Fashion Store w Seulu (UN Studio), gdzie na betonową istniejącą powierzchnię nałożono system dysków, które stanowią swoisty ekran do wyświetlania kompozycji kolorystycznych. Podobnie interaktywna instalacja Christiana Moellera i Reudigera Krama zawieszona została na istniejącej frontowej fasadzie Zeilgallery we Frankfurcie. W ciągu dnia szara i powściągliwa elewacja budynku po zmroku ożywa, pokrywając się niebieskawymi lub żółtawymi kształtami, dynamicznie zmieniającymi się w zależności od warunków pogodowych. Obok nakładania instalacji na istniejące fasady budynków, widoczna jest grupa pionierskich rozwiązań coraz pełniej integrujących technologie medialne i interaktywne w systemy fasadowe. Otwiera to warsztat architekta na nowy zakres doświadczeń i wyzwań projektowych.

## 2. Fasady medialne – od prostych komunikatów do przestrzennych faktur

O ile w pierwszej fazie zastosowań instalacje medialne były wręcz „zgrubnie” nakładane na istniejące powierzchnie budynków, to dopiero rozwój nauki i technologii ostatnich dekad spowodował, że osprzęt medialny i wspomagające go systemy coraz pełniej mogą być integrowane ze strukturą fasady. Przede wszystkim znacznemu poszerzeniu uległy same technologie wyświetlania obrazu. Mogą one wykorzystywać diody LED, fluorescencyjne elementy oświetleniowe, świetlówki fosforyzujące, lampy halogenowe, reflektory szerokostrumieniowe, a także wyświetlacze cyfrowe. Wśród medialnych realizacji fasadowych są też takie, których obraz generowany jest za pomocą ruchu jej elementów uruchamianych za pomocą serwomotora. Dzięki różnorodnym urządzeniom oświetleniowym i mechanizmom wspomagającym stosowanym na fasadach powstające medialne instalacje różnią się głębią koloru, jasnością świecenia, rozdzielczością, stopniem przezierności czy przestrzennością projektowanych struktur [14].

Architekci, informatycy i projektanci systemów cyfrowych oraz oświetlenia dokonują licznych prób połączeń architektury i technologii medialnych. Niewielkie rozmiary diod LED umożliwiły ich zespalanie z delikatnymi siatkami stalowymi. Włączenie tych siatek w strukturę fasady umożliwia tworzenie świetlnych obrazów na powierzchni budynku przy jednoczesnym zachowaniu całkowitej jej transparentności. Z kolei dzięki dużej efektywności nowoczesnych źródeł światła tworzony obraz może zaistnieć nie tylko po zmroku, ale także w ciągu dnia (il. 1, 2). Możliwe jest także zastosowanie diod LED w postaci przestrzennych elementów świetlnych, na przykład podłużnych, przeziernych rurek, we wnętrzu których umieszcza się szeregowo diody. Dzięki temu zabiegowi możliwe jest osiągnięcie niespotykanych dotąd na fasadzie efektów głębokiej, świetlnej struktury, tworzącej swego rodzaju „fazę przejściową” pomiędzy zwartą, solidną bryłą i jej otoczeniem [8]. Także detale fasad projektowane są tak, aby wspomagać założone świetlne efekty wizualne.



Il. 1, 2. Medlana, fasada T-Mobile, ag4 mediatecture, Bonn (fot. B. Konarzewska)

III. 1, 2. T-Mobile media façade, ag4 mediatecture, Bonn (photo by B. Konarzewska)

W pracy nad projektem fasady medialnej architekt musi więc wybrać rodzaj sprzętu oświetleniowego i zaprojektować sposób jego połączenia z fasadą budynku w zależności od oczekiwanych efektów. Niezmiernie ważną rolę odgrywa również program komputerowy – system sterujący decydujący o doborze i sposobach wyświetlania obrazów. W tym celu elementy oświetleniowe łączone są z centralnymi komputerami, jednostkami sterującymi oraz ze sterownikami. Najczęściej stosowane w projektach fasad medialnych są sterowniki DMX. Jest to urządzenie, które przetwarza cyfrowy sygnał sterujący na odpowiednie napięcia i prądy zasilające układy LED. Proces projektowania fasady medialnej jest złożony i nie można wskazać na proste zależności czy gotowe schematy. Najczęściej twórca fasady dokonuje szeregu korekt wcześniejszych decyzji dotyczących na przykład oprogramowania, doboru sprzętu oświetleniowego, wypracowania nowych sposobów jego integracji z fasadą tak, by finalnie uzyskać zamierzony efekt [11].

Często obserwowane są dążenia do uzyskania efektów przestrzennych i medialnych projekcji, a przy tym niezdeterminowanych i krajobrazowych w efektach [13]. Obok współpracy z informatykami, istotne w dążeniu do tak zamierzonych celów jest odpowiednie zespolenie medialnej matrycy ze strukturą fasady budynku. W przypadku budynku Expomedia Light Cube w Saarbrücken jej projektanci (Kramm & Strigl) pomiędzy właściwą konstrukcją a pokryciem z metalowej siatki umieścili ruszt szklanych „prętów” LED, który wyświetla ciągle zmieniające się generowane komputerowo obrazy [5]. Warstwowy układ fasady zapewnia trójwymiarowe efekty.



Z kolei autorzy projektu Anemix (Ximena Muñoz, Paulina Villalobos, Monica Labra) nawiązali w projekcie do zjawiska bioluminescencji, czyli wytwarzania światła przez organizmy żywe. Unikalne przestrzenne efekty na powierzchni budynku osiągnięte zostały dzięki zastosowaniu indywidualnie zaprojektowanych trójwymiarowych modułów fasadowych. Składają się one z paneli zbudowanych z materiałów luminescencyjnych, jednostek LED oraz warstwy odbijającej światło. Zupełnie inny rodzaj zespolenia medialnej matrycy z praktyczną, wielofunkcyjną powierzchnią budynku proponuje Zaha Hadid w projekcie Temporary Guggenheim Museum w Tokyo. Zaprojektowana powłoka budynku będzie zbudowana z ceramicznych płytek – pikseli o różnym połysku i kolorze, w które wbudowana byłaby technologia ekranu medialnego. Ekran ten egzystuje już w formie przemysłowej pod nazwą Smartslab. Dzięki oryginalnej technologii materiałowej ceramicznych pikseli podobnych do struktury medialnego ekranu, wyświetlacz Smartslab „płynnie” wkomponowany będzie w całościowy projekt powłoki budynku.

Co więcej, już nie tylko integracja oświetlenia, ale także tworzenie nowych, przestrzennych systemów materiałowych integrujących medialny osprzęt jest coraz częściej spotykanym rozwiązaniem w architekturze. Zrealizowany w 2009 roku projekt ILUMA building w Singapurze zaprojektowany przez realities:united przy współpracy z WOHA Architects w spektakularny sposób udowadnia, że we współczesnej architekturze zaciera się granica pomiędzy powłoką budynku a instalacją medialną, które podlegają coraz pełniejszej integracji. Specjalnie dla tego projektu stworzony został system fasadowy Crystal Mesh, składający się z przypominających kryształy przestrzennych elementów, pokrywających w nieregularny sposób całą fasadę, zamykających w swoim wnętrzu elementy oświetleniowe. Crystal Mesh tworzy kilka rodzajów elementów strukturalnych nawiązujących do krystalicznych komórek. Złożone są one z aluminiowego rdzenia, w którym umieszczono w specjalnych „gniazdach” fluorescencyjne żarówki oraz poliwęglanowej, przeświecającej pokrywy. Dzięki zastosowanej technologii powstała głęboka, przestrzenna, świecąca powłoka budynku, która przyrównana być może do grubej tafli zamrożonego lodu. Wyświetlane na niej abstrakcyjne animacje o niskiej rozdzielczości, pomimo zastosowanego jedynie białego światła o różnym natężeniu, dzięki specyficznej budowie komórek CMesh, odbierane są jako głębokie, co czyni powłokę budynku jeszcze bardziej „przestrzenną” w odbiorze.

Podobnie w przestrzenny sposób odbieramy powierzchnię budynku Chanel Ginza w Tokio. Architekt, wraz z artystą Michele Rovnerem, potraktowali elewację jako sześciowarstwowe „technologiczne płótno”. Na jej kolejne warstwy składają się: zewnętrzne przeszklenie ze szkła czystego lub matowego (gdzie przejście z jednego stanu w drugi kontrolowane jest przepływem prądu), siatka ze stali nierdzewnej z powtarzalnymi motywami rombu, przeszklenie kontrolujące dostęp promieniowania UV, oświetlenie LED umieszczone w obrębie poziomych rurek wraz z przepustem – kanalikiem dla komputerowo kontrolowanych walcowatych żaluzji, wreszcie wewnętrzna warstwa szkła bezpiecznego, która zapewnia wewnątrz sklepowym „nieprzerwaną” podziałami płaszczyzną ściany [15]. Dzięki takiemu rozwarstwieniu fasada odbierana jest jako rodzaj rozedrganego „urbanistycznego tweedu”.

Pokreślić należy, że osprzęt medialny łączony jest nie tylko ze szkłem czy siatką, ale przenika także w strukturę materiałów, które wydawałoby się, że są stabilne i niezmiennne, tak jak na przykład beton. Takim materiałem jest Chronos Chromos Concrete autorstwa Chrisa Glaistera, Afshina Mehina oraz Tomasa Rosena z Royal College of Art Innovation Unit. Chronos Chromos Concrete to system zdolny w sposób dynamiczny wyświetlać wzo-

ry, liczby oraz tekst na betonowej powierzchni dzięki pomieszeniu termochromowego tuszu z betonem, a następnie „podgrzaniu” go poprzez niklowo-chromowe kable przewodzące prąd, umieszczone pod powierzchnią betonu. Beton znajdujący się ponad kablami zmienia kolor, gdy osiągnie określoną temperaturę. Ułożenie kabli pod powierzchnią determinuje kształt wyświetlanych grafiki czy informacji.

Stopniowo, w wyniku dążeń do coraz pełniejszej integracji medialnych instalacji ze strukturą fasady, osprzęt oświetleniowy uległ „rozproszeniu”. Zaczął się łączyć z architektonicznym detalem i „wychodzić w przestrzeń”, na zewnątrz i do wnętrza fasady, dzięki trójwymiarowym systemom oświetleniowym. Pojawiły się także innowacyjne rozwiązania pozwalające na płynne zespolenie matrycy medialnej z wieloma warstwami fasady. Efektem tej integracji oraz coraz bardziej wyszukanych programów komputerowych sterujących wyświetlaniem medialnych „projekcji” są oglądane dziś na fasadach wyrafinowane, głębokie faktury [11].

### 3. Powierzchnie interaktywne: od prostych do złożonych reakcji fasady

Współcześnie technologie interaktywne umożliwiają osiągnięcie bardzo szerokiego zakresu efektów dynamicznej reakcji fasady na impulsy z otoczenia. Jednocześnie rosną oczekiwania wobec interaktywności zewnętrznej powłoki budynku, a projektanci sięgają po nowe rodzaje czynników, na które miałyby ona reagować. Odpowiedzi fasady przybierają więc formę interaktywnych instalacji artystycznych angażujących obraz, kolor i dźwięk, ale także zmiany jej kształtu, czy ruchu poszczególnych elementów.

Podstawowe elementy, interaktywnej architektury to sensory, detektory i aktywatory. Sensor, zwany także czujką to rodzaj urządzenia, które wykrywa lub reaguje na fizyczne lub chemiczne bodźce, do najczęściej wykorzystywanych należą: sensory dźwięku, światła, ciepła, wilgotności, dotyku, pozycji czy ruchu [1]. Dzięki nim impulsy ze świata zewnętrznego mogą być odczytywane przez komputer. Kolejnym niezbędnym elementem układów interaktywnych stosowanym w celu wzbudzenia reakcji fasady budynku jest aktywator (*actuator*) zwany także mechanizmem wykonawczym. Przetwarza on energię wejściową w formie sygnału elektrycznego w działanie. Do najpowszechniej stosowanych należą aktywatory elektromechaniczne, pneumatyczne i hydrauliczne, które wykorzystują różnego rodzaju silniki elektryczne, zawory elektromagnetyczne i siłowniki. Oprócz tych podstawowych elementów stosuje się też inne urządzenia, które usprawniają lub wzbogacają działanie całego systemu, takie jak: nadajniki, odbiorniki, konwertery, wyświetlacze, urządzenia rejestrujące czy kształtujące sygnały [1].

Przy obecnym stopniu zaawansowania technologii, jeśli architekt chce stworzyć fasadę interaktywną, musi myśleć jak projektant systemów sterowania. Aby stworzyć taki system, musi opracować dwa ważne zagadnienia. Po pierwsze, konieczne jest określenie, w jaki sposób impulsy z otoczenia mają wpłynąć na efekt końcowy, czyli jaka powinna być relacja pomiędzy wartością pobudzenia a odpowiedzią projektowanego systemu. Po drugie, architekt wraz z technologami musi uzgodnić postać energii wejściowej pochodzącej ze środowiska zewnętrznego wywołującej to pobudzenie oraz zaprojektować urządzenia wyjściowe w postaci, na przykład, aktywatorów, wyświetlaczy i sensorów, które włączą dane ze środowiska w interakcję [2].

Współcześnie fasady reagujące tworzą złożone układy architektoniczno-technologiczne ICT, gdzie rozwiązania technologii reaktywnych nie są nałożone, ale głęboko wpisane w architektoniczną i konstrukcyjną strukturę fasady. Co więcej, widoczne jest dążenie do



przełamania schematu prostych reakcji i w zamian – nawiązywania do wzorców organicznych. Efekty takiej nieprzewidywalności i pozornego braku schematu udaje się uzyskać przede wszystkim dzięki miniaturyzacji i w efekcie możliwości rozproszenia sensorów i aktywatorów [11]. Dodatkowym, nowym aspektem interaktywnych, krajobrazowych powłok budynków stała się możliwość wykorzystania energii słonecznej do odzwierciedlenia wpływów środowiska na fasadę, dzięki stosowaniu zaawansowanych fotosensorów.

I tak, zintegrowanie fotosensorów oraz oświetlenia typu LED, stanowiącego rodzaj mechanizmu wykonawczego, przyświecało idei fasady hotelu Habita (Enric Ruiz-Geli). W efekcie budynek hotelu, opakowany w rodzaj energetycznej sieci, będzie mógł odzwierciedlać dzienny pobrany poziom energii. Oplatająca całą bryłę przezierna struktura w zamierzeniu twórcy (James Clar) ma pulsować kolorami po zmroku, zależnie od ilości zebranej w ciągu dnia energii słonecznej. Kolor został przez projektantów określony zgodnie z założonym schematem energetycznym. Sieć ma składać się z pojedynczych, samowystarczalnych węzłów, które będą odczytywały dzienną amplitudę światła słonecznego. W nocy każdy z węzłów będzie „oddawał” kolor, zależnie od tego ile skumulował światła w ciągu dnia. W ten sposób fasada będzie także zależna od panujących pór roku. Model tej interaktywnej siatki ma składać się z pięciuset trójkolorowych diod LED kontrolowanych, nie przez jeden centralny komputer, ale przez mikroprocesory PIC.

Stopień złożoności współczesnych fasad reaktywnych wynika z silnie rozwijających się badań nie tylko nad powierzchniami reagującymi obrazem, ale zmianą kształtu w reakcji na ruch powietrza lub zbliżających się ludzi. Również takie powierzchnie to głębokie, trójwymiarowe kompozycje, często dodatkowo wzbogacane o efekty świetlnokolorystyczne wynikające z użycia innowacyjnych rozwiązań materiałowych. Tak właśnie zrealizowany został projekt powierzchni The Aegis Hyposurface stanowiącej rodzaj ściany, której ruch jest efektem reakcji na poruszający się w pobliżu obiekt. Aby zlokalizować zbliżającą się na przykład osobę, zastosowano czujniki położenia, dzięki którym odbierany sygnał jest przetworzony, a następnie przekazany do mikrokontrolerów, który steruje serią pneumatycznych urządzeń uruchamiających. Za ruch powierzchni Hyposurface odpowiadają metalowe płytki podczipione do pneumatycznych resorów – sprężyn, które z kolei z jednej strony podłączone są do tłoków, z drugiej zaś do statycznej konstrukcji szkieletowej. Każdy z tłoków posiada zdolność powrotu do znanej pozycji początkowej lub pozostania w stanie spoczynku. Zaprogramowany komputer aktywuje każdy z tłoków sekwencyjnie, aby stworzyć na powierzchni pewien wzór będący odzwierciedleniem bodźców zewnętrznych [1]. Dzięki temu powierzchnia ta odbierana jest jako nieregularna i krajobrazowa, przypominająca lekko sfalowaną tafłę wody. Efekt ten potęgowany jest przez nierównomierne odbicia światła na trójkątnych płytkach zmieniających kąt nachylenia.

Na wizerunek współczesnych fasad interaktywnych wpływa nie tylko rozproszenie sensorów i mechanizmów wykonawczych, ale także pierwsze realizowane eksperymenty nad powstawaniem całych interaktywnych modułów fasadowych. Rozwiązaniem takim jest modularny, interaktywny system fasadowy Flare. System ten, dzięki komputerowemu układowi sterowania oraz sieci sensorów umiejscowionych na zewnątrz i od wewnętrznej strony struktury, umożliwia wprowadzenie do programu komputerowego dowolnych czynników, na które miałby on reagować. Choć Flare składa się z powtarzalnych, nieregularnych wielościannów poruszanych za pomocą pneumatycznych tłoków, to ruch ich odbierany jest jako płynny. Poszczególne, silnie odbijające światło wielościanny wręcz „zlewają się”, tworząc miękką, reagującą na wskazane czynniki powłokę budynku.

Jednocześnie nieustannie trwają prace nad poszerzaniem zakresu bodźców, na które fasada miałaby reagować [9]. W związku z tym coraz częściej reakcje fasad interaktywnych nie ograniczają się do jednego typu mechanizmu wykonawczego, na przykład ruchu elementów fasady czy zmiany natężenia emitowanego przez nią światła. Aby wzmocnić pożądaną efekt, działania różnych mechanizmów wykonawczych nakładają się. Zmianom generowanym światłem towarzyszą przemiany w strukturze fasady. Coraz częściej także interaktywne procesy projektowane znajdują się wewnątrz struktury materiału, a celem ich jest osiągnięcie konkretnych właściwości funkcjonalnych fasady, w tym zysków środowiskowych.

#### 4. Rozwój inżynierii materiałowej i projekty fasad filtrujących

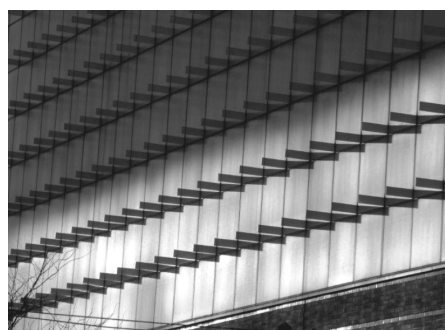
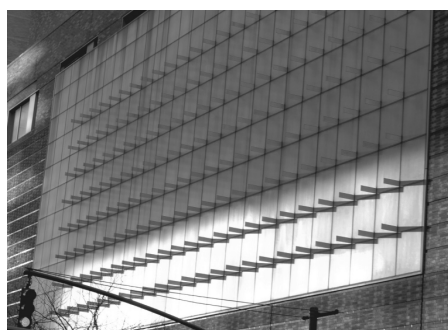
Dzięki szybkiemu rozwojowi technologii, zakres środków, za pomocą których tworzone są fasady medialne i interaktywne znacznie się poszerza. I tak, przede wszystkim rozwój inżynierii materiałowej w ostatniej dekadzie sprawił, że architektoniczne poszukiwania często odbywają się dzisiaj w skali mikro. Reakcje na wpływy otoczenia, zmienne wzory lub komunikaty medialne powstają już nie tylko przy wykorzystaniu tradycyjnych źródeł światła, ale coraz częściej także dzięki reakcjom odbywającym się wewnątrz struktury materiału [4]. Istnieje także szeroka grupa pionierskich projektów architektonicznych, gdzie rozwiązania z zakresu inżynierii materiałowej wzorowane są na interaktywnych systemach organicznych. Okazuje się, że fasady takie, oprócz oryginalnych efektów wizualnych, mogą w przyszłości przynieść wymierne korzyści praktyczne i ekonomiczne. Jedne z bardziej obiecujących badań w tej dziedzinie prowadzą naukowcy z Rensselaer Polytechnic Institute w Stanach Zjednoczonych – Ritesh A. Khire, Stephen Van Dessel oraz Achille Messac. Ich projekt nazwany Active Building Envelope (ABE) obejmuje stworzenie interaktywnego systemu fasadowego, którego izolacyjność byłaby wynikiem aktywnych procesów odbywających się w obrębie powłoki budynku. Dzięki interaktywnemu systemowi ABE powłoka budynku mogłaby nie tylko organicznie reagować na zmienne warunki klimatyczne: chłodzić lub generować energię potrzebną do ogrzania wnętrza [10].

Rozwijające się innowacyjne technologie inżynierii materiałowej, wykorzystujące procesy manipulacji wewnątrz struktury materiału otworzyły możliwości tworzenia wielu typów fasad filtrujących. Dla przykładu, nawiązując do zasady działania filtra optycznego, przepuszczają one określony wycinek widma optycznego ze światła o barwie złożonej lub zmieniają wartość natężenia przechodzącego przez światła. Fasady aktywnie filtrujące mogą także przetwarzać obraz lub zmieniać barwę, na przykład zależnie od kąta patrzenia na nie czy zmiany temperatury. Wymienione właściwości fasad aktywnie filtrujących osiągnąć są dzięki specjalnym błonom aplikowanym na powierzchnię fasady w mikro lub nanoskali albo też za pomocą żłobień czy stosowania siatek dyfrakcyjnych [6]. Gwałtownie rozwijającą się w ostatnich latach grupą doświadczeń nad tworzeniem fasad jako aktywnych filtrów jest ta, która wykorzystuje reakcje chemiczne zachodzące wewnątrz struktury materiału.

Dominującą technologią pozwalającą na utworzenie fasad filtrujących aktywowanych dzięki czynnikom środowiskowym jest technologia błon polimerowych. Polega ona na nanoszeniu na powierzchnię szklaną lub z tworzyw sztucznych jednej lub kilku warstw cienkich błon o różnorodnych właściwościach odbijania światła przy jednoczesnym zachowaniu całkowitej przepuszczalności. Kolor widziany przez tę powłokę zależy od kąta, pod jakim obserwator na niego patrzy oraz kąta padania światła. Nawet pozornie niewielka zmiana kąta patrzenia może spowodować, że kolor powierzchni odbierany przez obserwatora jest zupeł-

nie inny. Efekt taki udało się uzyskać w kompleksie budynków biurowych Almere Business Center w Holandii. Zewnętrzna powłoka zespołu budynków zaprojektowanych przez UN Studio ciągle się zmienia, ujawniając stonowane kolorystycznie refleksy i wzory, sprawiając jednocześnie wrażenie głębokiej i wielowarstwowej. Aby osiągnąć takie wrażenie, dwa splecione ze sobą budynki zostały przez projektantów pokryte nowym rodzajem szklanych paneli, w których pomiędzy warstwami szkła umieszczono podwójną, wielobarwną folię. Rozwiązanie zastosowane zostało po raz pierwszy właśnie w tej realizacji, a użyta folia najpierw była przez trzy lata testowana, po czym została opatentowana. Jak mówi jego twórca, Ben van Berkel z UN Studio, zależnie od kąta padania promieni słonecznych fasady zespołu Almere zmieniają się od żółtego do zielonego, czerwonego i następnie od fioletowego znów do koloru zielonego, stając się „architekturą powidoku”, gdzie obrazy ulegają wielokrotnemu odbiciu w innej gamie kolorystycznej [2].

Aby uzyskać na fasadzie efekty szerokiej, wyrafinowanej, ciągle zmieniającej się gamy kolorystycznej oraz nieprzewidywalnych refleksów i odbić świetlnych, architekci, inżynierowie i naukowcy wspólnie opracowują rozwiązania technologiczne. Jednym z takich rozwiązań jest metoda nakładania na szklaną fasadę kolejnych, bardzo cienkich warstw o odmiennych właściwościach optycznych. Na takiej właśnie zasadzie „zaprojektowane” zostało szkło dichroiczne, którego barwa zmienia się zależnie od kąta padania promieni światła lub kąta patrzenia na nie. Jednym z najbardziej spektakularnych przykładów użycia tego szkła jest modernizacja fasady Millenium Tower przy Columbus Avenue w Nowym Jorku – Dichroic Light Field (il. 3,4) Gdy patrzymy na tę fasadę od strony północnej, „świetlna płaszczyzna” mieni się kolorami od jasno zielonego po indygo, gdy obserwujemy ją z kolei z kierunku południowego, kolory fasady zmieniają się od złotego po karmazynowy [3]. Osiągnięcie tego efektu stało się możliwe dzięki czternastu bardzo cienkim warstwom tlenków metali nanoszonym na szklany substrat w procesie naporowywania próżniowego [1]. Kolejne, naprzemienne warstwy pokrycia, z których każda ma inne właściwości optyczne, selektywnie wzmacniają wybrane długości światła, interferując z pozostałymi. Modułową siatkę kwadratów dichroicznego szkła pokrywającą ścianę Millenium Tower dla wzmocnienia efektu dodatkowo wyposażono w wąskie „żeberka” wykonane z tego samego materiału, przytwierdzone pod kątem prostym w każdym z narożników siatki.



II. 3, 4. *Dichroic Lights Field*, przestrzenna instalacja wykorzystująca technologię powłok selektywnie filtrujących światło (fot. B. Konarzewska)

III. 3, 4. *Dichroic Lights Field*, spatial laminated glass installation filtering the spectrum of light (photo by B. Konarzewska)



Interesujące rezultaty otrzymywane są także dzięki wykorzystaniu holograficznych struktur dyfrakcyjnych HDS (*holographic diffraction structure*). Zjawisko różnorodnego załamania światła w strukturach HDS jest fizycznym efektem dyfrakcji, podobnym do efektu tworzonego przez lustra, soczewki, pryzmaty i inne urządzenia optyczne. HDS to trójwymiarowy zapis wzorów utworzonych przez światło lasera na wysokiej rozdzielczości błonie fotograficznej, która umieszczona jest pomiędzy dwiema taflami szkła. Struktury HDS wykorzystywane są między innymi przez konsorcjum Hspace z Toronto do produkcji szklanych powierzchni, które można stosować na fasadzie budynku, osiągając dynamicznie zmienne efekty. Powierzchnie takie, zależnie od kąta padania i odbicia światła, jego intensywności oraz ilości źródeł oświetlenia sztucznego, ujawniają różnorodne wzory, siatki i linie w szerokiej gamie kolorystycznej, zależnej od intencji architekta.

## 5. Wnioski

Rozwój i transfer do architektury technologii medialnych, interaktywnych i filtrów aktywnych wiele zmienił w sposobie projektowania fasad budynków. Przede wszystkim ukazał nowe zakresy warsztatu architekta, ujawniając potrzebę interdyscyplinarnej wiedzy i otwartej współpracy z technologami i specjalistami wielu dyscyplin, takich jak technologii informacyjnych, systemów sterowania i automatyki i inżynierii materiałowej. Ważne stało się porozumienie z artystami wykorzystującymi technologie medialne i tworzącymi dzieła sztuki interaktywnej.

Penetrowaniu nowych zakresów pracy nad projektem sprzyjają liczne internetowe platformy popularyzujące innowacyjne technologie, a także wystawy architektury i sztuki. Rozpowszechnianie wyników badań w tej dziedzinie nieustannie nasila się, co wydaje się przynosić wymierne skutki – architekci podejmują ciągle to nowe eksperymenty nad włączaniem technologii medialnych, interaktywnych i filtrujących w rozwiązania fasad budynków. Co więcej, trwają prace nad procesem łączenia tych systemów w coraz bardziej złożone układy hybrydowe. Problematyka ta wymaga przebadania, ale już dzisiaj widoczne jest, że dzięki połączeniom trzech podstawowych typów technologii fasada zyskała dużo większy potencjał współdziałania z cechami i wpływami otoczenia. Nie tylko znacznie poszerzył się zakres możliwych do uzyskania efektów artystycznych i architektonicznych, ale pojawiły się nieznane dotąd możliwości udoskonalenia jej aspektów użytkowych i energetycznych. Przede wszystkim nowe technologie odświeżyły spojrzenie na zewnętrzną powierzchnię budynku. Przełamały jej utarty i powtarzalny wizerunek, kierując uwagę architektów ku nie tylko nieosiągalnym dotąd kompozycjom, ale także materiałom i systemom fasadowym projektowanym indywidualnie.

## Literatura

- [1] Addington M., Schodek D., *Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions*, Architectural Press, Elsevier, Oxford 2005.
- [2] Bullivant L., *Responsive Environments*, V&A Publications, London 2006.
- [3] Carpenter J., *Constructing the Ephemeral*, PLCD 2<sup>nd</sup> Global Lightning Design Convention, Berlin 2009, s. 26.
- [4] Culshaw B., *Smart Structures and Materials*, Artech House Inc, Boston–Massachusetts 1996, s. 20.

- [5] Dawson L., *Chameleon skin*, Architectural Review 06/2002, s. 69.
- [6] Deplazes A., *Constructing Architecture: Materials, Processes, Structures*, Birkhauser, Bazylea 2008.
- [7] Fritz D., *Vladimir Bonacic – the early works, Zagreb 1968–1971*, [www.darkofritz.net/text/bonacic](http://www.darkofritz.net/text/bonacic), 20 kwietnia 2009.
- [8] Haeusler M., *Spatial Dynamic Media Systems*, RMIT University, Melbourne 2007.
- [9] Hall P., *Living Skins: Architecture as Interface*, [www.adobe.com/designcenter](http://www.adobe.com/designcenter), 20 marca 2008.
- [10] Khire R.A., Van Dessel S., Messac A., *Active Building Envelopes: a New Solar Driven Heat Transfer Mechanism*, 19th European PV Solar Energy Conference Proceedings, Paris 2004.
- [11] Konarzewska B., *Aktywność współczesnych fasad w kontekście rozwoju innowacyjnych technologii*, praca doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2010.
- [12] Leatherbarrow D., *Surface Architecture*, MIT Press, Oxford 2002.
- [13] Nyka L., *Od architektury cyrkulacji do urbanistycznych krajobrazów*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
- [14] Tscherteu G., *Media facades: fundamental terms and concepts*, s. 5, [www.mediaarchitecture.org](http://www.mediaarchitecture.org), 11 czerwca 2008.
- [15] Weathersby W., *Chanel Ginza*, Architectural Record 11/2005, s. 205-206.