



RODZAJE WSPÓŁCZESNEJ SZKLANEJ FASADY. W POSZUKIWANIU CIĄGŁOŚCI IDEI PROSTOPADŁOŚCIENNEJ FORMY. CZĘŚĆ PIĄTA¹.

THE TYPES OF MODERN GLASS FACADE. IN SEARCH OF THE IDEA OF CONTINUITY OF THE CUBOIDAL FORM. PART FIVE.

Miłosz Raczyński

Dr inż. arch.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Architektury Współczesnej, Teorii i Metodologii Projektowania

STRESZCZENIE

Współczesne szklane fasady mają za zadanie nie tylko ochraniać budynek przed stratami ciepła, ale mają zapewniać również jego zyski z niekonwencjonalnych źródeł pozyskiwania energii cieplnej pełniąc rolę elementu regulującego przepływ energii słonecznej. Odgrywają również ważną rolę w procesie wymiany powietrza pomiędzy środowiskiem zewnętrznym i wnętrzem budynku, pełniąc jednocześnie określone zadania w procesie kształtowaniu przestrzeni architektonicznej.

Słowa kluczowe: architektura, forma, przestrzeń, materiał, szklana fasada.

ABSTRACT

The purpose of modern glass facades is not only to protect the building against heat losses, but also to benefit from non-conventional sources of thermal energy by acting as an element controlling the flow of solar energy. Modern glass facades also play an important role in the exchange of air between the external environment and the interior of the building, simultaneously carrying out the specific tasks in the process of shaping the architectural space.

Key words: architecture, form, space, material, glass facade.

¹ Artykuł opracowano w oparciu o rozprawę doktorską pt *Idea przezroczystego prostopadłościanu w architekturze końca XX i początku XXI wieku. Próba syntezy*, Politechnika Śląska, Wydział Architektury 2008. Promotor: Prof. dr hab. inż. arch. Adam Maria Szymki. Stanowi także kontynuację pięciu pierwszych części z serii: *W poszukiwaniu ciągłości idei prostopadłościennej formy* - opublikowanych odpowiednio w PiF nr 13 i 14 /2010, PiF nr 16/2012 i PiF nr 17/2012..

1. WSTĘP

Jedna z najbardziej przełomowych zmian w rozwiązaniach technicznych a tym samym estetycznych budynków o formie przezroczystego prostopadłościanu, spowodowana została rolą, jaką odgrywa współczesna szklana fasada.

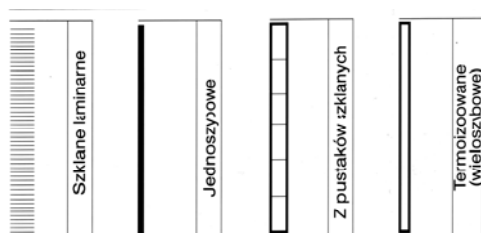
Norman Foster oraz Thomas Herzog w tekście Europejskiej Karcie Energii Słonecznej stwierdzili „Przegrody zewnętrzne budynku w ramach przenikalności dla światła, ciepła, powietrza, a także widoczności muszą być podatne na zmiany i docelowo być sterowalne, aby móc reagować na zmieniające się warunki klimatu lokalnego (np. osłony słoneczne przeciw oślnieniu, kierowanie światłem, zacielenie, okresowa ochrona ciepła, zmienna wentylacja)”².

Obecnie w trakcie kształtowania transparentnych obiektów architektonicznych na pierwszy plan wysuwa się zapewnienie odpowiednich warunków użytkowania. W tym celu oprócz stosowania technicznych sposobów zabezpieczeń w postaci np. klimatyzacji, nacisk kładziony jest na stosowanie odpowiednich, przetworzonych rodzajów szkła w różnorodnych układach, pozwalających na uzyskanie np. tzw. inteligentnych elewacji.

Współcześnie realizowane szklane fasady pozwalają, na kontrolę zużycia energii, chronią przed hałasem i ogniem, zapewniają bezpieczeństwo a także stosowane są w celach dekoracyjnych i ochrony prywatności. Wiąże się to zarówno z możliwościami technicznymi i ekonomicznymi zastosowania konkretnego rodzaju szkła jak i podstawową rolą, jaką ma pełnić³. Okazuje się, że ze względu na rodzaj i charakter obiektu, jego specyfikę, a także funkcję w nim zawartą, istnieje szereg możliwości doboru właściwego rodzaju szkła do konkretnych rozwiązań. Ich różnorodność ze względu na kolor, stopień przezroczystości, fakturę, przepuszczalność promieniowania słonecznego, właściwości fizyczne i chemiczne ma również ścisły związek z postrzeganiem i wyglądem danego budynku.

2. RODZAJE SZKLANYCH FASAD

Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje szklanych fasad (ryc. 1, 2)⁴.



Ryc. 1. Fasady pojedyncze - schemat. Źródło: Celadyn Waclaw: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r. Str. 91.

Fig. 1. Single leaf facades -scheme. Source: Celadyn Waclaw: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r. Str. 91.



Ryc. 2. Fasady podwójne - schemat. Źródło: Celadyn Waclaw: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r. Str. 91.

Fig. 2. Double leaf facades -scheme. Source: Celadyn Waclaw: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r. Str. 91.

² Cytat z *Europejskiej Karty Energii Słonecznej*, w odniesieniu do planowania, budownictwa i użytkowania budynków. „Glass” nr 3/1997r. Str. 56.

³ Lessing J. *Szkló budowlane*. „Architektura - Murator” nr 9(24)/1996r. Str.62. i nr 2(17)/1996r. Str. 68-73.

⁴ Określenie „fasada” w odniesieniu do podwójnej elewacji (ang.: double leaf facade) jest niezgodne z dotychczasowym rozumieniem tego terminu. Do tej pory „fasada” oznaczała kompozycję zewnętrznego lica ściany. Według definicji słownikowych przez fasadę rozumie się elewację frontową budynku. Określenie „podwójnej fasady” funkcjonuje jednak we współczesnej terminologii budowlanej. Można uznać, że termin ten wszedł już do powszechnego użytku. Na podst. Brzezicki Marcin: *Zastosowanie zaawansowanych technologii w rozwiązaniach proekologicznych w architekturze*. Praca doktorska. Wrocław 2001r.

2.1. FASADY POJEDYŃCZE

Są rozwiązaniami tradycyjnie stosowanymi od początków historii szkła w budownictwie. Skonstruowane są na zasadzie pojedynczej przegrody oddzielającej przestrzeń wewnętrzną od otoczenia. Mogą być zbudowane z jednej, lub połączonych i tworzących całość funkcjonalno konstrukcyjną, dwóch lub trzech tafli szkła. Są to tzw. szyby zespolone lub zestawy szklane (ryc.3). Do nich też zalicza się także fasady z pustaków szklanych oraz masywne fasady ze szkła profilowanego (ryc. 4).



Ryc. 3. Fasada Francuskiej Biblioteki Narodowej w Paryżu. Dominique Perrault. Źródło: www.lightningfield.com/2004/04/22

Fig. 3. Facade of the French National Library in Paris. Dominique Perrault. Source: www.lightningfield.com/2004/04/22



Ryc. 4. Fasada Prada Flagship Store w Tokio. Herzog & de Meuron. Źródło: www.architettura.supereva.com

Fig. 4. Facade of Prada Flagship Store in Tokyo. Herzog & de Meuron. Source: www.architettura.supereva.com

Grubość fasad pojedynczych jest bardzo różna, od kilku milimetrów, w przypadku elewacji jednoszybowych, do ponad 150mm w przypadku fasad laminarnych. Zróżnicowanie grubości związane jest głównie z właściwościami termoizolacyjnymi poszczególnych systemów. Fasady jednoszynowe ze szkła zwykłego, hartowanego bądź klejonego cechują się niską termoizolacyjnością i wysokim współczynnikiem przenikania ciepła. Fasady dwu i trój szybowe, określane również, jako dwu i trzykomorowe bądź termoizolowane, mają najwyższe parametry cieplochronne i są najczęściej stosowane⁵.

2.1. FASADY PODWÓJNE

Są rozwiązaniem o stosunkowo krótkiej historii. Określane też bywają jako fasady klimatyczne bądź fasady przeszklone wentylowane. Ich parametry cieplochronne są najbardziej korzystne spośród wszystkich typów fasad przeszklonych. Podstawową ich cechą jest złożoność struktury. Skonstruowane są z dwóch oddzielnych przegród szklanych, oddalonych od siebie. W zależności od przyjętej koncepcji przestrzennej i zastosowanego systemu, poszczególne przegrody fasad mogą mieć odmienną budowę i występować w zróżnicowanej wzajemnie konfiguracji. Podwójne szklane fasady, instalowane na całej płaszczyźnie ściany działają jak bufor cieplny, ale służą również przewietrzaniu pomieszczeń. Pierwszy znany przykład zastosowania podwójnej fasady pochodzi z budynku hali maszyn koncernu Steiff z 1903 roku. Zastosowana tam podwójna szklana powłoka służyła głównie do ochrony akustycznej, ale spełniała także rolę bufora termicznego i kanału wentylacyjnego. Pierwsze powojenne podwójne fasady były wentylowane mechanicznie

⁵ Na podstawie:

Rybak A.: *Przegląd techniczny-szklane fasady*. „Architektura-murator”, nr 08/1999r. Str. 95-98.

Celadyn Waclaw: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r.

ze względu na ograniczone środki techniczne uniemożliwiające właściwe przewidywanie zjawisk termodynamicznych występujących pomiędzy warstwami szklenia⁶.

Zastosowania podwójnych fasad w obiektach architektury współczesnej pojawiały się w latach sześćdziesiątych np. w budynku Wydziału Historii Uniwersytetu w Cambridge wzniesionego w latach 1964-1968 przez Jamesa Sterlinga, w którym zastosowano nowatorskie rozwiązania o dwóch powierzchniach szkła, zewnętrznej zawierającej elementy ruchome lufcików i wewnętrznej ze szkła matowego⁷. Inspirowane nimi rozwiązania są dostępne i wykorzystywane współcześnie na rynku. Nie wolno tu zapominać o wspaniałych polskich dokonaniach sprzed ponad czterdziestu lat. Dwupowłokowa szklana fasada nie narodziła się dziś. Zachęta II O.Hansena, L.Tomaszewskiego i St.Zamecznika, Domy Centrum⁸ w Warszawie Z.Karpińskiego, E.Waślawka i J.Jakubowicza (z technicznym rozwinięciem ściany przez Borowskiego) były również jej pierwowzorami.

Doświadczenia uzyskane na podstawie eksperymentalnych obiektów, na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych, posłużyły udoskonalaniu poszczególnych części składowych systemów elewacyjnych i wprowadzeniu podwójnych fasad z grawitacyjnym obiegiem powietrza. Ich dynamiczny rozwój stał się możliwy dzięki szerokiemu zastosowaniu wspomaganie komputerowego w projektowaniu i w badaniach. W wyniku wielu eksperymentów opracowano prototypy i zoptymalizowano wskaźniki dotyczące liczby warstw szklenia, szerokości wentylowanej przestrzeni, kształtu otworów wentylacyjnych i sposobu ich rozmieszczenia⁹.

Współczesna podwójna fasada składa się z dwóch warstw: wewnętrznej, która jest termoizolacyjną, przeszkloną przegrodą z uchylnymi oknami, i zewnętrznej, wykonanej najczęściej z pojedynczych tafli szkła (ryc. 5,6).



Ryc. 5. Fasada Muzeum Sztuki Współczesnej w Bregenz. . Peter Zumthor. Źródło: Kunsthaus Bregenz Peter Zumthor. „Baumeister“ nr 9 /1997r.

Fig. 5. Facade of Art Museum in Bregenz. Peter Zumthor. Source: *Kunsthaus Bregenz*. Peter Zumthor. „Baumeister“ nr 9 /1997r.



Ryc. 6. Fasada Budynku P.L.L LOT w Warszawie. Stefan Kuryłowicz. Źródło: Materiały własne. Fot. Mateusz Mateńko.

Fig. 6. Facade of P.L.L LOT in Warsaw. Stefan Kuryłowicz. Source: Own materials. Photo. Mateusz Mateńko.

⁶ Na podstawie:

Brzezicki M.: *Zastosowanie zaawansowanych ... op.cit.*

Zielonko-Jung K.: *Wielowarstwowe elewacje przeszklone a koncepcja przegrody interaktywnej*. „Świat szkła” nr 01 (104)/2007r. Str.18-25.

⁷ Na podst. Czaplńska T.: *James Sterling wobec tendencji architektury postmodernizmu*. Praca doktorska Wrocław 1977r. Str.68.

⁸ Kłosiewicz L.: *Nowy fragment warszawskiego centrum-Junior*, „Architektura”, nr 12/1969r. Str. 454-463.

⁹ Brzezicki M.: *Zastosowanie zaawansowanych ... op.cit.*

Brzezicki M.: *Inteligentne fasady*. „Inteligentny budynek”, nr 02/1998r. Str.13-17.

Zewnętrzna warstwa nie jest szczelna, umieszcza się w niej otwory wentylacyjne. Pomiędzy dwoma warstwami szklenia, znajduje się przestrzeń o szerokości od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów, dostosowanej głównie do sposobu zaprojektowanych otworów wentylacyjnych. Między warstwami szkła powstaje silny ruch powietrza a jego wymianę umożliwiającą, umieszczone z reguły u podstaw obiektów, czerpnie świeżego powietrza, a u szczytu nad dachem, wyrzutnie zużytego. Obecnie za optymalne uważa się systemy, w których wymianę powietrza ogranicza się do wysokości jednej kondygnacji i służy to zapobieganiu możliwości przedostawania się zużytego powietrza do pomieszczeń zlokalizowanych na wyższych kondygnacjach. W tym celu stosuje się również szklane żebra rozdzielające poszczególne sekcje fasady w pionie¹⁰.

Podwójne fasady powstają w Polsce stosunkowo rzadko. Po pierwsze, dlatego że są to rozwiązania kosztowne, ale również z powodu niedostosowania polskich przepisów budowlanych do wdrożenia nowoczesnych technologii. Podstawowe problemy wynikają z interpretacji przepisów¹¹ i ochronie przeciwpożarowej¹².

Konstrukcja fasad podwójnych pozwala również na tłumienie hałasu zewnętrznego, filtrację światła dziennego, regulację intensywności nawiewu powietrza i wstępne jego oczyszczanie, a także ochronę urządzeń wspomagających funkcjonowanie systemu przed niekorzystnymi wpływami klimatycznymi oraz ułatwienie konserwacji elementów fasady. Integralną częścią współczesnej, podwójnej fasady jest żaluzja przeciwsłoneczna, umieszczana w przestrzeni między warstwami szklenia. Jej zadanie jest zmniejszenie przenikania bezpośredniego światła słonecznego do pomieszczeń, tak aby zredukować ilość akumulującego się w nich ciepła. Dzięki różnym kombinacjom podstawowych elementów składowych fasad pojedynczych i podwójnych uzupełnionych systemami wspomagania energetycznego, możliwe stało uzyskiwanie wielu interesujących rozwiązań. Rozpowszechniły się one w zróżnicowany sposób w zależności od zastosowanego systemu. Ryc. 7 przedstawia przykładowe schematy systemów fasad przeszklonych w kolejności związanej ze wzrastającym stopniem ich kompleksowości¹³.

¹⁰ Alard F.: *Natural Ventilation in Buildings*. „A Design Handbook”. Londyn 1998r.

Brzeziński M.: *Przekształcalność w architekturze*. „Inteligentny Budynek”, nr 01/1998r.

Zielonko-Jung K.: *Wielowarstwowe elewacje* *op.cit.*

¹¹ Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać i ich usytuowanie (Dz.U.Nr.15 poz.140, załącznik § 148, pkt. 1) stanowi, że w budynku wysokim i wysokościowym należy stosować wentylację mechaniczną wywiewną i/lub nawiewno-wywiewną.

Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991r. o ochronie przeciwpożarowej (t.j. Dz.U. z 2002r. Nr 147, poz. 1229 z późn. zmianami).

Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. Prawo budowlane (t.j. Dz.U. z 2000r. Nr 106, poz. 1126 z późn. zmianami).

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 21 kwietnia 2006r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. Nr 80, poz 563).

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 16 czerwca 2003r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej (Dz.U. Nr 121, poz 1137).

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690 z późn. zmianami).

¹² Kosiorek M.: *Problemy bezpieczeństwa pożarowego budynków z dwupowłokowymi ścianami osłonowymi*. „Architektura-murator”, nr 02/2001r. Str. 96-99.

¹³ Na podstawie:

Celadyn W.: *Przegrody przeszklone*... *op.cit.*

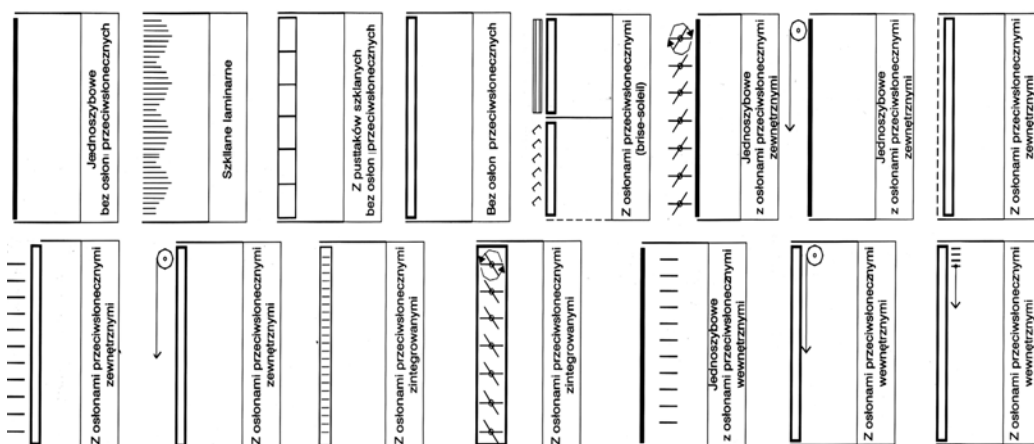
Rybak A.: *Przegląd techniczny* *op.cit.*

Ryńska D.: *Inteligentne fasady*. „Architektura-murator”, nr 10/2000r. Str. 103-105.

Wachowski M.: *Klasyfikacja budynków inteligentnych*. „Inteligentny Budynek”, nr 10/1998r. Str. 32-34.

Polijaniuk A.: *Systemowe rozwiązania ochrony przeciwsłonecznej*. „Świat szkła” nr 11(102)/2006r. Str. 24-25.

Yeang K.: *Solar-Streiter*. „Intelligente Architektur”, nr 01/1997r. Str. 48-50.



Ryc. 7. Schematy fasad przeszklonych. Źródło: Celadyn Waclaw: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczednej*, Kraków 2004r. Str. 92.

Fig. 7. Podpis w języku angielskim. Source: Celadyn Waclaw: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczednej*, Kraków 2004r. Str. 92

Nie ulega wątpliwości, że możliwość kształtowania architektury w formie przezroczystych, czy też transparentnych prostopadłościennych brył jest w dużej mierze konsekwencją dostępnych współcześnie i szeroko stosowanych rozwiązań technicznych.

Geometryczna definiowalność bryły, ułatwia co prawda wykorzystanie różnorodnych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych, jednak z technicznego punktu widzenia, założenie, że przegrody przezroczyste zaspokoją wszystkie związane z nimi oczekiwania jest praktycznie nie do uzyskania na obecnym etapie rozwoju. Powodem tego jest niemożliwa do osiągnięcia, całkowita ich wielofunkcyjność, a także niewystarczająca skuteczność kompleksowych systemów oraz wysoki koszt ich stosowania.

Szczególnym utrudnieniem w wielu przypadkach jest wzajemne wykluczanie się niektórych funkcji, jak na przykład oczekiwana od przegrody szklanej, jednokierunkowa, zmiana przepuszczalności energii cieplnej, uzależniona od warunków środowiskowych po obydwu jej stronach. Zastosowany system nie powinien jej utrudniać a tymczasem w czasie letniej insolacji pożądany przepływ ciepła z rozgrzanego pomieszczenia na zewnątrz, nie może nastąpić ze względu na wysoką izolacyjność termiczną szyb zespolonych.

Powstaje również konflikt związany z ograniczaniem przenikania promieniowania słonecznego do wnętrza w okresie letnim. Standardowe systemy zapewniające jego redukcję, jak szkło barwione, powłoki refleksyjne itp. ograniczają jednocześnie penetrację światła dziennego. W tym przypadku na przeciw wychodzą rozwiązania z zastosowaniem folii antykonwekcyjnej, pokrytej powłoką selektywną, która ogranicza ilość promieniowania cieplnego krótkofalowego, przenikającego przez przegrodę, nie redukując jednocześnie ilości towarzyszącego mu promieniowania widzialnego.

Coraz częściej potrzebne są rozwiązania, które cechować będzie zmienność parametrów technicznych nie kolidujących ze sobą i dostosowujących się do zmieniających się warunków otoczenia w sposób automatyczny lub sterowalny. To jakby bezpośrednie odniesienie do postulatów głoszonych przez Le Corbusiera w latach trzydziestych XX w. o połączeniu funkcjonalnym ścian zewnętrznych z systemami instalacji sterującymi mikroklimatem wnętrza. Obecnie prowadzone są intensywne badania nad tzw. szklami o zmiennej transmisji (variable transmission glass). Systemami spełniającymi w pewien sposób te oczekiwania są szkła fotochromowe, gazochromowe, termochromowe a w szczególności elektrochromowe. Jednakże nawet w ich przypadku istnieją konflikty funkcjonalne, więc trudno określać je jako wielofunkcyjne. W 1981r. Mike Davis sformułował idee obudowy dynamicznej budynku (dynamic skin), dostosowującej się swoimi

parametrami do technicznych wymogów stawianych przegrodom. Stosując wielowarstwowe układy płaskie, ściana wielofunkcyjna (polyvalent wall) miałaby dynamicznie i samoczynnie reagować na fluktuację parametrów środowiskowych dzięki stosownej zmianie ukierunkowanej przepuszczalności promieniowania. Sterowanie automatyczne miało być zasilane energią elektryczną generowaną promieniami słonecznymi w odpowiednich warstwach przegrody. Pomimo wieloletnich badań systemy wielofunkcyjne są jeszcze odległe w czasie. Podobnie jak ściany dynamiczne, których wprowadzenie było by próbą powrotu do systemów płaskich, lecz bardziej złożonych i odmiennie funkcjonujących niż obecnie stosowane¹⁴.

Reasumując, stosowanie, jak się okazuje, wciąż niedoskonałych rozwiązań technicznych i materiałowych ma niejednokrotnie bardzo istotny wpływ na postrzeganie budynku w otaczającej go przestrzeni.

Stopień zależności wynikający wprost z fizyki budowli i ich wpływ na rolę, jaką pełni współczesna szklana fasada w kontekście zastosowania konkretnych rozwiązań technicznych, będzie tematem kolejnych rozważań.

THE TYPES OF MODERN GLASS FACADE. IN SEARCH OF THE IDEA OF CONTINUITY OF THE CUBOIDAL FORM. PART FIVE¹⁵.

1. INTRODUCTION

One of the most significant revolutions in technical and thus aesthetic solutions of transparent cuboid-shaped buildings was brought by the role played by modern glass facade.

In the European Charter for Solar Energy Norman Foster and Thomas Herzog wrote "The penetration of the skin of a building towards light, heat and air, and its transparency must be controllable and capable of modification, so that it can react to changing local climatic conditions (e.g. solar screening, protection against glare, light deflection, shading, temporary thermal protection, adjustable natural ventilation)"¹⁶.

Currently, the provision of proper application conditions is brought to the forefront while shaping transparent architectural objects. For this purpose, in addition to application of technical methods of protection such as air-conditioning, the emphasis is put on application of appropriate processed types of glass in a variety of systems, making it possible to obtain e.g. the so-called intelligent facades.

¹⁴ Na podstawie :

Campagno A. : *Intelligent Glass Facades*. Boston, Berlin 1995r. Str 8.

Celadyn W.: *Przegrody przeszklone...* *op.cit.*

Lisik B. M.: *Struktury fotowoltaiczne*. Praca doktorska W.A. Politechnika Śląska 1997r.

Tarczoń T.: *Fasady. Rozwój i nowoczesność*. „Świat szkła” nr 018(104)/2007r. Str.30-37.

Zielonko-Jung K.: *Kierunki rozwoju w projektowaniu elewacji przeszklonych*. „Świat szkła” nr 12(103)/2006r. Str.24-29.

¹⁵ The article was elaborated on the basis of the PhD thesis, entitled: The idea of transparent cuboid in the architecture of the late twentieth and early twenty-first century. An attempt of synthesis, Silesian Technical University, Faculty of Architecture, 2008. Supervisor: Prof. Adam Maria Szymski PhD. Eng. of Architecture. It also constitutes a continuation of the first five parts entitled: *In search of the idea of continuity of the cuboidal form*. Parts one and two- published respectively in PiF no. 13 and 14/2010 13, PiF no. 16/2012 PiF and no. 17/2012.

¹⁶ A quotation from European Charter for Solar Energy with reference to planning, architecture and use of buildings. Glass” no 3/1997r. page 56.

Currently implemented glass facades allow to control power consumption and protect against noise and fire, provide safety and they are also used for decorative purposes and protection of privacy. This involves both technical and economic possibilities of applying a specific type of glass and the primary role the glass is to play¹⁷. It turns out that due to the type and nature of the object, the function contained therein, etc., there is a number of options to select the right type of glass for specific solutions. On account of the color, degree of transparency, texture, penetration of solar radiation, etc., their diversity is also closely associated with the perception and appearance of the building.

2. TYPES OF GLASS FACADE

There are two basic types of glass facades (fig. 1, 2)¹⁸.

2.1. SINGLE LEAF FACADES

Single leaf facades are the traditional solutions that have been applied since the beginning of the history of glass in construction. They are constructed on the basis of a single partition separating the interior room from the environment. They can be made of one pane of glass or combined two or three panes of glass creating the functional and constructional whole. They are so called insulated glass or sets of glass. These also include the facades of glass blocks (fig. 3) and massive facades of profiled glass (fig.4).

Thickness of single leaf facades varies a lot ranging from several millimeters in the case of single glass facades to more than 150mm in the case of laminar facades. Various thicknesses are mainly related to thermal insulation properties of particular systems. Single glass facades made of ordinary, tempered or glued glass are characterized by low thermal insulation and high heat penetration coefficient. Two and three glass facades, also known as two-and three-chamber facades or thermally insulated facades, have the highest thermal insulation parameters, and are most commonly used¹⁹.

2.1. DOUBLE LEAF FACADES

The history of this solution is relatively short. Sometimes, double leaf facades are also referred to as climate facades or glass ventilated facades. Their heat parameters are most favorable of all the types of glass facades. Their main feature is the complexity of their structure. They are made of two separate spaced out partitions of glass. Depending on the accepted spatial approach and the applied system, particular facade partitions may have different construction and occur in mutually different configuration. Double glass facades installed on the entire wall surface act as a thermal buffer, but they are also used to ventilate the rooms. The first known example of a double leaf facade of the building is Steiff machine hall dating back to 1903. The applied double glass coating was used mainly for acoustic protection, but also as a thermal buffer and ventilation duct. The first post-war double leaf facades were mechanically ventilated due to limited technical means

¹⁷ Lessing J. *Szkló budowlane*. „Architektura - Murator” nr 9(24)/1996r. Str.62. i nr 2(17)/1996r. Str. 68-73.

¹⁸ The term "facade" with reference to double leaf facade is inconsistent with the current understanding of the term. Until now, "facade" meant a composition of the external wall face. According to the dictionary definitions, facade is the front elevation of the building. However, the term "double leaf facade" functions in a modern terminology of construction. We can accept that this term has entered into common usage. On the basis of Marcin Brzezicki: *Zastosowanie zaawansowanych technologii w rozwiązaniach proekologicznych w architekturze*. PhD thesis 2001.

¹⁹ On the basis of:

Rybak A.: *Przegląd techniczny-szklane fasady*. „Architektura-murator”, nr 08/1999r. Str. 95-98.

Celadyn Waclaw: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r.

that prevented from proper prediction of thermodynamic phenomena occurring between the layers of glazing²⁰.

Applications of double leaf facades in buildings of modern architecture appeared in the sixties e.g. in the building of the Faculty of History at the University of Cambridge, erected in the years 1964-1968 by James Sterling, in which cutting-edge solutions were used for two surfaces of glass, the external surface containing moving parts of vents and the internal surface made of matt glass²¹. The solutions inspired by two surfaces of glass are available and applied on the present market. We cannot forget here about the great Polish achievements dating back over forty years. Double skin glass facade was not born today. The building of Zachęta II by Hansen, Tomaszewski and Zamecznik, Residential Centers²² in Warsaw by Z.Karpiński, E.Waławek and J.Jakubowicz (with the technical development of the wall by Borowski) were also its prototypes.

The experience gained on the basis of experimental facilities, at the turn of the eighties and nineties, served to improve particular components of the facade systems and introduce double leaf facades with gravitational air flow. Their dynamic development was made possible by extensive use of computer aid in the design and research. As a result of numerous experiments, prototypes have been developed and the ratios for the number of glazing layers, width of ventilated space, shape of the air vents, and the manner of their distribution, were optimized²³. A modern double leaf facade consists of two layers: the inner layer, which is heat-insulating, glass partition with tilting windows, and the outer layer, mostly made of a single glass panes (fig. 5,6). The outer layer is not sealed, and the air vents are placed in it. Between the two layers of glazing, there is a space, the width of which ranges from several to several dozen centimeters, adapted mainly to the manner of designed vents. Between the layers of glass a strong air movement is formed and the air exchange is possible through fresh air intakes, usually placed at the foundations of facilities, and exhaust vents, located on top of the roof. Currently, the most optimized systems are those, in which air exchange is limited to a height of one storey. It is used to prevent the exhaust air flow into the rooms located on upper storeys. For this purpose, the glass ribs, separating vertically particular sections of glass facade, are also used²⁴.

In Poland the production of double leaf facades is relatively seldom. Firstly, it is because these solutions are expensive, but secondly because Polish building regulations are not adjusted for implementation of new technologies. The basic problems result from the interpretation of the regulations²⁵ and fire protection²⁶.

²⁰ On the basis of:

Brzezicki M.: *Zastosowanie zaawansowanych... op.cit.*

Zielonko-Jung K.: *Wielowarstwowe elewacje przeszklone a koncepcja przegrody interaktywnej*. „Świat szkła” nr 01 (104)/2007r. Str.18-25.

²¹ On the basis of: Czaplińska T.: *James Sterling wobec tendencji architektury postmodernizmu*. Praca doktorska Wrocław 1977r. Str.68.

²² Kłosiewicz L.: *Nowy fragment warszawskiego centrum-Junior*, „Architektura”, nr 12/1969r. Str. 454-463.

²³ Brzezicki M.: *Zastosowanie zaawansowanych ... op.cit.*

Brzezicki M.: *Inteligentne fasady*. „Inteligentny budynek”, nr 02/1998r. Str.13-17.

²⁴ Alard F.: *Natural Ventilation in Buildings*. „A Design Handbook”. Londyn 1998r.

Brzezicki M.: *Przekształcalność w architekturze*. „Inteligentny Budynek”, nr 01/1998r.

Zielonko-Jung K.: *Wielowarstwowe elewacje ... op.cit.*

²⁵ Ordinance by Minister of Spatial Economy and Housing on technical requirements for buildings and their localization (Journal of Laws no. 15, item 140, appendix § 148, point 1) states that mechanical exhaust ventilation or supply-exhaust ventilation shall be applied in high and high-rise buildings

Act of 24 August 1991 on fire protection (i.e. Journal of Laws of 2002 no. 147, item 1229 as amended)

Act of 7 July 1994 the building law (i.e. Journal of Laws of 2000 no. 106, item 1126 as amended)

Ordinance by Minister of Interior and Administration of 21 April 2006 on fire protection of buildings other facilities and areas (i.e. Journal of Laws no. 80, item 563).

The construction of double leaf facades also allows for absorption of external noise, filtration of daylight, adjustment of air flow intensity and air pre-treatment, as well as protection of devices supporting the system operation against the adverse climatic effects and maintenance facilitation of facade elements. An integral part of modern, double leaf facade is the sun blinds, placed in the space between the layers of glazing. Its task is to reduce penetration of direct sunlight into the rooms, so as to reduce the quantity of heat accumulated therein. Thanks to different combinations of basic components of single and double leaf facades supplemented with energy support systems, it has become possible to obtain a number of interesting solutions. They have become popular in different ways depending on the system used. Fig. 7 illustrates an example of glass facade system diagrams presented in the order related to their increasing degree of complexity²⁷.

There is no doubt that the possibility of shaping the architecture in the form of translucent or transparent cuboids is largely a consequence of the technical solutions that are currently available and widely used.

It is true that geometric definability of solids facilitates use of various construction and material solutions, however, from the technical point of view, the assumption that transparent partitions will satisfy all the expectations associated with them is virtually impossible at this stage of development. It is due to the fact that their complete versatility as well as insufficient efficiency of complex systems and high cost of their application is impossible to achieve.

In many cases of particular difficulty is the fact that certain functions are mutually exclusive, such as expectations from glass partitions, one-way, changeable heat penetration that depends on the environmental conditions on both sides. This should not be hindered by applied system. Yet, during summer insolation the desired air cannot flow from the heated room outside due to high thermal insulation of insulated glass.

There is also a conflict related to penetration of solar radiation into the interior during the summer time. The standard systems ensuring its reduction, such as the tinted glass, reflective coatings, etc. concurrently limit penetration of daylight. In this case, the solutions with anti-convection film covered with selective coating are coming forward to meet the needs. This reduces the amount of short-wave heat radiation, permeating through the partition, but at the same time it does not reduce the amount of accompanying visible radiation.

We increasingly need the solutions that will be characterized by changeable technical parameters, not conflicted with each other, and adaptable to changing conditions of the environment, in an automatic or a controlled way. This is somewhat a direct reference to the stipulations voiced by Le Corbusier in the thirties of the nineteenth century about a functional connection of the exterior walls with the installation systems controlling microclimate of the interior. Intensive research is currently being carried out on so-called variable transmission glass. The systems that meet these expectations to some extent are photochromic, gasochromic, thermochromic and, in particular, electrochromic glass.

Ordinance by Minister of Interior and Administration of 16 June 2003 on agreement of construction design for fire protection (i.e. Journal of Laws no. 121, item 1137)

Ordinance by Minister of Infrastructure of 12 April 2002 on technical requirements for buildings and their localization (i.e. Journal of Laws no. 75, item 690 as amended)

²⁶ Kosiorek M.: *Problemy bezpieczeństwa pożarowego budynków z dwupowłokowymi ścianami osłonowymi*. „Architektura-murator”, nr 02/2001r. Str. 96-99.

²⁷ On the basis of:

Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.*

Rybak A.: *Przegląd techniczny... op.cit.*

Ryńska D.: *Inteligentne fasady*. „Architektura-murator”, nr 10/2000r. Str. 103-105.

Wachowski M.: *Klasyfikacja budynków inteligentnych*. „Inteligentny Budynek”, nr 10/1998r. Str. 32-34.

Polijaniuk A.: *Systemowe rozwiązania ochrony przeciwsłonecznej*. „Świat szkła” nr 11(102)/2006r. Str. 24-25.

Yeang K.: *Solar-Streiter*. „Intelligente Architektur”, nr 01/1997r. Str. 48-50.

However, even in this case, there are functional conflicts, so it can hardly be defined as multi-purpose glass. In 1981, Mike Davis expressed the ideas of the dynamic skin that adjusts its parameters to the technical requirements of the partitions. With the application of flat multilayer systems, a polyvalent wall would dynamically and automatically react to the fluctuation of environmental parameters thanks to appropriate change of radiation penetration. An automatic control would be powered with electrical energy generated by solar radiation in corresponding layers of the partition. Despite the long-term research, multifunctional systems are still a question of distant future just like the dynamic wall, the introduction of which would be an attempt to use again flat but more complex systems that function differently than the ones that are currently used²⁸.

To sum it up, it turns out that the application of still imperfect technical and material solutions, has often an impact on the perception of the building in the surrounding space.

The degree of dependency resulting directly from physics of structure and their impact on the role the modern glass facade plays in the context of the application of specific technical solutions, will be the subject of further discussion.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Alard F.: *Natural Ventilation in Buildings. A Design Handbook*. Londyn 1998r.
 - [2] Brzezicki M.: Zastosowanie zaawansowanych technologii w rozwiązaniach proekologicznych w architekturze. Praca doktorska. Wrocław 2001r.
 - [3] Celadyn W.: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r.
 - [4] Campagno A.: *Intelligent Glass Facades*. Boston, Berlin 1995r. Str 8.
 - [5] Czaplińska T.: James Sterling wobec tendencji architektury postmodernizmu. Praca doktorska Wrocław 1977r. Str.68.
 - [6] Lisik B. M.: *Struktury fotowoltaiczne*. Praca doktorska W.A. Politechnika Śląska 1997r.
- Literatura zawodowa:
- [7] Brzezicki M.: Inteligentne fasady. *Inteligentny budynek*, nr 02/1998r. Str.13-17.
 - [8] Brzezicki M.: Przekształcalność w architekturze. *Inteligentny Budynek*, nr 01/1998r.
 - [9] Europejska Karta Energii Słonecznej. *Glass*, nr 3/1997r. Str. 56.
 - [10] Kłosiewicz L.: Nowy fragment warszawskiego centrum-Junior. *Architektura*, nr 12/1969r. Str. 454-463.
 - [11] Kosiorek M.: Problemy bezpieczeństwa pożarowego budynków z dwupowłokowymi ścianami osłonowymi. *Architektura-murator*, nr 02/2001r. Str. 96-99.
 - [12] Lessing J.: Szkło budowlane. *Architektura – Murator*. Nr 9(24)/1996r. Str.62. i nr 2(17)/1996r. Str. 68-73.
 - [13] Polijaniuk A.: Systemowe rozwiązania ochrony przeciwsłonecznej. *Świat szkła* nr 11(102)/2006r. Str. 24-25.
 - [14] Rybak A.: Przegląd techniczny-szklane fasady. *Architektura-murator*, nr 08/1999r. Str. 95-98.
 - [15] Ryńska D.: Inteligentne fasady. *Architektura-murator*, nr 10/2000r. Str. 103-105.
 - [16] Tarczoń T.: Fasady. Rozwój i nowoczesność. *Świat szkła*, nr 018(104)/2007r. Str.30-37.
 - [17] Wachowski M.: Klasyfikacja budynków inteligentnych. *Inteligentny Budynek*, nr 10/1998r. Str. 32-34.
 - [18] Yeang K.: Solar-Streiter. *Intelligente Architektur*, nr 01/1997r. Str. 48-50.

28 On the basis of:

- Campagno A. : *Intelligent Glass Facades*. Boston, Berlin 1995r. Str 8.
- Celadyn W.: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r.
- Lisik B. M.: *Struktury fotowoltaiczne*. Praca doktorska W.A. Politechnika Śląska 1997r.
- Tarczoń T.: *Fasady. Rozwój i nowoczesność*. „Świat szkła” nr 018(104)/2007r. Str.30-37.
- Zielonko-Jung K.: *Kierunki rozwoju w projektowaniu elewacji przeszklonych*. „Świat szkła” nr 12(103)/2006r. Str.24-29.

- [19] Zielonko-Jung K.: Kierunki rozwoju w projektowaniu elewacji przeszklonych. *Świat szkła*, nr 12(103)/2006r. Str.24-29.
- [20] Zielonko-Jung K.: Wielowarstwowe elewacje przeszklone a koncepcja przegrody interaktywnej. *Świat szkła*, Nr 01 (104)/2007r. Str.18-25

Akty prawne:

- [21] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać i ich usytuowanie (Dz.U.Nr.15 poz.140, załącznik § 148, pkt. 1.
- [22] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 21 kwietnia 2006r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. Nr 80, poz 563).
- [23] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 16 czerwca 2003r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej (Dz.U. Nr 121, poz 1137).
- [24] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690 z późn. zmianami).
- [25] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991r. o ochronie przeciwpożarowej (t.j. Dz.U. z 2002r. Nr 147, poz. 1229 z późn. zmianami).
- [26] Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. Prawo budowlane (t.j. Dz.U. z 2000r. Nr 106, poz. 1126 z późn. zmianami).

O AUTORZE

Doktor inż. arch. Miłosz Raczyński - adiunkt w Katedrze Architektury Współczesnej, Teorii i Metodologii Projektowania. Autor wielu referatów, artykułów, a także opracowań projektowych.

AUTHOR'S NOTE

Miłosz Raczyński PhD, Engineer in Architecture – Assistant Professor in Department of Modern architecture , Theory and Methodology of Design. An author of many papers, articles and also design works.