

Rys. 2. Schemat zabezpieczenia ściany zewnętrznej boksów: 1 – płyta fundamentowa; 2 – istniejąca ściana żelbetowa; 3 – elastyczna membrana przeciwwodna i chemooodporna, np. MASTERSEAL 689; 3a – elastyczna membrana przeciwwodna i chemooodporna, np. MASTERSEAL 689 lub elastyczna mikrozaprawa wodoszczelna na bazie cementu (np. Aquafin 2K); 3b – wyoblenie o średnicy 5 cm; 3c – połączenie izolacji poziomej z izolacją pionową na zakładkę min. 20 cm; 4 – pręty $\Phi 10$ (4 pręty na 1 m^2) osadzone w ścianie boksów; 5 – siatka zbrojeniowa $\Phi 6$ co 150 mm; 6 – warstwa ochronna z betonu monolitycznego lub torkretu grubości 8 cm; 7 – ocieplenie od zewnątrz styropianem grubości 6 cm wykonane metodą BSO; 7a – ocieplenie części podziemnej ściany do głębokości min. 100 cm z polistyrenu ekstrudowanego XPS gr. min. 5 cm + folia kubelkowa od zewnątrz; 8 – cokół z płytek ceramicznych o wysokości 60 cm; 9 – podkładka z materiału elastycznego (na bazie kauczuku – gumowa lub z polistyrenu ekstrudowanego)

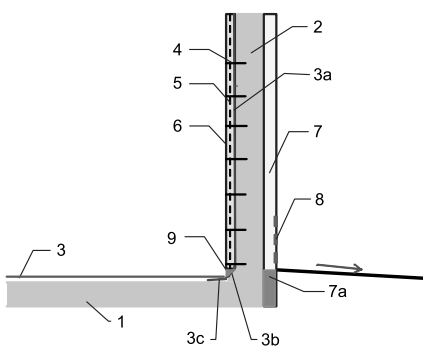


Fig. 2. A diagram of external wall protection in the chambers: 1 – foundation slab; 2 – the existing ferroconcrete wall; 3 – elastic waterproof and chemically resistant membrane, for example, MASTERSEAL 689; 3a – elastic waterproof and chemically resistant membrane, for example, MASTERSEAL 689, or elastic cement based waterproofing mortar, for example, Aquafin 2K; 3b – the 5 cm in diameter rounding; 3c – horizontal and vertical insulation connection overlapping by 20 cm; 4 – $\Phi 10$ reinforcing bars (4 bars in 1 m^2) fixed in the chamber walls; 5 – $\Phi 6$ mesh reinforcement every 150 mm; 6 – 8 cm thick monolithic concrete or shotcrete protective layer; 7 – 6 cm styrofoam insulation from the outside performed by BSO method; 7a – the insulation of the underground walls to the depth of minimum 100 cm with minimum 5 cm thick XPS extruded polystyrene + dimpled membrane from the outside; 8 – 60 cm high ceramic tile chamber base; 9 – elastic compound washer (rubber based or made of XPS extruded polystyrene).

Podsumowanie

Projektując konstrukcje żelbetowe o dużej szczelności, należy zwracać szczególną uwagę na obciążenia termiczne, które powinny być uwzględniane w obliczeniach łącznie ze skurczem betonu. Przeanalizowano przypadek nieprawidłowo zaprojektowanej konstrukcji komór żelbetowych, w której nie uwzględniono obciążeń termicznych oraz skurczowych, tymczasem gradient temperatury okazał się najważniejszym spośród wszystkich obciążeń. Gdy przekroje zbrojenia, konieczne do przeniesienia obciążenia termicznego oraz sił skurczowych okazują się duże, skutecznym sposobem redukcji tych obciążeń jest zastosowanie zewnętrznego ocieplenia, co prowadzi do ok. 2-krotnego zmniejszenia zbrojenia ścian.

Otrzymano 15.01.2015 r.

dr inż. arch. Małgorzata Rogińska-Niestuchowska¹⁾

Interaktywne fasady przeszklone w architekturze współczesnej (w kontekście zrównoważonego rozwoju)

Interactive glazed facades in contemporary architecture (in concept of sustainable development)

DOI: 10.15199/33.2015.05.16

(Artykuł przeglądowy)

Streszczenie. Artykuł dotyczy projektowania przeszklonych elewacji interaktywnych we współczesnej architekturze. Na podstawie wybranych przykładów przedstawiono współczesne rozwiązania oraz możliwe kierunki rozwoju przeszkleń elewacji budynków realizowanych w zgodzie z ideą zrównoważonego rozwoju. **Słowa kluczowe:** interaktywne fasady przeszklone, optymalizacja cyfrowa, architektura biomimetyczna.

Abstract. The paper deals with the issues of designing interactive glass facade in contemporary architecture. Based on the selected examples, current solutions and possible directions of development of glass facades are presented, in the buildings implemented in accordance with the concept of sustainable development. **Keywords:** interactive glazed facades, digital optimization, biomimetic architecture.

Wielkoformatowe, całkowicie przeszklone, przezroczyste fasady stały się niezbędnym elementem współczesnej architektury, przede wszystkim o funkcji komercyjnej. Wobec narastających zagrożeń ekologicznych oraz problemów światowej gospodarki energetycznej współczesna architektura została podporządkowana wysokim wymaganiom dotyczącym m.in. energooszczędności budynków. Niezbędne są więc nowe materiały, technologie i rozwiązania w budownictwie, które pozwolą spełnić surowe kryteria zrównoważonego rozwoju.

Biomimetyczny pierwowzór interaktywnej przeszklonej ściany osłonowej

Architektura biomimetyczna jest jednym z rozwijających się współcześnie trendów w projektowaniu. Wskazuje na analogie między budynkiem a żywym organizmem. Zjawiska w nim zachodzące porównuje do naturalnych procesów homeostazy. Tkanki osłonowe, jak skóra zwierząt czy kora drzewa, są źródłem inspiracji w projektowaniu eksperymentalnych fasad budynków. Starają się one naśladować takie naturalne procesy jak oddychanie czy wymiana gazo-

¹⁾ Politechnika Gdańska, Wydział Architektury; e-mail: maron@pg.gda.pl

wa przez aparaty szparkowe, proces fotosyntezy, mechanizm perspiracji wykorzystujący zjawisko chłodzenia przez parowanie, wyrównywanie różnicy temperatury za pomocą krwioobiegu, czy proces gromadzenia przez zwierzęta tkanki tłuszczowej jako izolacji.

Teoretyczny pierwowzór interaktywnej przeszklonej ściany osłonowej został zaprezentowany na początku lat osiemdziesiątych XX w. przez **Mike'a Daviesa**, jako model typu polyvalent wall (ściana wielowarstwowa), zatytułowany „a wall for all seasons” (ściana na wszystkie pory roku). Wielowarstwową przegrodę sterowaną elektrochemicznie, o budowie i sposobach regulacji podobnych do morfologii tkanek osłonowych, tworzyła zewnętrzna i wewnętrzna ochronna warstwa szkła, warstwa kontroli i pomiaru parametrów warunków zewnętrznych i wewnętrznych, siatka fotoelektryczna, warstwa termoemisyjna, chłodzenia i selektywnej absorpcji energii cieplnej, warstwy elektrorefleksyjne oraz warstwa z mikroporami umożliwiającą cyrkulację gazów – naturalną wentylację. Warstwa fotoelektryczna miała umożliwić produkcję energii. Elektroniczne sensory służące do gromadzenia informacji o aktualnych warunkach zewnętrznych i wewnętrznych powinny umożliwić modyfikację parametrów fizycznych ściany, m.in. przezroczystości, współczynnika przenikania ciepła, przepuszczalności pary wodnej [1]. Przegroda ta stała się wyzwaniem dla współczesnych projektantów, którzy za pomocą różnych środków nadal dążą do zrealizowania idei fasady zdolnej do przystosowywania się do zmiennych warunków klimatycznych [2].

Architektura bioniczno-dynamiczna

Innym dynamicznie rozwijającym się stylem jest **architektura kinetyczna**. Charakteryzuje się występowaniem ruchu, który dotyczy przynajmniej jednego elementu obiektu. Jej początki odnajdujemy w sztuce, dla której inspiracją było poszerzenie pojęcia przestrzeni trójwymiarowej o czwarty wymiar (czas) i połączenie pojęcia przestrzeni z ruchem. Dodatkowo pojawiły się techniczne możliwości uchwycenia elementów ruchu za pomocą fotografii. Stało się to źródłem eksperymentów, które wpłynęły na powstanie nowych koncepcji przestrzennych uwzględniających czynnik czasu. Architektura bioniczno-dynamiczna jest kontynuacją nurtu bionicznego, który uwzględnia również ruch występujący w przyrodzie. Przykładem jest pawilon koreański One Ocean na międzynarodową wystawę EXPO 2012 w Yeosu (fotografia). Innowacyjna fasada kinetyczna opracowana została zgodnie z zasadami bioniki. Łączy w sobie funkcje estetyczne i użytkowe. Zbudowana jest z ponad stu ruchomych pionowych pasów o różnej wysokości ($3 \div 13$ m), które wykonano z elastycznego kompozytu polimerowego wzmocnionego włóknem szklanym. Możliwość indywidualnego sterowania otwieraniem i zamykaniem kolejnych paneli pozwala tworzyć choreografie falowania fasady. Po zachodzie słońca, wizualny efekt ruchu elewacji jest wzmocniony przez diody LED zamontowane na wewnętrznej stronie płytek. Ruchome lamele kontrolują również dostęp światła i energii słonecznej do wnętrza pawilonu, a panele słoneczne na dachu dostarczają energię do funkcjonowania instalacji. Optymalne właściwości klimatyczne wewnątrz budynku oraz zwiększenie jego wydajności energetycznej uzyskano dzięki analizie i wirtualnej symulacji w programie Trans-



One Ocean Thematic Pavilion (Expo 2012), Yeosu, South Korea
[Fot. © soma architecture]

solar [5, 6]. Ruch elewacji stanowi nową jakość rozumianą zarówno w kategorii estetyki, jak i funkcjonalności obiektu.

Architektura zrównoważona wspomagana programowaniem, analizami i sterowaniem cyfrowym

Obecnie kluczowe znaczenie w poszukiwaniu optymalnych rozwiązań architektonicznych, uwzględniających zasady zrównoważonego rozwoju, mają analizy i symulacje komputerowe. **San Francisco Federal Building** jest typowym przykładem obiektu, który powstał zgodnie z kryteriami zrównoważonego rozwoju. Architekci firmy Thom Mayne & Morphosis oraz wykonawcy wykorzystali technologię modelowania informacji o budynku BIM (ang. Building Information Modelling). Przeszklona elewacja tworzy żyjącą skórę, w której procesy przenikania światła i energii cieplnej, wentylacji i chłodzenia zostały w znacznej części zautomatyzowane. Oświetlenie dzienne dociera do 85% powierzchni miejsc pracy, a światło elektryczne zostało zaprojektowane jedynie indywidualnie i jest automatycznie ściemniane albo wyłączane, jeśli do danego miejsca dociera wstarczająca ilość światła dziennego [7]. Automatyczne zarządzanie procesami zachodzącymi w budynku odbywa się przez systemy BMS (ang. Building Management System).

Algorytmy genetyczne, czyli „hodowanie” optymalnych rozwiązań architektonicznych i urbanistycznych

Najbardziej zaawansowane badania bazują na wykorzystaniu osiągnięć algorytmiki. W tym ujęciu proces projektowy jest rozumiany jako pewien przepis na budynek, opisany za pomocą logicznych obliczeniowych kroków. Procedury często wzorowane są na procesach ewolucyjnych, gdzie z określonego genotypu, na skutek oddziaływania środowiska, powstają różne fenotypy. Algorytmy genetyczne obejmują trzy rodzaje operacji: selekcję (wybór najbardziej efektywnych cech); krzyżowanie genów (wymianę danych między najbardziej korzystnymi kombinacjami) i mutację (zamianę danych). W architekturze wykorzystywane są m.in. do optymalizacji wielokryteriowej, przy uwarunkowaniach nakładających się na siebie i warunkach konfliktowych, które musi spełniać obiekt [8].

Przykładem architektury, której formy przeszkleń powstały w wyniku optymalizacji z udziałem kodów genetycznych, jest Musee des Confluences in Lyon, zaprojektowane przez COOP Himmelb(l)au [9].

Systemy inteligentnych fasad przeszklonych

Współczesne rozwiązania są najczęściej połączeniem zaawansowanych technologicznie szkła oraz mechanicznych lub cyfrowych systemów regulujących. Interaktywną kontrolę relacji zachodzących pomiędzy wnętrzem a zewnątrz budynku mogą zapewnić dodatkowe elementy elewacji, jak żaluzje, rolety, półki zacieniające – sterowane zintegrowanymi systemami pomiarowo-regulacyjnymi. Zaawansowane technologie przeszkleń dążą do włączenia w strukturę szkła warstw, które mogłyby działać interaktywnie, takich jak powłoki selektywnie przepuszczające promieniowanie słoneczne (angle-selective film) w formie systemów mikrożaluzji wtopionych w taflę szkła, systemy holograficzno-dyfrakcyjne (Holographic Diffractive Structures, w skrócie HDS), powodujące zmianę kierunku i składu spektrum promieniowania słonecznego, które pada na jego powierzchnię [3], czy ciekłe kryształy. Najnowsze rozwiązania systemów przeszkleń interaktywnych wykorzystują szklenia aktywne słonecznie, tj. szklenia o zmiennych parametrach optycznych (tzw. switchable glass), które mogą reagować na takie parametry, jak temperatura, natężenie światła, czy długość fali elektromagnetycznej. Wyróżniamy dwa typy adaptacji optycznej szklenia: o samoczynnej regulacji parametrów, dostosowującej się do warunków otoczenia (tzw. typ pasywny) – szkło fotochromatyczne, termochromatyczne, termotropowe, oraz o kontrolowanej regulacji parametrów (typ aktywny) – szkło elektrochromatyczne, SPD (ang. suspended particle devices), ciekłokrystaliczne, gazochromatyczne, o regulowanych parametrach w sposób kontrolowany, niezależnie od warunków otoczenia, za pomocą sterujących układów elektrycznych [4].

Badania nad udoskonaleniem technologii produkcji przeszkleń aktywnych optycznie, umożliwiających masową produkcję wyrobów efektywnych energetycznie o bardzo dobrych parametrach użytkowych, estetycznych oraz ekonomicznych, prowadzone są m.in. w Instytucie Fraunhofera we Freiburgu. Amerykański National Institute of Standards and Technology (NIST) podaje, że aktywne słoneczne okna mogą przyczynić się do redukcji zużycia energii w budynkach komercyjnych nawet o 40%, zwłaszcza w ciepłym klimacie [4]. Szkła termoelektrotropowe i fotoelektrochromowe pozwalają na uzyskanie zysków energii w różnych porach roku. Wykorzystanie systemów holograficzno-dyfrakcyjnych umożliwia bardziej efektywne oświetlenie wnętrz. Ciekłe kryształy mogą dostarczać dynamicznych efektów plastycznych. Technologie laminowania szkła pozwalają na integrację rozwiązań helioaktywnych oraz nocnego oświetlenia w systemach LED i ELED. Dobre efekty daje też zespolenie ogniw fotowoltaicznych ze strukturą szkła.

Naturalne sensory cyfrowej morfogenezy

HygroScope: Meteorosensitive Morphology to projekt badawczy, którego głównym autorem jest arch. Achim Menges, zrealizowany na zlecenie Centrum Pompidou w Paryżu w Institute for Computational Design, University of Stuttgart. Miał on na celu zbadanie nowego rodzaju interakcji zachodzących w strukturze przestrzennej, opartych na kombinacji naturalnego zachowania materiału i cyfrowej morfogenezy.

Architektura aktywna klimatycznie jest zazwyczaj postrzegana jako aktywna, dzięki licznym mechanicznym i elektronicznym urządzeniom. W wielu systemach biologicznych naturalny system regulujący jest dosłownie wpisany w sam materiał. W projekcie tym interaktywne reakcje materiałowe uruchamiane są wskutek zmian naturalnych właściwości drewna pod wpływem zmiennych warunków atmosferycznych. Zawieszona w przejrzystej szklanej gablocie, o kontrolowanej wilgotności, meteorologicznie wrażliwa drewniana struktura otwiera się i zamyka w odpowiedzi na zmiany klimatyczne bez udziału jakiegokolwiek urządzenia technicznego lub energii [10].

Wnioski

Ewolucja szklanej przegrody przebiega w wielu kierunkach i jest uwarunkowana przede wszystkim postępowaniem technologicznym. Dzięki innowacjom w produkcji szkła, komponenty przeszkleń samodzielnie mogą pełnić funkcje przeszkleń interaktywnych. Rozwiązania przeszkleń elewacji wykorzystujących biomimetykę charakteryzują się dużą złożonością pod względem strukturalnym oraz wykorzystaniem dodatkowych elementów w celu kontroli dostępu światła, w tym elementu ruchu. Mogą stanowić połączenie funkcji użytkowych oraz dekoracyjnych i medialnych. Dzięki temu architektura zyskuje bogatą i efektowną zewnętrzną powłokę przestrzenną oraz ciekawe efekty plastyczne. W każdym przypadku projektowanie za pomocą wirtualnych modeli trójwymiarowych, zwłaszcza modeli parametrycznych, pozwala wykorzystywać symulacje i optymalizacje ekologiczne budynku na różnych etapach procesu projektowego. Wykorzystanie metod cyfrowych do generowania rozwiązań dostosowanych do danych warunków lokalizacji i uwarunkowań użytkowych może prowadzić do uzyskania najbardziej efektywnych i ekonomicznie uzasadnionych rozwiązań. Nowe kierunki badań z udziałem algorytmów cyfrowych wykorzystują sensoryczne właściwości naturalnych materiałów, które mogą zastąpić cyfrową aparaturę sterującą oraz pomiarową w interaktywnych przeszklonych fasadach.

Literatura

- [1] Attmann O., Architecture as a Science: Integrating Macroelectronics Technology into Buildings, International Journal of Architecture, Engineering and Construction Vol. 1, No. 2, June 2012, pp. 96 – 102.
- [2] Building skins, Schittich Ch. (Ed.), Birkhauser, Basel 2006.
- [3] Możliwości technologiczne szkła a poszukiwanie rozwiązań proekologicznych, Katarzyna Zielonko-Jung, Świat Szkła 2/2007.
- [4] Szkło termotropowe i fotochromatyczne w budownictwie, Janusz Marchwiński, Świat Szkła 12/2007.
- [5] Move: Architecture in Motion, Schumacher M., Schaeffer O., Vogt M.-M., Birkhauser, Basel 2010.
- [6] DETAIL Das Architekturportal <http://www.detail-online.com/architecture/topics/one-ocean-thematic-pavilion-for-expo-2012-018911.html>.
- [7] Parametric Modeling for Advanced Architecture, Stavric M., Marina O., International Journal of Applied Mathematics and Informatics, Issue 1, Volume 5, 2011, p. 9 – 16.
- [8] Morphosis Architects: <http://morphopedia.com/projects/san-francisco-federal-building>.
- [9] COOP HIMMELB(L)AU Wolf D. Prix & Partner ZT GmBH: <http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/musee-des-confluences>.
- [10] Prof. Achim Menges ICD Universität Stuttgart, <http://www.achim-menges.net/?p=5083>.

Otrzymano 22.01.2015 r.